WMO

기후변화에 관한 정부간 협의체

UNEP

국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

제4권



환경부 환경관리공단

본 보고서는 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)에서 발간한 “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”를 IPCC의 승인 하에 환경관리공단에서 번역한 것으로, 본 보고서의 내용을 인용할 때에는 다음과 같이 출처를 밝혀주시기 바랍니다.

환경부·환경관리공단 : 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인 (2008)

[2006 IPCC 가이드라인 원문의 복제, 번역, 배포에 대한 IPCC의 승인 문서]

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

WMO NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES PROGRAMME UNEP

Ref: CR/2006/1

10 October 2007

Byong-Bok Jin
Team Manager of GHG Inventory Team
Environmental Management Corporation of Korea
Environmental Research Complex
Gyung-Dong
Seo-Gu
Incheon
404-170
Republic of Korea

Dear Byong-Bok Jin

Request for use of Copyright Material – IPCC 2006 Guidelines

Thank-you for your request to copy and translate the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

The IPCC wishes to see the widest possible use and distribution of the inventory publications therefore I am very pleased to be able to grant to you the right to copy, translate and distribute, in printed form as well as electronically (including on the internet) the IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

The only requirements are that the IPCC and the authors are suitably acknowledged (see for example the title pages), and that the material is distributed free of charge.

Yours sincerely

Dr Simon Eggleston
Head, Technical Support Unit, Task Force on Inventories, IPCC

IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme
Technical Support Unit
C/o Institute for Global Environmental Strategies, 2108-11 Kamiyamaguchi, Hayama, Kanagawa, JAPAN 240-0115
Phone: +81 46 855 3750 Fax: +81 46 855 3808
Website: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp

기후변화에 관한 정부간 협의체

국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

제4권

농업, 산림 및 기타 토지 이용

편집 : Simon Eggleston, Leandro Buendia,
Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe



IPCC 국가 온실가스 인벤토리 프로그램

IPCC의 국가 온실가스 인벤토리에 대한 특별전문 위원회(Task Force on National Greenhouse Gas Inventories; TFI)에 의해 준비되었고, 협의체(Panel)에 의해 채택되었지만 세부에 대해서는 승인되지 않은 보고서.

본 IPCC 보고서에 포함된 정보는 편집 마감 당시에 사실이며 정확한 것으로 간주되는 반면, 저자들이나 발행자들은 모든 오차 또는 누락에 대한 어떠한 법적 책임이나 의무를 인정할 수 없다. 또한 저자들이나 출판사들은 본 보고서에 언급되어 있는 모든 URLs의 존속에 대한 어떠한 책임도 갖고 있지 않으며, 이러한 웹 사이트의 내용이 여전히 정확하거나 적절하다는 것을 보증할 수 없다.

원문 발행처 | 지구환경전략연구기관(Institute for Global Environmental Strategies; IGES), Hayama, 일본(IPCC의 대리) ⓒ 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC), 2006

이 가이드라인 원문을 인용할 경우 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다.

IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC 국가 온실가스 인벤토리 프로그램
기술지원부(Technical Support Unit; TSU))

지구환경전략연구기관
2108-11, Kamiyamaguchi
Hamaya, Kanagawa
JAPAN, 240-0115

팩스: (81 46) 855 3808
http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp

Printed in JAPAN[1]
ISBN 4-88788-032-4[2]

[1] 가이드라인 원문의 출판 국가.
[2] 가이드라인 원문에 대한 ISBN 번호

제4권

농업, 산림 및 기타 토지 이용

총괄 주저자

Keith Paustian (미국), N.H.Ravindranath (인도), Andre van Amstel(네덜란드)

감수 편집자

Michael Apps (캐나다), Helen Plume (뉴질랜드), Bernhard Schlamadinger (오스트리아), Soobaraj Nayroo Sok Appaadu (모리셔스)

제4권은 강호정 교수(연세대학교), 한영지 교수(강원대학교) 책임 하에 번역된 후 환경관리공단 온실가스관리팀에서 보완・정리하였습니다.

이 권(volume)에서 사용된 주요 전문용어는 'IPCC 우수실행지침-토지이용, 토지이용 변화 및 임업(국립산림과학원, 2004)'의 내용을 인용하였습니다.

목 차

제4권 농업, 산림 및 기타 토지 이용

제1장 서론
제2장 다양한 형태의 토지이용 카테고리에 적용가능한 일반적인 방법론
제3장 일관성 있는 토지이용의 표현
제4장 임지
제5장 농경지
제6장 초지
제7장 습지
제8장 주거지
제9장 기타 토지
제10장 가축 및 분뇨 관리로 인한 배출
제11장 관리 토양에서의 N_2O 배출 및 석회와 요소 사용으로 인한 CO_2 배출
제12장 수확된 목제품
첨부 2 수식의 요약
부록 1 연소 잔여물 (숯)의 CO_2 제거: 미래의 방법론적 개발을 위한 근거: 미래의 방법론적 개발을 위한 근거
부록 2 영구적인 침수지로 전한된 토지에서 CO_2 배출량 산정을 위한 가능한 접근법: 미래의 방법 개발을 위한 근거
부록 3 침수지에서의 CH_4 배출: 미래의 방법론적 개발을 위한 근거

제1장

서론

저자

Keith Paustian (미국), N.H. Ravindranath (인도), and Andre van Amstel (네덜란드)

Michael Gytarsky (러시아 연합), Werner A. Kurz (캐나다), Stephen Ogle (미국), Gary Richards (오스트레일리아), and Zoltan Somogyi (유럽 위원회/헝가리)

목 차

1.1 서론 1.5
1.2 AFOLU 부문에서의 온실가스 배출과 흡수에 대한 검토 1.7
1.2.1 과학적 배경 1.7
1.2.2 탄소 저장고(pool) 정의와 non-CO_2 가스 1.11
1.3 AFOLU 부문에 대한 인벤토리 준비에 대한 검토 1.11
1.3.1 토지이용과 관리 카테고리 1.12
1.3.2 AFOLU의 방법에 대한 Tier 정의 1.13
1.3.3 주 카테고리의 구체화 1.14
1.3.4 인벤토리 산정 준비 단계 1.19
1.4 2006 IPCC 가이드라인 제4권의 구성 1.20
첨부 1A AFOLU 부문에 대한 IPCC 온실가스 인벤토리 지침의 역사적 배경 1.26
참고문헌 1.28

그 림

그림 1.1 관리된 생태계에서의 주요 온실가스 배출의 배출원/흡수원 및 과정..... 1.8
그림 1.2 임지로 유지되는 임지를 이용하여, 동일한 토지이용 카테고리로 유지되는 토지에 대해 적절한 tier 수준으로 구체화하기 위한 의사결정도의 예..... 1.17
그림 1.3 임지로 전환된 토지를 이용하여, 다른 토지이용 카테고리로 전환된 토지에 대해 적절한 tier 수준으로 구체화하기 위한 의사결정도의 예..... 1.18
그림 1.4 AFOLU 보고의 구조..... 1.22

표

표 1.1 각 토지이용 카테고리에 대한 AFOLU에 사용된 탄소 저장고의 정의..... 1.12
표 1.2 AFOLU 부문과의 관련성, *1996 IPCC 가이드라인*의 인용값, Tier 1 하에서 산정되는 토지이용 카테고리, 탄소 저장고, non-CO_2 가스..... 1.23

박 스

박스 1.1 AFOLU 방법에 대한 tier 구조의 틀..... 1.15

1.1 서론

제4권에서는 농업부문과 입업부문, 그리고 기타 토지이용 부문(AFOLU)에서 연간 온실가스 인벤토리를 준비하기 위한 안내서를 제공한다. 이 권에서는 농업(제4장), 토지이용, 토지이용 변화와 임업(제5장)에 대해 *국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 1996 IPCC 가이드라인*에서 이전에 분리하여 제공되었던 안내 사항을 통합하였다. 이러한 통합은 온실가스 배출과 흡수에 관한 과정이나 다양한 형태의 육상 탄소 축적이 모든 유형의 토지에 걸쳐 발생할 수 있다는 것을 전제로 한다. 또한, 토지이용의 변화는 모든 유형의 토지와 관련될 수 있다는 것을 전제로 한다. 이러한 접근법은 온실가스 배출량과 흡수량을 산정하고 이에 대한 보고서를 작성하는 데 있어 일관성과 완비성을 향상시키는 데 그 목적을 두고 있다.

1996 IPCC 가이드라인(토지이용 변화와 임업, 농업)과 비교할 때, *2006 IPCC 가이드라인*에서 이루어진 주요 변화는 국가 온실가스 인벤토리에 대한 우수실행지침 및 불확도 관리(*GPG2000*)와 토지이용, 토지이용 변화, 임업에 대한 우수실행지침(*GPG-LULUCF*)에서 개관한 *1996 IPCC 가이드라인*의 검토 수준을 반영한 것이다. 이는 다음과 같은 내용을 포함한다.

- *GPG-LULUCF*에 사용된 6가지 토지이용 카테고리의 채택(예: 임지, 농경지, 초지, 습지, 주거지, 기타 토지 - 제3장 참고). 이러한 토지 카테고리는 동일한 카테고리로 남는 토지와 한 카테고리에서 다른 카테고리로 변경된 토지로 다시 세분된다. 토지이용 카테고리는 한 국가 내의 모든 관리된 토지 지역을 포괄할 수 있도록 고안된다.

- 인위적으로 관리된 토지로부터 배출원(source)에 의한 모든 배출과 흡수원(sink)에 의한 흡수에 관한 보고서 작성. 관리되지 않은 토지에 대한 배출과 흡수는 보고되지 않는다

- 관리된 토지에 대한 모든 배출과 제거 흡수를 보고할 때 소개되는 추가적인 보고 요소(표 1.2 참고)

- 모든 토지이용 카테고리에 대한 바이오매스, 고사 유기물, 토양 탄소 축적변화를 계산하는 일반적인 방법, 바이오매스 소각에 의한 온실가스 배출량에 일반적인 방법.

- 관리된 토양, 바이오매스 소각, 가축 수의 특성화, 농업에서의 비료 관리 시스템으로부터의 non-CO_2 배출에 대한 방법의 통합(*1996 IPCC 가이드라인과 GPG2000*의 제5장)

- 기본 배출계수 및 단순 방정식으로부터 국가고유의 자료사용 및 국가환경에 적합한 모델까지 포함하는 방법들에 대한 3가지 위계적 tier (?)의 채택

- 수확된 목제품과 관련된 탄소 축적량의 변화를 산정하고 보고하는 데 사용되는 대안적인 방법의 설명

- 토지이용 카테고리, 탄소 저장고, CO_2와 non-CO_2 온실가스 배출에 대한 주 카테고리 분석 방법의 결합

- 탄소 축적량의 변화를 계산할 때 물질 수지 원리의 일관된 적용(adherence)

- 적절한 배출 및 (탄소) 축적량 변화계수, 활동자료를 선택하기 위한 토지분류의 보다 큰 일관성

- 관련 문서와 함께 대체 배출계수를 제공하는 *2006 IPCC 가이드라인*의 보완 도구인 배출계수 데이터베이스(EFDB)의 개발뿐만 아니라 기본 배출계수 및 (탄소) 축적 변화 계수의 개선. EFDB는 제1권 제2장에서 설명된다.

- 과학적 정보의 제한된 이용가능성을 고려하여, 침수지로부터의 CO_2 배출산정 방법과 별첨 3 (침수지로부터의 CH_4 배출: 미래 방법론 발전의 기반)의 CH_4 배출계산방법의 통합

AFOLU 부문은 인벤토리 방법 개발과 관련하여 일부 독특한 특성을 가지고 있다. 온실가스의 배출과 흡수를 계산하는 데에는 많은 과정이 있으며, 이러한 과정은 공간적 측면에서 매우 광범위하고 시간적으로도 매우 다양하다. 배출과 흡수를 통제하는 계수는 자연적이면서도 인위적일 수 있기 때문에(직접적이면서도 간접적일 수 있기 때문에), 우연적 계수[1]를 분명하게 구별하는 것은 어려울 수 있다. 인벤토리 방법은 이러한 복잡성을 고려하면서도 실용적이고 운용이 용이해야 한다. *2006 IPCC 가이드라인*은 인위적 온실가스 배출과 흡수에 대한 국가 인벤토리를 산정하고 이를 토대로 보고서를 작성할 때 도움을 줄 수 있도록 고안되었다. AFOLU 부문에서는 인위적 온실가스 배출과 흡수는 '관리된 토지'에서 일어나는 모든 인위적 온실가스 배출과 흡수로 정의된다. 여기서 '관리된 토지'란 인류가 간섭과 활동을 통해 상품을 생산하고 생태적이거나 사회적 기능을 수행하는 데 사용되어 온 토지를 뜻한다. 모든 토지의 정의와 분류는 국가적 수준에서 구체화되어야 하고, 분명한 방법으로 설명되고, 시간에 걸쳐 일관성 있게 적용되어야 한다. 온실가스의 배출량/흡수량은 관리되지 않은 토지에 대해서는 보고할 필요가 없다. 그러나 토지이용상의 변화가 일어날 때 해당 지역에서의 일관성이 유지되도록 하기 위하여, 국가가 관리되지 않은 토지 지역의 범위를 측정하거나 시간의 흐름에 따라 그 값을 추적해 보는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

이러한 접근법, 즉 인위적인 영향에 대한 대표로서 관리된 토지를 사용하는 것은 *GPG-LULUCF*에서 채택되었고, 이 접근법의 사용에 대해서는 현재의 지침서에서도 여전히 설명되고 있다. 이러한 접근법에 대한 주요 원리는 인위적인 효과 측면에서 관리된 토지가 더 우위를 차지하고 있다는 것이다. 정의에 따르면, 인류가 직접적으로 온실가스의 배출과 흡수에 미친 영향은 관리된 토지에서만 발생한다. 지구 표면의 지역이 전체적으로 인류의 영향권(예: CO_2 비옥도)을 벗어나는 곳이 없음을 고려한다면, 인류가 온실가스에 미치는 많은 간접적인 영향력(예: 증가하는 질소 퇴적량, 우발적 화재)은 인간의 활동이 집중된, 관리된 토지에서 지배적으로 나타날 것이다. 끝으로, 자연적 원인에 의한 온실가스의 배출과 제거는 국부적이며 단기적으로 상당히 다양하게 나타날 수 있는 반면(예: 화재로 인한 온실가스 배출, 각주 1 참고), 흡수원(sinks)에 의한 온실가스 배출과 제거의 자연적 '배경'은 시간과 공간의 변화에도 불구하고 평균화하는 경향이 있다. 이것은 관리된 토지로 인한 온실가스 배출과 흡수가 대부분 인간 활동으로 인해 초래된 결과임을 보여준다.

[1] 이 일반적인 관찰은 <육지 탄소 축적량에 영향을 미치는 과정과 이에 미치는 인간의 영향에 대한 현재의 과학적 이해>(2003.7, 제네바, 스위스)라는 IPCC 보고서에서 만들어졌다. 구체적인 예로는, 관리된(관리되지 않은) 토지에서의 자연발화로부터의 배출량은 자연적 원인(예: 기후 싸이클, 번개 점화에서의 다양성), 간접적 또는 직접적인 인간의 원인(예: 역사적 화재 진압, 과거의 산림 수확 활동), 또는 이상의 3가지 원인의 결합, 쉽게 분리될 수 없는 영향에 의해 연간 큰 변이를 보여 줄 수 있다.

현재, AFOLU 부문에서 온실가스 배출과 흡수를 산정하기 위한 지침과 방법은 다음의 사항을 포함한다.

- 모든 관리된 토지에서 바이오매스, 고사 유기물, 무기 토양에서의 탄소 축적량 변화에서 생기는 CO_2 배출량과 흡수량
- 모든 관리된 토지에서의 화재로 인한 CO_2와 non-CO_2 배출
- 모든 관리된 토양으로부터의 N_2O 배출
- 관리된 토양에 석회 시용 및 요소 이용과 관련된 CO_2 배출
- 쌀 경작으로 인한 CH_4 배출
- 경작된 유기 토양으로 인한 CO_2와 N_2O 배출
- 관리된 습지로부터의 CO_2와 N_2O 배출(별첨 3에 서술된 침수지로부터의 CH_4 배출에 대한 방법론적인 개발에 대한 근거 자료를 바탕으로)
- 가축으로 인한 CH_4 배출(장내 발효 작용)
- 비료 관리 시스템으로 인한 CH_4과 N_2O 배출
- 수확된 목재 생산물과 관련된 탄소 축적량의 변화

이러한 인벤토리 요소에 대한 과학적인 배경과 근거는 다음 부문에서 서술될 것이다.

1.2 AFOLU 부문에서의 온실가스 배출 및 흡수에 대한 검토

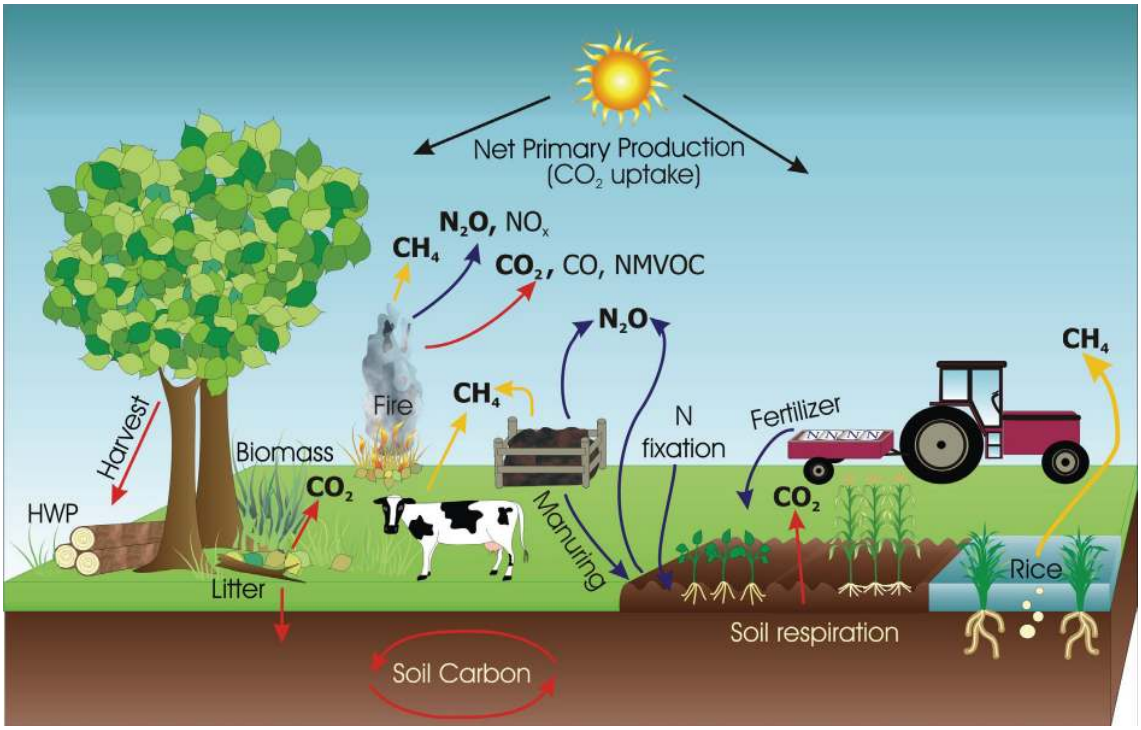
1.2.1 과학적 배경

토지이용과 관리는 온실가스 흐름에 작용하는 다양한 생태계 과정, 예컨대 광합성, 호흡, 분해, 질산화/탈질화(nitrification/denitrification), 장내 발효, 연소 활동에 영향을 미친다(그림 1.1). 이러한 과정은 생물적(미생물, 식물, 동물의 활동), 물리적인 과정(연소, 침출, 유출(run-off))에 의해 이루어지는 탄소와 질소의 변환 과정을 수반한다.

AFOLU에서의 온실가스

온실가스에서 주요 관심 대상은 CO_2, N_2O, CH_4이다. 대기와 생태계 사이의 CO_2 흐름은 기본적으로 식물 광합성을 통한 흡입과 호흡에 따른 배출, 유기물의 분해와 연소에 의해 통제된다. N_2O는 기본적으로 질소 화합 작용과 탈질화의 부산물로써 생태계로부터 배출되고, CH_4는 토양과 비료 저장소에서의 혐기성 조건 하에서, 장내 발효를 통해, 유기물이 소각될 때 불완전한 연소 동안에의 메탄 발생 작용을 통해 배출된다. 관심 대상인 다른 가스(연소에 의하거나, 토양으로부터 발생하는)들은 NO_X, NH_3, NMVOC, CO인데, 이들은 대기 중의 온실가스 형성의 전구물질(precursor)이기 때문이다. 전구물질 가스들로부터의 온실가스 형성은 간접적인 배출로 간주된다. 간접적인 배출은 질소 화합물의 침출이나 유출, 특히 토양으로부터의 NO_3^- 손실 (이중 일부는 탈질화 작용을 통해 N_2O로 변환될 수 있다)과 연관되어 있다.

그림 1.1 관리된 생태계에서의 주요 온실가스 배출의 배출원/흡수원 및 과정



배출과 제거 과정

AFOLU 부문에서의 온실가스 흐름은 2가지 방법으로 산정될 수 있다. 1) 시간흐름에 따른 탄소 축적량의 순수한 변화(대부분 CO_2 흐름에 대해 사용됨)를 활용하는 방법, 2) 직접적으로 대기로의, 대기로부터의 가스 흐름의 비율(non-CO_2 배출량이나 일부 CO_2 배출량이나 흡수량을 산정하기 위해 사용됨)을 활용하는 방법. CO_2 배출량과 흡수량을 산정하기 위해 탄소 축적량을 사용하는 것은, 생태계에서의 탄소 축적량의 변화가 주로(반드시 그런 것은 아니지만) 육지 표면과 대기 사이의 CO_2 교환을 통해 이루어진다(즉, 침출과 같은 다른 C의 운반 과정은 무시할 만한 것으로 가정한다)는 사실에 근거한다. 그러므로 시간에 걸친 총 탄소 축적량의 증가는 대기로부터 CO_2의 순수 흡수량과 같고, 총 탄소 축적량의 감소(수확된 목제품과 같은 다른 저장고로 더 적은 양이 운반된다)는 CO_2의 순수 배출량과 같다. non-CO_2 배출량은 대체로 미생물 과정(즉, 토양, 동물의 소화관, 비료 안에서 이루어지는)과 유기물 연소의 산물이다. 아래에서는 AFOLU 부문에서의 배출과 제거 과정이 주요 생태계 축적량과 과정을 대상으로, 생태계 구성 요소를 중심으로 구성하여(즉, 1) 바이오매스, 2) 고사 유기물, 3) 토양, 4) 가축) 설명된다.

바이오매스

땅 위와 땅 밑의 부분을 포함하는 식물 바이오매스는 대기로부터의 CO_2 흡수에 대한 주요 도관(conduit)이다. 많은 양의 CO_2가 기본적으로 광합성과 호흡의 과정을 통해 대기와 육지 생태계 사이에서 이동된다. 광합성을 통한 CO_2의 흡입은 총 일차 생산량(GPP)로 불린다. GPP의 절반 가량은 식물에 의해 호흡되어 대기 중으로 되돌아가고, 나머지가 순 일차 생산량(NPP)을 이루는데, NPP는 1년 동안의 바이오매스와 죽은 유기물의 총 생산물이다. NPP에서 heterotropic 호흡 (낙엽, 고사목, 토양에서의 유기물의 분해)에 의한 손실분을 뺀 값은 생태계에서의 순수 탄소 축적변화량과 같고, 교란에 의한 손실이 없는 상태에서 순 생태계 생산량(NEP)으로 불린다.

순 생태계 생산량(NEP) = 순수 일차 생산량(NPP) - heterotropic 호흡량

NEP에서 교란(예: 불)과 토지이용 변화 동안의 수확 및 개간으로 인한 추가적인 탄소 손실량을 뺀 값은 종종 순수 생물 생산량(NBP)으로 불린다. 토지이용 카테고리에 대해 국가 온실가스 인벤토리에 보고된 탄소 축적량의 변화는 NBP[2] 값과 같다.

순 생물 생산량(NBP) = NEP - 교란/개간/농작으로 인해 손실된 탄소량

NPP는 산림 파괴, 조림, 비옥화(시비), 관개, 수확, 종의 선택 등 다양한 인위적인 활동을 통해 이루어지는 토지이용과 관리에 의해 영향을 받는다. 예를 들면, 나무 수확은 토지에서의 바이오매스 축적량을 감소시킨다. 그러나 일부 탄소가 수년에서 수세기에 걸쳐 목제품에 저장될 수 있기 때문에, 수확된 목재는 추가적으로 고려해야 할 필요가 있다. 즉, 생태계로부터 제거된 탄소의 일부는 급속하게 대기 중으로 배출되기도 하고, 일부 탄소는 다른 저장소로 옮겨져 배출이 지연되기도 한다. 비산림 생태계(농경지, 초지)에서, 바이오매스는 대체로 목재가 아닌 다년생 및 일년생 식생에 해당하며, 그 식생은 산림에 비해 총 생태계 탄소 축적량의 훨씬 적은 부분을 차지한다. 비목재 바이오매스는 해마다 혹은 몇 년 마다 반복해서 나타나므로, 토지가 황폐화되는 경우에는 시간에 따라 축적량이 감소되겠지만, 대체로 순수 바이오매스 탄소 축적량은 일정하게 유지된다. 토지 관리자는 초지나 숲을 관리하는 방법으로 불을 사용할 수 있고, 산불(wild fire)은 관리된 토지, 특히 산림을 태워 많은 양의 바이오매스 탄소를 유발할 수 있다. 화재는 바이오매스의 연소를 통해 CO_2를 대기 중으로 되돌리는 것뿐만 아니라, CH_4, N_2O, NMVOC, NO_X, CO를 포함한 다른 온실가스를 직간접적으로 배출한다.

고사 유기물(Dead Organic Matter)

살아있는 식물 물질에 포함된 바이오매스 생산량(NPP)은 결국 고사 유기물(DOM) 저장고(즉, 고사된 목재와 쓰레기- 정의에 대해서는 표 1.1 참고)로 전환된다. 일부 DOM은 대기 중으로 탄소를 되돌리면서 빨리 분해되지만, 일정 탄소량은 수 개월에서 수 년, 수십 년까지 보유한다. 토지의 사용과 관리는 분해 속도와 새로운 유기 분해물의 투입에 영향을 미침으로써, 고사 유기물의 탄소 축적량에 영향을 미친다. 고사 유기물을 소각시킴으로써 손실된 양은 CO_2, N_2O, CH_4, NO_X, NMVOC, CO의 배출량에 포함된다.

토양

고사 유기물은 파편화되고 분해되어 토양 유기 물질(SOM)로 전환된다. 토양 유기물은 토양에 잔류 시간이 매우 다양한 수많은 종류의 물질로 이루어져 있다. 이 물질의 일부는 미생물 유기체에 의해 쉽게 분해되어 대기 중으로 탄소를 되돌려 주는 불안정한 화합물로 구성되어 있다. 그러나 토양 유기 탄소의 일부는 매우 느리게 분해되어 수십 년에서 수 세기 이상 동안 토양에 잔류할 수 있는, 쉽게 변하지 않는 화합물(예: 유기-무기 합성물)로 전환된다. 화재가 일어난 이후에는, 소

[2] 수확된 목재나 바이오매스로부터 나온 다른 내구적인 생산품(예: 옷)은 NBP에 포함되지 않는다. 수확된 목제품(HWP)은 제12장에서 설명된다.

위 '블랙카본(black carbon)'이라 불리는 소량의 물질이 발생하고, 그것은 수천 년에 이르는 전복기(turnover)를 가진 비활성에 가까운 탄소 비율을 구성한다.

토양 유기 탄소 축적량은 쓰레기 투입 비율과 토양 유기 물질 손실률에 영향을 미치는 토지이용과 관리 활동에 따라 달라진다. 토양 유기 탄소 축적량의 균형을 통제하는 주요 과정이 식물 잔류물로부터의 탄소 투입과 분해로 인한 탄소 배출 과정이기는 하지만, 일부 생태계에서는 미립자나 용해된 탄소로서의 손실분도 꽤 많은 양을 차지할 수 있다. 탄소 투입은 기본적으로 NPP와 고사 유기물의 잔류에 영향을 주는 결정 요인, 예컨대 얼마나 많은 수확된 바이오매스가 생산물로 제거되는지, 얼마나 많은 양이 잔류물로 남겨지는 지에 의해 통제된다. 산출물은 대체로 농작물의 밀집도와 같은, 토양 유기 물질에 대한 미생물의 분해와 물리적인 분해에 작용하는 관리 결정 요인의 영향을 받는다. 과거 토지이용, 기후, 토양 특성 간의 상호작용에 따라, 관리 실제상의 변화는 토양 탄소 축적량의 증가와 감소에 영향을 미친다. 일반적으로 탄소 축적량의 변화를 유발하는 관리 방법은 토양 탄소 축적량이 새로운 평형 상태에 근접할 때까지 수 년에서 수십 년에 걸쳐 나타난다. 인간 활동이 미치는 영향과 더불어, 기후 다양성과 기타 환경적 요인(바이오매스와 DOM 뿐만 아니라)이 토양 탄소 역학에 영향을 미친다.

습지 환경이나 쌀을 경작하는 논과 같은 침수 조건(flooded condition)하에서, 고사 유기물과 토양 유기 물질의 분해 활동 중 많은 비율은 대기 중으로 CH_4를 내보낸다. 이것은 쌀을 경작하기 위해 논으로 활용하는 토지가 상당히 많은 국가에서는 탄소 배출의 주된 원인일 수 있다. 실질적으로 모든 침수 토양은 메탄을 배출하지만, 순수 토양 탄소 축적량은 전체 탄소 균형에 대한 관리 활동과 환경적 통제에 따라 시간이 지나면서 증가, 감소하거나 일정량을 남길 수 있다. 잘 배수되는 토양에서는, 소량의 CH_4가 메탄 영양 박테리아[3]에 의해 소비된다(산화된다).

또한 토양은 토양이 형성된 기존 물질(parent material)에서의 기본적 광물(예: 석회암)이나 토양 형성 동안에 생겨난 이차적 물질(즉, pedogenic 탄산염)로써의 무기 탄소 저장고를 지니고 있다. 무기 토양 탄소 축적량은 대체로 유기 탄소 저장고의 정도까지는 아니더라도, 관리에 의해 영향을 받을 수 있다.

일부 토양 관리의 실제는 탄소 축적량을 단순하게 변화시키는 수준을 넘어서, 온실가스 배출량에 영향을 미친다. 예를 들면, 석회시용은 토양 산성을 감소시키는 경향이 있고 식물 생산량을 향상시키지만, 또한 CO_2 배출의 직접적인 원인이기도 하다. 구체적으로, 석회시용은 석회암과 백운석 퇴적물로부터 칼슘 탄산염을 제거시키고, 탄산염 이온이 CO_2로 변화하는 토양에 석회시용을 적용함으로써, 육지 표면에서 대기 중으로 탄소를 운반한다.

질소의 추가는 합성 질소 비료와 유기 토양 개량제(예: 비료)를 특히 농경지와 초지에 이용하는 것을 포괄하며, NPP와 농경지를 증가시키는 데 사용되는 일반적인 실행 방법이다. 토양 질소 이용가능성의 증가는 질소 화합 작용과 탈질화 작용의 부산물로써 토양으로부터의 N_2O 배출량을 증가시킨다. 동물을 기를 때 발생하는 (대변과 소변의) 질소량의 추가도 N_2O 배출량을 증가시킬 수 있다. 이와 마찬가지로 습지, 산림, 초지 경작을 착수하는 활동과 같이 토양 유기 물질의 분해와 수반되는 N 미네랄화(mineralization)를 증가시키는 것과 관련이 있다면, 이러한 토지이용의 변화는 N_2O 배출량을 증가시킨다.

[3] 토지이용 변화에 따른 혼란과 질소의 추가(즉, 비료와 같은)는 메탄 산화 비율을 감소시켜 온 것으로 알려졌다.

현재의 과학 지식을 통해, 토탄지의 관리와 관련된 CO_2와 N_2O 배출량, 침수에 의한 습지 변화 과정에서 발생한 CO_2의 배출량을 산정하기 위한 방법을 제공할 수 있다. 방법론에 대한 첨부(첨부 3)에서는 침수지로부터의 CH_4 배출량을 산정하기 위한 방법론 개발의 근거를 제시한다.

가축

동물 생산 시스템, 특히 반추 동물의 생산 시스템은 온실가스 배출의 중요한 원인이 될 수 있다. 예를 들면, 반추 동물의 소화계에서의 장내 발효는 CH_4의 발생과 배출을 유발시킨다. 비료 매립과 저장에 관한 관리 결정 요인은 CH_4와 N_2O의 배출에 영향을 미치고, CH_4와 N_2O는 각각 메탄 발생과 질소 화합 작용/탈질화 작용의 부산물로써 비료를 분해하는 과정에서 형성된다. 게다가 휘발화 작용은 비료 관리 시스템으로 인해 NH_3와 NO_X를 발생시키고, 토양에서는 간접적인 온실가스 배출이 이루어진다.

1.2.2 탄소 저장고(pool)의 정의와 non-CO_2 가스

각 토지이용 카테고리 내에서, 탄소 축적량의 변화와 배출량/흡수량 산정값은 표 1.1에 정의된 5개의 탄소 저장고를 포괄한다. 일부 토지이용 카테고리와 산정 방법에서 탄소 축적량의 변화는 3가지 총 탄소 저장고(즉, 바이오매스, DOM, 토양)에 근거한다. 국가의 환경에 따라 여기에서 설명한 저장고에 대한 정의는 수정할 필요가 있다. 수정된 정의가 사용되는 국가에서는, 수정된 정의가 시간에 걸쳐 일관성 있게 사용되고 계산시에 저장고가 빠지거나 두 배로 계산되지 않도록 하기 위해, 그 정의에 대해 분명하게 보고하고 문서화하는 것이 좋다. 수확된 목제품과 관련된 탄소 축적량의 변화는 보통 국가 수준에서 보고된다(제12장 참고).

AFOLU 부문에서 기본적인 관심 대상인 non-CO_2 가스는 메탄(CH_4)과 아산화질소(N_2O)이다. 또한 수반된 N_2O 배출의 배출원으로서 기능할 수 있는(그러므로 '간접적인' 배출 원인으로 설명되는) NO_X와 NH_3를 포함한 다른 질소 화합 가스의 배출도 고려된다(제11장 참고).

1.3 AFOLU 부문에 대한 인벤토리 준비의 검토

AFOLU 부문에 대한 인벤토리를 준비하기 위해, CO_2와 non-CO_2 온실가스의 배출량 및 흡수량은 각 6개의 토지이용 카테고리에 대해 개별적으로 산정된다. 가축 관련 배출량, 토양 질소 관리로 인한 배출량, 토양 석회시용 배출량, 수확된 목제품과 같은 다른 CO_2 배출량과 non-CO_2 카테고리는 종종 총계 자료만을 이용할 수 있기 때문에 국가 수준에서 산정될 수 있다. 그러나 이러한 CO_2 배출량과 non-CO_2 카테고리는 토지이용 카테고리 자료를 이용할 수 있다면, 그 카테고리에 따라 달라질 수 있다.

표 1.1 각 토지이용 카테고리에 대해 AFOLU에서 사용된 탄소 저장고의 정의

저장고		설명
바이오매스	지상부 바이오매스	살아있는 식물, 즉, 줄기, 그루터기, 가지, 나무껍질, 씨앗, 잎을 포함한 토양 위의 목재와 풀의 모든 바이오매스 주: 숲의 하층부가 지상부 바이오매스 탄소 저장고의 비교적 작은 구성요소일 경우에, tier가 인벤토리 시계열을 거쳐 일관성 있는 방법으로 사용되고 있는 조건 하에서, 이 바이오매스는 이를 제외한 일부 tier에서 적용된 방법론과 관련 자료에서 활용될 수 있다.
	지하부 바이오매스	살아있는 뿌리의 모든 바이오매스. (제안된 값) 직경 2mm 보다 작은 미세한 뿌리들은 경험상 토양 유기물이나 낙엽층과 구분될 수 없기 때문에 종종 제외된다.
고사유기물	고사 목재	낙엽층 안에 포함되지 않거나, 지면에 서 있거나 쓰러져 있는 경우, 또는 토양 내에 있지 않은, 모든 살아 있지 않은 목재 바이오매스를 포함한다. 고사된 목재는 지표면 위에 쓰러져 있는 목재, 고사된 뿌리, 그루터기, 직경이 10cm 이상인 것(또는 국가별로 지정된 직경)을 포함한다.
	낙엽층	토양유기물의 한계값(제안된 값 2mm) 이상, 고사된 목재, 즉, 광물과 유기 토양의 안 또는 위에서의 다양한 부패 단계에 있는 땅 속에 묻혀 있는 고사물로 선택된 최소 직경(예: 10 cm) 미만의 모든 살아있지 않은 바이오매스를 포함한다. 이것은 토양 유형론에서 일반적으로 정의된 낙엽층을 포함한다. 광물이나, 유기 토양(지하부 바이오매스로 선택된 최소 직경 한계값 미만인) 위의 살아있는 미세한 뿌리는 경험적으로 구분될 수 없는 낙엽층 안에 포함되어 있다.
토양	토양유기물[1]	해당 국가가 선택하여 구체적으로 기록하고, 시계열[2]을 통해 일관적으로 적용되는 깊이까지, 광물 토양 내에 있는 유기 탄소를 포함한다. 뿌리와 DOM에 대한 최소 직경 한계값(제안값 2mm) 미만인, 토양 내에 살아 있거나 고사되어 있는 미세한 뿌리와 DOM은, 경험적으로 구분될 수 없는 토양유기물에 포함된다. 토양 깊이의 기본값은 30cm이고 국가별 깊이를 결정하기 위한 지침은 제2.3.3.1장에 제시되어 있다.

[1] 운영상, 특정 크기 분율로 정의한(예: 2mm 체를 통과하는 모든 물질) , 토양 기반 내에 있는 유기 물질(생명체와 미생명체)을 포함한다. 또한 토양 탄소 축적량 산정값은 Tier 3 방법을 사용할 경우에는, 토양 비유기 탄소량을 포함할 수도 있다. 토양에 대한 석회 시용과 요소 사용으로 인한 CO_2 배출량은 Tier 1 이나 Tier 2 방법을 사용하여 플럭스로 산정된다.

[2] 유기 토양 내의 탄소 축적량은 Tier 1이나 Tier 2 방법을 사용하여 명백하게 계산되지는 않으나, (이 두 가지 방법은 유기 토양으로부터의 연간 탄소 플럭스값만을 산정하는 방법임), 유기 토양 내의 탄소 축적량은 Tier 3 방법에서 산정될 수 있다. 분류법을 목적으로 유기 토양에 대해 내려진 정의는 제3장에 제시되어 있다.

1.3.1 토지이용과 관리 카테고리

여기에서는 인벤토리 구성 목적을 위해 어떻게 토지 지역을 분류하였는지에 대해 간략히 검토하였다. 제3장에서는 기후, 토양, 기타 환경 층에 따른 토지 지역의 성층, 토지이용 및 관리 시스템에 의한 대표적인 토지 지역과 토지 지역의 분류에 대해 구체적으로 설명한다.

다음은 *2006 IPCC 가이드라인*의 6가지 토지이용 카테고리(제3장의 정의 참고)이다.

- 임지
- 농경지
- 초지
- 습지
- 주거지
- 기타 토지

각 토지이용 카테고리는 해당 카테고리(예: 임지로 유지되는 임지 Forest Land Remaining Forest Land) 내에서 유지되는 토지, 한 카테고리에서 다른 카테고리로 전환된 토지(예: 농경지로 전환된 임지)로 보다 세분화된다. 국가에서는 해당 방법과 그 요구조건을 선택함으로써, 각 카테고리 내에서 기후나 다른 생태 지역을 근거로 토지의 종류를 더 나눌 수 있다. 각 특정 토지이용에 대해 결정된 온실가스 배출량 및 흡수량은 소각으로 인한 non-CO_2 배출량, 토지이용 카테고리에 따른 기타 특정 원인으로 인한 배출량(예: 쌀로부터의 CH_4 배출)뿐만 아니라, 바이오매스, 고사 유기물, 토양으로부터 배출된 CO_2(탄소 축적량이 변화한 것으로서)를 모두 포함한다.

가축 관리로 인한 CH_4와 N_2O 배출량은 젖소, 기타 소, 가금류, 양, 돼지, 기타 가축(물소, 염소, 라마, 알파카, 낙타 등)과 같은 주요 동물 유형에 따라 산정된다. 동물 소비 관리 시스템은 혐기성 라군(lagoons), 유동 시스템, 낙농 토지, 고체 저장소, 건조 창고, 큰 목장/중간 목장/작은 목장, 기타 다방면의 시스템을 포함한다.

관리된 토양으로부터의 아산화질소 배출량은 토양 유기 물질 내에 질소의 무기화를 촉진시키는 질소 비료의 사용이나 판매, 잔여 작물 관리, 유기 토양 개량제, 토지이용 변화을 포함하여, 일반적으로 토양에 공급된 N에 대한 총계(국가 수준의) 자료로부터 산정된다. 마찬가지로, 관리된 토양에의 석회시용과 요소 적용으로 인한 CO_2 배출량은 대체로 총계 자료(예: 국가 수준)[4]를 사용하여 산정된다.

수확된 목제품은 국가 수준의 자료를 근거로 하여, 탄소 축적량의 변화를 산정할 수 있는(제12장에서 제공된 지침) 탄소 주기의 구성요소로 이루어진다. 그러나 HWP에 대한 온실가스 배출량을 산정하고 보고하는 것은 현재까지는 정책적 협상의 문제이다.

1.3.2 AFOLU의 방법에 대한 tier 정의

여기에서는 AFOLU에서 사용된 방법과 관련이 있고, 3가지 tier 접근법을 뒷받침해주는 개념에 대해 설명한다(박스 1.1 참고). 일반적으로 더 높은 수준의 tier로의 이동은 인벤토리의 정확성을 높이고 불확도는 낮추지만, 인벤토리를 수행하는 데 필요한 자원과 복잡성은 더 높은 수준의 tier일수록 증가하는 경향이 있다. 필요할 경우에는, tier를 조합하여 사용할 수 있다. 예컨대, tier 2는 바이오매스에, tier 1은 토양 탄소에 사용될 수 있다.

[4] 토지이용과 관리가 메탄 산화에 미치는 영향에 대한 연구의 한계로 인해, 호기성 토양 내에서 CH_4의 흡수량을 산정하는 데 사용되는 기본값 방법론은 없다. 따라서 CH_4 흡수량을 산정하고 보고하고자 하는 국가에서는 불확도에 대한 분석을 포함하여, CH_4 흡수량을 산정하기 위한 적절한 국가 방법론을 개발하고 입증하며 문서화해야 한다. CH_4 흡수량을 보고하는 국가에서는, 토지에 대한 모든 CH_4 배출량이 CH_4 흡수량이라는 사실을 확실시하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

제시된 방법과 자료는 tier 1 인벤토리에 중점을 둔다. 그 방법은 일반적으로 tier 2 인벤토리에 적용할 수 있을 것이지만, tier 1에서 제시된 기본값 자료는 부분적으로나 전체적으로 국가 자료를 대체하여 tier 2 산정의 일부가 될 수 있을 것이다.

1.3.3 주 카테고리의 구체화

주 카테고리 분석의 접근법과 방법에 대한 배경에 대한 토론은 제1권 제4장(방법론 선택 및 주 카테고리 확인)에서 서술된다. 이 장에서는 AFOLU의 주 카테고리 분석에 대한 접근법을 설명한다. 주요 배출원/흡수원(sink) 카테고리는 제1권 제4장에서 '그 산정값이 배출량과 흡수량에 있어서의 절대적인 수준, 경향, 불확도 측면에서 온실가스의 국가 총 인벤토리에 큰 영향을 미치기 때문에, 국가 인벤토리 시스템을 가지고 우선순위를 매긴 것으로서' 정의된다. 주 카테고리 분석을 통해 국가는 이용가능한 자원이 주어진 가장 신뢰할 수 있는 인벤토리를 얻을 수 있다. 주 카테고리 분석은 다음과 같은 내용을 구체화하는 데 필요하다.

- 어떠한 토지이용과 관리 활동이 중요한지
- 어떠한 토지이용이나 가축 카테고리가 중요한지
- 어떠한 CO_2 배출량이나 다양한 탄소 저장고로부터의 흡수원에 의한 흡수량이 중요한지
- 어떠한 non-CO_2 가스와 어떠한 카테고리가 중요한지
- 어떠한 tier가 보고서를 작성하기 위해 필요한지

박스 1.1
AFOLU 방법에 대한 tier 구조의 틀

Tier 1 방법은 이 권에서 제공되는 방정식이나 변수 기본값(예: 배출과 축적량 변화 계수)을 대상으로 사용하기 위해 가장 단순하게 고안되었다. 국가별 활동 자료가 필요하다. 그러나 Tier 1에서는 비록 공간적으로 정밀하지는 않지만 활동자료 산정을 위한 세계적으로 사용가능한 자료(예: 산림 개간 비율, 농업 생산 통계, 세계토지피복지도, 비료 사용, 가축 수 자료 등)가 있다.

Tier 2는 Tier 1과 같은 동일한 방법론적 접근을 사용할 수 있지만, 가장 중요한 토지이용이나 가축 카테고리에 대해 국가별, 지역별 자료에 근거한 배출량과 축적량 변화 계수를 적용한다. 국가별로 정의된 배출계수는 해당 국가의 기후 지역, 토지이용시스템, 가축 카테고리에 대해 더 정확하다. Tier 2에서는 특정 지역, 특수화된 토지이용, 가축 카테고리에 대해 국가별로 정의된 계수와 부합하도록 하기 위해, 대체로 보다 높은 수준의 시간적, 공간적 해상도와 더 많이 세분화 활동 자료를 사용한다.

Tier 3에서는 더 높은 단계의 방법이 사용되는데, 여기에는 시간에 걸쳐 반복되고, 높은 해상도의 활동 자료에 의해 도출되고, 하위 국가 수준에서 세분화된 국가 환경을 설명하는 데 맞춰진 모델과 인벤토리 측정 시스템이 포함된다. 이러한 높은 단계의 방법은 낮은 단계의 tiers보다 더 큰 확실성 산정값을 제공한다. 그러한 시스템에서는 일정한 시간간격으로 반복된 광범위한 현장 조사, 연령에 대한 GIS 기반 시스템, 종류/생산 자료, 토양 자료, 토지이용 및 관리 활동 자료, 몇 가지 유형의 모니터링 활동을 통합하는 것 등을 포함한다. 토지이용 변화가 일어나는 일부 토지에 대해서는 대체로 적어도 통계적으로 시간의 흐름에 따라 추적될 수 있다. 대부분의 경우 이러한 시스템은 기후 의존성을 가지고 있으므로, 연간 다양성을 지닌 배출원 산정값을 제공한다. 동물의 유형, 연령, 몸무게 등에 따른 가축 수에 대한 세부적인 분류를 사용할 수 있다. 해당 모델에 대해서는 질적 점검, 심사, 입증 작업을 수행해야 하고, 철저하게 문서화되어야 한다.

다음 장은 AFOLU의 배출원(source)/흡수원(sink) 카테고리의 광범위한 배열을 포괄하는 방법론을 제공한다. 모든 카테고리가 중요한 것은 아니기 때문에, 상대적으로 덜 중요한 카테고리에서 자원의 큰 투자를 필요로 하지 않으면서 AFOLU의 완전한 인벤토리를 만들기 위해 단순한 기본 방법(Tier 1)이 제공된다.

제1권 표 4.1에서 제시된 것처럼, IPCC 배출원(source)이나 흡수원(sink) 카테고리의 수준에 맞게 분석 작업이 이루어져야 한다. 이러한 분석은 각 가스에 대한 국제 온난화 가능성을 이용하여 산정된 CO_2와 동일한 배출량을 사용하면서 수행되어야 한다. 주 카테고리 에 대한 평가는 방법, 배출계수, 관련 불확도가 각 가스, 저장고, 카테고리에 따라 달라지기 때문에, 각각의 가스에 대해 개별적으로 수행되어야 한다. 일반적 가정에 근거한 동일 배출계수를 사용하는 배출원 카테고리는 분석 이전에 전체적으로 모아야 한다. 각 '주 카테고리'에 대해서, 인벤토리 담당자(agency)는 특정 하위 카테고리가 배출량의 중요 부분을 표현하는지 결정해야 한다. 예를 들면, 가축의 장내 발효로 인한 CH_4 배출의 경우, 특정 종(예: 소, 물소, 양)의 배출은 배출량의 주요 부분을 대표할 수 있다(GPG2000, 제7장). CO_2 배출/흡수량의 경우에, 특정 토지 카테고리(예: 임지로 전환된 토지)

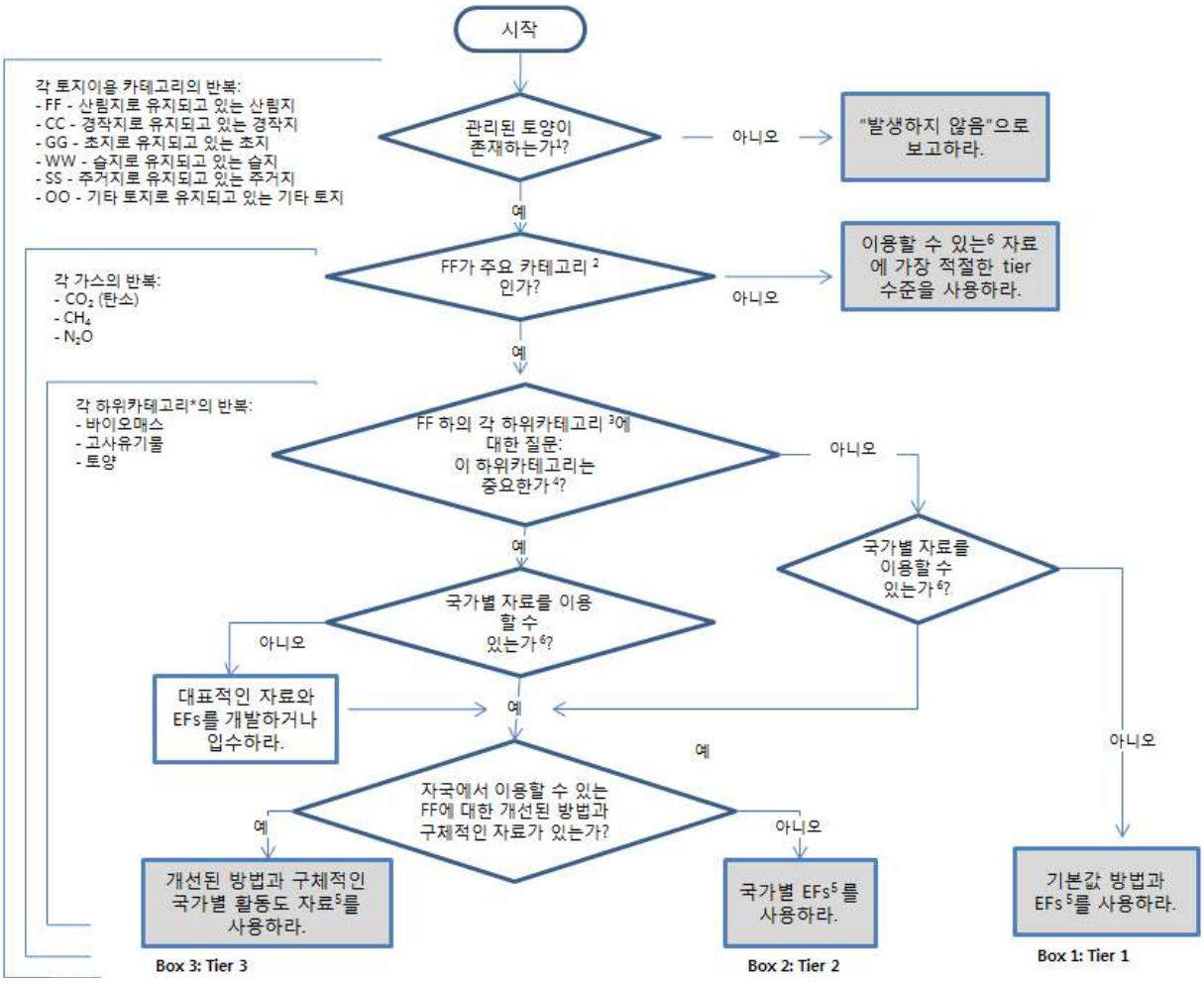
와 특정 탄소 저장고(예: 지면 위의 바이오매스)은 순수 CO_2 배출/흡수량의 주요 부분의 원인이 될 수 있다.

다른 토지이용(제3장 참고)과 가축 카테고리(제10장 참고)의 통합과 분리의 수준은 국가 온실가스 인벤토리 내에 주어진 토지이용이나 가축 시스템의 공유 정도에 따라, 인벤토리 활동에 대해 국가에서 이용가능한 자원의 수준에 따라 다르다. 토지와 가축 카테고리의 분리는 그것이 인벤토리 과정의 비용을 증가시킨다하더라도, 불확도를 감소시키는 데 도움이 된다. 따라서 분리의 수준과 인벤토리에서 이용가능한 자원 간에 균형을 맞출 필요가 있다.

한 번 구체화되면, 주요 배출원은 아래의 의사결정도를 통해 방법론적 선택을 하기 위해 사용된다. AFOLU에 대한 배출원은 다음의 내용을 포함한다.

- 동일 토지이용 카테고리 내의 잔여 토지에 대한 적절한 tier 수준을 구체화하기 위해 사용되는 의사결정도(그림 1.2). 예를 들면, '임지*로 유지되는 임지(Forest Land Remaining Forest Land)*'
- 다른 토지이용 카테고리로 전환된 토지에 대한 적절한 tier 수준을 구체화하기 위해 사용되는 의사결정도(그림 1.3). 예를 들면, 다른 '임지*로 전환된 토지*'
- 관련된 부문의 장에서 제공된 내장기관의 발효와 비료 관리에 대한 의사결정도(제10장 참고)

그림 1.2 임지로 유지되는 임지를 이용하여, 동일한 토지이용 카테고리로 유지되는 토지에 대해 적절한 tier 수준으로 구체화하기 위한 의사결정도의 예



유의 사항:

1: 출발점으로서 20년 동안의 자료를 사용하는 것은 IPCC 가이드라인에 있는 기본값과 일관성을 가진다. 각 국가에서는 국가 환경에 적합한 다른 기간을 자료를 사용할 수도 있다(제2장).

2: 의사결정도의 사용과 주 카테고리에 논의에 대해서는, 제1권 제4장, "주 카테고리의 방법론적 선택과 구체화"를 보시오(제한된 배출원에 대한 4.1.2절을 참고할 것).

3: 하위카테고리의 특성화에 대한 표1.2를 참고하시오.

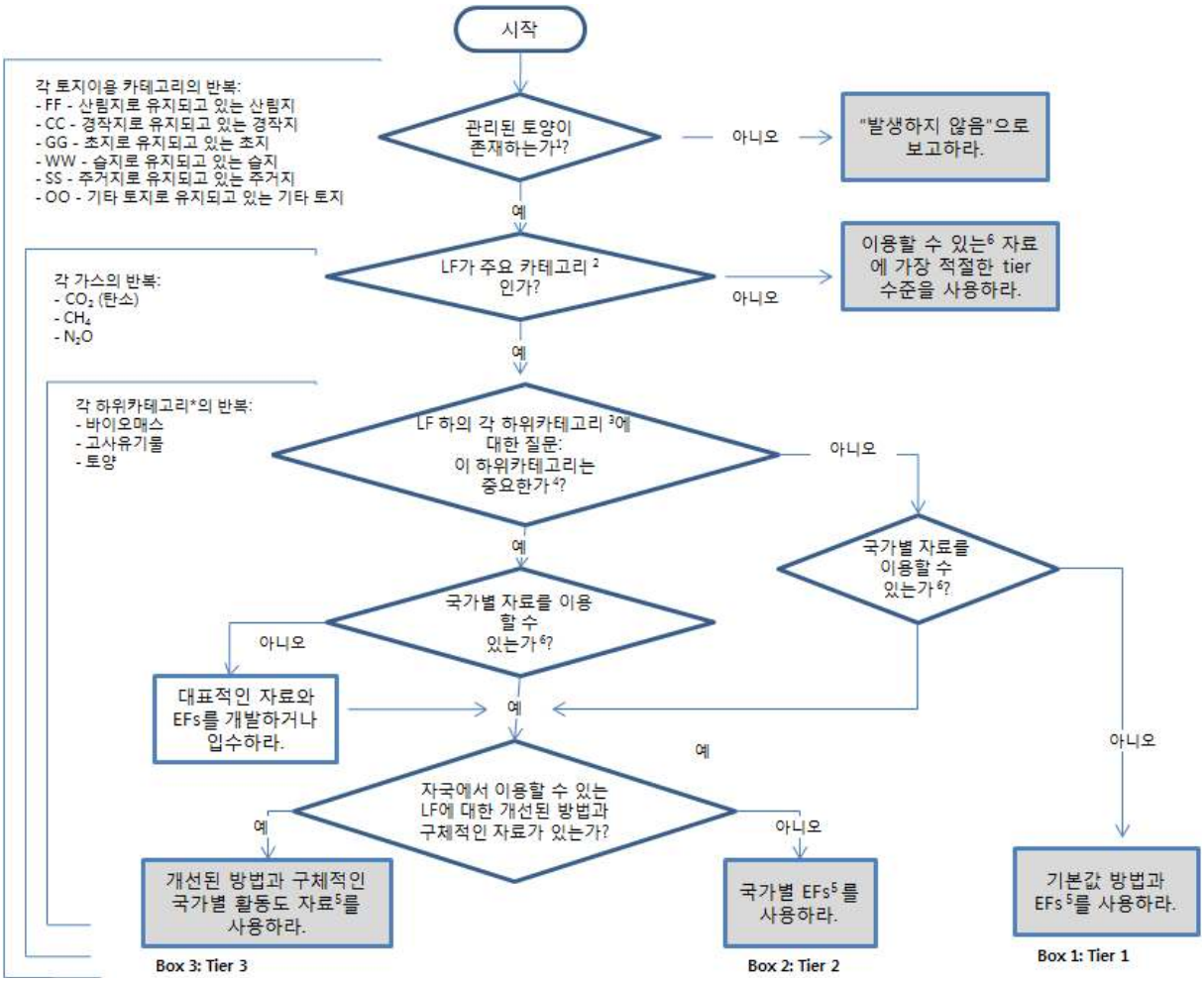
4: 해당 하위카테고리가 전체 카테고리에서 배출량/흡수량의 25~30%에 해당하는 경우에는, 하위 카테고리가 중요한 의미를 갖는다.

5: Tier 수준의 정의에 대해서는 Box 1.1을 참고하시오.

6: 자료의 이용가능성은 개발도상국의 국가별 배출계수에 필요한 자료와 토지 이용 및 관리 실제(활동도 자료)에 대한 자료 둘 다에 관련된 것이다.

* 해당 국가에서 수확된 목제품(HWP)을 분리된 저장고로 보고한다면, HWP는 하위카테고리로 다루어져야 한다.

그림 1.3 임지로 전환된 토지를 이용하여, 다른 토지이용 카테고리로 전환된 토지에 대해 적절한 tier 수준으로 구체화하기 위한 의사결정도의 예



유의 사항:

1: 출발점으로서 20년 동안의 자료를 사용하는 것은 IPCC 가이드라인에 있는 기본값과 일관성을 가진다. 각 국가에서는 국가 환경에 적합한 다른 기간을 자료를 사용할 수도 있다(제2장).

2: 의사결정도의 사용과 주 카테고리에 논의에 대해서는, 제1권 제4장, "주 카테고리의 방법론적 선택과 구체화"를 보시오(제한된 배출원에 대한 4.1.2절을 참고할 것).

3: 하위카테고리의 특성화에 대한 표1.2를 참고하시오.

4: 해당 하위카테고리가 전체 카테고리에서 배출량/흡수량의 25~30%에 해당하는 경우에는, 하위 카테고리가 중요한 의미를 갖는다.

5: Tier 수준의 정의에 대해서는 Box 1.1을 참고하시오.

6: 자료의 이용가능성은 개발도상국의 국가별 배출계수에 필요한 자료와 토지 이용 및 관리 실제(활동도 자료)에 대한 자료 둘 다에 관련된 것이다.

* 해당 국가에서 수확된 목제품(HWP)을 분리된 저장고로 보고한다면, HWP는 하위카테고리로 다루어져야 한다.

1.3.4 인벤토리 산정 준비 단계

다음의 단계는 AFOLU 부문에서 온실가스 인벤토리의 편집을 설명한다.

1. 모든 토지를 관리되고 관리되지 않은 토지로 나누어라(제3장).

2. 모든 6가지 토지이용 카테고리(임지, 농경지, 초지, 습지, 주거지, 기타 토지)에 적용할 수 있는 국가 토지 분류 시스템을 개발하라. 그리고 제3장에 제시된 바처럼, 해당 국가에 적절한 기후, 토양 유형, 생태 지역에 따라 하위 분류하라.

3. 가능하다면, 각 토지이용 카테고리 내에서(카테고리에 의해) 토지면적, 토지면적의 변화를 토대로 자료를 수집하라. 가능하다면, 각 토지이용 카테고리에 대해(카테고리에 의해) 정의하는 특정 관리 시스템에 따라 토지면적을 분류하라. - 이 분류는 특정한 산정 접근법에서 요구하는, 배출계수와 축적량 변화 계수를 할당하는 데 필요한 기본 자료를 제공한다(제3장 참고).

4. 가축, 비료 관리 시스템, 토양 질소 관리, 석회 시용과 요소 적용에 대한 국가 수준의 통계를 수집하라(만약 토지이용 특정 활동도 자료를 토양 비옥화와 석회 시용에 대해 이용할 수 있다면, 이러한 배출 카테고리는 2단계와 같이 계층화할 수 있다.

5. 주 카테고리 분석을 바탕으로, 적절한 Tier 수준에서 CO_2 배출량과 흡수량, non-CO_2 배출량을 산정하라. 예비 인벤토리는 Tier 1과 Tier 2 접근법을 이용할 수 있을 것이다. 그러나 해당 방법이 이전부터 개발되어 왔고 참고할 만한 활동도와 투입 자료가 수집되어 왔다면, Tier 3 접근법을 가지고 진행하는 것이 더 좋다.

6. 주 카테고리 분석(주 카테고리의 구체화 방법에 대한 제1권 제4장 참고)에 근거하여 더 높은 수준의 Tier를 사용하도록 권고되는 경우에는, CO_2 배출량과 흡수량, non-CO_2 배출량을 재산정하라.

7. 이 권의 제2장에서 12장까지 제시된 추가적인 지침에 따라 제1권 제6장에 제시된 방법을 사용하여, 불확도를 산정하고(제1권 제3장 참고) QA/QC 과정(1단계에서 시작된)을 완성하라.

8. 가축, 비료, 질소 관리로 인한 배출량, 토지이용과 층(stratum)을 사용하여, 각 배출원(source) 카테고리의 인벤토리 기간에 걸친 CO_2 배출량과 흡수량, non-CO_2 배출량을 합산하라(만약 각 토지이용 카테고리에 대해 개별적으로 분석하지 않는다면).

9. 탄소 축적량 변화가 CO_2의 배출량이나 흡수량으로 변화되고, 가능한 경우 토지이용 카테고리에 따라 non-CO_2 온실가스 배출량이 투입될 때, 요약 정보를 보고용 표로 바꾸어라. AFOLU 부문에서 총 배출량과 흡수량을 산정하기 위해 국가 총 자료(예: 가축, 비료 관리, 토양 관리/개선)에 근거한 배출 산정값을 결합하라(제1권 제8장 <지침서 및 표 보고서 작성> 참고).

10. 각 배출원 카테고리에 대한 결과, 활동도, 기타 투입 자료, 배출계수, 자료의 배출원, 상위 자료 문서화, 방법 기술, 모델 소프트웨어나 코드, QA/QC 절차와 보고서를 포함하여, 인벤토리

를 생산하는 데 사용된 모든 정보에 대해 문서화하고 파일을 수합하라.

11. 현재의 인벤토리의 완성도, 불확도, QA/QC 동안에 일어난 문제에 근거하여, AFOLU 부문에서 미래의 인벤토리에 대한 우선순위를 정하라. 미래의 우선순위에 관련된 결정에 도움을 주는 새로 개정된 인벤토리에 근거하여, 주 카테고리 분석 방법을 개선하라.

1.4 *2006 IPCC 가이드라인* 제4권의 구성

제4권의 내용은 다음과 같이 활용되어야 한다.

- 제2장에서는 각 6개 토지이용 카테고리에 적용될 수 있는 탄소 저장고와 소각된 바이오매스에 대한 일반적인 방법, 즉 특정 토지이용에만 국한되지 않는 방법에 대해 기술한다. 이것은 생태계 탄소 축적량 변화, 화재와 소각된 바이오매스로 인한 CO_2와 non-CO_2 배출량의 산정값을 구성한다. 이에 수반되는 특정 토지이용과 관련된 장에서의 중복을 피하기 위해, 제2장에서는 Tier 선택을 위한 방법과 의사결정도의 선택에 대한 지침을 제공한다. Tier 1의 방정식은 일반적인 배출계수와 다른 변수에 대한 표에 따라 제시된다.

- 제3장은 일관성 있는 대표적인 토지 유형을 다룬다. 이 장에서는 특히 토지이용 카테고리의 분류에 대한 다양한 접근법이 분리의 수준에 따라 제시된다. 사용자들은 이러한 내용이 시스템의 대표성에 대한 일반적인 문제들을 이해하는 데 도움이 된다는 것을 알게 될 것이다. 이러한 대표성은 특정 토지이용별, 배출원(source) 카테고리별 산정 방법을 사용하기 위하여 이후에도 필요할 것이다. 제2장과 제3장을 검토한 후에, 사용자들은 특정 토지이용별, 배출원 카테고리별 문제들을 설명하기에 적절한 장을 살펴보아야 한다.

- 제4장부터 9장까지에서는 특정 토지이용 카테고리에 대한 정보를 제공한다. 이들 장에서는 제2장에서 기술된 일반적인 방법의 적용에 대한 정보를 담고 있으며, 어떠한 토지이용별 방법에 대해서도 충분히 활용할 수 있는 방법에 관해 설명하고 그 적용법을 제시한다.

  - 제4장에서는 임지로 인한 배출량과 흡수량의 산정에 대해 다룬다. 각 부문은 '*임지로 유지되는 임지(Forest Land Remaining Forest Land)*'와 '*임지로 전환된 토지(Land Converted to Forest Land)*'를 설명한다. 수확된 목제품은 제12장에서 개별적으로 서술된다.
  - 제5장에서는 농경지로 인한 배출량과 흡수량의 산정에 대해 다룬다. 각 부문에서는 '*농경지로 유지되는 농경지*'와 '*농경지로 전환된 토지*'를 설명한다. 농경지에서 수행되는 특수 경작인 쌀 농사로 인한 메탄 발생도 이 장에서 설명될 것이다.
  - 제6장에서는 초지로 인한 배출량과 흡수량의 산정에 대해 다룬다. 각 부문에서는 '*초지로 유지되는 초지*'와 '*초지로 전환된 토지*'에 대해 설명한다.
  - 제7장에서는 자연적 이탄지대나 침수지에서의 이탄 추출을 포함하여, 습지로 인한 배출량과 흡수량의 산정에 대해 다룬다. CO_2와 CH_4의 배출량 산정을 위한 습지고유의 방법은, 미래의 방법론적인 개발을 근거로 한 부록에서 제시된다.
  - 제8장에서는 주거지로 인한 배출량과 흡수량의 산정에 대해 다룬다. 각 부문에서는 '*주거지*

로 유지되는 주거지'와 '*주거지로 전환된 토지*'에 대해 설명한다.

◦ 제9장에서는 '기타 토지'에 대해 다룬다. 기타 토지에는 제4장에서 8장까지에서 다루고 있는 다른 5개의 토지이용 카테고리에 포함되지 않은 모든 토지 유형과, 노출 토양, 바위, 얼음으로 덮인 지역을 포함한다. 관리되지 않은 토지에 대해서는 온실가스 배출량과 흡수량이 보고되지 않았으므로, 이 장에서의 방법과 지침은 '*기타 토지로 전환된 토지*'에만 적용된다. 예를 들면, 산림, 농경지, 초지가 용도를 목적으로 더 이상 관리되지 않는 불모지로 쇠락하는 경우를 말한다.

- 제10장에서는 내장기관의 발효로 인한 메탄 발생, 비료 관리로 인한 CH_4, N_2O(직접적이고 간접적인)의 배출을 비롯하여, 배출과 관련된 가축에 대한 지침을 제공한다.

- 제11장에서는 기본적으로 토양에 비료, 경작 잔류물, 비료, 석회, 요소를 적용하는 것과 연관된 관리된 토양으로부터의 배출 원인에 대한 지침을 제공한다. 특히, 방법과 지침은 관리된 토양으로부터의 N_2O 배출량과 석회 시용과 요소 적용으로 인한 CO_2 배출량을 산정하는 데 이용된다. 이들 배출원에 대한 활동도 자료는 대체로 개별 토지이용에 따라 나누어지지 않는다. 따라서 Tier 1 방법에서는 (국가의) 통합 자료에 근거한다.

- 제12장에서는 탄소 축적량 변화와 수확된 목제품으로 인한 배출량의 산정을 위한 방법론적 지침을 제공한다. 그리고 이 장은 주어진 인벤토리 산정에 대한 다양한 대안 접근법과 대하여 중립적이다.

그림 1.4는 제1권의 표8.2에 목록화된 카테고리(카테고리 코드를 포함하여)를 사용하여 보고한 AFOLU의 구조를 보여준다.

별첨 1은 Tier 1 방법과 적절한 배출량/축적량 변화 계수, 활동도 자료에 근거한 배출량 산정을 위해 사용될 수 있는 각 하위 카테고리에 대한 워크시트를 제공한다. 부문별, 국가별 수준에서의 온실가스 배출량/흡수량에 대한 보고용 표는 제1권 제8장 지침서에서 제시된다.

별첨 2는 인벤토리 편집자가 신속하게 참조할 수 있도록, AFOLU의 모든 방정식을 요약한 것이다.

표 1.2는 Tier 1 방법에서 각 토지이용 카테고리에서 non-CO_2 가스를 배출하는 어떠한 탄소 저장고과 활동도까지 처리되는지에 대한 요약 정보를 제공한다. AFOLU 권에서는 지침에 대해 논의하는 장이 있으며, *1996 IPCC 가이드라인을* 참조하였다.

그림 1.4 AFOLU 보고의 구조

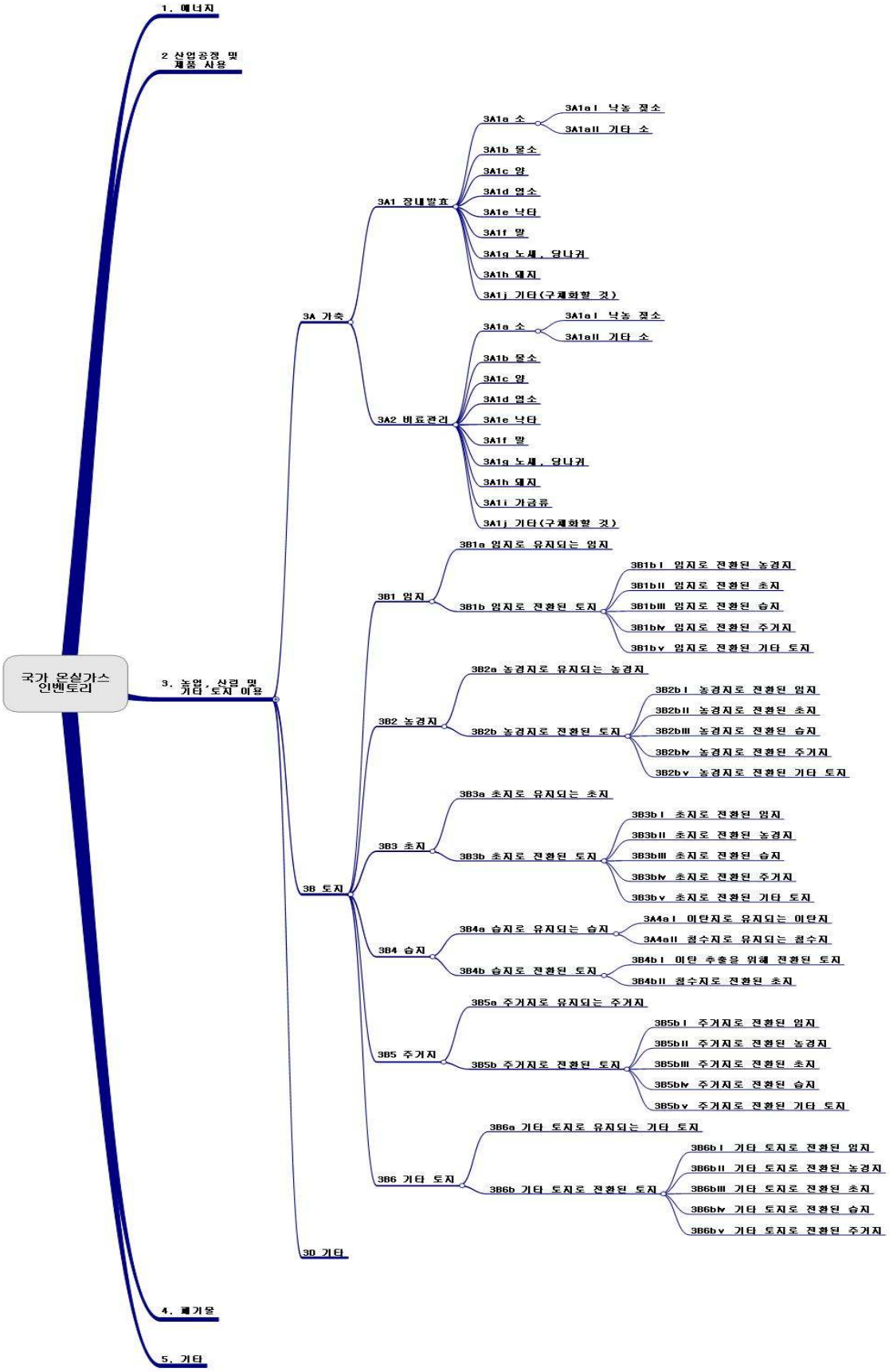


표 1.2
AFOLU 부문과의 관련성, *1996 IPCC 가이드라인*의 인용값, Tier 1 하에서 산정되는 토지이용 카테고리, 탄소 저장고, non-CO_2 가스

토지이용 카테고리/장	하위 카테고리	탄소 저장고와 non-CO_2 가스	방법 부문	제2장 방법	*1996 IPCC 가이드라인*의 연계	Tier 1 방법
임지 (제4장)	임지로 유지되는 임지(FF)	지상부 바이오매스	4.2.1	2.3.1.1	5A	⊕
		지하부 바이오매스	4.2.1	2.3.1.1	NE	⊕
		고사 유기물	4.2.2	2.3.2.1	NE	0
		토양 탄소	4.2.3	2.3.3.1	5D	⊕
		바이오매스 소각으로 인한 non-CO_2	4.2.4	2.4.1	NE	⊕
	임지로 전환된 토지	지상부 바이오매스	4.3.1	2.3.1.2	5A, 5C	⊕
		지하부 바이오매스	4.3.1	2.3.1.2	NE	⊕
		고사 유기물	4.3.2	2.3.2.2	NE	⊕
		토양 탄소	4.3.3	2.3.3.1	5D	⊕
		바이오매스 소각으로 인한 non-CO_2	4.3.4	2.4.1	4E, 4F	⊕
농경지 (제5장)	농경지로 유지되는 농경지(CC)	지상부 바이오매스	5.2.1	2.3.1.1	5A	⊕
		고사 유기물	5.2.2	2.3.2.1	NE	⊕
		토양 탄소	5.2.3	2.3.3.1	5D	⊕
		잔여 경작물 소각으로 인한 non-CO_2	5.2.4	2.4.1	4F	⊕
		쌀로 인한 메탄 배출량	5.5	-	4C	⊕
	농경지로 전환된 토지(LC)	지상부 바이오매스	5.3.1	2.3.1.2	5B	⊕
		고사 유기물	5.3.2	2.3.2.2	NE	⊕
		토양 탄소	5.3.3	2.3.3.1	5D	⊕
		바이오매스(잔여 경작물) 소각으로 인한 non-CO_2	5.3.4	2.4	4E, 5B	⊕

표 1.2 (계속)
AFOLU 부문과의 관련성, *1996 IPCC 가이드라인*의 인용값, Tier 1 하에서 산정되는 토지이용 카테고리, 탄소 저장고, non-CO_2 가스

토지이용 카테고리/장	하위 카테고리	탄소 저장고와 non-CO_2 가스	방법 부문	제2장 방법	*1996 IPCC 가이드라인*의 연계	Tier 1 방법
초지 (제6장)	초지로 유지되는 초지(GG)	지상부 바이오매스	6.2.1	2.3.1.1	5A	0
		고사 유기물	6.2.2	2.3.2.1	NE	0
		토양 탄소	6.2.3	2.3.3.1	5D	⊕
		바이오매스 소각으로 인한 non-CO_2	6.2.4	2.4	4E	⊕
	초지로 전환된 토지(LG)	지상부 바이오매스	6.3.1	2.3.1.2	5B	⊕
		고사 유기물	6.3.2	2.3.2.2	NE	⊕
		토양 탄소	6.3.3	2.3.3.1	5D	⊕
		바이오매스 소각으로 인한 non-CO_2	6.3.4	2.4	4F, 5B	⊕
습지 (제7장)	이탄지로 유지되는 이탄지	CO_2 배출	7.2.1.1	-	NE	⊕
		non-CO_2 배출	7.2.1.2	-	NE	⊕
	이탄 추출을 위해 전환된 토지	CO_2 배출	7.2.2.1	-	NE	NA
		non-CO_2 배출	7.2.2.2	-	NE	⊕
	침수지로 유지되는 침수지	CO_2 배출	NG	-	NE	⊕
		non-CO_2 배출	부록3	-		⊕
	침수지로 전환된 토지	CO_2 배출	7.3.2 부록2	-	NE	⊕
		non-CO_2 배출	부록3	-		⊕
주거지 (제8장)	주거지로 유지되는 주거지(SS)	지상부 바이오매스	8.2.1	2.3.1.1	5A	⊕
		고사 유기물	8.2.2	2.3.2.1	NE	⊕
		토양 탄소	8.2.3	2.3.3.1	NE	⊕[1]
	주거지로 전환된 토지(LS)	지상부 바이오매스	8.3.1	2.3.1.2	5B	⊕
		고사 유기물	8.3.2	2.3.2.2	NE	⊕
		토양 탄소	8.3.3	2.3.3.1	NE	⊕
기타토지 (제9장)	기타 토지로 전환된 토지(LO)	지상부 바이오매스	9.3.1	2.3.1.2	5B	⊕
		고사 유기물	9.3.2	2.3.2.2	NE	NA
		토양 탄소	9.3.3	2.3.3.1	NE	⊕

표 1.2 (계속)
AFOLU 부문과의 관련성, *1996 IPCC 가이드라인*의 인용값, Tier 1 하에서 산정되는 토지이용 카테고리, 탄소 저장고, non-CO_2 가스

토지이용 카테고리/장	하위 카테고리	탄소 저장고와 non-CO_2 가스	방법 부문	제2장 방법	*1996 IPCC 가이드라인*의 연계	Tier 1 방법
가축 (제10장)	장내 발효	CH_4 배출	10.3	-	4A	⊕
	비료 관리	CH_4 배출	10.4	-	4B	⊕
		N_2O 배출	10.5	-	4B	⊕
관리된 토양 (제11장)	토양 관리	N_2O 배출	11.2	-	4D	⊕
	석회시용	CO_2 배출	11.3	-	-	⊕
	요소 비료시용	CO_2 배출	11.4	-	NE	⊕
수확된 목제품 (제12장)	목제품	탄소 축적량 변화	제12장	-	NE	⊕[2]

초지 변화; 관리되는 토지의 5C 유기; 토양으로 인한 5D 배출 및 제거, 5E 기타(보고되는 설명서 p. 1.14 - 1.16)

NE: *1996 IPCC 가이드라인*의 기본값 방법 하에서 산정되지 않은
NG - 가이드라인에 제공되는 지침이 없는 경우

"Tier 1 방법" 열의 유의사항:
⊕ - Tier 1 방법과 기본값 계수는 가이드라인에서 이용할 수 있다.
0 = Tier 1 (기본값)은 배출량이 0이거나 평형상태를 가정한다; 가이드라인에서는 어떠한 방법이나 매개변수도 제공하지 않는다.
1 = Tier 1과 기본값 매개변수는 유기 토양에 한해서만 이용할 수 있다.
2 = AFOLU의 HWP 기여값을 계산하는 데 사용되는 HWP 변수를 산정하기 위하여 이용할 수 있는 Tier 1 방법
NA 적용 불가능한

첨부 1A AFOLU 부문에 대한 IPCC 온실가스 인벤토리 지침의 역사적 배경

1A. 1996 IPCC 가이드라인

*2006 IPCC 가이드라인*의 제4권에서 함께 다루어진 배출과 흡수 카테고리는, 이전 *1996 IPCC 가이드라인*에서는 제4장(농업)과 제5장(토지이용 변화와 산림, LULF)의 다른 장으로 분리되어 있었다 (IPCC, 1997). LULF의 방법론에 대한 근본적인 기초는 2가지 연관된 주제에 따른다. i) 대기로 유출되거나 대기로부터 유입된 CO_2의 흐름은 육지 탄소 축적량과 생산 저장고에의 변화량과 같을 수 있다. ii) 탄소 축적에서의 변화는 다양한 시점에서 토지이용과 관리의 결정 방식(예: 벌목, 소각, 경작, 방목 등)에 따라 달리 산정될 수 있다. 탄소 축적량과 주어진 토지이용 및 관리 시스템에 대한 생물학적 반응에 미치는 영향과 관련해서는 단순한 가정이 적용된다. 반대로 농업 문제를 다루는 장에서는 다른 배출원 카테고리로부터의 직접적인 흐름을 산정하는 것만을 다루고, 따라서 축적량 변화 개념을 결합시키지 않았다.

농업(*1996 IPCC 가이드라인*의 제4장)

*1996 IPCC 가이드라인*는 관리된 농업 시스템과 관련된 활동도에 중점을 두었고, 이 활동도는 한 국가 내 배출량에서 더욱 규모가 커질 가능성이 있는 배출원이다.

• **가축의 내장 기관의 발효로 인한 CH_4 배출량.** 메탄은 내장기관에서 이루어지는 발효 작용의 부산물로써 발생된다. 여기에는 반추 동물(예: 소, 양)이 주요 배출원이지만, 일부 반추 동물이 아닌 동물(예: 돼지, 말)도 CH_4을 배출한다.

• **비료 관리로 인한 CH_4와 N_2O 배출량.** N_2O가 호기성 조건에서 발생되거나, 호기성/혐기성 조건 하에서 혼합되는 반면, 메탄은 혐기성 조건 하에서 비료의 분해로부터 발생된다. 그러므로 각 가스의 배출량은 비료와 저장 시스템의 유형에 따라 달라진다.

• **쌀 농사로 인한 CH_4 배출량.** 침수 논에서의 유기 물질의 혐기성 분해는 메탄을 발생시킨다. 그리고 그 메탄은 기본적으로 기포를 통해, 벼를 통한 운반에 의해(by transport through the rice plants) 대기 중으로 배출된다. 배출된 CH_4의 양은 쌀의 종류, 수확물의 수와 지속성, 토양 유형, 기온, 관개 방법, 비료 사용 간의 함수이다.

• **사바나(혹은 다른 유형의 초지)와 잔류 농작물에 대한 지시된 소각으로 인한 CH_4, N_2O, CO, NO_X 배출량.** 사바나와 잔류 농작물을 소각하는 것은 초목이 소각 주기 사이에서 재성장하기 때문에, 대기 중에 순수 CO_2 배출을 발생시키지 않는다. 그러나 소각은 온실가스의 직접적이거나 간적접인 원인인 다른 가스, CH_4, N_2O, CO, NO_X와 같은 가스를 배출한다.

• **토양으로부터의 N_2O 배출량.** 토양 내의 미생물 과정으로 통해 생산되었기 때문에, 배출량은 대체로 (1) 합성 비료, (2) 동물 폐기물, (3) 생물학적인 응고, (4) 잔류 농작물, (5) 하수도 슬러지나 기타 유기 질소 추가물로 인해 토양에 추가된 질소 양의 함수이다. 이들은 질소가 적용되는 곳에

서 '직접적으로' 배출될 수 있거나, NO_3로 유출되거나 NH_3와 NO_X로 휘발되거나 다른 지역에 다시 퇴적된 질소로 인해 '간접적으로' 배출될 수 있다.

LUCF(*1996 IPCC 가이드라인*의 제5장)

토지이용 변화와 산림(LUCF)에 대한 인벤토리 방법은 4개의 광의 카테고리를 포함하여, CO_2의 배출과 흡수를 유발하는 가장 중요한 토지이용 및 관리 방법의 변화에 중점을 두고 있다.

• **산림과 기타 목재의 바이오매스 축적량의 변화**. 인간이 산림과 목제품과의 상호작용에 미치는 효과는 한 가지 광의의 카테고리로 간주된다. 그것은 도시, 마을, 기타 비임지역에서의 나무 재배, 상업적 관리, 산업적 통나무와 땔나무의 수확, 목재 편의시설의 생산과 사용, 산림 식물의 확립과 운용을 포함한다.

• **산림과 초지 변화.** 산림과 초지를 농장, 농경지, 기타 관리된 토지이용으로 변화하는 것은 바이오매스와 토양 내의 탄소 저장량을 상당히 감소시킬 수 있다. 산림 벌채는 이러한 유형으로 변화한 예이다.

• **관리된 토지(농경지, 농장, 재배 농장 산림, 기타 관리된 토지)의 포기.** 포기된 토지는 대체로 특히 그 조건이 자연적 초지나 산림에서 발견되는 조건과 근접한다면, 시간이 흐르면서 바이오매스와 토양에 탄소를 축적한다.

• **토양으로부터의 CO_2 발생과 제거.** 관리 방법의 변화는 특히 (자연) 보호를 실천하거나 농작물과 마초의 생산을 증가시키는 것을 통해, 토양으로부터의 CO_2 배출량과 흡수량을 변화시킬 수 있다.

*1996 IPCC 가이드라인*에서는 지면 아래의 바이오매스, 자연 재해(화재를 포함), 변경된 재배방식, 홍수, 습지의 배수와 같은 다른 가능한 카테고리에 대한 일반적인 문제와 방법론적인 접근법을 간략하게 기술하였다. 이 방법에서는 산림정리(forest clearing)로 인한 바이오매스의 노천 소각으로부터의 non-CO_2 흔적(trace) 가스(CH_4, CO, N_2O, NO_X)의 배출을 설명한다.

1A. 2 국가 온실가스 인벤토리에 대한 우수실행지침 및 불확도 관리 (*GPG2000*)

GPG 2000(IPCC, 2000)은 인벤토리 투명성, 문서화, 시간에 따른 일관성, 완전성, 비교가능성을 향상시키기 위해서 1*966 IPCC 가이드라인*에 보충적인 정보를 제공하였다. 또한 GPG 2000은 불확도를 설명하고 질 통제 및 질 보증을 보완하는 방법을 제공했다. 농업 부문의 지침에서는 1996 IPCC 가이드라인에 포함된 모든 배출 원인(source)에 대해 서술하였다(위의 내용 참고).

GPG2000은 우선순위에 있어서 우위를 할당해야 하는 주요 배출원을 구체화하기 위한 방법을 소개하였다. 이 배출원은 예측할 수 없을 정도로 높거나 낮은 산정값의 경우처럼, 배출량, 불확도, 질적 계수에서의 완전한 수준이나 경향에 상당한 영향을 미친다. 이 방법의 목표는 보다 상세한 (더 높은 수준의 Tier) 산정 방법을 사용하는 데 도움을 줄 수 있는 배출원을 구체화함으로써, 자

원의 효과적인 사용 측면과 국가 인벤토리를 개발하는 방법에 기반한 실제적인 지침을 제공하는 것이다.

1A.3 토지이용, 토지이용변화 및 산림에 대한 우수실행지침 (*GPG-LULUCF*)

GPG-LULUCF(IPCC, 2003)에서는 *1996 IPCC 가이드라인*을 면밀히 검토하였다. 그것은 방법론을 조직할 때 토지이용 카테고리에 근거한 접근법을 적용하고, 임지, 농경지, 초지, 습지, 주거지, 기타 토지를 포함하여 '토지이용, 토지이용 변화 및 산림'(*LULUCF*) 부문에서의 배출 및 흡수량과 연관된 *우수실행(good practice)*을 조직하기 위해서였다. 각 토지 카테고리는 동일한 카테고리 내의 잔여 토지(예: 임지로 유지되는 임지(Forest Land Remainig Forest Land)나 다른 토지 카테고리로 전환된 토지(예: 임지로 전환된 초지)와 같은 보다 하위 범주로 분류되었다. 수확된 목제품(HWP)과 연관된 탄소 축적량 변화를 산정하는 방법은 별첨으로 포함되었는데, 이는 미해결 문제와 국가 인벤토리 내의 HWP을 포함하는 진행 중인 협상을 반영하고 있다. *GPG2000*를 활용하여, *GPG-LULUCF*에서는 주요 배출원(source) 카테고리의 개념과 서술 방법에 대한 위계적인 Tier 접근법을 적용하였다. 그리고 *GPG-LULUCF*에서는 *GPG2000*과 유사하게 질 보증/질 통제(QA/QC), 결측 자료의 재구성, 시계열 일관성, 시료 채취 기술, 불확도의 정량화와 결합, 증명을 토대로 한 지침을 포함하였다.

참고문헌

IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC),IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds).Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.

제2장

다양한 형태의 토지이용카테고리에 적용 가능한 일반적 방법론

저자

Harald Aalde (노르웨이), Patrick Gonzalez (미국), Michael Gytarsky (러시아), Thelma Krug (브라질), Werner A. Kurz (캐나다), Rodel D. Lasco (필리핀), Daniel L. Martino (우루과이), Brian G. McConkey (캐나다), Stephen Ogle (미국), Keith Paustian (미국), John Raison (호주), N.H. Ravindranath (인도), Dieter S (FAO) Pete Smith (영국), Zoltan Somogyi (유럽연합위원회/헝가리), Andre van Amstel (네덜란드), and Louis Verchot (ICRAF/미국)

목 차

2 다양한 형태의 토지이용카테고리에 적용가능한 일반적 방법론.....2.7
2.1 서론.....2.7
2.2 인벤토리 구조.....2.7
2.2.1 탄소 축적량의 변화 산정.....2.8
2.2.2 non-CO_2 배출량 산정.....2.13
2.2.3 탄소 축적량의 변화를 이산화탄소 배출량으로 전환.....2.14
2.3 CO_2 배출량과 흡수량에 대한 일반적인 방법들.....2.14
2.3.1 바이오매스 탄소 축적량의 변화 (지상부바이오매스와 지하부바이오매스).....2.15
2.3.1.1 토지이용카테고리로 유지되는 토지.....2.15
2.3.1.2 새로운 토지이용카테고리로 전환된 토지.....2.25
2.3.2 고사 유기물의 탄소 축적량의 변화.....2.27
2.3.2.1 토지이용카테고리로 유지되는 토지.....2.27
2.3.2.2 새로운 토지이용카테고리로의 토지전환.....2.34
2.3.3 토양에서 탄소 축적량의 변화.....2.37
2.3.3.1 토지이용카테고리로 유지되는 토지와 새로운 토지용도로 전환된 토지.....2.38
2.4 non-CO_2 배출량.....2.53
2.5 Tier 3 방법에 대한 추가적인 일반적 지침.....2.63
2.5.1 측정에 기초한 Tier 3 인벤토리.....2.63
2.5.2 모델에 기초한 Tier 3 인벤토리.....2.65
참고문헌.....2.69

식

식 2.1 토지이용 전 카테고리에 대한 변화의 합으로 산정되는 전체 AFOLU 부분에 대한 연간 탄소 축적량의 변화.....2.8

식 2.2 토지이용카테고리 내의 각 지층의 변화의 합으로 산정되는 연간 탄소 축적량의 변화 2.8

식 2.3 모든 저장고의 변화의 합으로 산정되는 토지이용카테고리내의 지층에 대한 연간 탄소 축적량의 변화.....2.9

식 2.4 제시된 저장고 내에서 탄소의 증가와 감소에 따른 연간 탄소 축적량의 변화 산정 (획득-손실 방법).....2.12

식 2.5 두 시점에서 산정량의 연평균 차이에 따른 제시된 저장고 내에서 탄소 축적량의 변화 산정 (비축차 방법).....2.12

식 2.6 non-CO_2의 대기 배출량 산정.....2.13

식 2.7 특정한 토지이용카테고리로 유지되는 토지에서 바이오매스의 연간 탄소 축적량의 변화 (획득-손실방법).....2.15

식 2.8 동일한 토지이용카테고리로 유지되는 토지에서 바이오매스의 연간 탄소 축적량의 변화 (비축차 방법).....2.16

식 2.9 동일한 토지이용카테고리로 유지되는 토지에서 바이오매스 증가에 따른 연간 탄소 축적량의 증가.....2.19

식 2.10 바이오매스의 연평균 증가.....2.19

식 2.11 동일한 토지이용카테고리에 남아있는 토지에서 바이오매스의 손실에 따른 연간 탄소 축적량의 감소량.....2.21

식 2.12 산림벌채에 따른 바이오매스의 연간 탄소 손실량.....2.21

식 2.13 연료재 수집에 따른 바이오매스의 연간 탄소 손실량.....2.22

식 2.14 교란에 따른 바이오매스의 연간 탄소 손실량.....2.23

식 2.15 토지이용카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 연간 탄소 축적량의 변화 (Tier 2) 2.26

식 2.16 토지이용카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 탄소 축적량의 초기 변화.....2.26
식 2.17 고사 유기물의 연간 탄소 축적량의 변화.....2.28
식 2.18 고사목이나 낙엽층의 연간 탄소 축적량의 변화 (획득-손실방법).....2.30
식 2.19 고사목이나 낙엽의 연간 탄소 축적량의 변화 (비축차 방법).....2.30
식 2.20 고사 유기물로 전환되는 바이오매스의 연간 탄소 축적량의 변화.....2.31
식 2.21 입목손실에 따른 바이오매스의 연간 탄소 손실량.....2.32
식 2.22 잔가지로 전환되는 연간 탄소량.....2.33
식 2.23 토지전환에 따른 고사목과 낙엽층의 연간 탄소 축적량의 변화.....2.34
식 2.24 토양의 연간 탄소 축적량의 변화.....2.38
식 2.25 무기토양에서 연간 유기탄소 축적량의 변화.....2.39
식 2.26 배수된 유기토양으로부터의 연간 탄소 손실량 (CO_2).....2.46
식 2.27 산불에 의한 온실가스 배출량 산정.....2.55

그 림

그림 2.1 시스템으로 유입되고 유출되는 탄소의 흐름과 시스템 내에서의 탄소 저장고의 흐름을 보여주는 AFOLU 생태계의 일반화된 탄소 순환도.....2.10
그림 2.2 토지이용카테고리에서 바이오매스의 탄소 축적량의 변화를 산정하는데 적절한 Tier를 결정하기 위한 일반적인 의사결정도.....2.18
그림 2.3 토지이용카테고리에서 고사 유기물의 탄소 축적량의 변화를 산정하는데 적절한 Tier를 결정하기 위한 일반적인 의사결정도.....2.29
그림 2.4 토지이용카테고리에서 무기토양의 탄소 축적량의 변화를 산정하는데 적절한 Tier를 결정하기 위한 일반적인 의사결정도.....2.42
그림 2.5 토지이용카테고리에서 유기토양의 탄소 축적량의 변화를 산정하는데 적절한 Tier를 결정하기 위한 일반적인 의사결정도.....2.43
그림 2.6 토지이용카테고리로부터 온실가스 배출량을 산정하는데 적절한 Tier를 결정하기 위한 일반적인 의사결정도.....2.57
그림 2.7 Tier 3의 모델에 기초한 인벤토리 산정 시스템을 개발하기 위한 단계.....2.66

표

표 2.1 교란이 탄소 저장고에 미치는 영향에 대한 간단한 모형 (Tier 2)의 예.....2.24
표 2.2 낙엽층과 고사목의 탄소 축적량에 대한 Tier 1의 기준치.....2.36
표 2.3 무기토양에 대한 토양 유기탄소 축적량 (SOC_{REF}) 기본 인용값 (천연 식생 하의) 2.41
표 2.4 산불로 인한 식생 유형별 연료 (고사 유기물과 살아있는 바이오매스) 바이오매스 소모값 2.58
표 2.5 식생 유형별 연소에 대한 배출계수.....2.60
표 2.6 식생 유형별 산불에 대한 연소 계수 (화재 전의 연료와 바이오매스 소모 비율).....2.61

박 스

박스 2.1 접근법 1, 2, 3의 활동자료 수집방식에 따른 식 2.25의 유도법과 변환모형.....2.44
박스 2.2 접근법 1의 전체 통계 적용과 변환모형에 대한 접근법 2, 3의 활동자료 비교.....2.46

2 다양한 형태의 토지이용카테고리에 적용 가능한 일반적 방법론

2.1 서론

농업, 임업 및 기타 토지이용 (AFOLU)에서 배출되거나 흡수되는 온실가스의 양을 산정하기 위한 방법은 크게 두 가지로 구분될 수 있다: 1) 어떤 유형의 토지이용에 대해서도 유사하게 적용될 수 있는 방법 (예를 들면, 임지, 농경지, 초지, 습지, 주거지, 기타 토지 등에 적용될 수 있는 일반적인 방법들). 2) 단일 유형의 토지이용에만 적용될 수 있거나, 어떤 특정 용도가 아닌 국가적 수준에서의 자료통합에 적용될 수 있는 방법. 제2장에서는 (1) 생태계의 탄소(C) 축적량의 변화와 (2) 산불(fire)에 의한 non-CO_2 플럭스를 산정하기 위한 부문별 일반적 방법론을 제공한다. 이 방법론은 서로 다른 6가지 유형의 토지이용에 대해서도 적용될 수 있으며, 다음과 같은 내용을 포함하고 있다.

- 특정 용도의 토지이용 카테고리에 적용될 수 있는 구조
- 탄소(C)축적량의 변화와 non-CO_2 배출량을 산정하는데 적용되는 Tier 1 방법에 대한 기본값과 수식을 포함하는 방법의 선택
- Tier 방법의 사용에 대한 일반적 가이드라인
- IPCC 배출계수 데이터베이스 (Emission Factor Data Base; EFDB)의 사용
- 불확도 산정

토지이용과 토지전용 카테고리에 대한 배출계수의 선택과 활동자료의 수집, 불확도 평가를 포함하는 세부사항과 지침은 특정한 토지이용 단원 (제4장~제9장 참조)에 제시되어 있다. 특정한 토지이용에 대한 인벤토리 계산방법의 지침은 다음 장에서 언급하고 있다.

2.2 인벤토리 구조

본 장에서는 바이오매스와 고사 유기물 그리고 토양으로부터 변화되는 이산화탄소(CO_2) 배출량과 흡수량 관련)과 연소에 의한 non-CO_2 온실가스 배출량을 산정하기 위한 체계적인 접근방법을 제시하고 있다. 토지이용과 지형 수준을 나타내는 일반적인 수식은 토지이용카테고리에 있어서 특정한 저장고 내의 탄소(C) 축적량의 변화에 대해 자세히 표현한 수식을 이용하여 다음과 같이 간단히 묘사하고 있다. 그런 다음 non-CO_2 배출량을 산정하는데 필요한 원리들과 수식들이 주어진다. 카테고리와 저장고 내에서 발생되는 과정에 따른 배출량과 흡수량을 산정하기 위한 구체적이고 적용 가능하며, 워크시트 계산에 바로 사용할 수 있는 수식은 2.3과 2.4절에 제시되어 있다.

2.2.1 탄소 축적량의 변화 산정

AFOLU 부문에서 이산화탄소(CO_2) 배출량과 흡수량은 생태계 내의 탄소(C) 축적량의 변화에 기초하여 각각의 토지이용카테고리 (다른 용도로 전환된 토지와 본래대로 남아있는 토지 포함)에 대해 산정된다. 다음의 식 2.1은 탄소(C) 축적량의 변화를 나타낸 것이다.

식 2.1
토지이용 전 카테고리에 대한 변화의 합으로 산정되는 전체 AFOLU 부분에 대한 연간 탄소 축적량의 변화

$$\triangle C_{AFOLU} = \triangle C_{FL} + \triangle C_{CL} + \triangle C_{GL} + \triangle C_{WL} + \triangle C_{SL} + \triangle C_{OL}$$

여기서:

△C = 탄소(C) 축적량의 변화

AFOLU : 농업, 임업 및 기타 토지이용

FL = 임지

CL = 농경지

GL = 초지

WL = 습지

SL = 주거지

OL = 기타 토지

각각의 토지이용 카테고리에서 탄소(C) 축적량의 변화는 선택된 카테고리 (식 2.2) 내의 모든 지층이나 토지면적의 세분화 (예를 들면, 기후대, 생태유형, 토양특성, 관리방식 등. 제3장 참조)를 통해 산정된다. 지층 내의 탄소(C) 축적량의 변화는 제1장의 표 1.1에서 정의된 5개의 탄소(C) 저장고 사이에서 이루어지는 탄소(C) 순환과정을 고려하여 산정 될 수 있다. 탄소(C) 순환의 일반화된 순서도 (그림 2.1)는 5개의 저장고과 함께 시스템에서의 유출과 유입을 포함하는 흐름뿐만 아니라 저장고 사이에서의 이동 가능성도 보여주고 있다. 지층 내에서 탄소(C) 축적량의 변화는 수식 2.3에서와 같이 모든 저장고 내에서의 변화량을 합산해 산정할 수 있다. 그리고 토양 내에서의 탄소(C) 축적량의 변화는 무기토양 내의 탄소(C) 축적량의 변화와 유기토양으로부터의 배출량에 따라 분산될 수 있다. 또한 수확된 목제품 (harvested wood products; HWP) 역시 부가적인 저장고로서 포함될 수 있다.

식 2.2
토지이용카테고리 내의 각 지층의 변화의 합으로 산정되는 연간 탄소 축적량의 변화

$$\Delta C_{LU} = \sum_{l} \Delta C_{LU_l}$$

여기서:

$\triangle C_{LU}$ = 식 2.1에서 정의된 토지이용카테고리에서 탄소(C) 축적량의 변화

i = 토지이용 카테고리에서 특정 지층이나 토지 세분화(어떤 생물 종이나 기후지대, 생태유형, 관리방식 등에 의한, 제3장 참조)를 의미, i = 1 ~ n.

식 2.3
모든 저장고의 변화의 합으로 산정되는
토지이용카테고리내의 지층에 대한 연간 탄소 축적량의 변화

$$\triangle C_{LUi} = \triangle C_{AB} + \triangle C_{BB} + \triangle C_{DW} + \triangle C_{LI} + \triangle C_{SO} + \triangle C_{HWP}$$

여기서:

$\triangle C_{LUI}$ = 토지이용카테고리내의 지층에 대한 탄소(C) 축적량의 변화

AB = 지상부의 바이오매스

BB = 지하부의 바이오매스

DW = 고사목

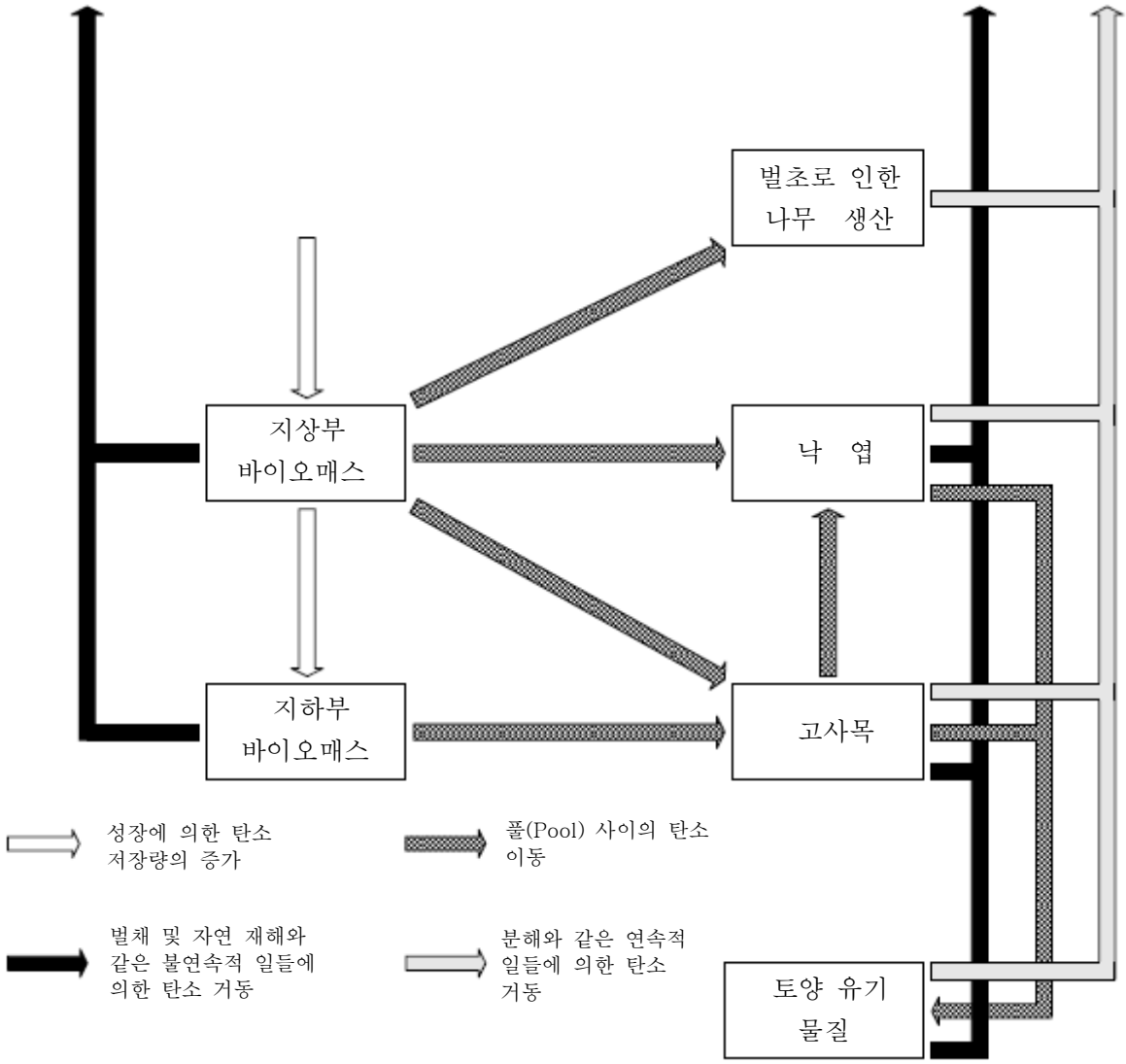
LI = 낙엽층

SO = 토양

HWP = 수확된 목제품

탄소(C) 저장고과 그 흐름에 대한 변화의 산정은 관련 자료와 모델의 이용가능성 뿐 아니라 부가적인 정보를 수집하고 분석할 수 있는 방법과 능력에 달려있다 (제1장 1.3.3절의 주 카테고리의 분석부문 참조). 제1장의 표 1.1은 어떤 저장고들이 Tier 1에 대한 각각의 토지이용카테고리에 관련이 있는지 나타내고 있다. 국가별 상황을 고려한 Tier가 선택되면, 식 2.3에 제시된 모든 저장고에 대한 탄소(C) 축적량의 변화는 산정되지 않을 수도 있다. 이처럼 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하는데 필요한 기본값을 얻는데 있어서의 한계 때문에, Tier 1 방법은 다음과 같은 단순화된 가정들을 포함하고 있다:

그림 2.1 시스템으로 유입되고 유출되는 탄소의 흐름과 시스템 내에서의 탄소 저장고의 흐름을 보여주는 AFOLU 생태계의 일반화된 탄소 순환도



- Tier 1에서 지하부바이오매스의 탄소(C) 축적량의 변화를 0으로 가정된다. (Tier 2에서는, 지상부 바이오매스에 대한 지하부바이오매스 비율의 국가고유 자료를 사용하여 지하부바이오매스 축적량의 변화를 산정할 수 있음)

- Tier 1에서 고사목과 낙엽층 저장고들이 종종 '고사 유기물'로서 합쳐진다.

- Tier 1에서 고사 유기물의 탄소(C) 축적량은 산림으로 이용되지 않은 토지이용카테고리에서는 0으로 가정된다. 산림이 다른 용도로 전환되는 경우, 고사 유기물의 탄소(C) 축적량을 산정하기 위한 기본 값은 Tier 1에서 제시된다.

탄소(C) 순환은 연속적 과정 (예. 성장과 부패)과 불연속적 사건들 (예. 벌채, 산불, 곤충의 급증, 토지이용도 변화와 기타 사건들)에 따른 탄소(C) 축적량의 변화를 포함한다. 연속적 과정은 매년 모든 지역에서 탄소(C) 축적량의 변화에 영향을 끼칠 수 있는 반면, 불연속적 사건 (예. 교란)은 탄소(C)의 유출을 야기하고, 생태계에 있는 탄소(C)를 특정한 지역 (예. 교란이 발생한 곳)에 재분배한다.

교란은 풍화에 의한 부식이나 산불과 같이 지속적인 영향을 끼칠 수 있다. 실질적으로, Tier 1 방법들은 모든 교란 후의 배출량이 일 년 동안 발생된 교란사건들의 일부분으로서 산정된다고 가정한다. 예를 들어, 수 년 간에 걸친 교란 후에 남겨진 유기물의 사체 분해를 산정하기 보다는, 교란 후의 모든 배출량을 일 년 동안 발생된 교란 사건으로서 산정하는 것이다.

Tier 1은 고사 유기물 (고사목과 낙엽층)로의 평균 전환율이 고사 유기물로부터의 평균 전환율과 일치한다고 가정하여 순 탄소(C) 축적량의 변화를 0으로 한다. 이러한 가정은, 고사 유기물(고사목과 낙엽층)이 토지이용 카테고리에 유지되는 토지 면적[1]의 Tier 1에서는 정량화될 필요가 없음을 의미한다. 이와 같은 접근법의 근거는, 고사 유기물, 특히 고사목의 탄소(C) 축적량이 산림 형태와 연령, 교란 역사, 관리에 따라 매우 다양하고 현장 특수적이라는 점이다. 게다가 결이 거친 목질 잔재의 분해율에 대한 자료가 매우 적어서 전 지구적으로 적용 가능한 기본 계수와 불확도 산정 방법이 개발될 수 없었던 것으로 생각된다. 각 나라들이 경험하는 산림의 형태와 교란, 관리 방식에 있어서의 상당한 변화들은 Tier 2이나 Tier 3 방법을 이용하여 변화에 따른 영향을 산정하고, 탄소(C) 축적량의 변화와 non-CO_2 배출량 및 흡수량에 대한 결과를 보고하는 데 필요한 자국의 자료를 개발하는데 도움이 될 것이다.

탄소(C) 축적량 즉, 성장, 내부전환, 배출에 대한 모든 산정은 모든 계산방법을 일관되게 만들기 위해 탄소(C) 단위로 표시한다. 바이오매스 축적량, 증식, 벌채 등에 대한 자료는 건물질의 구성단위가 될 수 있으며, 수반되는 모든 계산들을 위해 탄소(C) 톤으로 전환하여야 한다. 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위한 다음과 같은 본질적으로는 다르지만 동등하게 타당한 두 가지 접근방법이 있다: 1) 탄소(C) 축적량으로부터의 부가와 제거에 따른 수지 균형을 평가하기 위한 과정에 기초한 접근방법; 2) 두 시점에서 탄소(C) 축적량의 차이점을 평가하기 위한 저장에 기초한 접근방법.

어느 저장고에서의 연간 탄소(C) 축적량의 변화는 탄소(C)의 증가와 감소에 모두 적용될 수 있는 *획득-손실 방법(Gain-Loss Method)*을 제시한 식 2.4와 같이 과정에 기초한 접근방법을 이용해서 산

1 낙엽층의 탄소 축적량으로부터의 배출량은 산림이 다른 토지이용으로 전환되는 경우 Tier 1 방법으로 설명될 수 있다.

정할 수 있다. 탄소(C)의 증가는 바이오매스의 증가에서 비롯된 것일 수도 있고, 다른 저장고로부터 탄소(C)가 이동 (예를 들면, 벌채나 자연적 교란으로 인해 탄소(C)가 살아있는 바이오매스 탄소(C) 저장고로부터 고사 유기물로 이동)했기 때문일 수도 있다. 이와 같은 탄소(C)의 증가는 항상 양(+)으로 표시될 수 있다. 반면, 탄소(C)의 감소는 한 저장고에서 다른 저장고로 탄소(C)가 이동되거나 (예를 들면, 벌채작업으로 인해 잔가지에 있는 탄소(C)는 지상부의 바이오매스 저장고로부터 손실) 부패, 벌채, 산불 등에 의한 배출에서 비롯된 것일 수도 있다. 이와 같은 탄소(C)의 손실은 항상 음(-)으로 표시된다.

식 2.4
제시된 저장고 내에서 탄소의 증가와 감소에 따른 연간 탄소 축적량의 변화 산정 (획득-손실 방법)

$$\triangle C = \triangle C_G - \triangle C_L$$

여기서:

$\triangle C$ = 저장고에서의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_G$ = 탄소(C)의 연간 증가량, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_L$ = 탄소(C)의 연간 감소량, 톤 C yr^{-1}

이산화탄소(CO_2) 흡수량을 대기로부터 저장고로의 이동이라고 한다면, 이산화탄소(CO_2) 배출량은 저장고로부터 대기로의 이동이라고 할 수 있다. 하지만 모든 탄소(C)의 이동이 흡수량과 배출량을 포함하는 것은 아니다. 왜냐하면 어느 한 저장고에서 다른 저장고로의 이동량은 제공한 저장고로부터의 손실량을 의미하지만, 이는 제공받은 저장고에서 획득한 양과 동일하기 때문이다. 예를 들어, 지상부바이오매스 저장고로부터 고사목 저장고로의 전환은 지상부바이오매스의 손실량과 고사목 저장고의 획득량이 동일한 양이며, 반드시 곧바로 대기로의 이산화탄소(CO_2) 배출을 야기하지 않는다.

식 2.4는 *획득-손실 방법(Gain-Loss Method)*으로 불린다. 왜냐하면 식 2.4는 저장고의 변화를 야기하는 모든 과정들을 포함하기 때문이다. 대안적인 축적량에 기초한 접근법은 *비축차 방법(Stock-Difference Method)*으로 불리며, 식 2.5에서처럼 탄소(C) 축적량의 변화를 알아보기 위해 두 시점에서 저장고에 있는 탄소(C) 축적량을 측정하는데 사용될 수 있다.

식 2.5
두 시점에서 산정량의 연평균 차이에 따른 제시된 저장고 내에서 탄소 축적량의 변화 산정 (비축차 방법)

$$\Delta C = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)}$$

여기서:

$\triangle C$ = 저장고에서의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_{t1}$ = 시간 t_1에서 저장고의 탄소(C) 축적량, 톤 C

$\triangle C_{t2}$ = 시간 t_2에서 저장고의 탄소(C) 축적량, 톤 C

만약 탄소(C) 저장량의 변화를 헥타르 당 변화량으로 산정한다면, 그 값은 저장고에 있는 탄소(C)의 총 변화량을 산정하기 위해 각 지층 내에 있는 총 면적을 곱하게 된다. 어떤 경우, 활동 자료는 국가 전체 자료 (예를 들어, 산림 벌채)의 형태로 있으며 이와 같은 경우에 저장고의 탄소(C) 저장 변화량은 탄소(C) 단위로 전환하기 위해 적절한 계수들을 곱해준 후에 활동자료로 바로 산정할 수 있다. 특정한 토지이용카테고리에 대해 비축차 방법을 적용할 때, 탄소(C) 축적량 변화 산정에 대한 혼동과 토지면적의 변화를 막기 위해 시간 t_1과 시간 t_2에서 카테고리내의 토지 면적이 동일하다는 것을 확실히 하는 것이 중요하다.

과정에 기초한 방법은 경험적 연구 자료에서 유도된 계수를 이용한 모델링 방법에 적합하다. 이는 탄소(C) 축적량 차이의 산정을 근거로 한 탄소(C) 축적량 변화 방법에 비해 훨씬 더 넓은 범위에서 연간 변화가능성을 제거할 것이다. 이와 같은 두 방법들은 모두 실질적인 교란과 연속적인 변화의 경향을 대표할 수 있는 한 유효하며, 실제측정과 비교를 통해 입증될 수 있다.

2.2.2 non-CO_2 배출량 산정

non-CO_2 배출량은 토양이나 가축, 비료, 바이오매스와 고사목, 낙엽의 연소와 같은 다양한 배출원에서 비롯된다. 바이오매스 축적량의 변화로 산정되는 이산화탄소(CO_2) 배출량과는 대조적으로 non-CO_2 온실가스 배출량의 산정은 배출원에서 곧 바로 대기 중으로 배출되는 비율을 통해 이루어진다. 그 비율 (식 2.6 참조)은 일반적으로 특정 가스(예. 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O)) 및 배출원 카테고리에 대한 배출계수와 배출원을 설명하는 면적(예. 토양이나 불탄 면적에 대한) 개체 수 (예. 가축), 또는 질량 (예. 바이오매스 또는 비료에 대한)에 의해 결정된다.

식 2.6
non-CO_2의 대기 배출량 산정

$$배출량 = A \bullet EF$$

여기서:

배출량 = non-CO_2 배출량, 톤

A = 배출원과 관련된 활동자료 (배출원의 유형에 따른 면적, 가축의 수, 질량 단위가 될 수 있음)

EF = 특정가스와 배출원 카테고리에 대한 배출계수, 톤/A

non-CO_2 온실가스 배출량은 특정한 토지이용과 관련될 뿐만 아니라 일반적으로 국가 수준에서 합쳐진 자료들로부터 산정 된다 (예. 가축으로부터 배출되는 메탄(CH_4)과 관리된 토양에서 배출되는 아산화질소(N_2O)). 배출원이 단일 토지이용과 관련되는 경우, 배출량에 대한 방법론은 특정한 토지이용카테고리에 대한 단원에서 설명 된다 (예. 벼논에서 배출되는 메탄(CH_4)은 5장의 농경지 부문 참조). 일반적으로 국가 수준에서 합쳐진 자료에 근거한 배출량에 대해서는 독립적인 단원으

로서 다루어질 것이다 (예. 제10장은 가축과 관련된 배출량을 다루고, 제11장에서는 관리된 토양(managed soils)에서 배출되는 아산화질소(N_2O)와 석회와 요소 시용에 따른 이산화탄소(CO_2) 배출량). 본 절에서는 서로 다른 토지이용카테고리 내에서 발생할 수 있는 바이오매스 연소에 의한 non-CO_2와 이산화탄소(CO_2) 배출량을 산정하는 방법에 대해서만 언급하고 있다.

2.2.3 탄소 축적량의 변화를 이산화탄소 배출량으로 전환

보고를 위해, 탄소(C) 축적량의 변화 (대기로의 이동을 포함)는 탄소(C) 축적량에 -44/12를 곱해서 이산화탄소(CO_2) 배출량 단위로 전환할 수 있다. 일산화탄소(CO)와 메탄(CH_4) 배출량에 의해 탄소(C) 축적량이 상당한 변화를 보이는 경우에는, 이러한 non-CO_2로부터 배출되는 탄소(C) 배출량을 산정하기 위해 제시된 방법들을 이용하여 산정된 이산화탄소(CO_2) 배출량과 흡수량에서 non-CO_2의 탄소(C) 배출량을 빼야만 한다. 이와 같은 산정을 위해서, 인벤토리 작성자는 이산화탄소(C) 배출량을 산정하기 위해 만든 가설과 근사 값에 탄소(C)가 포함되어 있지 않다는 것을 확고히 하기 위한 각의 카테고리들에 대한 평가를 해야만 한다.

또한 모든 탄소(C) 축적량의 변화가 배출량과 일치하지 않는다는 것을 알아야만 한다. 탄소(C)에서 이산화탄소(CO_2)로의 전환은 분자량의 비율(44/12)에 기초한 것이다. (-) 부호는 탄소(C) 축적량의 증가 즉, 탄소(C) 축적량의 양(+)의 변화이며, 이는 대기로부터의 흡수량 (또는, 음의(-) 배출량)을 의미하는 것이다. 반면 탄소(C) 축적량의 감소는 탄소(C) 축적량의 음(-)의 변화를 의미하며, 이는 곧 대기로부터의 배출을 나타내는 것이다.

2.3 CO_2 배출량과 흡수량에 대한 일반적인 방법들

2.2절에서, AFOLU 부문 내에서 이산화탄소(C) 배출량과 흡수량은 일반적으로 생태계 내의 탄소(C) 축적량의 변화에 근거하여 산정된다. 이들은 지상부와 지하부의 바이오매스, 고사 유기물(고사목과 낙엽) 그리고 토양 유기물을 구성한다. 생태계 내의 총 탄소(C) 축적량에 대한 순 손실량은 대기로 배출되는 이산화탄소(CO_2)의 양을 산정하는데 이용되고, 생태계 내의 총 탄소(C) 축적량에 대한 순 증가량은 대기로부터 흡수되는 이산화탄소(C)의 양을 산정하는데 이용된다. 저장고간의 이동은 적절한 곳에서 고려되어야 한다. 탄소(C) 축적량의 변화는 직접적인 인벤토리 방법이나 과정 모델들에 의해 산정될 수 있을 것이다. 이와 같은 탄소(C)의 저장이나 저장고간의 이동은 어떤 토지이용카테고리에서도 발생할 수 있어서, 이러한 토지이용카테고리에 적용할 수 있는 방법들의 일반적인 특성에 대해서 묘사해 두었다. 특별한 경우에는 탄소(C) 축적량이나 저장고의 손실이 메탄(CH_4), 일산화탄소(CO), non-CH_4, 휘발성 유기탄소(C)와 기타 non-CO_2 가스들에 대한 배출을 의미할 수도 있다. 이와 같은 가스들의 배출량을 산정하는 방법들은 2.4절에 제시되어 있다. 탄소(C) 축적량과 저장고의 손실량 때문에 생략되거나 반복 계산되는 것을 피하기 위해서 이산화탄소(C)와 비이산화탄소(C) 배출량의 완전한 적용범위를 점검하는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 특별한 토지 이용 카테고리에서 이와 같은 방법들의 적용과 관련된 상세한 설명은 토지이용과 관련된 제4장에서 제9장에 걸쳐 제시되어 있다.

2.3.1 바이오매스 탄소 축적량의 변화 (지상부바이오매스와 지하부 바이오매스)

식물 바이오매스는 다양한 생태계에서 상당한 양의 탄소(C) 축적량을 구성하고 있다. 바이오매스는 일년생이나 다년생 식물들의 지상부바이오매스와 지하부바이오매스 모두를 나타낸다. 일년생이나 다년생 초본류 (즉, 비목질류 (non-woody))와 관련된 바이오매스는 매년 혹은 몇 년에 걸쳐 분해되거나 재생되기 때문에 다소 일시적이다. 즉, 1년이나 수 년 동안 분해되고 재생산된다. 따라서 장기간에 걸쳐 안정되기 보다는 재성장이 순 탄소(C) 축적량을 바이오매스에 만들기 때문에, 부패에 의한 흡수량과 배출량이 균형을 이루게 된다. 그래서 생존기간동안 다량의 탄소(C)를 축적(헥타르 당 수백 톤의 탄소(C) 축적)할 수 있는 목본류와 관목류와 임목의 바이오매스에 축적된 탄소(C) 축적량의 변화를 알아볼 수 있는 방법들에 초점을 맞추었다. 산림에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 변화는 중요한 하부 카테고리가 될 것 같다. 왜냐하면 산림의 재성장이나 자연적 교란과 소멸, 산림관리와 벌채로 인해 상당한 흐름이 발생되기 때문이다. 덧붙여서, 산림에서 다른 용도로의 토지이용전환은 바이오매스 저장고로부터 상당량의 탄소(C)의 손실을 야기한다. 바이오매스 축적량이 일반적으로 임지에서 가장 크더라도, 임목과 목본류는 6가지 토지이용카테고리 어디에서도 발생할 수 있다. 인벤토리를 작성하기 위해서 (i) 동일한 토지이용카테고리 내에 남아있는 토지와 (ii) 새로운 토지이용 카테고리로 전환된 토지에 대한 바이오매스 내에 있는 탄소(C) 축적량의 변화가 산정된다. 토지이용변화와 관련된 모든 흡수량과 배출량에 대해서는 새로운 토지이용카테고리에서 언급하고 있다.

2.3.1.1 토지이용카테고리로 유지되는 토지

식 2.3은 탄소(C) 축적량의 변화에 대한 산정이 요구되는 다섯 가지 탄소(C) 저장고에 대한 식을 나타낸 것이다. 이번 단원에서는 바이오매스의 탄소(C) 증가량과 손실량, 순 변화량의 산정방법을 제시하고 있다. 여기서 탄소(C) 증가량은 지상부와 지하부바이오매스의 성장을 포함한다. 그리고 탄소(C) 손실량은 고사목, 벌채, 연료재 수집과 산불, 곤충의 급증, 극심한 기후변화(예를 들면, 태풍이나 홍수)와 같은 자연적 교란에 의한 손실량으로 분류된다. 다음은 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위한 두 가지 방법을 제시한 것이다.

획득-손실 방법 (Gain-Loss Method)은 바이오매스의 탄소(C) 증가량 (식 2.7)에서 탄소(C) 손실량을 빼는 것이다. 이 방법은 바이오매스의 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위해 탄소(C) 증가량과 탄소(C) 손실량에 대한 기본값을 제시한 Tier 1 방법을 지지한다. 높은 수준의 Tier 방법들은 탄소(C) 증감률을 산정하기 위해 국가별 고유자료를 이용한다. Tier 방법들로 탄소(C) 증감률을 산정하기 위해서는 Tier 1일지라도 국가별 고유 활동자료가 필요하며, 이와 같은 자료들은 전 지구적으로 수집된 데이터베이스 (예. FAO 통계)에서 얻을 수 있다.

식 2.7
특정한 토지이용카테고리로 유지되는 토지에서
바이오매스의 연간 탄소 축적량의 변화 (획득-손실 방법)

$$\triangle C_B = \triangle C_G - \triangle C_L$$

여기서:

$\triangle C_B$ = 총 면적을 고려한, 각 토지의 하부 카테고리에 대한 바이오매스(식 2.3에서와 같이 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 합)의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_G$ = 총 면적을 고려한, 각 토지의 하부 카테고리에 대한 바이오매스의 성장에 따른 연간 탄소(C) 축적량의 증가, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_L$ = 총 면적을 고려한, 각 토지의 하부 카테고리에 대한 바이오매스의 손실에 따른 연간 탄소(C) 축적량의 감소, 톤 C yr^{-1}

동일한 토지지용카테고리(*예를 들면, 임지로 유지되고 있는 임지*) 내에 있는 토지에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 변화는 바이오매스의 연간 증가량과 손실량 산정을 기초로 한다. Tier 방법을 사용하는 나라들은 3가지 종류의 Tier 중 어떤 Tier을 사용하고 있더라도 이 방법을 적용할 수 있다. 또한 이 방법은 목본류의 바이오매스 축적량을 산정하기 위한 국가 수준의 인벤토리 시스템이 구축되어 있지 않은 나라들에서 사용될 수 있다. 기본값 자료 (Default data)는 국가별 특정 자료에 대한 접근이 용이하지 않은 인벤토리 작성자들에게 토지이용카테고리 단원의 형태에서 제공된다. 그리고 워크시트는 여러 가지 방법과 식을 이용해 작성 된다 (별첨 1).

비축차 방법 (The Stock-Difference Method)은 제시된 토지면적의 어떤 두 시점에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량에 대한 인벤토리자료를 필요로 한다. 연간 바이오매스 변화는 인벤토리 사이의 연수(의해 나누어진 t2와 t1 시간에서 바이오매스 축적량의 차이다. 어떤 경우에는 바이오매스에 대한 기초 자료가 산림조사에 따른 목재부피 자료의 형태로 표현될 수도 있다. 예를 들면, 식 2.8.b.에서와 같이 산림 조사 자료를 이용해 목재부피가 탄소(C)질량 단위로 전환될 수 있도록 여러 가지 계수들이 제시된다.

식 2.8
동일한 토지이용카테고리로 유지되는 토지에서 바이오매스의 연간 탄소 축적량의 변화 (비축차 방법)

$$\Delta C_B = \frac{(C_{t_2} - C_{t_1})}{(t_2 - t_1)} \qquad \text{(a)}$$

여기서

$$C = \sum_{i,j} \{A_{i,j} \bullet V_{i,j} \bullet BCEF_{S_{i,j}} \bullet (1 + R_{i,j}) \bullet CF_{i,j}\} \qquad \text{(b)}$$

여기서:

$\triangle C_B$ = 같은 카테고리 (예. 임지*로 유지되는 임지*)에 있는 토지 내 바이오매스 (식 2.3에서와 같이 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 합)의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

C_{t2} = 시간 t_2에서 각 토지의 하부 카테고리에 대한 바이오매스의 총 탄소(C) 축적량, 톤 C

C_{t1} = 시간 t_1에서 각 토지의 하부 카테고리에 대한 바이오매스의 총 탄소(C) 축적량, 톤 C

C = 시간 t_1과 t_2사이에서 바이오매스의 총 탄소(C) 축적량, 톤 C

A = 동일한 토지이용카테고리 내에 있는 토지의 면적, ha

V = 증가한 상업적 탄소(C) 축적량의 부피, m^3 ha^{-1}

i = 생태지대 i (*i*는 1~n)

j = 기후영역 j (j는 1~m)

R = 지상부바이오매스에 대한 지하부바이오매스의 비율, 톤 d.m. 지하부바이오매스 (톤 d.m. 지상부바이오매스$^{-1}$

CF = 건물질의 탄소(C) 비율, 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

BCEFs = BCEFs(Biomass Conversion and Expansion Factor)는 증가한 축적량의 상업적 재적을 지상부바이오매스로 직접 전환한다. BCEFs 값은 나무밀도(D)에 대해 다시 구분할 필요 없이 산림의 부피에 대한 인벤토리 자료나 기록들에 바로 적용될 수 있기 때문에 훨씬 간편하다. 이 값들이 지역적으로 유도되고, 탄소(C) 상업적 재적에 직접적으로 근거할 때 최상의 결과들을 제공할 수 있다. 하지만 BCEFs 값들의 이용이 가능하지 않고, 바이오매스 확장인자 (biomass expansion factor; BEFs와 D 값이 따로 구분되어 산정될 때, 다음과 같은 전환식이 적용될 수 있다:

$$BCEFs = BEFs \bullet D$$

*획득-손실 방법*이나 *비축차 방법*을 적용하면, 이에 상응하는 면적은 분명 인벤토리로 산정되는 마지막 해에 관련 카테고리 내에 있는 토지 면적이라고 할 수 있다. 또 다른 면적은 아마도 전환카테고리 내에 있을 것이다 (2.3.1.2절 참조). 토지이용도의 변화 이후 전환카테고리에 남아있는 토지의 존속 시간은 기본값이 20년 (국가상황을 고려한 더 높은 Tiers에서 다른 기간이 사용되더라도, 이 기간은 *1996 IPCC 가이드라인* 및 *GPG-LULUCF*에서 기본값 계수를 계산할 목적으로 하여 탄소(C) 축적량이 평형상태에 도달하는 시점을 가정하고, 여기에서도 역시 이렇게 사용된다)이다. 이러한 가정 하에서, 토지는 20년 동안 주어진 토지 용도로 사용된 이후에는 전환카테고리에서 유지되는 카테고리로 전환 될 것이다. 어떤 탄소(C) 축적량의 변화는 해가 바뀌어 감에 따라 달라질 수도 있다. 하지만 그럼에도 불구하고 토지가 전환 카테고리에 포함되어 있는 기간은 일치되게 하는 것이 중요하다. 그렇지 않으면 다른 장에서 설명된 토지 면적 산정을 위한 접근법은 적용되지 않을 것이다. 토지전환 후 1년 내에 이루어지는 탄소(C) 축적량의 변화는 연간 변화되는 면적과 관련되며, 이에 상응하는 토지 면적은 토지 전환 카테고리 내의 하부 카테고리로 다루어질 필요가 있다. 그러나 이 면적은 토지 전환 카테고리 내에서 기본 20년 혹은 다른 전환기간이 완료될 때까지는 전환 카테고리 내에 남아있어야만 할 것이다.

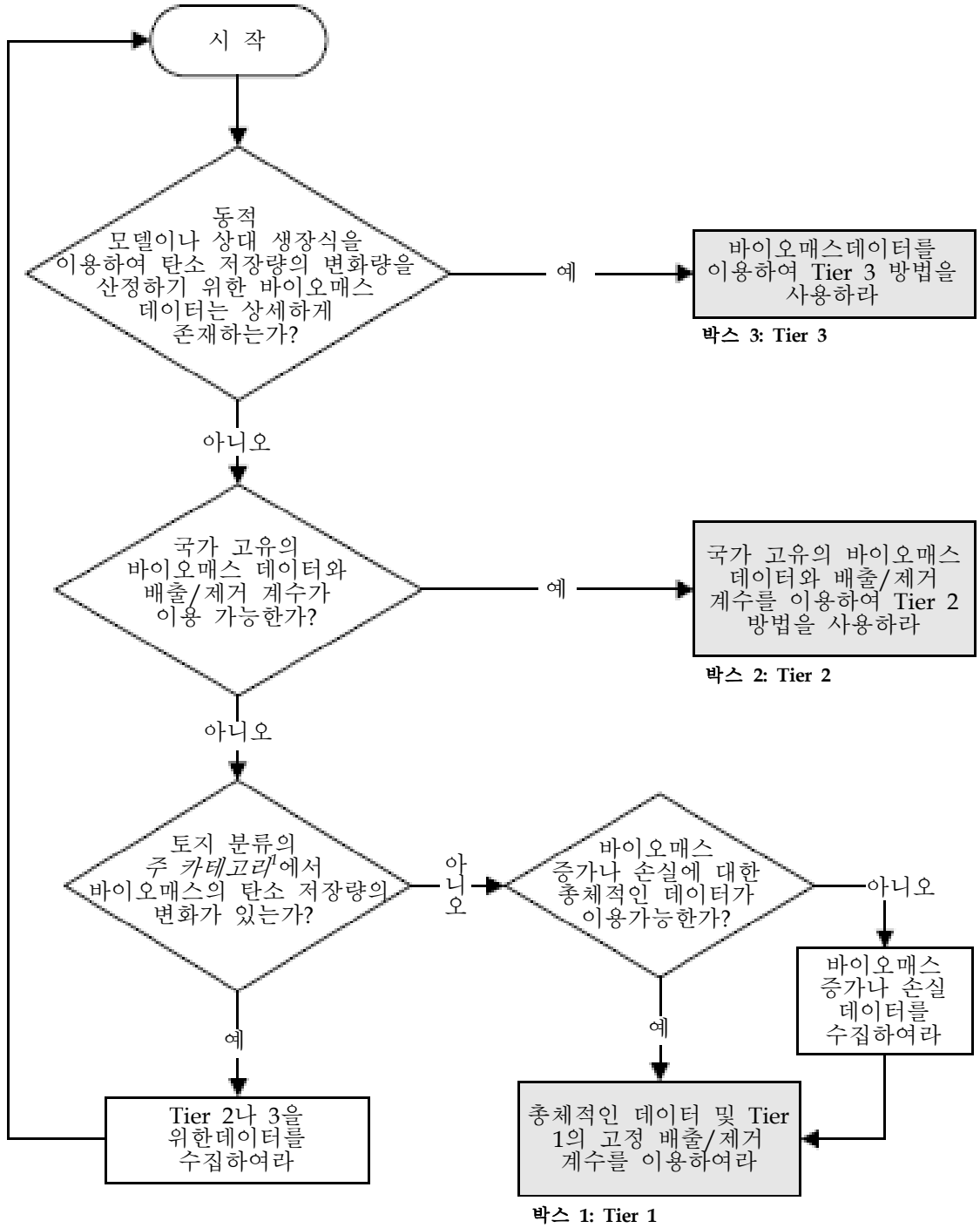
*비축차 방법*은 다른 바이오매스 저장고들의 탄소(C) 축적량이 기간별로 측정되는 산림이나 다른 토지이용카테고리에 대한 국가수준의 인벤토리 시스템을 보유한 나라들에서 적용될 수 있을 것이다. 하지만 비축차 방법은 보다 많은 자원을 필요로 하며, 대다수의 나라들은 산림이나 다른 토지이용카테고리에 대한 국가수준의 인벤토리 시스템을 보유하고 있지 않을 것이다. 그러므로 이 방법은 Tier 3 접근방법과 어떤 경우에는 Tier 2 접근방법을 적용하고 있는 나라들에 적합하지만, 자료의 한계로 인해 Tier 1 접근방법을 적용하고 있는 나라들에는 이 방법이 적합하지 않을 것이다. 따라서 인벤토리 시스템이 바이오매스의 탄소(C) 저장고의 증가와 손실에 대한 자료제공을 확실히 하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

위의 두 방법은 다년생 목본류의 바이오매스가 존재하는 모든 토지 카테고리 (예를 들면, *임지로 남아있는 임지, 초지로 남아있는 초지, 농경지로 남아있는 농경지*에 대해서 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하는 데 모두 적용될 수 있다. 그림 2.2는 인벤토리 기구들이 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위해 적절한 Tier를 가려내는데 도움이 될 수 있을 것이다.

어떤 바이오매스의 손실은 흰개미와 야생 포유류[2]에 의한 바이오매스 소비 및 메탄(CH_4) 배출과 같이 이산화탄소(CO_2)가 아닌 탄소(C)의 배출을 야기할 수 있다. 하지만 이와 같은 배출원에 대한 Tier 1 방법은 개발되어 있지 않다. 그러므로 이와 같은 배출량을 산정해서 보고하기 원하는 나라들은 이 방법을 개발하거나 Tier 3 접근법을 사용해야만 한다.

2 바이오매스의 연소로 인한 CO_2와 non-CO_2의 탄소(C) 손실량이 산정되며, 이런 경우 탄소(C) 배출량은 중복 계산되지 않는다.

그림 2.2 토지이용카테고리에서 바이오매스의 탄소 축적량의 변화를 산정하는데 적절한 Tier를 결정하기 위한 일반적인 의사결정도



주:

1: 제1권 제4장, 주 카테고리에 대한 논의와 의사결정도의 이용에 대한 "방법론의 선택과 주 카테고리의 확인" (제한된 자원에 대한 4.1.2절 참고).

A. 바이오매스의 탄소 축적량의 변화를 산정하기 위한 방법들 ($\triangle C_B$)

A.1 바이오매스의 연간 탄소 축적량의 변화 산정 (획득-손실방법), $\triangle C_G$

다음과 같은 Tier 1방법은 바이오매스 성장률 기본값과 결합되어, 각 토지이용 유형과 지층 (예를 들면, 기후지대, 생태지대, 식생의 유형)에 대한 연평균 바이오매스의 증가와 토지면적의 산정치를 이용해서 연간 바이오매스의 성장량을 계산할 수 있게 한다(식 2.9).

식 2.9
동일한 토지이용카테고리로 유지되는 토지에서
바이오매스 증가에 따른 연간 탄소 축적량의 증가

$$\Delta C_G = \sum_{i,j} (A_{i,j} \bullet G_{TOTAL_{i,j}} \bullet CF_{i,j})$$

여기서:

$\triangle C_G$ = 식생의 유형과 기후지대에 따른 동일한 토지이용 카테고리 내에 남아있는 토지에서 바이오매스의 증가에 따른 탄소(C) 축적량의 증가, 톤 C yr^{-1}

A = 동일한 토지이용카테고리 내에 남아있는 토지의 면적, ha

G_{TOTAL} = 바이오매스의 연평균 증가, 톤 d.m. ha^{-1} yr^{-1}

i = 생태지대 i (*i*는 1~n)

j = 기후지대 j (*j*는 1~n)

CF = 건물질의 탄소(C) 비율, 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

G_{TOTAL}은 총 바이오매스의 증가 (G_W)를 의미하는 것으로, 지하부바이오매스의 증가를 포함하기 위해 지상부바이오매스의 증가가 확장된 개념이다. 다음에 제시되는 Tier 1 방법으로, 목본류의 식생 유형에 따라 구분된 지상부바이오매스에 대한 지하부바이오매스의 비율인 R과 함께 자연적으로 재생된 산림이나 광범위한 인공림에 대한 G_W 기본값을 적용함으로써 얻을 수 있다. Tier 2와 Tier 3에서, 연간 순증가량 (I_V)은 각각의 산림밀도 (D)와 바이오매스 확장계수 (biomass expansion factor; BEF_I)와 함께 적용되거나, 연간 순 증가량을 각 식생의 유형에 따른 지상부바이오매스의 증가로 전환하기 위한 바이오매스의 전환, 확장계수 (Biomass Conversion and Expansion Factor; $BCEF_I$)와 함께 적용될 수 있다. 식 2.10에서 이들의 관계를 보여준다.

식 2.10
바이오매스의 연평균 증가
Tier 1

$G_{TOTAL} = \sum\{G_W \bullet (1+R)\}$ 바이오매스 증가자료 (건물질)가 바로 사용됨

Tier 2와 Tier 3

$G_{TOTAL} = \sum\{I_V \bullet BCEF_I \bullet (1+R)\}$ 연간 순증가 자료는 바이오매스 전환계수와 확장계수를 적용하여 G_W를 산정하는데 사용됨

여기서:

G_{TOTAL} = 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 연 평균 증가, 톤 d.m. ha^{-1} yr^{-1}

G_w = 특정 목본류의 식생유형에 대한 지상부바이오매스의 연 평균 증가, 톤 d.m. ha^{-1} yr^{-1}

R = 특정 목본류의 식생유형에 대해, 지상부바이오매스에 대한 지하부바이오매스의 비율, 톤 d.m. 지하부바이오매스(톤 d.m. 지상부바이오매스)$^{-1}$. 지하부바이오매스의 변화가 없는 것으로 가정하면, R은 반드시 0으로 한다 (Tier 1).

I_V = 특정 식생 유형의 연 평균 순 증가, m^3 ha^{-1} yr^{-1}

$BCEF_I$ = 증가한 연간 순 부피 (나무껍질 포함)를 특정 식생 유형에 대한 지상부바이오매스의 증가량으로 전환하는데 필요한 바이오매스의 전환계수와 확장계수, 톤 지상부바이오매스 증가량(m^3 연간 순 증가)$^{-1}$. 임지에 대한 표 4.5 참조). 그런데 $BCEF_{RI}$값의 이용이 가능하지 않거나, 바이오매스 확장계수(biomass expansion factor; BEF) 및 산림밀도(D) 값이 각각 따로 산정된다면, 다음과 같은 전환식이 사용될 수 있다:

$$BCEF_I = BEF_I \bullet D$$

바이오매스 확장계수 (BEF_I)[3]는 비 상품성 목재의 증가를 고려하기 위해 상품성 있는 목재의 부피를 지상부바이오매스의 총 부피로 확장한다. 그리고 BEF_I의 단위는 없다.

초지 (사바나), 농경지 (농림지), 과수원, 커피, 차, 그리고 고무와 같이 비 임지에서 다년생 목본류의 바이오매스에 대한 $BCEF_I$의 산정은 쉽지 않을 것이다. 이런 경우에 비 산림 식생에 가장 가까운 산림 유형에 대한 $BCEF_I$의 기본값은 상품성 있는 바이오매스를 총 바이오매스로 전환하는데 이용될 수 있을 것이다. $BCEF_I$는 상품성 있는 바이오매스에 대한 자료가 이용 가능할 때 다년생 목본류 바이오매스에 대해서만 관련된다. 다년생 관목류와 초본류, 농작물의 경우, 바이오매스 증가자료는 헥타 당 건물질 톤의 단위로 이용가능하며, 이런 경우 식 2.10은 필요하지 않다.

A.2 탄소 손실에 따른 바이오매스의 탄소 축적량의 연간 감소량 산정 (획득-손실 방법), $\triangle C_L$

탄소(C) 손실량의 산정은 *획득-손실 방법*을 이용한 바이오매스의 탄소(C) 축적 변화량에 대한 계산을 필요로 한다. 또한 탄소(C) 손실량의 산정은 고차수준의 Tier 산정방법이 적용되는 경우 고사 유기물에서 바이오매스의 이동을 산정하기 위해 *비축차 방법*을 필요로 한다. 연간 바이오매스의 손실량은 산림벌채와 난방용 잔목에 대한 수집은 제외한다. 그리고 산불과 태풍, 곤충, 질병 등과 같이 교란에 따른 바이오매스 손실량의 합으로 계산된다.

3 BEF는 상품성 있는 목재의 건중량이나 줄기 바이오매스를 총 바이오매스로 확장하는데 사용되며, 이 때 뿌리부분은 포함되는 경우도 있고 그렇지 않은 경우도 있다. 또한 상품성 있는 목재나 줄기 부피를 지상부바이오매스나 총 바이오매스 부피로 전환하거나 확장하기 위해 사용하기도 한다(Somogyi, *et al.*, 2006) 본문에서 적용된 바와 같이, 바이오매스 확장계수들은 항상 나무껍질을 포함한 상품성 있는 목재의 건중량을 지상부바이오매스로 전환하는데 사용되며, 이 때 뿌리부분은 제외한다.

식 2.11
동일한 토지이용카테고리에 남아있는 토지에서 바이오매스의 손실에 따른 연간 탄소 축적량의 감소량

$$\triangle C_L = L_{wood\text{-}removals} + L_{fuelwood} + L_{disturbance}$$

여기서:

$\triangle C_L$ = 동일한 토지이용 카테고리 내에 남아있는 토지에서 바이오매스의 손실에 따른 연간 탄소(C) 축적량의 감소량, 톤 C yr^{-1}

$L_{wood\text{-}removals}$ = 산림벌채에 따른 연간 탄소(C) 감소량, 톤 C yr^{-1} (식 2.12 참조)

$L_{fuelwood}$ = 연료재 수집에 따른 연간 바이오매스의 탄소(C) 감소량, 톤 C yr^{-1} (식 2.13 참조)

$L_{disturbance}$ = 교란에 따른 연간 바이오매스의 탄소(C) 감소량, 톤 C yr^{-1} (식 2.14 참조)

식 2.11과 다음에 나올 식 2.12~2.14는 임지에 대해 곧바로 적용이 가능하다. 또한 이 식(2.11~2.14)들은 산림벌채 량, 난방용 땔감수집 량, 교란으로 인한 손실량을 다년생 목본류 바이오매스 산정에 이용할 수 있다면, 농경지와 초지로부터의 손실량 산정에도 역시 이 식(2.11~2.14)을 사용할 수 있다. 매우 노후화된 농경지나 초지뿐만 아니라 집약적으로 이용된 토지에서, 다년생 목본류의 바이오매스 손실량은 적을 것으로 보인다. 농작물 종류별 바이오매스의 탄소(C) 손실량에 대한 기본값은 농경지에 대한 Tier 1 방법 (표 5.1 참조)에 제시되어 있다. 식 2.11에서 적용된 산림벌채에 따른 탄소(C) 손실량은 제 12장에서 HWP에 입력한 값과 일관성을 위해 비교되어야 한다.

식 2.11에 제시된 세 가지 항들은 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다.

산림벌채에 따른 바이오매스와 탄소(C)의 손실, $L_{wood\text{-}removals}$

식 2.12는 산림벌채에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 손실량 산정방법을 나타낸 것이다.

식 2.12
산림벌채에 따른 바이오매스의 연간 탄소 손실량

$$L_{wood\text{-}removals} = \{H \bullet BCEF_R \bullet (1+R) \bullet CF\}$$

여기서:

$L_{wood\text{-}removals}$ = 산림벌채에 따른 연간 탄소(C) 감소량, 톤 C yr^{-1}

H = 연간 벌채량, 원목, m^3 yr^{-1}

R = 지상부바이오매스에 대한 지하부바이오매스의 비율, 톤 d.m. 지하부바이오매스 (톤 d.m. 지상부바이오매스)$^{-1}$. 지하부바이오매스의 변화가 없는 것으로 가정하면, R은 0으로 한다 (Tier 1).

CF = 건물질의 탄소(C) 비율, 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

$BCEF_R$ = 상업적 재적의 감소량을 바이오매스 총 감소량(나무껍질 포함)으로 전환하는데 필요한 바이오매스 전환계수와 확장계수, 톤 바이오매스 감소량 $(m^3$ 감소$)^{-1}$, (임지에 대한 표 4.14 참조). 그런데 $BCEF_R$값의 이용이 가능하지 않고, 산림벌채에 대한 확장계수(BEF_A)와 산림밀도(D) 값이 각각 따로 산정된다면, 다음과 같은 전환식이 사용될 수 있다:

$$BCEF_R = BEF_R \bullet D$$

만약 원목 제거량에 대한 국가 고유자료의 이용이 가능하지 않다면, 인벤토리 전문가는 산림벌채에 대한 FAO 통계치를 이용해야만 한다. 그런데 FAO 통계치는 나무껍질에 대한 자료는 포함하고 있지 않다. 따라서 나무껍질에 대한 자료를 반영하지 않은 FAO의 산림벌채에 대한 통계치를 나무껍질을 포함한 상업적 산림벌채 통계치로 전환하기 위해서는 기본확장계수 1.15를 곱해야 한다.

연료재 수집에 따른 바이오매스와 탄소(C)의 손실, $L_{fuelwood}$

연료재 수집은 두 가지 요소로 구성될 수 있다. 첫째, 나무 윗부분과 나뭇가지와 같은 나무의 일부분을 연료재로 사용하기 위해 벌채하고 나무 자체는 산림에 남아있는 경우, 바이오매스의 탄소(C) 축적량을 감소시킬 것이며, 이는 바이오매스의 탄소(C) 손실량으로 간주되어야 한다. 둘째, 고사목과 벌채에 의해 벌목재이다. 이는 고사 유기물의 탄소(C) 저장고을 감소시킬 것이다. 그리고 가능하다면 이와 같은 두 가지 구성요소들을 각각 산정하는 것이 *좋다(goog practice)*. 생명력 있는 나무를 난방용 땔감으로 사용하기 위해 벌채하는 경우, 바이오매스의 탄소(C) 손실량은 다음에 제시된 식 2.13으로 산정할 수 있다.

식 2.13
연료재 수집에 따른 바이오매스의 연간 탄소 손실량

$$L_{fuelwood} = [\{FG_{trees} \bullet BCEF_R \bullet (1+R)\} + FG_{part} \bullet D] \bullet CF$$

여기서:

$L_{fuelwood}$ = 연료재 수집에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 손실량, 톤 C yr^{-1}

FG_{trees} = 임목 전체에 대해 연료재 수집으로 감소된 부피, m^3 yr^{-1}

FG_{part} = 임목의 일부분에 대해 연료재 수집으로 감소된 부피, m^3 yr^{-1}

R = 지상부바이오매스에 대한 지하부바이오매스의 비율. 톤 d.m. 지하부바이오매스(톤 d.m. 지상부바이오매스)$^{-1}$. 지하부바이오매스의 변화가 없다고 가정한다면, R은 0으로 한다 (Tier 1).

CF = 건물질의 탄소(C) 비율, 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

D = 산림밀도, 톤 d.m. m^{-3}

$BCEF_R$ = 감소한 바이오매스의 부피를 바이오매스 총 감소량(나무껍질 포함)으로 전환하는데 필요한 바이오매스 전환계수와 확장계수, 톤 바이오매스 감소 (m^3 바이오매

스 감소)$^{-1}$. 그런데 $BCEF_R$값의 이용이 가능하지 않고, 산림벌채에 대한 확장계수(BEF_A)와 산림밀도(D) 값이 각각 따로 산정된다면, 다음과 같은 전환식이 사용될 수 있다:

$$BCEF_R = BEF_R \bullet D$$

바이오매스 확장계수 (BEF_R)는 나무나 산림의 비상품성 구성성분을 고려하기 위해 상품성 있는 산림 제거량을 지상부 총 바이오매스의 부피로 확장한다. 그리고 BEF_R의 단위는 없다.

만약에 원목 제거량에 대한 국가 고유자료의 이용이 가능하지 않다면, 인벤토리 전문가는 산림벌채에 대한 FAO 통계치를 이용해야만 한다. 그런데 FAO 통계치는 나무껍질에 대한 자료는 포함하고 있지 않다. 따라서 나무껍질에 대한 자료를 반영하지 않은 FAO의 산림벌채에 대한 통계치를 나무껍질을 포함한 상업적인 산림벌채 통계치로 전환하기 위해서는 기본확장계수 1.15를 곱해야 한다.

산림수확은 산림벌채와 연료재 수집 (즉, 식 2.12에서의 산림 벌채는 산림 벌채와 연료재 수집 모두 포함)으로 구성된다. 그리고 연료재 수집으로 인한 제거량은 식 2.12와 2.13를 이용하여 따로 구할 수도 있다. 계산이 중복되는 것을 막기 위해, 각 나라에서 연료재에 대한 자료가 어떻게 보고 되고 있는지 검토하고, 나라별 조건에 가장 적합한 식을 적용하는 것이 *좋다 (good practice)*. 그리고 산림에서 수확된 목재량은 HWP에 입력 된다 (제12장). 그러므로 제12장에서 제시된 식과 식 2.12와 식 2.13으로 산림수확자료의 일관성을 점검하는 것이 *바람직하다 (good practice)*.

교란에 따른 바이오매스와 탄소(C)의 손실, $L_{disturbance}$

식 2.14는 교란에 따른 탄소(C) 손실량을 산정하기 위한 일반적인 접근방법을 나타낸 것이다. 자연산불(wildfire) 및 인공산불(controlled fire)을 포함한 관리된 토지에서 발생한 산불에 의한 탄소(C) 손실과 같이 특수한 경우에 이 방법은 산불에 의한 이산화탄소(CO_2)와 non-CO_2 배출량을 산정하기 위한 방법론의 자료로서 제시되어야 한다.

식 2.14
교란에 따른 바이오매스의 연간 탄소 손실량

$$L_{disturbance} = \{A_{disturbance} \bullet B_W \bullet (1+R) \bullet CF \bullet fd\}$$

여기서:

$L_{disturbance}$ = 교란에 따른 연간 탄소(C) 손실량, 톤 C yr^{-1} (여기서 바이오매스의 양은 총 바이오매스에 대한 손실량이다. 고사 유기물로 전환되는 바이오매스와 산화되서 대기 중으로 배출되는 바이오매스의 비율은 식 2.15와 식 2.16으로 계산 된다).

$A_{disturbance}$ = 교란의 영향을 받는 면적, ha yr^{-1}

B_W = 교란의 영향을 받는 토지 면적의 지상부바이오매스 평균, 톤 d.m. ha^{-1}

R = 지상부바이오매스에 대한 지하부바이오매스의 비율, 톤 d.m. 지하부바이오매스 (톤 d.m. 지상부바이오매스)$^{-1}$. 지하부바이오매스의 변화가 없다고 가정한다면, R은 0으로 한다 (Tier 1).

CF = 건물질의 탄소(C) 비율, 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

fd = 교란에 따른 바이오매스의 손실 비율

주: 변수 fd는 바이오매스 저장고로부터 손실된 바이오매스의 비율을 의미한다.: 장소를 바꾸는 (stand-replacing) 교란은 모든 바이오매스 (fd = 1)를 없앨 수 있는 반면, 곤충에 의한 교란은 바이오매스의 평균 탄소 (C) 농도 중 일부분만 (예. fd = 0.3)을 없앨 수 있을 것이다. 식 2.14에서는 바이오매스의 탄소 (C) 축적량에서 손실되는 탄소 (C)에 대해서는 설명하지 않고 있다. Tier 1은 모든 $L_{disturbance}$가 교란의 기간동안 배출된다고 가정한다. 고차수준의 Tier 방법은 이와 같은 탄소(C) 중 일부는 즉시 배출되고, 다른 일부는 고사 유기물의 저장고 (고사목과 낙엽층)나 HWP에 삽입된다고 가정한다.

바이오매스의 탄소(C)가 다른 곳으로 이동되는 양은 서로 다른 교란의 영향을 정의하기 위해 변수화 될 수 있는 교란 모형 (disturbance matrix)을 이용하여 정의될 수 있다 (Kurz *et al.*, 1992). 가능하다면, 각각의 바이오매스와 고사 유기물, 토양 내의 탄소(C) 저장고과 다른 저장고에 남아있는 탄소(C)의 비율, 그리고 교란이 일어나는 동안 다른 저장고이나 수확된 목재, 대기로 이동되는 탄소(C)의 비율에 대한 교란 모형 (표 2.1)을 개발하고 이용하는 것이 *바람직하다 (goog practice)*. 탄소(C)의 보존을 확실히 하기 위해 각 열에 대한 비율의 합을 항상 1로 한다. A항에 대입되는 값은 교란 후 남은 지상부바이오매스의 비율 (혹은 1-fd, 이 때 fd는 식 2.14에서 정의된다)이다. Tier 1은 fd 모두가 교란 기간 동안 배출된다고 가정 한다: 그러므로 F칸에 들어가는 값은 fd이다. 고차수준의 Tier의 경우, 교란 기간에 배출된 탄소(C)의 일부만이 F항에 들어가며, 남은 탄소(C)는 산불의 경우 B와 C칸에, 산림수확의 경우 B, C. E칸에 들어간다. 비록 모든 바이오매스의 탄소(C)가 토지 전환 기간에 배출된다고 가정될지라도, Tier 1조건에서조차 모든 탄소(C) 저장고의 이동이 고려될 수 있는 교란 모형을 개발하는 것이 *바람직하다 (goog practice)*. 그리고 탄소(C)의 이동이 작거나 미미한 경우도 있을 수 있다는 것을 주의해야 할 것이다.

표 2.1
교란이 탄소 저장고에 미치는 영향에 대한 간단한 모형 (Tier 2)의 예

	지상부 바이오매스	지하부 바이오매스	고사목	낙엽	토양 유기물	수확된 목재	대기	합 계 (반드시 1)
지상부 바이오매스	A		B	C	D	E	F	I
지하부 바이오매스								I
고사목								I
낙엽								I
토양 유기물								I

각 저장고들의 비율이 모형의 왼쪽에 들어가고, 각 열의 제일 위에 있는 저장고들로 이동된다. 모형의 왼쪽에 있는 모든 저장고들은 모두 채워져 있어야 하고, 각 열에 있는 값들의 합은 반드시 1이어야 한다.
검은 색 칸은 이동이 불가능한 것을 나타낸 것이다.
주: A에서 F는 다음 단원에서 참조하기 쉽도록 표시해 둔 것이다.

2.3.1.2 새로운 토지이용카테고리로 전환된 토지

본 단원에서는 어떤 유형의 토지이용카테고리에서 다른 유형의 토지이용카테고리로 토지이용이 전환되는 경우 발생되는 탄소(C)의 배출량과 흡수량을 산정하기 위한 방법들이 제시된다. 전환의 가능성은 비 임지에서 임지로, 농경지와 임지에서 초지로, 초지와 임지에서 농경지로의 전환을 포함한다.

새로운 토지이용카테고리로 전환된 토지에 대한 이산화탄소(CO_2) 배출량과 흡수량은 지상부바이오매스와 지하부바이오매스에 대한 연간 탄소(C) 축적량의 변화를 포함한다. 이와 같은 저장고들의 연간 탄소(C) 축적량의 변화는 식 2.4 ($\triangle C_B = \triangle C_G - \triangle C_L$)을 이용해 산정할 수 있다. 여기서 $\triangle C_G$는 탄소(C)의 연간 증가를 의미하며, $\triangle C_L$은 탄소(C)의 연간 손실을 의미한다. 그리고 $\triangle C_B$는 특정 계층 (예를 들면, 기후나 산림 유형)에 따라 구분된 각각의 토지 이용 (예를 들면, 임지, 농경지, 초지)과 관리 카테고리 (예를 들면, 천연림과 인공림)에 대해 각각 산정될 수 있다.

바이오매스의 탄소 축적량의 변화를 산정하기 위한 방법들 ($\triangle C_B$)

i) 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 증가, $\triangle C_G$

Tier 1: 새로운 토지이용카테고리로 전환됨에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 증가는 앞에서 제시된 토지이용카테고리 내에 있는 토지에 대한 식 2.9를 이용해서 산정할 수 있다. Tier 1은 토지이용전환으로 인해 초기 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 변화가 없다는 기본 가정을 수용한다. 그리고 이러한 가정은 총 토지 면적이 3장 (공간적으로 명확하지 않은 토지면적 자료)에서 언급된 1, 2 접근방법을 사용하여 산정되는 경우처럼 이전의 토지이용에 대한 자료가 이용가능하지 않은 경우에 적용될 수 있다. 이와 같은 접근방법은 4.5 절 (4장)에서 제시된 기본 변수들을 포함한다. 전환된 토지면적은 관리방법 (예를 들면, 집약적으로 관리된 인공림과 초지, 광범위하게 관리된 인공림, 또는, 초지나 버려진 농경지가 임지로 복구되고 20년이나 혹은 다른 기간 동안 전환 카테고리 내에서 유지임지로 복구되어 20년이나 다른 기간동안 전환 카테고리 내에서 유지되어야 하는 버려진 농경지에 따라 카테고리화 될 수 있다. 전환되기 전 토지 용도에 대해 알고 있다면, 아래에 제시된 Tier 2 방법이 이용될 수 있다.

ii) 바이오매스의 연간 탄소 축적량의 감소, $\triangle C_L$

Tier 1: 전환된 토지 (벌채, 연료재 수집, 교란)의 손실로 인한 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 감소는 식 2.11~2.14를 이용해 산정할 수 있다. 탄소(C) 축적량이 증가함에 따라, Tier 1은 바이오매스의 초기 탄소(C) 축적량의 변화가 없다는 기본 가정을 따른다. 그리고 이 면적은 제3장에서 제시된 1, 2 접근법과 4.5절에 제시된 기본값 변수를 적용하여 산정할 수 있다.

iii) 바이오매스의 탄소 축적량의 변화를 산정하기 위한 고차 수준의 Tier

Tier 2와 Tier 3: Tier 2와 Tier 3 방법은 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 변화를 보다 정확히 산정하기 위해 전국적으로 수집한 자료와 보다 세분화된 접근방법 그리고 과정 모델들을 사용한다. Tier 2에서 식 2.4는 탄소(C) 축적량의 변화가 바이오매스의 증가에 따른 탄소(C) 축적량의 증가와 실제 토지전환에 따른 변화, 그리고 바이오매스의 감소에 따른 탄소(C) 축적량의 감소의 합으로 계산되는 식 2.15로 대체된다.

식 2.15
토지이용카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 연간 탄소 축적량의 변화 (Tier 2)

$$\triangle C_B = \triangle C_G + \triangle C_{CONVERSION} - \triangle C_L$$

여기서:

$\triangle C_B$ = 토지이용카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_G$ = 토지이용카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 증가에 의한 연간 탄소(C) 축적량의 증가, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_{CONVERSION}$ = 토지이용카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 초기변화, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_L$ = 산림수확, 연료재 수집, 토지이용카테고리의 전환에 따른 교란으로 감소한 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 감소, 톤 C yr^{-1}

다른 토지이용카테고리로의 전환은 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 변화와 관련될 것이다. 예를 들면, 바이오매스의 일부가 토지정리 (land clearing)나 갱신 (restocking) 혹은 인간들의 활동에 의해 손실될 수 있다. 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 이와 같은 초기 변화들 ($\triangle C_{CONVERSION}$)은 다음에 제시된 식 2.16을 이용하여 계산할 수 있다.

식 2.16
토지이용카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 탄소 축적량의 초기 변화

$$\Delta C_{CONVERSION} = \sum_i \{(B_{AFTER_i} - B_{BEFORE_i}) \bullet \Delta A_{TO\_OTHERS_i}\} \bullet CF$$

여기서:

$\triangle C_{CONVERSION}$ = 토지이용카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 초기 변화, 톤 C yr^{-1}

B_{AFTERi} = 토지이용카테고리의 전환 직후 토지이용유형*i*에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량, 톤 d.m. ha^{-1}

$B_{BEFOREi}$ = 토지이용카테고리의 전환 전 토지이용유형*i*에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량, 톤 d.m. ha^{-1}

$\triangle A_{TO\_OTHERSi}$ = 토지이용카테고리가 전환된 해의 토지이용유형*i*의 면적, ha yr^{-1}

CF = 건물질의 탄소(C) 비율, 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

i = 다른 토지이용카테고리로 전환된 토지이용유형

$\triangle C_{CONVERSION}$의 계산은 토지이용전환 전에 토지의 특정 유형 (생태계, 대지 유형 등)에서 발생하는 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하는데 각각 적용될 수 있을 것이다. $\triangle A_{TO_OTHERSi}$는 계산이 된

특정 인벤토리 년도(inventory year)를 나타내며, 다른 용도로 전환된 토지는 20년 동안이나 혹은 인벤토리에 사용된 기간 동안 전환카테고리 내에 남아있어야만 한다. 고차수준의 Tier 방법에 사용된 인벤토리들은 다른 저장고로 이동하거나, 아니면 산림수확이나 토지정리 기간(번역누락)동안 제거되거나, 또는 대기 중으로 배출 (예. 잔가지 소각)되는 토지이용전환 전의 각 탄소(C) 저장의 비율을 정량화하기 위한 교란 모형 (표 2.1)으로 정의할 수 있다.

국가의 특정자료와 세분화된 접근방법을 적용하여 기본값을 사용하는 Tier 1 방법보다 정확한 산정방법을 제공하는 식 2.15와 2.16이 제시된다. 그리고 토지이용전환 면적에 대한 국가자료와 국가고유의 탄소(C) 축적량 값의 적용은 이러한 산정에 대한 정확성을 보다 향상시킬 수 있을 것이다. 따라서 Tier 2, 3 접근법은 구체적인 면적 자료와 국가고유 탄소(C) 축적량 자료를 사용한 산정을 모두 포함해야 한다.

2.3.2 고사 유기물의 탄소 축적량의 변화

고사 유기물 (Dead organic matter; DOM)은 고사목과 낙엽 (표 1.1 참조)으로 구성된다. 고사 유기물의 저장고에서 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위해서는 탄소(C)의 배출과 흡수가 언제 그리고 어디서 일어나는지에 대한 정확한 보고가 있어야 한다. 예를 들어, 바이오매스에 있던 탄소(C)의 일부가 바이오매스가 소각되는 동안 없어졌다면, 이는 불이 난 기간 동안에 대기 중으로 배출된 것이다. 대부분의 바이오매스는 고사 유기물이 분해되어 감에 따라 탄소(C)가 수십 년에 걸쳐서 배출될 고사목과 낙엽, 그리고 토양 저장고 (토양에 있는 고사목의 뿌리)에 포함된다. 분해율은 온도가 높거나 습기가 많은 환경에서부터 온도가 낮고 건조환 환경에 이르기까지 매우 다르다. 하지만 고사 유기물 저장고의 탄소(C) 축적량의 변화에 대해서 정성적으로는 잘 이해되더라도, 전국에 퍼져있는 고사 유기물의 탄소(C) 축적량과 그 변화에 대한 실질적인 자료를 구하는 것은 사실상 어렵다.

산림생태계에서, 고사 유기물의 저장고는 남아있는 지상부바이오매스와 지하부 (뿌리) 바이오매스가 첨가되기 때문에 입지 변경에 의한 교란에 따라 크게 변하는 경향이 있다. 교란 후 몇 년간 분해율이 낙엽, 고사, 그리고 바이오매스의 전환에 따른 탄소(C) 첨가 비율을 초과하기 때문에, 고사 유기물 저장고는 탄소(C) 손실에 따라 감소하게 된다. 새로운 입지에서 성장한 이후에 고사 유기물의 저장고은 다시 증가한다. 이와 같은 변화의 표현은 교란에 따른 투입량과 손실량 그리고 입지변경에 따른 시기별 투입량과 산출량에 대한 개별적인 산정을 필요로 한다. 이와 같은 복잡한 산정과정은 고차수준의 Tier 방법들을 요구한다.

2.3.2.1 토지이용카테고리로 유지되는 토지

모든 토지이용카테고리의 고사목과 낙엽 저장고에 대한 Tier 1의 가정은 토지가 동일한 토지이용카테고리로 유지된다면, 시간이 지나도 탄소(C) 축적량의 변화가 없을 것이라고 가정한다. 그래서 교란이나 산림벌채 동안 손실된 바이오매스의 탄소(C)는 이 기간 동안 모두 대기 중으로 배출되었다고 가정한다. 이는 고사 유기물로 전환되는 비 상품적이고 비 상업적인 성분 내에 있는 탄소(C)의 양과 분해와 산화를 통해 고사 유기물에서 대기 중으로 배출되는 탄소(C)의 양이 동일하다고 보는 것과 같다. 여러 국가들이 고사 유기물의 탄소(C) 변화를 산정하기 위해 고차 수준의 Tier 방법을 사용할 것이다. Tier 2 (또는 3) 방법이 사용된다면, 이 절에서 산정방법을 설명할 것이다.

동일한 토지이용카테고리로 유지되는 토지에서 고사 유기물의 저장고을 산정하기 위해 Tier 1 방법을 사용하는 나라들은 저장고에서 탄소(C) 축적량의 변화가 없거나 탄소(C) 배출량이 없는 것으로 본다. 이와 같은 입장에 따르면, 불이 난 기간 동안 고사 유기물의 연소로 인한 이산화탄소(CO_2) 배출량과 불이 난 이후 고사 유기물의 탄소(C) 축적량의 증가가 없다. 그러나 고사 유기물 저장고의 연소에 의한 non-CO_2 가스 배출량이 보고 된다. 그래서 고사 유기물 저장고의 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위해 Tier 2 방법을 적용하여 고사목과 낙엽의 탄소(C) 저장고에서의 탄소(C) 축적량의 변화를 계산 한다(식 2.17). 다음과 같은 두 가지 방법이 적용될 수 있다: 투입량과 산출량의 추적 (*획득-손실방법*, 식 2.18) 또는 두 시점에서 고사 유기물 저장고의 차이 산정 (비축차방법, 식 2.19) 이와 같은 산정은 고사목과 낙엽 저장고에 대한 반복측정을 포함하는 구체적인 인벤토리들이나, 고사목과 낙엽의 변화를 알아보는 모델들을 필요로 한다. 이러한 모델들이 현장측정으로 테스트하고 문서화된 것을 확실히 하는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 그림 2.3은 고사 유기물의 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하는데 적합한 Tier를 찾기 위한 의사결정도를 나타낸 것이다.

식 2.17은 고사 유기물 저장고의 연간 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위한 계산과정을 간략하게 나타낸 것이다.

식 2.17
고사 유기물의 연간 탄소 축적량의 변화

$$\triangle C_{DOM} = \triangle C_{DW} + \triangle C_{LT}$$

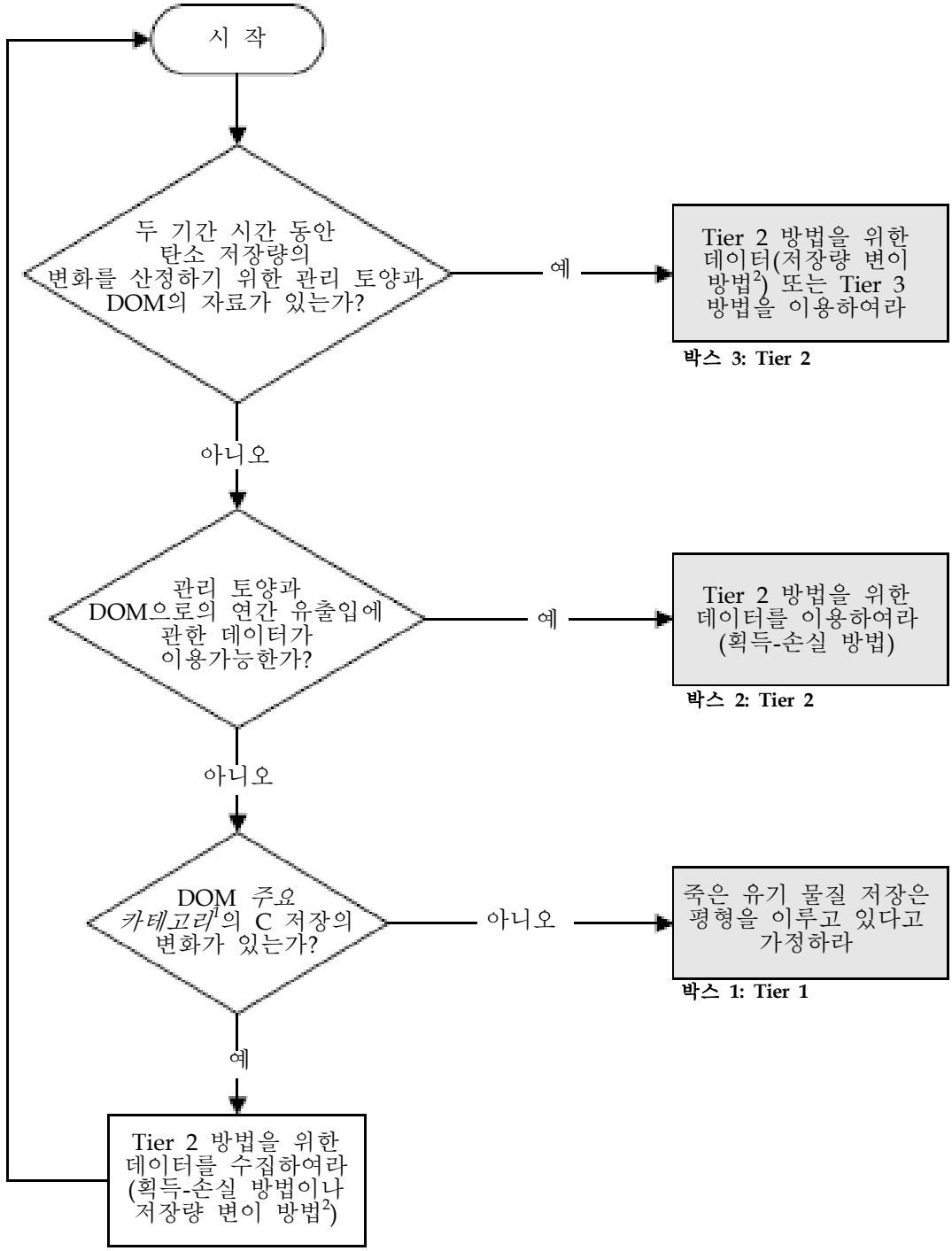
여기서:

$\triangle C_{DOM}$ = 고사 유기물(고사목과 낙엽 포함의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_{DW}$ = 고사목의 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_{LT}$ = 낙엽의 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

그림 2.3 토지이용카테고리에서 고사 유기물의 탄소 축적량의 변화를 산정하는데 적절한 Tier를 결정하기 위한 일반적인 의사결정도



주:

1: 1권 단원 4, 주 카테고리에 대한 논의와 의사결정도의 이용에 대한 "방법론의 선택과 주 카테고리의 확인" (제한된 자원에 대한 4.1.2절 참고)

2: 두 방법들은 식 2.18과 식 2.19에서 각각 제시된다.

토지이용카테고리 내에 남아있는 토지에서 고사목과 낙엽 저장고의 탄소(C) 축적량의 변화는 다음에 제시된 식 2.18과 식 2.19를 이용해서 산정할 수 있다. 고사목과 낙엽 저장고에 대해 동일한 식이 적용되지만, 값은 각각 개별적으로 계산된다.

식 2.18
고사목이나 낙엽층의 연간 탄소 축적량의 변화 (획득-손실방법)

$$\triangle C_{DOM} = A \bullet \{(DOM_{in} - DOM_{out}) \bullet CF\}$$

여기서:

$\triangle C_{DOM}$ = 고사목/낙엽 저장고의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

A = 관리면적, ha

DOM_{in} = 연간 변화와 교란에 따라 고사목/낙엽 저장고로 이동되는 연 평균 바이오매스, 톤 d.m. ha^{-1} yr^{-1} (더 상세한 사항에 대해서는 다음 단원에서 참조할 것)

DOM_{out} = 분해와 교란에 따른 고사목과 낙엽 저장고로부터의 연평균 탄소(C) 손실, 톤 d.m. ha^{-1} yr^{-1}

CF = 건물질의 탄소(C) 비율, 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

식 2.18에 제시된 고사 유기물 저장고의 순 균형은 연간 변화 (낙엽과 분해)에 따른 투입량과 산출량 그리고 교란에 따른 투입량과 손실량에 대한 산정을 필요로 한다. 그러므로 Tier 2와 Tier 3 방법은 이동율과 분해율에 대한 산정뿐 아니라 산림수확과 교란에 대한 활동자료, 그리고 고사 유기물 축적량에 대한 영향을 필요로 한다. 식 2.18에서 사용된 고사 유기물 저장고에 대한 바이오매스의 투입량은 식 2.7에서 산정된 바이오매스 손실량의 일부분이다. 식 2.7의 바이오매스 손실량은 산림수확이나 산불로 인해 대기 중으로의 손실을 통해 면적에서 제거되는 부가적인 바이오매스를 포함한다.

선택된 방법은 자료의 이용가능성에 기초하며, 바이오매스의 탄소(C) 축적량에 대해 선택한 방법으로 조정될 수도 있다. 식 2.18로 유기물의 사체와 낙엽 저장고로 이동되고 배출되는 양을 산정하는 것은 어려울 수도 있다. 식 2.19에서 제시된 비축차 방법은 고사 유기물 저장고에 대한 정보와 제3장의의 별첨 3A.3에서 성립된 원리에 따라 수집된 조사 자료들, 그리고/또는 고사목과 낙엽층 변화를 설명하는 모델을 가진 여러 나라들에서 사용될 수 있다.

식 2.19
고사목이나 낙엽층의 연간 탄소 축적량의 변화 (비축차 방법)

$$\Delta C_{DOM} = \left[A \bullet \frac{(DOM_{t_2} - DOM_{t_1})}{T} \right] \bullet CF$$

여기서:

$\triangle C_{DOM}$ = 고사목/낙엽 저장고의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

A = 관리면적, ha

DOM_{t1} = 관리면적에서 시간 t_1일 때 고사목/낙엽 축적량, 톤 d.m. ha^{-1}

DOM_{t2} = 관리면적에서 시간 t_2일 때 고사목/낙엽 축적량, 톤 d.m. ha^{-1}

$T = (t_2-t_1)$ = 두 번째 축적량 산정과 첫 번째 축적량 산정 사이 기간

CF = 건물질의 탄소(C) 비율 (낙엽층에 대한 기본값 = 0.37), 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

비축차 방법(예를 들면, 식 2.19)이 적용될 때마다, 시간 t1과 t2에서 탄소(C) 축적량을 계산하기위해 적용한 면적은 동일해야만 한다. 만약에 적용한 면적이 동일하지 않다면, 면적의 변화는 탄소(C) 축적량과 축적량의 변화에 대한 산정을 혼동시킬 수도 있다. 그러므로 토지이용카테고리에 남아있는 토지면적으로 한정하기 위해서는 인벤토리 기간의 마지막(t_2)일 때 면적을 적용하는 것이 *바람직하다 (good practice)*. t_1과 t_2사이에서 토지이용카테고리를 변화시키는 모든 토지면적에 대한 탄소(C) 축적량의 변화는 새로운 토지카테고리로 전환된 토지에 관한 단원에서 제시된 바와 같이 새로운 토지이용카테고리에 대해 산정될 수 있다.

고사 유기물로 투입되는 바이오매스

나무가 쓰러질 때마다 비 상품적이고 비 상업적 성분 (예를 들면, 가지, 잎, 뿌리, 비상업적 나무들)은 지표면 위에 남아서 고사 유기물의 저장고로 이동된다. 게다가 연간 손실률은 상당한 양의 고사목을 저장고로 이동시킬 수 있다. Tier 1 방법은 고사 유기물로 이동되는 모든 바이오매스 구성 성분들에 포함된 탄소(C)가 연간 변화 (낙엽과 임목 고사), 토지관리 활동, 난방용 땔감수집이나 교란에 의해 이동되는 해에 배출될 수 있다고 가정한다. 고차수준의 Tier에 기초한 산정과정들의 경우, 고사 유기물로 전환되는 바이오매스의 탄소(C) 축적량에 대한 산정이 필요하다. 고사 유기물로 전환되는 바이오매스의 양은 식 2.20으로 산정될 수 있다.

식 2.20
고사 유기물로 전환되는 바이오매스의 연간 탄소 축적량의 변화

$$DOM_{in} = \{L_{mortality} + L_{slash} + (L_{disturbance} \bullet f_{BLol})\}$$

여기서:

DOM_{in} = 고사 유기물로 전환되는 바이오매스의 총 탄소(C), 톤 C 년$^{-1}$

$L_{mortality}$ = 입목고사로 인해 고사 유기물로 전환되는 연간 바이오매스의 탄소(C), 톤 C yr^{-1} (식 2.21 참조)

L_{slash} = 잔가지인 고사 유기물로 전환되는 연간 바이오매스의 탄소(C), 톤 C yr^{-1} (식 2.22 참조)

$L_{disturbance}$ = 교란에 따른 연간 바이오매스의 탄소(C) 손실량, 톤 C yr^{-1} (식 2.14 참조)

f_{BLol} = 교란에 의한 손실로 분해되기 위해 지표면 위에 남겨진 바이오매스의 비율 (고사 유기물로 전환). 표 2.1에서 알 수 있듯이, 교란에 의해 바이오매스 저장고로부터 손실된 양은 고사목(표 2.1의 칸 B)나 낙엽(칸 C)로 합해지고, 산불(칸 F)의 경우 대기 중으로 배출되며, 산불이 진압된 후 교란이 발생되면 수확된 목재 생산품 (칸 E)로 전환된다.

주: 만약 뿌리 바이오매스의 증가가 식 2.10으로 계산된다면, 뿌리 바이오매스의 감소 또한 식 2.20과 식 2.22로 계산되어야 한다.

식 2.20의 오른 편에 제시된 항들에 대한 설명은 다음과 같다:

입목고사로 인해 고사 유기물로 전환되는 바이오매스의 탄소, $L_{mortality}$

입목고사는 입목의 성장이나 연령, 질병, 그리고 교란을 배제한 기타 작용들이 일어나는 동안 경쟁에 의해 발생된다. 고차 수준의 Tier 방법을 사용할 때 이러한 손실량은 무시될 수 없다. 정기적인 간벌 없이 광범위하게 관리된 곳에서, 줄기 배제기 (stem exclusion phase) 동안의 경쟁으로 인한 고사량은 수명기간 동안 입목 전체 생산량의 약 30~50%를 차지한다. 정기적으로 간벌을 하는 입목들의 경우, 입목의 죽음에서부터 고사 유기물로 저장고로의 전환은 무시해도 좋을 것이다. 왜냐하면 간벌은 입목고사에서 소실되어 고사 유기물 저장고로 전환되는 산림 바이오매스를 제거하기 때문이다. 증가량에 대한 이용 가능한 자료는 일반적으로 연간 순 증가량에 대한 자료일 것이며, 이는 입목고사에 따른 순 손실량으로서 정의될 수 있을 것이다. 여기서 연간 순 성장은 바이오매스의 성장을 산정하기 위한 근거로 사용되기 때문에, 입목 고사량을 바이오매스 저장고에서의 손실량으로 다시 빼지 않아야 한다. 그러나 Tier 2과 Tier 3 방법에서 입목 고사량은 고사목의 저장고에 부가되어 계산되어야 한다. 입목 고사량을 산정하기 위해 다음과 같이 식 2.21이 제시 된다:

식 2.21
입목손실에 따른 바이오매스의 연간 탄소 손실량

$$L_{mortality} = \sum(A \bullet G_W \bullet CF \bullet m)$$

여기서:

$L_{mortality}$ = 입목손실로 인한 연간 바이오매스 탄소(C)의 손실량, 톤 C yr^{-1}

A = 동일한 토지이용카테고리에 남아있는 토지의 면적, ha

G_W = 지상부바이오매스의 성장, 톤 d.m. ha^{-1} yr^{-1}

CF = 건물질의 탄소(C) 비율, 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

m = 지상부바이오매스의 성장 비율로 표현되는 손실률

손실률에 대한 자료가 생장하고 있는 축적량의 부피에 대한 비율로서 표현될 때, 식 2.21에 제시된 G_W는 손실로부터 고사 유기물 저장고로 연간 전환되는 양을 산정하기 위해 생장하고 있는 축적량의 부피로 대체되어야만 한다.

손실률은 입목의 발달 단계에 따라 다르며, 입목의 발달 단계 중 줄기 배제기 (stem exclusion phase)에서 가장 높은 비율을 보인다. 또한, 축적수준 (stocking level), 산림유형이나 관리 집약, 교란 내력 등에 따라 차이가 있다. 따라서 전체 기후지대에 대해 제시된 기본값은 정당화될 수 없다. 왜냐하면 기후지대 안에서의 차이가 기후지대 간의 차이보다 훨씬 더 클 것이기 때문이다.

잔가지로 전환되는 연간 탄소의 양, L_{slash}

이는 산림벌채와 연료재 수집 이후에 남아있는 잔가지의 양과 산림벌채로 인한 연간 총 탄소(C) 감소로 인한 바이오매스의 이동 양(식 2.12) 산림벌채 후 남은 나뭇가지들에 대해서는 식 2.22로 산정되며, 이는 식 2.12로부터 유도된 것이다.

식 2.22
잔가지로 전환되는 연간 탄소량

$$L_{slash} = [\{H \bullet BCEF_R \bullet (1+R)\}-\{H \bullet D\}] \bullet CF$$

여기서:

L_{slash} = 지상부바이오매스에서 (산림벌채나 연료재 수집, 산림수확으로 인해) 잔가지들 (죽은 뿌리도 포함)에서 전환되는 탄소(C), 톤 C yr^{-1}

H = 연간 산림수확 (산림벌채 또는 난방용 땔감수집), m^3 yr^{-1}

$BCEF_R$ = 산림벌채에 적용 가능한 바이오매스 전환 및 확장계수(biomass conversion and expansion factor), 산림벌채는 산림벌채의 상품성 있는 부피를 지상부바이오매스 제거량으로 전환, 톤 바이오매스 감소량 (m^3 바이오매스 감소량)$^{-1}$. 그런데 $BCEF_R$값의 이용이 가능하지 않고, BEF와 산림밀도(D)에 대한 바이오매스 확장계수 값이 각각 따로 산정된다면, 다음과 같은 전환식이 사용될 수 있다:

$$BCEF_R = BEF_R \bullet D$$

- D = 산림밀도, 톤 d.m. m^{-3}
- 바이오매스 확장계수(BEF_R)는 입목, 산림의 비상품성 구성성분을 고려하기 위해 상품성 있는 산림벌채량을 지상부 총 바이오매스의 부피로 확장한다. 그리고 BEF_R의 단위는 없다.

R = 지상부바이오매스에 대한 지하부바이오매스의 비율, 톤 d.m. 지하부바이오매스 (톤 d.m. 지상부바이오매스)$^{-1}$. 만약에 뿌리 바이오매스의 증가가 식 2.10 (Tier 1)에 포함되지 않는다면, R은 0으로 해야 한다.

CF = 건물질의 탄소(C) 비율, 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

살아있는 나무의 벌채를 포함하는 연료재 수집은 고사 유기물 저장고에 대한 바이오매스의 추가 투입을 발생시키지 않으며, 본 단원에서는 이에 대해 더 이상 설명하지 않을 것이다.

고차수준의 Tier 방법을 이용하는 인벤토리는 벌채 이후에 남은 지상부바이오매스를 정의(벌채 교란에 대해 표 2.1의 칸 B와 C에 비율을 입력)하고, 식 2.14에서 정의된 접근법을 사용함으로써 벌채 후에 남은 벌목재의 양을 산정할 수 있다. 또한 이와 같은 접근방법은 산림수확면적에 대한 활동자료를 필요로 한다.

2.3.2.2 새로운 토지이용카테고리로의 토지전환

토지이용변화와 관련된 탄소(C) 축적량의 변화와 비이산화탄소(C) 온실가스들의 배출량은 새로운 토지이용카테고리에 기록된다. 예를 들면, 임지가 농경지로 전환되는 경우, 산림전환에 따라 수반된 탄소(C) 축적량의 변화와 산림정리에 따른 탄소(C) 축적량의 변화는 농경지 카테고리에 기록하게 된다.

Tier 1 방법에서는 토지이용도의 전환 후 비 임지 카테고리에 있는 고사 유기물의 저장고를 0이라고 가정한다. 다시 말하면, 탄소(C)가 없다는 것이다. 산림에서 다른 토지이용카테고리로 전환되는 토지에 대한 Tier 1의 가정은 고사 유기물 저장고의 모든 탄소(C) 손실량이 토지이용전환 기간에 발생된다는 것이다. 이와 반대로, 임지로의 전환은 탄소(C)가 0에서부터 시작한 낙엽과 고사목의 탄소(C) 저장고을 증가시키는 결과를 가져온다. 산림으로 전환된 토지에서의 고사 유기물의 탄소(C) 증가는 0에서부터 시작하여 전환기간 (기본값 가정은 20년이다)을 거치면서 점점 증가한다. 기본값이 되는 20년은 낙엽의 탄소(C) 축적량에 대해서는 적합하지만, 온대지역이나 아한대지역에서 고사목의 탄소(C) 축적량에 대해 적용하기에는 너무 짧을 것이다. 고차수준의 Tier 방법을 적용하는 나라들은 전환의 후기 단계에 있는 층을 조정하기 위해 남아있는 토지이용카테고리를 세분화함으로써 늘어난 토지전환기간을 조정할 수 있을 것이다.

토지이용전환 이후에 전환기간 동안 탄소(C) 축적량의 변화에 대한 산정은 연간 토지이용카테고리에 영향을 받는 면적에 대한 자료를 필요로 한다. 예를 들면, 고사 유기물의 탄소(C) 축적량은 임지로 전환된 후 20년 동안 증가한다고 가정한다. 20년이 지나면, 전환면적은 *임지로 남아있는 임지*의 카테고리에 들어가며, Tier 1 방법을 적용할 경우 고사 유기물의 변화가 더 이상 없는 것으로 가정한다. Tier 2와 Tier 3 방법에서 전환기간은 낙엽과 고사목의 저장고가 안정 상태에 도달하는데 필요한 시간을 결정짓는 식생이나 다른 요인들에 따라 달라질 수 있다.

고차수준의 Tier 방법은 적절한 토지이용카테고리나 하부카테고리에 있는 낙엽과 고사목 저장고에 대해 0이 아닌 산정치를 적용할 수 있다. 예를 들면, 주거지 및 농림 시스템은 약간의 낙엽층과 고사목 저장고를 포함할 수 있으나, 관리상태, 현장 상태 및 다른 요소들이 저장고 크기에 영향을 미치기 때문에 전 지구적인 기본값은 여기서 제공될 수 없다. 또한 고차 수준의 Tier 방법은 토지이용전환과 관련된 고사 유기물의 투입량과 산출량을 세세히 산정할 수 있을 것이다.

고사목과 낙엽 저장고의 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위한 개념적 접근방법은 원래의 토지이용카테고리와 새로운 토지이용카테고리간의 탄소(C) 축적량의 차이를 산정하기 위한 것이며, 이와 같은 변화를 전환 (탄소(C) 손실)된 해에 적용하거나, 전환기간의 길이에 대해 이를 균일하게 배분하기 위한 것이다.

식 2.23
토지전환에 따른 고사목과 낙엽층의 연간 탄소 축적량의 변화

$$\Delta C_{DOM} = \frac{(C_n - C_o) \bullet A_{on}}{T_{on}}$$

여기서:

$\triangle C_{DOM}$ = 고사목이나 낙엽의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

C_o = 원래의 토지이용카테고리에서 고사목/낙엽의 탄소(C) 축적량, 톤 C ha^{-1}

C_n = 원래의 토지이용카테고리에서 새로운 토지이용카테고리에서 고사목/낙엽의 탄소(C) 축적량, 톤 C ha^{-1}

A_{on} = 원래의 토지이용카테고리에서 새로운 토지이용카테고리로 전환되고 있는 면적, ha

T_{on} = 새로운 토지이용카테고리로 전환되는데 걸리는 기간, 년. Tier 1의 기본값은 탄소(C) 축적량의 증가에 대해서는 20년으로 하고, 탄소(C) 손실에 대해서는 1년으로 한다.

Tier 1방법을 적용하는 인벤토리들은 토지이용전환 기간 동안에 소실되는 바이오매스의 탄소(C)가 대기 중으로 모두 배출된다고 가정하고, 고사목이나 낙엽 저장고로 부가되는 것은 없다고 본다. 또한 Tier 1은 고사목과 낙엽 저장고의 탄소(C) 손실이 모두 전환기간 동안에 발생한다고 가정한다.

고차수준의 Tier 방법을 적용하는 나라들은 전환기간 동안 토지이용카테고리의 전환에 따른 즉각적인 영향을 설명하기 위해 식 2.23에 제시된 C_o를 변경할 수 있다. 이러한 경우에, 고사목과 낙엽층 저장고로 전환된 바이오매스의 탄소(C)를 C_o에 부가시키고, 죽은 목재 또는 낙엽층 저장고에서 배출 (예. 잔가지가 연소되는 동안)된 탄소(C)를 C_o로부터 제거할 것이다. 이 때 식 2.23에서 C_o는 토지이용전환 직후의 고사목이나 낙엽의 탄소(C) 축적량을 나타낼 것이다. C_o는 선형 동역학(linear dynamics)이나 좀더 복잡한 식을 사용하여 이동기간동안 C_n으로 이동할 것이다. 교란모형(표 2.1)은 C_o의 부가와 제거를 포함한 토지이용전환 기간 동안의 배출과 저장고의 전환을 설명하는 데 한정될 것이다.

Tier 1 방법을 사용하는 나라들은 낙엽에 대한 Tier 1의 탄소(C) 축적량 산정치를 적용할 수 있으며, 표 2.2에서 제시된 바와 같이 고사목의 저장고에 대한 자료가 이용 가능하더라도, 이와 같은 넓은 카테고리의 산정치가 국가 단위에서 적용될 때 상당한 불확도를 가질 수 있다는 것을 인식해야 할 것이다. 공표된 자료가 부족하기 때문에 표 2.2는 불완전하다. 문헌조사는 몇 가지 문제점들을 들어내고 있다. 고사 유기물의 탄소(C) 축적량에 대한 IPCC의 정의는 낙엽과 고사목을 포함하고 있다. 낙엽 저장고은 모든 낙엽과 직경 10 cm까지의 미세한 잔목을 포함한다 (제1장, 표 1.1 참조). 공표된 낙엽층 자료는 대개 미세한 잔목을 포함하고 있지 않기 때문에, 표 2.2에서 제시된 낙엽의 값들은 불완전하다고 할 수 있다.

거친 잔목에 대한 많은 연구들 (Harmon and Hua, 1991; Karjalainen and Kuuluvainen, 2002)과 몇몇의 검토보고서 (예, Harmon *et al.*, 1986)가 있지만, 오직 두 연구만이 표본조사자료에 근거하여 지역 전체의 고사목의 탄소(C) 저장고에 대한 산정치를 제시한 것으로 나타났다. Krankina *et al.* (2002)은 러시아의 몇 개의 지역을 대상으로 거친 잔목 (> 직경 10 cm)을 산정한 결과 2~7 Mg C ha^{-1}인 것으로 나타났다. Cooms *et al.* (2002)은 뉴질랜드의 작은 지역에 대한 통계적 표본구조에 기초하여 지역 의 탄소(C) 저장고에 대해 연구하였다. 캐나다 (Shaw *et al.*, 2005)의 지역 에 대한 편집물은 통계적으로 비 대표적인 표본조사의 편집에 근거한 낙엽의 탄소(C) 저장고에 대한 산정치는 제시하였으나, 고사목 저장고에 대한 산정치는 배제하였다. Harmon *et al.* (1986)과 같은 검토보고서들은 많은 연구들로부터 나온 산정치들을 수집한다. 예를 들면, 표 5에서 온대 낙엽활엽수림에 대한 거친 잔목 값의 범위는 11-38 Mg 건물질 ha^{-1}이며, 온대 침엽수림의 경우 10-511 Mg 건물질 ha^{-1} 으로 제시되어 있다. 하지만 이것은 어떤 지역에 대한 고사목의 저장고을 대표하는 값이 아니기 때문에, 이와 같이 수집된 여러 자료들의 평균치를 계산하는 것은 통계적으로 타당하지 않다.

Tier 1 방법에서 사용되는 모든 변수들에 대한 기본값을 제공하는 것이 IPCC 가이드라인의 목적이지만, 낙엽 (직경 10cm 미만의 미세한 잔목 포함)과 고사목(> 직경 10 cm)의 탄소(C) 축적량에 대한 지역 기본값를 제공하는 것은 아직 가능하지 않다. 낙엽 저장고의 산정치(미세한 나무 파편은 제외)는 표 2.2에 제시되어 있다. Tier 1 방법은 임지에서 다른 토지이용카테고리로 전환되는 토지 (탄소(C) 손실량)와 임지로 전환되는 토지 (탄소(C) 증가량)에 대해 표 2.2에서 제시한 산정값만을 필요로 한다. Tier 1방법은 모든 비 산림카테고리에서 낙엽과 고사목의 저장고을 0으로 가정한다. 따라서 비 산림카테고리들 간의 전환에서는 이와 같은 두 저장고에서 탄소(C) 축적량의 변화가 없다고 본다.

표 2.2
낙엽층과 고사목의 탄소 축적량에 대한 Tier 1의 기준치

기후	산림 유형			
	활엽수	침엽수	활엽수	침엽수
	성숙림에서 낙엽의 탄소(C) 축적량		성숙림에서 고사목의 탄소(C) 축적량	
	(톤 C ha^{-1})		(톤 C ha^{-1})	
아한대, 건조	25 (10-58)	31 (6-86)	n.a.[b]	n.a
아한대, 습윤	39 (11-117)	55 (7-123)	n.a	n.a
한대, 건조	28 (23-33)[a]	27 (17-42)[a]	n.a	n.a
한대, 습윤	16 (5-31)[a]	26 (10-48)[a]	n.a	n.a
온대, 건조	28.2 (23.4-33.0)[a]	20.3 (17.3-21.1)[a]	n.a	n.a
온대, 습윤	13 (2-31)[a]	22 (6-42)[a]	n.a	n.a
아열대	2.8 (2-3)	4.1	n.a	n.a
열대	2.1 (1-3)	5.2	n.a	n.a

출처:
낙엽: 위에 제시된 값들은 미세한 나무 파편을 포함하지 않는다. Siltanen *et al.*, 1997; Smith and Health, 2001; Tramblay *et al.*, 2002; Vogt *et al.*, 1996; 전환계수 0.37 (Smith와 Health, 2001)을 곱해 질량을 탄소(C)로 전환
고사목: 고사목의 저장고에 대한 지역 산정 값들은 현재 이용이 불가능 다음 장에서 자세히 언급
[a] "a"로 표시된 괄호 안의 값들은 작은 땅에 대한 시뮬레이션으로부터 5~95%, "a"가 없는 것은 전체 카테고리를 가리킨다.
[b] n.a.은 '이용이 가능하지 않음 (not available)'을 의미

2.3.3 토양에서 탄소 축적량의 변화

유기형태와 무기형태의 탄소(C)가 모두 토양 내에 존재할지라도, 토지의 이용과 관리는 유기 탄소(C)의 축적량에 보다 큰 영향을 미친다. 따라서 가이드라인에 제시된 방법들은 대개 토양의 유기 탄소(C)에 초점이 맞추어져 있다. 전반적으로 토지의 이용과 관리가 토양의 유기 탄소(C)에 미치는 영향은 유기토양의 유형 대 무기토양의 유형에 따라 크게 달라진다. 유기(예를 들면, 토탄과 퇴비)토양은 질량 단위 당 최소 12~20%의 유기물을 가지고 있다 (제3장 별첨 3A.5, 유기토양의 분류에 대한 구체적인 기준). 그리고 유기토양은 배수조건이 좋지 않은 습지조건을 향상 시킨다 (Brady and Weil, 1999). 다른 토양들은 모두 무기 토양의 형태로 분류되고, 배수조건이 적절한 환경에서 생기는 유기물의 함량이 상대적으로 낮으며, 습지를 제외한 대부분의 생태계에서 두드러진다. 이와 같은 대조적인 유형의 토양들에 영향을 미치는 토지의 이용과 관리에 대한 논의는 다음 두 부문에서 이루어질 것이다.

무기토양

무기토양은 토지의 이용과 관리활동에 영향을 받는 탄소(C) 저장고이다. 토지 이용은 초지와 임지가 유기토양의 탄소(C) 축적량의 약 20~40%가 손실될 수 있는 농경지로 전환되는 것과 같은 여러 가지 활동들을 통해 무기토양의 탄소(C) 저장고의 크기에 상당한 영향을 미친다 (Mann, 1986; Davidson and Ackerman, 1993; Ogle *et al.*, 2005). 토지이용유형의 범위 내에서 다양한 관리방법들 또한 토양의 유기탄소(C) 축적량에 상당한 영향을 미치며, 특히 농경지와 초지의 유기 탄소(C) 축적량에 많은 영향을 미친다 (예. Paustian *et al.*, 1997; Conant *et al.*, 2001; Ogle *et al.*, 2004, and 2005). 원칙적으로, 토양에 대한 탄소(C) 투입량과 탄소(C) 손실량 사이의 순 균형이 깨진다면, 토양의 유기탄소(C) 축적량은 토양의 관리나 교란에 따라 변할 수 있다. 관리활동은 식물 생산의 변화(농작물 생장을 향상시키기 위한 비료시용 또는 관개), 유기 토양개량제에 탄소(C)의 직접 주입, 그리고 농작물 수확, 목재 수확, 산물 또는 방목과 같은 바이오매스 체거 활동 후에 남은 탄소(C) 양을 통하여 유기탄소(C) 주입량에 영향을 미친다. 분해는 토양의 탄소(C) 산출량을 조절하고, 관리활동에 따른 토양의 교란 정도와 습기, 온도 변화에 영향을 받을 수 있다. 분해에 영향을 미치는 또 다른 인자들에는 기후나 토양 특성 등이 있다. 다른 토지이용전환과 토지관리 방법에 따른 세부적인 영향은 토지이용특성에 대한 단원에서 논의될 것이다 (제4~9장).

토지이용의 변화와 관리활동은 침식율을 변화시킴으로써 토양으로부터 탄소(C) 손실을 야기하여 토양의 유기 탄소(C) 축적량에 영향을 끼칠 수 있다; 침식된 토양의 탄소(C)는 이산화탄소(CO_2)로 분해 해서 대기 중으로 다시 배출시키며, 남은 것은 다른 지역에 퇴적된다. 그러나 토지관리에 따른 토양 침식의 변화에 대한 순 영향은 매우 불확실하다. 왜냐하면 습지나, 호수, 강의 삼각주와 해안지대의 퇴적층에 저장되어 있기 때문이다 (Smith *et al.*, 2001).

유기토양

유기물질의 투입은 혐기조건 하에서 분해에 따른 손실을 초과할 수 있다. 이는 배수가 잘 되지 않는 유기토양에서 일반적이며, 상당한 양의 유기물이 시간이 흐르면서 축적될 수 있다. 이러한 토양에서 탄소(C)의 동태는 유효습기, 지하수면의 깊이, 그리고 산화환원 조건을 포함하는 수문학적 조건과 밀접하게 연결 된다 (Clymo, 1984; Thormann *et al.*, 1999). 종의 구성과 낙엽의 화학적 성질 또한 탄소(C)의 동태에 영향을 끼칠 수 있다 (Yavitt *et al.*, 1997).

유기토양에 저장된 탄소(C)는 토양의 배수상태에 따라 호기조건이 될 때 쉽게 분해 될 수 있다 (Armentano and Menges, 1986; Kasimmir-Klemedtsson *et al.*, 1997). 배수는 농업부문과 임업부문

에서 식물생장을 위해 입지조건을 향상시키는데 사용된다. 손실률은 분해율을 높이는 따뜻한 조건의 배수상태와 함께 기후에 따라 달라질 수 있다. 이산화탄소(CO_2)의 손실은 배수 깊이; 석회시용; 유기물의 풍부도; 그리고 온도에 의한 영향을 받게 된다 (Martikainen *et al.*, 1995). 온실가스 인벤토리들은 토양관리에 따른 이러한 영향들을 기록하고 있다.

일반적으로 유기토양의 배수가 이산화탄소(CO_2)를 대기 중으로 배출시키는 반면에 (Armentano and Menges, 1986) 배수가 잘 되지 않는 유기토양에서 배출되는 메탄(CH_4)은 감소할 수 있다 (Nykanen *et al.*, 1995). 그러나 배수가 잘 되지 않은 유기토양에서 배출되는 메탄(CH_4)은 습지들이 관리되는 곳에서의 몇 가지 예외적인 사항들과 함께 인벤토리 가이드라인에서는 설명되지 않는다 (제7장 습지부문 참조). 이와 유사하게, 국가의 인벤토리는 일반적으로 배수가 잘 되지 않는 유기토양에서 식물체의 유기 분해물 축적에 따른 토양 저장고에서의 탄소(C) 축적량을 산정하지 않는다. 종합적으로 볼 때, 유기토양을 가진 습지 환경에서는 탄소(C) 증가율이 상대적으로 낮으며 (Gorham, 1991), 습지 복원으로 탄소(C)가 증가하더라도 탄소(C) 증가량 산정을 위한 모든 시도에서 메탄(CH_4) 배출량의 증가를 설명할 필요가 있을 것이다. 제 7 장의 습지부문에서부가적인 지침이 제시되어 있다.

2.3.3.1 토지이용카테고리로 유지되는 토지와 새로운 토지용도로 전환된 토지

토양의 탄소(C) 인벤토리들은 관리 활동과 토양 배수로 인해 미생물의 분해가 향상됨에 따라 유기토양에서 배출되는 이산화탄소(CO_2)와 무기토양에 대한 유기탄소(C) 축적량의 변화에 대한 산정을 포함한다. 또한, 이러한 인벤토리들은 Tier 3 방법을 적용하기 위한 자료가 충분할 때, 토양의 무기탄소(C) 저장고에 대한 탄소(C) 축적량의 변화 (예를 들면, 석회질 초지의 산성화)를 설명할 수 있다. 다음의 식 2.24는 토양의 탄소(C) 축적량에 대한 총 변화를 산정하기 위해 제시된 것이다:

식 2.24
토양의 연간 탄소 축적량의 변화

$$\triangle C_{Soils} = \triangle C_{Mineral} - L_{Organic} + \triangle C_{Inorganic}$$

여기서:

$\triangle C_{Soils}$ = 토양의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_{Mineral}$ = 무기토양의 연간 유기탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

$L_{Organic}$ = 배수가 되는 유기 토양에서 연간 손실되는 탄소(C), 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_{Inorganic}$ = 토양의 연간 무기탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1} (Tier 3 방법을 적용하지 않으면 0으로 가정)

Tier 1과 Tier 2 방법에서는 기본값인 30 cm 깊이에서 무기토양에 대한 토양의 유기탄소(C) 축적량이 계산된다. 이보다 더 깊은 곳에서는 자료의 이용이 가능할 경우 Tier 2 방법이 적용될 수 으나, Tier 1의 계수들은 30 cm 깊이를 기준으로 한다. 잔여물/낙엽의 탄소(C) 축적량은 고사 유기물의 탄소(C) 축적량을 산정하는데 설명되기 때문에 포함하지 않는다. 유기토양의 탄소(C) 축적량의 변화는 토양배수로 인해 토양단면에서 연간 손실되는 유기탄소(C)의 양을 나타내는 배출계수들에 기초를 두고 있다. 그리고 토양 내 탄소(C)축적량 변화계수를 유도하기 위한 과학적 자료들

의 한계로 토양의 무기탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위한 Tier 1과 Tier 2 방법 방법들은 제시되지 않는다. 그래서 무기탄소(C) 축적량의 순 변화를 0으로 가정한다. Tier 3 방법은 무기토양과 유기토양, 그리고 토양의 무기탄소(C) 저장고에서 탄소(C) 축적량의 변화를 보다 정확히 산정하기 위해 적용될 수 있다.

세계의 여러 나라들은 무기토양과 유기토양, 그리고 토양의 무기탄소(C)를 산정하기 위해 주어진 자료들의 이용가능성 정도에 따라 서로 다른 Tier들을 사용할 것이다. 그래서 무기토양과 유기토양, 그리고 무기탄소(C) 저장고의 탄소(C) 축적량의 변화 (Tier 3에서만 적용)는 개별적으로 다루어질 것이다. 그림 2.4와 그림 2.5에 제시된 일반화된 의사결정도는 인벤토리 편집자들이 무기토양과 유기토양에서 탄소(C)축적량의 변화를 산정하는데 사용될 수 있는 적절한 Tier를 결정하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

Tier 1: 기본 방법

무기토양

무기토양의 경우 기준방법은 일정 기간 동안 토양의 탄소(C) 축적량의 변화에 기초를 둔다. 토양 내 탄소(C) 축적량의 변화는 기준조건(즉, 토착식물은 퇴화되거나 개량되지 않음)에서 탄소(C) 저장과 관련된 토지 관리방법의 변화 이후의 탄소(C) 축적량에 근거하여 계산하게 된다. 다음과 같은 가정들이 성립 된다:

(i) 시간이 흐름에 따라, 토양 유기탄소(C)는 공간적으로 표준화된 상태에 도달하게 되어, 토지이용과 관리방법에 대한 고정값을 갖게 된다.

(ii) 1차식에서 발생하는 토양 유기탄소 (soil organic C; SOC)가 새로운 평형상태로 이행되는 동안 토양의 유기탄소(C) 축적량은 변하게 된다.

주어진 기후와 관리조건 하에서 토양 내 탄소(C)함량이 평형상태로 이르게 된다는 가정 (i)은 널리 수용되고 있다. 비록 토지관리 변화에 따른 토양 내 탄소(C)의 변화는 대개 곡선함수로 가장 잘 설명될지라도, 가정 (ii)는 Tier 1 방법을 매우 단순화시키며, 토지관리의 변화와 토지이용의 전환이 인벤토리 기간 동안 발생했을 때 다년간의 인벤토리 기간에 대한 근사치를 제시한다.

기본방법을 적용하게 되면, 토양 내 탄소(C) 축적량의 변화는 인벤토리 기간에 대해 계산된다. 인벤토리 기간은 1990년, 1995년, 2000년, 2005년, 2010년처럼 활동자료가 수집되는 기간에 근거하여 성립되며, 이 기간은 인벤토리 기간인 1990-1995년, 1995-2000년, 2000-2005년, 2005-2010년과 일치한다. 각각의 인벤토리 기간에 대해 토양의 유기탄소(C) 축적량은 저장변화계수와 탄소(C) 축적량 기본값를 곱한 값에 근거하여 첫 해 ($SOC_{0\text{-}T}$)와 마지막 해(SOC_0)에 대해 산정된다.

식 2.25

무기토양에서 연간 유기탄소 축적량의 변화

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

$$SOC = \sum_{c,s,i} \left(SOC_{REF_{c,s,i}} \bullet F_{LU_{c,s,i}} \bullet F_{MG_{c,s,i}} \bullet F_{I_{c,s,i}} \bullet A_{c,s,i} \right)$$

(주: T가 ≥20년이면, 이 식에서 D를 대신하여 T를 사용한다.)

여기서:

$\triangle C_{Mineral}$ = 무기토양에서 연간 탄소(C) 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

SOC_0 = 인벤토리 기간 중 마지막 해의 토양 유기탄소(C) 축적량, 톤 C

$SOC_{(0-T)}$ = 인벤토리 기간 중 첫 해의 토양 유기탄소(C) 축적량, 톤 C

SOC_0와 $SOC_{(0-T)}$는 탄소(C) 축적량 인용값과 저장변화계수가 각 시점 (시간=0과 시간=0-T)에서 토지이용과 관리방법 그리고 이에 해당하는 토지면적에 따라 정해지는 박스 내의 SOC 공식을 이용해서 계산된다.

T = 단일 인벤토리기간의 연수, yr

D = 평형 SOC 값 사이의 전환에 관한 기본값 기간인 저장변화계수의 시간 의존도, 년. 대개 20년이며, 계수 F_{LU}, F_{MG}, F_I를 계산하여 성립된 가정에 기초한다. T가 D를 초과하는 경우, 인벤토리기간(0-T)에 대한 연간 변화율을 구하기 위해 T값을 사용한다.

c = 기후지대. *s*는 토양유형, *i*는 각 나라에 존재하는 관리시스템

SOC_{REF} = 탄소(C) 축적량 인용값, 톤 C ha^{-1} (표 2.3)

F_{LU} = 토지이용 시스템이나 특정 토지이용 하부시스템의 저장변화계수, 단위 없음

[주: 체계(regine)의 영향을 산정하기 위한 산림토양 탄소(C) 계산에서, F_{ND}는 F_{LU}로 대체된다.]

F_{MG} = 관리 체계에 대한 저장변화계수, 단위 없음

F_I = 유기물 투입에 대한 저장변화계수, 단위 없음

A = 산정된 층의 토지 면적 층, ha. 이 층의 모든 토지는 일반적인 생화학적 상황 (즉, 기후나 토양유형)과 인벤토리 기간동안 분석을 위해 종합적으로 다루어진 관리이력 포함해야 한다.

인벤토리 산정계산은 기후지역 (3장의 별첨 3A.5 기본 기후분류 참조)과 표 2.3에 제시된 토양 기본유형 (3장의 부속서 3A.5의 토양기본분류 참조)에 의해 계층화된 토지면적을 근거로 한다. 저장변화계수는 매우 광범위하게 정의되며, 다음과 같은 내용을 포함 한다: 1) 연 토지이용 유형과 관련된 탄소(C) 축적량의 변화를 나타내는 토지이용 계수 (F_{LU}), 2) 토지이용부문 (예. 농경지에서 이루어지는 여러 가지 경작방법들)의 특성별 주요 관리 방법들을 나타내는 토지관리계수(F_{MG}) 3) 토양에 투입되는 서로 다른 양의 탄소(C)를 나타내는 투입계수(F_I). 위에서 언급된 것처럼, 자연 교란 체계의 영향을 설명하기 위해서 임지에서 F_{ND}는 F_{LU}로 대체 된다 (제4장, 4.2.3절 참조). 저장변화계수들은 토지이용단원 중 토양의 탄소(C) 부문에서 제시될 것이다. 각 계수들은 특정 기간 이후의 변화들을 나타내며 (D), 기간은 부문에 따라서 달라질 수 있지만, 부문 내에서는 대체로 변하지 않는다 (예. 경작 시스템에서는 20년). 어떤 인벤토리에서는 인벤토리 기간(T)이 D를 초과할 수도 있으며, 이와 같은 경우 연간 탄소(C) 축적률의 변화는 D대신 [(SOC_0-$SOC_{(0-T)}$) A]를 T로 나눈 값으로 얻게 될 것이다. 토지이용단원의 토양의 탄소(C) 부문에서 이 방법을 적용하기 위한 단계별 지침을 구체적으로 제시해 놓았다.

표 2.3
무기토양에 대한 토양 유기탄소 축적량 (SOC_{REF}) 기본 인용값 (천연 식생 하의)
(0-30 cm 깊이에서 톤 C HA^{-1})

기후지역	HAC토양[1]	LAC토양[2]	사질토[3]	염토[4]	화산토[5]	습지토양[6]
아한대	68	NA	10#	117	20#	146
한대, 건조	50	33	34	NA	20#	87
한대, 습윤	95	85	71	115	130	
온대, 건조	38	24	19	NA	70#	88
온대, 습윤	88	63	34	NA	80	
열대, 건조	38	35	31	NA	50#	86
열대, 습윤	65	47	39	NA	70#	
열대, 다습	44	60	66	NA	130#	
열대, 산림	88*	63*	34*	NA	80*	

주: 위의 자료는 Jabbagy and Jackson (2000), Beronux *et el* (2002)에 의해 기술된 토양 데이터베이스에서 유래된 것이다. 평균 축적량이 제시된다. ±90%의 명목상 오차 (평균의 비율과 같이 2x 표준편차로 표현되는)가 토양 및 기후 유형에 대해 가정된다. NA는 '이용이 가능하지 않음'을 의미한다. 왜냐하면 이러한 토양은 어떤 기후대에서는 일반적으로 나타나지 않기 때문이다.

자료의 이용이 가능하지 않음을 나타내며, *1996 IPCC 가이드라인*의 기본값이 계속 사용된다.

* 열대 산지 기후에서 이와 같은 토양 유형에 대한 탄소(C) 축적량 인용값의 직접적인 산정을 위한 자료의 이용이 가능하지 않다. 그래서 저장량은 온대 기후, 유사한 연평균 온도와 강수량을 가진 습윤지에서 유도된 산정치를 기초로 한다.

[1] 고활성 점토 (HAC) 광물을 보유한 토양은 2:1 비율의 실리카 점토광물로 우점된 다소 풍화된 토양일 것이다 ((토양자원에 대한 세계 인용값 기준 (World References Base for Soil Resources : WRB)의 분류법에서는 Leptosols, Vertisols, Kastanozemes, Chernozems, Phaeozemes, Luvisols, Alisols, Albeluvisols, Solonetz, Calcisols, Cypsisols, Umbrisols, Cambisols, Rogosolos을 포함한다; USDA 분류법에서는 Mollisols, Vertisols, 강염기 상태의 Alfisols, Aridsols, Inceptisols를 포함한다).

[2] 저활성 점토 (LAC) 광물을 보유한 토양은 점토광물과 비결정 철이 1:1, 그리고 산화 알루미늄으로 우점된 아주 풍화된 토양일 것이다 (WRB 분류법에서는 Acrisols, Lixisols, Nitisols, Ferralsols, Durisols를 포함한다; USDA 분류법에서는 Ultisols, Oxisols, 산성의 Alfisols를 포함한다).

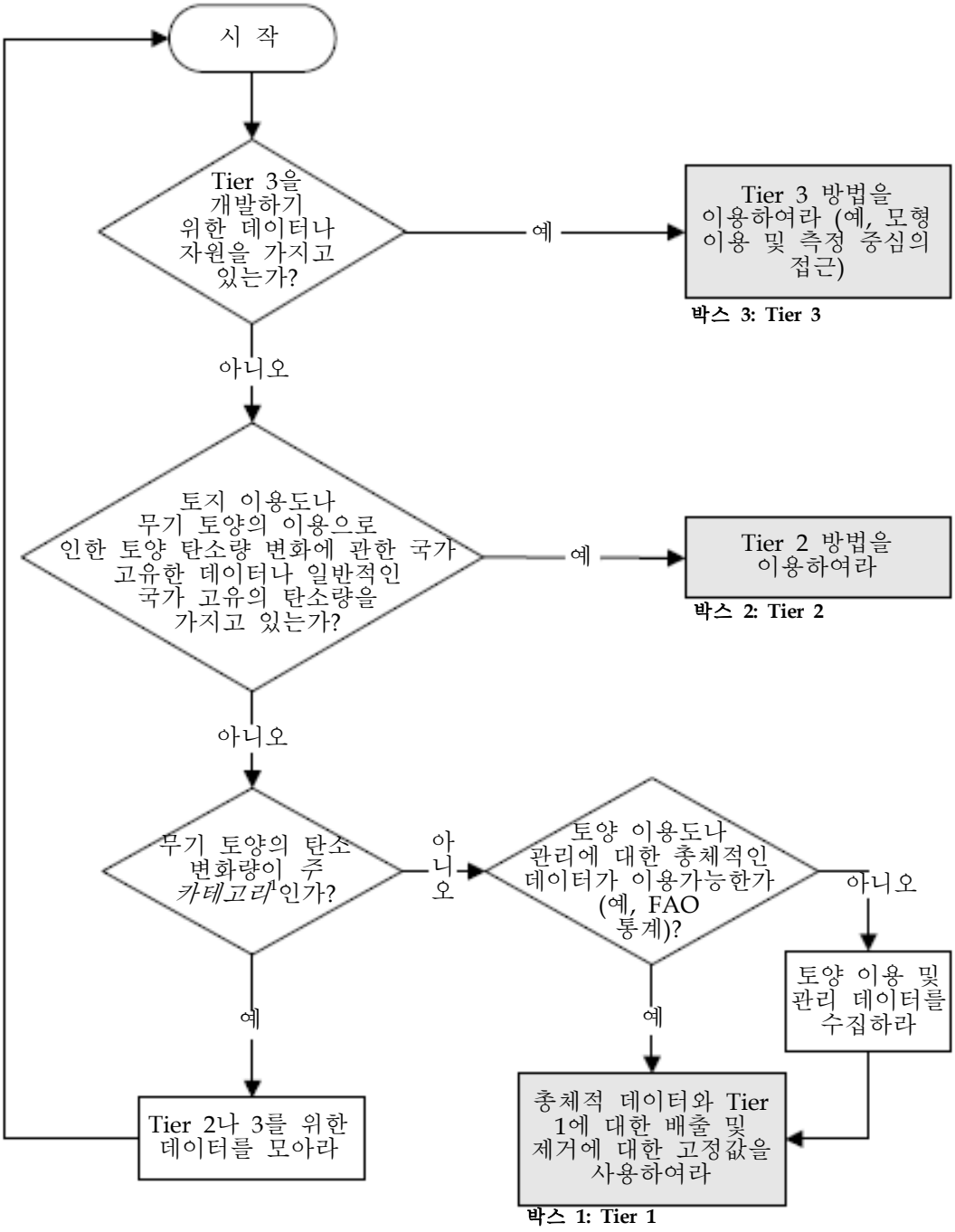
[3] 표준 구조 분류법에 기초해서 >70% 모래와 점토 < 8%를 보유한 모든 토양 (분류법에 의한 분류와 관계없이)을 포함한다 (WRB 분류법에서는 Arenosols를 포함한다; USDA 분류법에서는 Psamments를 포함한다).

[4] 강한 회백토를 보이는 토양 (WRB 분류법에서는 Podzols을 포함한다; USDA 분류법에서는 Spodosols를 포함 한다).

[5] 알로판 광물학 (allophanic mineralogy)으로 화산재로부터 파생된 토양 (WRB 분류법에서는 Andoslos; USDA 분류법에서는 Andisols)

[6] 주기적으로 침수 되서 혐기적 상태로 이끄는 배수가 제한된 토양 (WRB 분류법에서는 Gleysols; USDA 분류법에서는 Auic 아목).

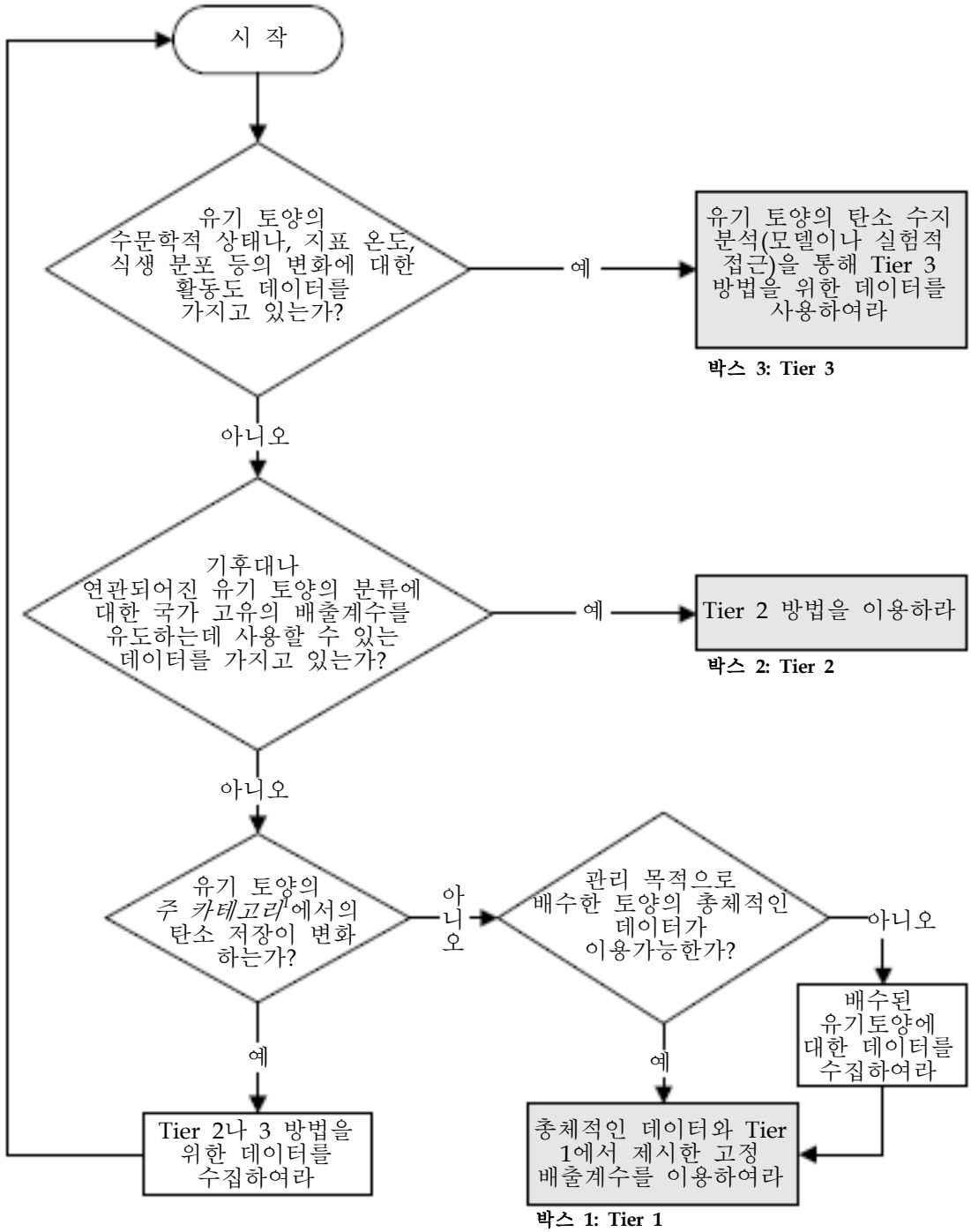
그림 2.4 토지이용카테고리에서 무기토양의 탄소 축적량의 변화를 산정하는데 적절한 Tier를 결정하기 위한 일반적인 의사결정도



주:

1: 제1권 제4장, 주 카테고리에 대한 논의와 의사결정도의 이용에 대한 "방법론의 선택과 주 카테고리의 확인" (제한된 자원에 대한 4.1.2절 참고)

그림 2.5 토지이용카테고리에서 유기토양의 탄소 축적량의 변화를 산정하는데 적절한 Tier를 결정하기 위한 일반적인 의사결정도



주:

1: 제1권 제4장, 주 카테고리에 대한 논의와 의사결정도의 이용에 대한 "방법론의 선택과 주 카테고리의 확인" (제한된 자원에 대한 4.1.2절 참고)

식 2.25를 이용해서 Tier 1이나 Tier 2 방법을 적용할 때, 토지이용과 토지관리 활동자료의 유형이 수식을 공식화 (아래 박스 2.1 참조)하는데 있어서 직접적인 영향을 끼친다. 접근법 1로 수집된 활동자료는 공식 A에 적합할 것이고, 접근법 2나 3으로 수집된 활동자료는 공식 B에 적합할 것이다 (제3장에서 활동자료수집 접근방법에 대해 추가 논의).

박스 2.1

접근법 1, 2, 3의 활동자료 수집방식에 따른 식 2.25의 유도법과 변환모형

어떤 접근법이 사용되었느냐에 따라 두 가지 각기 다른 식을 유도할 수 있는데, 다음과 같다:

공식 A (접근법 1을 사용한 활동자료의 수집)

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{\left[\sum_{c,s,i}\left(SOC_{REF_{c,s,i}} \bullet F_{LU_{c,s,i}} \bullet F_{MG_{c,s,i}} \bullet F_{I_{c,s,i}} \bullet A_{c,s,i}\right)\right]_{0} - \left[\sum_{c,s,i}\left(SOC_{REF_{c,s,i}} \bullet F_{LU_{c,s,i}} \bullet F_{MG_{c,s,i}} \bullet F_{I_{c,s,i}} \bullet A_{c,s,i}\right)\right]_{(0-T)}}{D}$$

공식 B (접근법 2를 사용한 활동자료의 수집)

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{\sum_{c,s,p}\left[\left\{\left(SOC_{REF_{c,s,p}} \bullet F_{LU_{c,s,p}} \bullet F_{MG_{c,s,p}} \bullet F_{I_{c,s,p}}\right)_{0} - \left(SOC_{REF_{c,s,p}} \bullet F_{LU_{c,s,p}} \bullet F_{MG_{c,s,p}} \bullet F_{I_{c,s,p}}\right)_{(0-T)}\right\} \bullet A_{c,s,p}\right]}{D}$$

여기서:

p = 토지 구획

다른 항에 대한 추가 설명은 식 2.25 참고.

활동자료의 수집은 접근법 1을 통해서만 가능할 경우가 있다 (제3장). 이렇게 수집된 자료는 서로 다른 두 시간대의 총 토지의 기후, 토양, 토지이용과 관리 시스템을 나타내며, 이때 인벤토리 수집 기간동안의 세부적인 토지 이용이나 관리 방법의 변화를 나타내지 않게 된다 (즉, 총 또는 순 변화만이 알려져 있고, 세부적인 활동의 변화는 나타나지 않는 것). 무기탄소(C) 축적량의 변화는 접근법 1의 활동자료를 사용해서 식 2.25의 공식 A를 이용해서 계산될 것이다. 이와 대조적으로, 활동자료는 각각의 토지관리시스템을 위한 총면적 뿐 아니라, 초과 토지구획에 대한 토지이용과 토지관리의 특정 변화를 제시하는 표본조사나 원격탐사자료에 근거하여 수집될 것이다. 이는 제3장의 접근법 2와 3의 활동자료로 간주되며, 토양의 탄소(C) 축적량의 변화는 식 2.25의 공식 B를 이용하여 계산된다. 공식 B는 토지구획의 합 (즉, "p"는 관리시스템을 나타내는"i"와는 별개로 공식 B에서의 토지구획을 나타낸다)을 포함하며, 이는 인벤토리 작성자들이 토지구획에 대한 탄소(C) 축적량의 변화를 계산할 수 있게 해준다.

식 2.25를 이용해서 접근법 1의 활동 자료 (제3장 참조)를 가지고 토지이용과 토지 관리 효과가 토양 탄소(C)의 양에 미치는 영향을 추정할 때에 한 가지 주의할 점이 있다. 이는 접근법 1의 자료가 개별 토지면적의 변화를 기록하지 않는다는 점이며, 따라서 SOC 축적량의 변화는 Tier 1의 약 20년에 해당하는 D년간, 또는 D년 간 가장 가까운 시간의 단위로 계산된다는 점이다. 예를 들면, 농경지가 1990년과 1995년 사이에 전 경작 (full tilage)에서 무 경작 (no-tillage) 관리시스템으로 전환 했다면, 공식 A (박스 2.1참조)에 따른 산정은 인벤토리기간 동안의 토양 탄소(C) 증가라는 결과를 산출할 것이다. 하지만 동일한 토지가 1995년과 2000년 사이에 무 경작 (no-till)으로 남아 있었다면, 추가적인 토양탄소(C)의 증가가 없었다는 결과를 도출하게 될 것이다 (즉, 1995년의 총량은 무 경작 (no-till) 관리에 기반 한 것이므로, 무 경작 (no-till) 관리에 기반 한 2000년 (SOC_0)의 총량과의 차이가 없을 것 이다.

기본 접근법을 사용한다면 이 산정치에는 오류가 생길 것 이다. 토양의 탄소(C) 축적량의 변화는 20년이 넘는 주기를 기반으로 이루어지기 때문이다 (즉, D = 20 년). 그러므로 $SOC_{(0-T)}$는 인벤토리기간의 마지막 해로부터 D년 전 (SOC_0)인, 조사기간 내에서 가장 먼 시간대를 기반으로 계산해야 한다. 예를 들면, D가 20년일 때를 가정하고 인벤토리 자료가 1990, 1995, 2000, 2005년과 2010년에 기반 한다고 가정 하면, 각 다른 해의 토양 유기탄소(C)의 변화량을 추측하기 위해 $SOC_{(0-T)}$는 1990년에 대해 계산하게 된다. 이 때, 011년 이후에 활동자료가 추가로 수집되지 않는 이상 $SOC_{(0-T)}$를 계산하는 연도는 바뀌지 않는다 (예. 2011년의 탄소(C) 축적량의 변화량을 계산 할 경우에는 이 예제 내에서 D를 초과하지 않는 가장 먼 시간대인 1995년에 대해 계산한다).

변환모형을 통한 변환이 가능하다면 (예. 접근법 2나 3의 활동자료), 변화량을 일 년 주기로 산정해 볼 수 있다. 위의 예에서, 1995년과 2000년 사이에 어떤 무 경작 (no-till) 토지는 전 경작(full-till) 토지로 변환되었음을 가정한다. 이 때, 1990년과 1995년 사이의 전 경작(full-till) 로의 전환에서 비롯된 탄소(C) 축적량의 증가는 995년과 2000년의 증가량으로부터 감축시켜야 할 것이다. 또한 전 경작(full-till) 로 환원된 토지에 한해서는 2000년 이후의 추가적인 탄소(C) 축적량의 변화는 필요하지 않을 것이다 (경작관리방법이 동일하게 유지된다고 가정할 때). 무 경작 (no-till)으로 유지되는 토지에만 한정하여 탄소(C)의 증가가 2010년까지 계속 된다 (예. D가 20년이라고 가정 할 때). 그러므로 접근법 2와 3의 활동자료로부터 변환모형을 적용하는 인벤토리 작성자들은 시간 주기에 대한 SOC의 증가나 감소량을 계산할 때 추가로 주의를 기울여야 할 것이다. 자세한 내용은 박스 2.2를 참고한다. 접근법 1의 총괄적인 활동자료의 통계에 기반 한 토양탄소(C) 산정방법에 대한 적용은 다른 방법에 비해 훨씬 더 간단할 것이다. 하지만 결과적으론 접근법 2와 3, 변환 모형을 통한 세부적인 토양유기탄소(C)의 변화량 측정이 더 정확한 분석치를 나타내주므로 각 국은 가능하다면 이 방식의 이용을 권한다.

상황에 따라서 활동자료가 D보다 더 긴 주기에 대해 수집될 수도 있다. 예를 들면, D가 20년일 때, 수집주기가 30년 일 수 있다. 이 때, 연간 축적량의 변화는 T를 D로 치환하고, 또 연간 변화율을 너무 높게, 또는 낮게 산정하지 않는 이상, 활동자료가 수집 (예. 1990, 2020, 2050) 된 각 연도에 대한 증가율을 산정할 수 있다.

유기토양

유기토양 (예. 토탄에서 유도된)으로부터 탄소(C) 배출량을 산정하는 기본적인 방법론은, 배수에 따른 탄소(C)의 손실량을 산정하는 일년 주기의 배출계수를 선정하는 것이다. 배수는 혐기적인 환경 하에서 축적된 유기물의 산화를 촉진한다. 특히, 각 기후유형 조건에서 배수되고 관리되는 유기성 토양의 총면적을 배출계수와 곱해 식 2.26에 제시된 연간 탄소(C) 배출량 (배출원)을 산정할 수 있다:

식 2.26
배수된 유기토양(CO_2)으로부터의 연간 탄소 손실량

$$L_{Organic} = \sum_{c} (A \bullet EF)_c$$

여기서:

$L_{Organic}$ = 배수된 유기 토양으로부터의 연간 탄소 손실량, 톤 C yr^{-1}

A = *c*유형의 기후일 때 배수된 유기토양의 면적, ha

주: A 는 제11장, 식 11.1과 11.2에서 아산화질소(N_2O)의 배출량을 산정할 때 사용된 (F_{os}) 동일한 면적이다

EF = *c*유형의 기후에 대한 배출계수, 톤 C ha^{-1} yr^{-1}

이 방법의 적용에 대한 구체적인 단계별 안내에 대해서는 토지이용 장의 토양 탄소(C)에 대한 절을 참조한다.

박스 2.2
접근법 1의 전체 통계 적용과 변환모형에 대한 접근법 2, 3의 활동자료 비교

다음 표의 내용과 같이, 토지의 일부가 용도 변화되는 국가를 가정 해 본다. 각 행은 1 Mha 단위의 면적을 나타 낸다 (F = 임지; C = 농경지; G = 초지):

토지 단위 ID	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
1	F	C	C	C	C	C	C
2	F	C	C	C	G	G	G
3	G	C	C	C	C	G	G
4	G	G	F	F	F	F	F
5	C	C	C	C	G	G	G
6	C	C	G	G	G	C	C

간편화를 위해, 한 국가 당 한 가지 종류의 토양을 가정하였다. 또한 산림 식생에 관련된 SOC_{Ref} (0-30 cm) 의 값을 77 톤 C ha^{-1}로 하였다. F_{LU} 값은 1.00, 1.05 그리고 0.92 에 해당하는 각각 F, G 그리고 C를 가진다. F_{MG} 와 F_I 는 1의 값을 가진다고 가정하였다. 축적량 변화계수 (D)의 시간 의존도는 20년이다. 마지막으로, 토지이용은 1990년에 평형상태가 되었다고 가정하였다 (즉, 1990년 이전의 20년 동안 토지이용 변화가 발생되지 않았다). 접근법 1의 활동자료 (예. 전체 통계 자료)를 사용 할 때에는 식 2.25를 사용하여 탄소(C) 축적량의 연간 변화량을 각각의 인벤토리 년도에 대해 계산해야 한다. 다음의 표는 계산 결과를 나타낸다:

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
F (Mha)	2	0	1	1	1	1	1
G (Mha)	2	1	1	1	3	3	3

C (Mha)	2	5	4	4	2	2	2
SOC_0 (Mt C)	**458**	**436**	**442**	**442**	**462**	**462**	**462**
$SOC_{(0-T)}$ (Mt C)	458	458	458	458	458	436	442
$\triangle C_{Mineral}$ (Mt C yr^{-1})	**0**	**-1.1**	**-0.8**	**-0.8**	**0.2**	**1.3**	**1.0**

토지이용변화가 잘 알려진 접근법 2와 3의 자료가 사용된다면, 탄소(C) 축적량은 각 단위 면적당 역사적 변화를 고려해 계산할 수 있다. 연간 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위해서, 모든 단위를 합하여 계산한 탄소(C) 축적량을 20년 전의 인벤토리가 아닌 바로 전의 인벤토리 년도와 비교하였다:

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
단위 1의 SOC_0 (Mt C)	77.0	75.5	74.0	72.5	71.0	71.0	71.0
단위 2의 SOC_0 (Mt C)	77.0	75.5	74.0	72.5	75.0	77.5	80.0
단위 3의 SOC_0 (Mt C)	81.0	78.5	76.0	73.5	71.0	73.5	76.0
단위 4의 SOC_0 (Mt C)	81.0	81.0	80.0	79.0	78.0	77.0	77.0
단위 5의 SOC_0 (Mt C)	71.0	71.0	71.0	71.0	73.5	76.0	78.5
단위 6의 SOC_0 (Mt C)	71.0	71.0	73.5	76.0	78.5	76.0	73.5
SOC_0 (Mt C)	**458**	**453**	**449**	**445**	**447**	**451**	**456**
$SOC_{(0-T)}$ (Mt C)	458	458	453	449	445	447	451
$\triangle C_{Mineral}$ (Mt C yr^{-1})	0	-1.1	-0.8	-0.8	0.5	0.8	1.0

:

두 방법은 탄소(C) 저장량에 대한 서로 다른 산정치를 산출하고, 변환 모형에 접근법 2나 3의 자료를 사용한다면, 접근법 1의 전체 통계를 사용한 것보다 더 정확한 통계치를 얻을 수 있다. 하지만 예제에서 볼 수 있듯이, 연간 탄소(C) 축적량 변화의 산정치는 전반적으로 크게 다르지 않다. 동일한 지역에 토지이용변화가 여러 번 있었다면, 각 자료의 접근법은 더욱 큰 차이를 보이게 된다(위 예제의 토지 단위 2, 3 그리고 6에서 볼 수 있듯이). 한 가지 주목할 점은 시스템이 새로운 평형상태에 도달 할 때, 접근법 1, 2와 3의 활동자료가 모두 동일한 탄소(C) 축적량의 변화를 나타낸다는 것이며, 이러한 새로운 평형상태는 Tier 1 방법을 사용해서 토지이용과 관리가 20년간 변하지 않았을 때 도달한다. 결과적으로, 접근법 1, 2나 3의 활동자료를 사용하면, 탄소(C) 축적량의 증가와 감소를 놓치지 않을 수 있다. 그러나 위에서 언급한 바와 같이, 이러한 값들은 때에 따라서 변동하기도 한다.

토양 무기탄소(C)

토양 무기탄소(C) 의 축적량과 그 변화량에 대한 토지이용과 관리 활동의 영향은 토양 수문학과 광물학에 의해 결정된다. 더 나아가, 이러한 영향에 대한 정확한 산정을 위해서는 관리되고 있는 토지에서 용해된 무기탄소(C)와 양이온의 동태를 적어도 이들이 해양의 무기 탄소 (C) 순환에 완전히 합류될 때까지 추적할 것을 필요로 한다. 따라서 축적량의 순 변화를 정확히 산정하기 위해서는 종합적인 수리지화학적 분석이 필요하며, 이러한 분석은 오랜 기간동안 용해된 이산화탄소(CO_2)와 탄산염, 중탄산염 종류와 양이온 (예. Ca나 Mg)의 동태의 추적을 필요로 한다. 이러한 분석은 Tier 3의 방법을 필요로 한다.

Tier 2 : 국가별 자료의 접목

Tie r2 접근법은 Tier 1 방법의 자연적인 연장선상에 있으며, 광물과 유기토양에 대한 기본 식을 사용하는 동시에 인벤토리에 각 국가별 자료를 접목 시키게 해준다. Tier 1의 기본 접근법의 모든 항목을 세부적으로 정의 할 수 없더라도, 가능하다면 각 국이 Tier 2의 기본 접근법을 이용할 것을 권장한다. 예를 들면, 한 국가는 그 국가만의 탄소(C) 축적량을 산정 할 만큼의 자료만을 보유하고 있을 수 있다. 이 자료는 기본 축적량 변환 계수와 같이 사용되어 광물질 토양의 유기 탄소(C) 축적량을 산정할 수 있다.

무기 토양

국가별 자료는 광물질 토양의 축적량의 변화를 산정하는데 쓰이는 Tier 1 인벤토리 접근법의 4개의 세부항목을 개선시키는데 사용 될 수 있다. 개선될 수 있는 세부항목은 지역별 및 국가별 축적량 변화 계수나 탄소(C) 축적량 인용값 유도, 관리 시스템, 기후, 토양 카테고리의 정의를 포함 한다 (예. Ogle *et al.*, 2003; Vanden Bygaart *et al.*, 2004; Tate *et al.*, 2005). 인벤토리 작성자들은 Tier 1 방법의 식 2.25의 인벤토리 계산 방식이 나타내듯이 각 세부항목의 특정값을 모두 유도 할 것인지, 아니면 기본값과 더해질 부분집합의 값을 유도 할 것인지 선택할 수 있다. 또한 Tier 2는 Tier 1에서 제시되는 계산법과 같은 방법을 사용한다.

1) *관리 시스템의 정의.* Tier 2의 인벤토리에서 쓰이는 관리 시스템과 Tier 1의 방법이 같을 수도 있지만, 경험적 자료에 기반 한 유기탄소(C) 축적량이 한 국가에 미치는 영향을 더욱 정확하게 나타내기 위해 기본 관리 시스템을 추가로 세분화 할 수 있다 (즉, 축적량 변화 계수는 각 관리 시스템마다 크게 다르므로). 하지만 이러한 접근법은 바탕이 되는 자료가 각 토지를 더욱 세부적인 관리 시스템으로 나눌 수 있을 만큼 충분히 상세적일 때만 가능하다.

2) *기후대와 토양 유형.* 세부적인 토양 분류자료와 기후자료를 보유한 국가는 국가별 분류법을 개발 할 수 있다. 또한 새로운 Tier 2의 인벤토리를 개발함에 따라 탄소(C) 축적량 인용값이나 축적량 변화 계수의 정의 방식이 개선된다면, 개발과 병행하여 더 나은 기후자료와 토양 분류자료를 *갖출 것을 권한다.* 실제로, 경험적 분석에 근거한 탄소(C) 축적량 인용값이나 축적량 변화 계수는 기후대나 토양 유형에 따라 크게 다르다. 새로운 기후대나 토양 유형을 정의하려면 국가별 탄소(C) 축적량 인용값과 축적량 변화 계수를 유도해야 한다는 점에 주목해야 할 것이다. 기본 탄소(C) 축적량 인용값과 축적량 변화 계수는 기본 기후나 토양유형을 사용하는 인벤토리에 대해서만 적합하다.

3) *탄소 (C) 축적량 인용값.* 국가별 탄소(C) 축적량 인용값 (SOCref)을 유도하는 것은 Tier 2의 인벤토리를 개선할 수 있는 방법 중 하나이다 (Bernoux *et al.*, 2002). 국가별 자료를 사용하여 축적량 인용값을 산정하면 더욱 정확한 대표값을 구할 수 있다. 국가별 탄소(C) 축적량 인용값의 유도는 국가 토양 조사 등의 한 부분으로써 토양 측정을 통해 이뤄질 수 있다. 이 때, 신뢰할 수 있는 분류법을 통해 토양을 분류 하는 것이 중요하다. 국가별 값을 유도하는데 있어서 추가로 유의해야할 점이 세 가지 있다. 첫 번째는 국가별로 토양 카테고리와 기후대를 정의해야 한다는 점 (즉, IPCC의 기본 분류를 사용하는 대신), 두 번째는 인용값의 구성조건의 결정이며, 세 번째는 축적량이 산정되는 깊이의 증가이다. 축적량은 유기탄소(C)의 비율 (예. % C를 100으로 나눈 값)과 깊이 증가 값 (기본값 30 cm), 용적비중, 증가된 깊이 내의 거친 파편의 자유토의 비율 (예, < 2 mm 파편)을 모두 곱해 계산 된다 (Ogle *et al.*, 2003). 거친 파편의 자유토의 비율은 질량을 기준으로 한다 (예. 거친 파편의 자유토의 질량/토양의 총 질량).

인용값의 구성조건은 토양 내 탄소(C) 축적량에 미치는 토지이용변화의 상대적인 영향을 결정하는 토지이용/피복 카테고리와 같다 (예. 식 2.25의 F_{LU} 항을 이루는 본래 토지의 탄소(C) 축적량과 농경지 등 다른 용도의 토지의 탄소(C) 축적량과의 상대적인 차이). Tier 1 방법의 인용값의 구성조건은 본래 토지에 기반하며 (즉, 토착 초목으로 구성된 퇴화되지 않고 개량되지 않은 토지), 여러 국가가 이 같은 구성조건을 기반으로 Tier 2에 접근할 것이다. 하지만 다른 토지이용도 구성조건으로 채택 될 수 있으며, 이에 기반 하여 더욱 확고한 국가별 축적량 인용값을 결정 할 수 있다면 이를 권장한다. 축적량 인용값은 토지 이용과 별개로 일관성이 있어야 하며 (예. 임지, 농경지, 초지, 주거지, 기타 토지), 이는 AFOLU절의 토양의 탄소(C) 인벤토리를 조사하는 각 팀의 조율을 필요로 한다.

국가별 탄소(C) 축적량 인용값을 유도하면서 주의해야 할 또 다른 점은 탄소(C) 축적량을 더 깊은 깊이의 토양에서 산정했을 가능성이다 (즉,. 상대적으로 감소된 단면). 표 2.3에서 제시된 토양 유기탄소(C) 축적량은 지상으로부터 30 cm의 토양 단면에 기반 한 것이다. 만약 충분한 자료가 수집되어 있고, 토지이용 변화와 관리가 제시된 깊이 증가에 상당한 영향을 미친 것으로 판단된다면, 더욱 깊은 깊이의 토양에서 탄소(C) 축적량 인용값을 유도하는 것이 *바람직하다*. 탄소(C) 축적량 인용값의 깊이에 대한 어떤 변화도 30 cm 깊이에 대한 영향에 기반 한 기본값들로 가정되고, 새로운 축적량 변화 계수의 유도를 필요로 할 것이다.

4) *축적량 변화 계수*. Tier 2의 접근법의 중요한 발전은 국가별 축적량 변화 계수 (F_{LU}, F_{MG} 와 F_I)의 산정이다. 국가별 축적량 변화 계수는 실험/측정 자료와 컴퓨터 모델 시뮬레이션을 통해서 유도될 수 있다. 실제로, 축적량 변화 계수의 유도는 각각의 연구나 관측 결과의 반응 비율을 산정한 것을 포함 한다 (예, 다른 투입량이나 관리 방식에 대한 탄소(C) 축적량은 각각의 실습에서 얻어진 값으로 나눈다).

최선의 경우는 각 연구로부터 얻는 반응비율의 값을 산정하고, 이러한 값들을 적절한 통계적 기법으로 분석하여 개별 국가와 주변 지역의 실험/측정 자료로부터 축적량 변화 계수를 유도하는 것이다 (예. Ogle *et al.*, 2003 and 2004; VandenBygaart *et al.*, 2004). 여기서 쓰이는 자료는 출간된 보고서, 논문, 기타 자료 등을 통해서 얻을 수 있으며, 인벤토리 작성자는 직접 새로운 실험을 수행할 수도 있다. 자료의 출처에 상관 없이, 비슷한 배경과 관리 시스템, 비슷한 지형학적인 위치, 토양의 물리적 특성, 지리적으로 가까운 특성들을 지닌 자료를 사용하는 것이 *좋다*. 이러한 연구들은 탄소(C) 축적량 (예. 각 토지 당, 특정한 깊이 당 질량)에 대한 자료를 포함해야 하며, 또한 SOC 축적량을 산정하는데 필요한 정보를 포함하여야 한다 (즉, 용적비중과 유기물의 비율, 보통 2 mm보다 큰 파편이며, 토양 내 유기탄소(C)가 아닌 물질로 정의되는 토양 내의 암석의 비율). 만약 유기탄소(C)의 비율 대신 유기물의 비율이 제공된다면, 0.58의 변환계수를 이용해 탄소(C) 함량을 산정할 수 있다. 또한 토양 내 탄소(C) 축적량의 측정은 같은 질량에 기초하여 이루어지는 것이 *바람직하다* (여. Ellert *et al.*, 2001; Gifford and Roderick, 2003). 이 방법을 사용하기 위해서, 인벤토리 작성자는 본래의 토지나 전통적인 농경지와 같은 명목상의 토지이용에 대한 탄소(C) 축적량을 측정할 깊이를 결정해야 할 것이다. 이러한 깊이는 탄소(C) 축적량 인용값에 쓰인 깊이와 일관성이 있어야 한다. 토지이용이나 관리에 의한 토양 내의 탄소(C) 축적량의 변화는 같은 질량의 토양 깊이에서 측정한다.

국가별 값을 유도하는 또 다른 방법은 더욱 향상된 모델로부터 축적량 변화 계수를 산정하는 것이다 (Bhatti *et al.*, 2001). 향상된 모델의 사용법을 설명하기 위해서 시뮬레이션 된 축적량 변화 계수를 실제로 실험에서 측정된 탄소(C) 축적량의 변화와 비교해 볼 수 있다. 이에 따른 모델의 평가 결과를 제시하고 이미 발표된 논문 등을 인용하며, 인벤토리 보고서에 이 결과를 기록하는 것이 바람직하다. 이 방법은 축적량 변화 계수라는 개념과 Tier 1에서 설명한 탄소(C) 산정방법에 의존하기 때문에, Tier 2의 접근법에

해당한다.

실험 자료나 향상된 모델 사용 여부에 관계없이, 국가별 관리 계수 (F_{MG})와 입력 계수 (F_I)는 관리 시스템 분류와 일관되도록 유도해야 한다. 만약 더 많은 시스템이 인벤토리 내에서 정의 된다면, 더욱 세분화된 토지이용 카테고리를 위해 각 시스템에 대해 구체화된 계수가 유도되어야 한다.

국가별 축적량 변화 계수를 유도할 때 또 유의해야할 점은 이러한 계수들이 시간 의존도 (식 2.25의 D 참조)와 관련된다는 점이다. 이는 몇 년 동안 대부분의 토양 유기탄소(C) 축적량의 변화가 일어날지, 또 몇 년간 이에 따른 관리의 변화가 일어날지를 결정한다. 토지이용부문 (예. 농경지의 경우에는 20년)에 대해서는 기본적인 시간 의존도 (D)를 사용하는 것도 가능하지만, 충분한 자료가 다른 기간의 사용을 정당화 할 수 있다면 이러한 의존도는 바뀔 수도 있다. 덧붙이면, 이 접근법은 식 2.25에서 제시된 모든 축적량 변화 계수에 대해 같은 시간 의존도 (D)를 사용할 것을 전제로 설계되었다. 만일 F_{LU}, F_{MG} 와 F_I 의 값에 다른 시간대를 선택하여 사용한다면, 토지 이용, 관리 그리고 투입이 미치는 영향을 각각 따로 계산하고, 이 값들을 관련된 축적량 변화 의존도로 나눠야 할 것이다. 이것은 식 2.25에서 시간 T와 0-T 에 대한 SOC가 각각의 축적량 변화 계수에 대해 계산 될 수 있도록 식 2.25를 조정함으로써 이뤄질 수 있다 (즉, SOC는 차례대로 F_{LU}에 대해서 계산되고, F_{MG} , F_I에 대해서 계산된다). 각각의 차이를 각각에 맞는 D 값으로 나누어진 토지 이용, 관리, 입력에 관련된 축적량에 대해 계산한 다음, 모든 차이 값을 합한다.

탄소(C) 축적량의 변화는 보통 비선형적인 경향으로 발생되며, 이 경향을 적절히 나타낼 수 있도록 축적량 변화 계수의 시간 의존도를 더욱 발전시키는 것이 가능하다. 토지 이용과 관리의 변화에 따른 토양 내 탄소(C) 함량의 감소는 변화 첫 몇 년 간 변화율이 가장 크며, 변화율은 시간이 지남에 따라 감소한다. 이와 반대로 토양 내 탄소(C)가 토지 이용과 관리의 변화에 의해 증가할 때, 증가율은 초기에는 느리다 시간이 지나면서 증가하고, 다시 감소 추세를 보이는 S자 곡선을 따른다. 만약 같은 위치의 재조사를 통해 토지 이용과 관리활동의 연대별 변화를 추적 할 수 있다면 (즉, 접근법 2 나 3의 활동자료, 제3장 참조), 토양 내 탄소(C) 축적량의 비선형적 변화를 내포하는 Tier 2의 방법으로도 실행이 가능 할 것이다.

시간 의존도와 마찬가지로 영향력을 측정하는 깊이도 기본 접근법의 깊이와 다를 수 있다. 하지만 각각 다른 토지이용간의 불필요한 전환을 막기 위해, 또 이러한 전환을 위해 인위적으로 토양의 탄소(C) 축적량 변화 산정치가 증가 또는 감소하는 것을 막기 위해, 탄소(C)의 축적량 인용값 (SOC_{Ref})과 축적량 변화 계수 (F_{LU}, F_{MG}, F_I)가 같은 깊이에서 측정되고, 이러한 일관성이 모든 토지 이용 부문에 대해 유지되는 것이 중요하다. 보고 과정의 일환으로 모든 정보와 바탕이 되는 새로운 계수들의 출처를 기록해 두는 것이 *좋다*.

유기 토양

유기 토양의 배수에 관련된 이산화탄소(CO_2) 배출량에 대한 Tier2의 접근법은 식 2.26을 사용해 배출량을 산정 할 수 있도록 국가별 정보를 인벤토리에 접목 시킨다 (일반적인 식과 이 방법의 적용에 대한 추가적인 논의는 지난 Tier 1 부문 참조). 또한 Tier 2는 Tier 1과 같은 계산 단계를 갖는다. Tier 1 방법의 개선은 다음을 통해 이루어질 수 있다: 1) 국가별 배출계수의 유도, 2) 국가에 더욱 적합하게 고려된 기후대의 정의, 3) 각 토지이용 카테고리에 대한 관리 시스템의 더욱 세분화되고, 구체화된 분류.

만약 실험 자료를 이용할 수 있다면 국가별 배출계수를 유도하는 것이 *바람직하다*. 또한, 제시된 분류들에서 측정된 탄소(C) 손실률 간에 상당한 차이가 존재한다면, 기후와 관리 시스템에 더욱 세분화된 분류 기준을 적용할 것을 *권장한다*. 국가적인 규모의 기후대 및 관리 시스템을 정확히 설명하기 위해서는 어떠한 유도방식에도 충분한 토지 이용/관리 활동 자료와 환경 자료가 뒷받침 되어야 한다는 점을 유의해

야 한다. 유기토양에 대한 Tier 2의 인벤토리를 개발할 때에도 앞에서 무기토양의 인벤토리 개발에서 설명한 것과 동일한 유의점들이 적용된다.

유기토양에 대한 국가별 배출계수는 연간 탄소(C) 축적량 감소 측정치에 기반하며, 이는 모든 토양단면에 대해 동일하게 적용된다. 다른 방법은 토지 침전물을 배수에 따른 탄소(C) 손실량의 측정 대신 사용하는 것이다 (e.g., Armentano and Menges, 1986). 탄소(C) 손실량은 유기물의 산화에 따른 연간 침전량, 무기화된 유기물의 탄소(C) 함량, 그리고 용적비중의 작은 부분으로서 계산된다 (Ogle *et al.*, 2003).

토양 무기탄소 (C)

Tier 1에서 설명한 내용을 참조.

Tier 3: 향상된 산정 시스템

토양의 탄소(C)에 대한 Tier 3의 접근법은 향상된 산정 시스템의 개발을 포함한다. 이 시스템은 인벤토리 기간동안 축적량 변화 계수에 기반 해 일정한 연간 탄소(C) 축적량 변화를 가정하는 Tier 1이나 Tier 2 보다 유동량의 연간 변화를 더 정확하게 묘사할 것이다. 핵심적으로, Tier 1 과 Tier 2는 토양의 탄소(C) 축적량에 미치는 토지이용과 관리의 영향을 한 평형점으로부터 다른 평형점까지의 선형적인 변화로 나타낸다. 보다 정확한 이해를 위해서는, 탄소(C)는 대개 완전한 평형상태에 이르지 못하며, 전환 기간동안 선형적인 추세로 변화하지 않는다는 점을 인식하는 것이 중요하다. 이것은 축적량에 영향을 미치는 많은 변수들이 역동적으로 변하기 때문이며, 새로운 평형점에 "가까워질수록" 더욱 짧은 주기로 변화하기 때문이다. Tier 3 접근법은 Tier 1 이나 2에서 사용되었던 모델들보다 더욱 향상된 모델을 사용하고 측정 기반의 감시 네트워크를 개발함으로써 이를 비선형적으로 설명할 수 있다. 또한 Tier 3 인벤토리는 더욱 긴 주기 동안의 토지 이용과 관리의 영향을 다룰 수 있다. 반대로, Tier 1과 Tier 2 접근법은 지난 20년 동안의 무기탄소(C) 축적량 등 일반적으로 토지 이용과 관리가 미친 가장 최근의 영향만을 설명할 수 있다. Tier 3의 방법에 대해 추가적인 설명은 2.5절을 참고 한다 (Tier 3 방법에 대한 일반적인 안내).

무기 토양

모델에 기반 한 접근법은 토지 이용, 작물생산과 낙엽 뿐 아니라 미생물의 분해에 의한 탄소(C) 투입량을 조절하는 과정에 대한 관리와 같이 토양의 탄소(C) 증가와 감소 과정을 양적으로 묘사한 기계적인 시뮬레이션을 사용할 수 있다 (예. McGill, 1996; Smith *et al.*, 1997b; Smith *et al.*, 2000; Falloon and Smith, 2002; and Tate *et al.*, 2005). Tier 3 의 방법은 토양의 부식이 탄소(C) 축적량 변화에 미치는 영향을 산정할 수 있는 유일한 방법이다. 또한 Tier 3의 모델 기반 접근법을 통해 바이오매스간, 고사 바이오매스와 토양간의 탄소(C) 교환량을 추정할 수 있는데, 이는 대기로의 이산화탄소(CO_2) 흡수량과 배출량에 비례하는 탄소(C)축적량의 증가 및 감소를 확인하고 예측된 질량의 보존을 확인하는데 유리하다.

Tier 3의 모델링 접근법은 토지 이용 및 관리의 영향 뿐만 아니라 토양의 탄소(C) 축적량을 조절하는 날씨, 생태계 등의 역동적인 환경 조건도 다룰 수 있다. 토양의 탄소(C)의 축적량에 미치는 토지 이용 및 관리의 영향은 환경 조건에 따라 다르며, 이러한 변화들은 더 낮은 수준의 Tier에서는 고려되지 않았고, 이런 점 때문에 낮은 Tier 방식을 통해서는 중립적이지 못한 결과를 도출 할 수도 있다.

따라서 Tier 3의 접근법은 토지 이용 및 관리 활동이 탄소(C) 축적량에 미치는 영향을 더욱 정확하게 산정할 수 있다. Tier 3의 모델의 정확도를 평가하기 위해서는 벤치마킹을 취할 지역 몇 곳을 지정해야한다. 이상적인 경우에는 영구적이며 통계적으로 동등한 벤치마킹 및 모니터링 지역 몇 곳을 정하여 이 지역에

서 중요한 기후대, 토양 유형, 관리 시스템 및 시스템의 변화를 측정해 주어진 기간 내에 주기적으로 토양의 유기 탄소(C) 축적량을 측정 할 수 있다 (Smith, 2004a). 모니터링은 3년, 5년 내지 10년 주기의 재 표본 수집을 바탕으로 한다. 연간 탄소(C) 축적량의 변화는 토양 내 탄소(C) 축적량에 비해 상대적으로 작기 때문에, 더욱 짧은 표본 주기가 결과에 큰 영향을 미치지는 않을 것이다 (IPCC, 2000; Smith, 2004b).

Tier 3의 방법은 모델 기반 접근방식 외에도 모델 평가에 쓰이는 모니터링 네트워크 시스템을 사용해, 측정에 기반 한 인벤토리를 확장할 기회를 제공한다. 하지만 완전한 인벤토리의 바탕이 되어 줄 측정 네트워크 시스템은 오차율을 줄이고 모든 기후대와 주요 토양 유형별 관리 시스템 및 토지이용 변화를 고려하기 위해서 기존에 비해 상당히 큰 표본 수집을 필요로 한다 (Sleutel *et al.*, 2003; Lettens *et al.*, 2004). 측정 네트워크 시스템은 벤치마크 지역에서 수집한 토양 표본, 또는 플럭스 타워 (flux tower) 네트워크에 기반 한다. 에디 공분산 시스템 (Eddy covariance system) (Baldocchi *et al.*, 2001)을 이용하는 플럭스 타워 (flux tower)는 대기와 토양 간의 순 이산화탄소(CO_2) 의 교환량을 측정할 수 있는 특별한 경우이다. 따라서 특정한 토양 저장고의 탄소(C) 축적량의 변화를 측정하기 위해서는 플럭스 타워 (flux tower) 측정 네트워크는 다음과 같은 필요 충족사항들을 만족시켜야 한다; 1) 국가 규모의 변화량을 측정하기 위해서는 타워는 충분한 밀도로 분포되어 있어야 한다; 2) 유동량의 산정치는 각각의 토지이용 및 관리 활동에 부여 되어야 하며; 3) 이산화탄소(CO_2)의 변화량은 또한 토양 (및 바이오매스 및 고사 유기물) 내 축적량의 변화량을 포함한 각각의 저장고에 부여 되어야 한다. 토양 측정에 대해 추가적으로 고려해야 할 부분은 앞에서 무기 토양에 대한 Tier 2 방법에 제시되어 있다 (축적량 변화 계수에 대한 설명 참조).

측정값에 기반 하는 인벤토리가 모든 탄소(C) 산정 접근법을 나타내고, 토양 내 탄소(C) 축적량에 대한 모든 영향을 설명할 수 있는 것이 중요하다. 토지 이용 및 관리의 영향만을 고려한 부분적인 산정은 어려울 수 있다.

유기 토양

무기 토양과 유사하며, 유기토양의 이용 및 관리에 부여된 이산화탄소(CO_2) 배출량을 모델이나 측정에 기반 한 접근법을 통해 산정할 수 있다. 역동적이며 기계적인 모델은 일반적으로 증가나 감소에 관련된 과정을 묘사할 수 있으며, 토지 이용 및 관리, 특히 배수가 분해에 미치는 다양한 영향을 나타낼 수 있다. 유기 토양의 관리와 그에 따른 탄소(C) 축적량의 변화를 모델 및 측정에 기반 해 접근할 때에도 위에서 설명한 바와 같이 무기 토양에 대해 고려해야 될 점들이 동일하게 고려되어야 한다.

토양 무기탄소(C)

더욱 발전된 Tier 3의 접근법을 통해 관리가 무기 토양의 탄소(C) 저장고에 미치는 영향과 관련된 변화를 산정할 수 있다. 예를 들면, 관개는 토양의 무기탄소(C) 축적량과 유동량에 영향을 미칠 수 있지만 그 방향과 크기는 관개수의 배출원과 속성, 그리고 배출된 용존 무기 탄소(C)의 배출원과 양, 동태에 좌우된다. 건조하거나 반 건조 지역에서, 석고 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 토양 개량제가 토양의 무기탄소(C)축적량의 증가를 야기할 수 있는데, 이는 토양 교질상의 Na^+를 대체하는 Ca^{2+}의 양, 중탄산염이나 방해석 ($CaCO_3$) 의 침전물과의 화학반응에 영향을 받는다. 산림 벌채/식림과 토양을 산성화 시키는 관리 활동과 같은 기타 토지 이용과 관리 또한 토양의 무기탄소(C) 축적량에 영향을 미칠 수 있다. 하지만 이러한 변화는 장소마다 다른 조건에 따라 저장고내의 탄소(C)의 축적량을 증가시킬 수도 있고 감소시킬 수도 있으며, 이러한 변화가 미치는 영향이 작을 수도 있다.

현재 토지이용과 관리로 인한 토양 유기탄소(C) 의 변화를 측정하는 모델이 거의 존재하지 않으므로,

Tier 3 접근법을 실행하기 위한 상당히 많은 시간과 자원이 필요하다. 자료와 지식이 충분하고 토양 유기탄소(C) 축적량의 현저한 변화가 활발하다면, 나라들이 토양 유기탄소(C) 축적량에 대한 영향을 측정하기 위해, 모든 토지이용과 관리 활동들을 포함하는 폭 넓은 수리지화학적 분석을 하는 것이 *바람직하다*. 모델링 접근법은 토지이용과 관리 활동들을 비 인위적 효과로부터 분리시켜야 한다. 대안적으로, 측정에 기초한 접근법은 위에서 언급된 무기 토양의 경우와 같이, 토양 유기 탄소(C)의 모니터링 네트워크와 협력하여, 본래의 장소에서 무기탄소(C) 축적량이나 이산화탄소(CO_2) 유동량을 결정하기 위해 관리되는 토지에서 주기적으로 벤치마크 부지를 표본 추출함으로써 이용될 수 있다. 그러나 용해된 무기탄소(C)의 양과 동태는 용출되는 모든 무기탄소(C)의 손실량이 이산화탄소(CO_2)로서 대기 중으로 배출된다고 가정되는 것과 같이, 뒤 따른 측정, 모델링, 또는 가정을 단순화하는 작업이 필요하다.

2.4 non-CO_2 배출량

바이오매스 연소, 가축과 분뇨의 관리, 또는 토양으로부터 상당한 양의 비 온실가스의 배출이 있다. 토양으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출은 제11장에서 다루게 되는데, 여기서 한 나라가 국가 규모의 활동자료를 사용하기 위해 선택한다면, 국가적으로 적용될 수 있는 방법 (즉, 토지이용유형에 상관없이)에 대한 지침이 제시되어 있다. 가축과 분뇨로부터 메탄(CH_4)과 아산화질소(N_2O) 배출량에 대한 지침은 제10장에만 언급되었는데, 이는 배출량이 토지의 특성에 의존하지 않기 때문이다. 화재로부터 배출되는 온실가스 (이산화탄소(CO_2)와 non-CO_2 가스 모두)를 측정하기 위한 일반적인 접근법은 아래의 임지, 초지, 농경지 장에 주어진 토지이용 특유의 증대와 더불어 기술되어 있다. 생략이나 중복 계산을 피하기 위해 탄소(C) 축적량이나 저장고에서의 손실로 인한 이산화탄소(CO_2) 와 non-CO_2 배출의 완전한 범위를 확인하는 것이 바람직하다.

화재로 인한 배출은 이산화탄소(CO_2) 뿐만 아니라 다른 온실가스, 또는 연료의 불완전 연소로부터 발생하는 온실가스의 전구체도 포함한다. 이들은 일산화탄소(CO), 메탄(CH_4), 비메탄 휘발성 유기 화합물 (Non-Methane Volatile Organic Compounds: NMVOC)과 질소 종류들 (예. N_2O, Nox)이다 (Levine, 1994). *1996 IPCC Guideline*과 *GPG2000* 에서 온실가스의 배출량은 임지와 초지 전환에 따른 배출량과 함께 언급되었다. 재배작물유형과 임지의 화재에 의해 달라지는 방법론은 포함되지 않았다. *GPG -LULUCF*에서 화재로 인한 배출량 (이산화탄소(CO_2)와 non-CO_2), 특히 임지 (교란에 의한 탄소(C)의 손실)를 다루는 장에서 언급되었다. 농경지와 초지를 다루는 장에서는, 이산화탄소(CO_2) 배출이, 뒤이은 일년 내의 식물의 재성장으로부터 이산화탄소(CO_2) 흡수에 의해 평형을 이룬다는 가정과 더불어 non-CO_2 배출량만이 고려되었다. 이 가정은 토양 비옥도의 지속성을 의미 한다 - 이 가정은 나라들이 화재로 인한 토양 비옥도 감소의 증거를 갖게 되면 무시된다. 임지에서는 일반적으로 공시적 연구가 결여되어 있다 (보고하는 해의 이산화탄소(CO_2)의 배출량과 흡수량의 비가 동등하지 않음).

이러한 지침서는 화재로 인한 배출량을 측정하기 위한 보다 일반적인 접근법을 제공한다. 화재는 바이오매스 (특히, 지상부)뿐만 아니라 고사 유기물 (낙엽층과 고사목)에도 영향을 주는 교란으로 취급된다. 바이오매스 연료라는 용어가 널리 사용되고 지침서 안에 보유된다. 살아 있는 바이오매스가 아닌 연료 성분이 매우 중요한데 특히 산림 시스템 내에서 더욱 그렇다. 농경지와 초지는 우거진 초목이 거의 없기 때문에, 인용값은 바이오매스 연소에 대해 대개 만들어지는데, 이는 바이오매스가 화재로 인해 영향을 받는 주요 저장고이기 때문이다.

국가들은 임지, 농경지와 초지에서의 화재로 인한 온실가스 배출량을 측정할 때 다음의 원칙들을 적용해야 한다.

- 보고의 범위: 배출량(이산화탄소(CO_2)와 non-CO_2)은 관리되는 모든 토양 (예외는 다음에서 논의되

듯이, 초지로부터 이산화탄소(CO_2)에 대한 모든 화재를 보고해야 한다 (화재나 자연화재로 기술된다). 토지이용 변화가 있는 곳에서 화재로 인한 온실가스 배출량은 새로운 토지이용 카테고리 하에 기록되어야 한다. 관리되지 않은 땅에서의 자연화재 (화재라고 묘사되지 않는)로 인한 배출은, 토지이용 변화가 이어지지 않는다면 (즉,. 관리되는 토지로 되었을 경우), 보고되지 않아도 된다.

- 관리도구로서의 화재 (연소로 묘사): 불에 탄 지역으로부터의 온실가스 배출량은 보고되어야 한다. 그리고 화재가 관리되지 않은 땅에 영향을 끼칠 경우, 화재 이후 토지이용의 변화가 따른다면 온실가스 배출량은 보고되어야 한다.
- CO_2의 배출량과 흡수량의 등가성 (동시성) : 인벤토리 년도 내에서 바이오매스 저장고의 이산화탄소(CO_2) 배출량과 흡수량이 동등하지 않은 곳에서 이산화탄소(CO_2) 순 배출량이 보고되어야 한다. 초지 바이오매스의 연소와 잔여 농작물의 연소에서는, 등가성에 대한 가정이 일반적으로 합리적이다. 그러나 우거진 초목이 이 토지 카테고리 내에서 연소된다면, 이러한 배출원으로부터 온실가스 배출량은 고차 수준의 Tier 방법을 이용하여 보고해야 한다. 더욱이 세계의 많은 곳에서, 주기적으로 연소되는 방목이 임지의 우세한 토지이용인데 (예. 방목되는 임지와 사바나), 이러한 시스템서는 등가성으로 가정되기에 앞서 주의가 기울여 져야 한다. 임지에서 목본류 바이오매스가 없어지면 (즉, 손실은 여러 해 동안의 성장과 탄소(C) 축적을 나타낸다), 이는 등가성으로 보기 어렵고 순 배출량은 보고되어야 한다. 예는 다음과 같다: 원시 숲의 개간, 농경지/플랜테이션으로 전환, 임지의 자연화재.
- 연소할 수 있는 연료: 연소할 수 있는 연료의 양을 감소시키는 몇 가지가 요인들이 고려되어야 한다 (예. 방목, 분해, 바이오연료의 제거, 가축 사료 등). 잔여물의 양을 과소산정하거나 중복 계산하는 것을 피하기 위해 질량 균형접근법이 채택되어야 한다 (2.3.2절 참고).
- 연간 보고: 각 국은 공간적, 시간적으로 예측하기 어려운 화재 (특히, 자연화재)로부터 발생하는 온실가스 배출량을 해마다 산정하여 보고해야 한다.

이런 가이드라인은 화재 (산림 전환으로 인한 것들 포함)에 의한 임지 내의 탄소(C) 축적량 변화와 non-CO_2 배출량, 초지와 농경지 내의 non-CO_2 배출량을 산정하는 포괄적인 접근법을 제공한다. 크게 다섯 가지 종류의 화재로부터의 non-CO_2 배출량을 다룬다: (1) 초지내의 산불 (관목지와 사바나 내의 화재를 포함); (2) 농업 잔류물의 연소 (3) 임지 내의 낙엽층 및 수확 잔류물의 연소; (4) 농업적 용도로의 산림개간을 위한 연소; (5) 다른 유형의 화재 (자연 화재를 포함). 또한 직접적인 이산화탄소(CO_2) 배출량은 (3),(4),(5)번의 화재에서 다룬다. 이산화탄소(CO_2) 배출량을 각 분류의 화재별로 근사하는 과정은 비슷한 요소들을 포함한다. 특정한 토지이용 절에서 배출량 계산방법을 반복해서 설명하는 것을 피하기 위해 이 절은 산불에 의한 이산화탄소(CO_2)와 non-CO_2 배출량을 산정하는 일반적인 접근법을 제공한다.

위에서 언급한 사바나 내의 화재는 초지내의 바이오매스 연소를 소개하는 절에 포함되어 있다 (제 6장 초지, 6.3.4절). 임지와 비슷한 물리적 특성을 가진 사바나로부터의 온실가스의 배출량을 산정할 때, 중복계산하지 않는 것이 중요하다. 이에 대한 한 예는 브라질 내의 세라도(cerrad□o) (밀집된 산림지)의 발생인데, 이 산림이 사바나의 한 종류이긴 하지만 생물학적 특성 때문에 산림을 임지의 한 종류로 포함한다.

화재는 연소에 의한 온실가스 배출의 경우와 마찬가지로 비유동성의 탄소(C) 축적량 (목탄이나 숯의 형태)을 발생 시킨다. 화재 후의 잔류물은 화학적 속성 때문에 미생물에 의해 분해되지 않는 소량의 숯, 또 완전, 또는 부분 연소된 상태의 물질 등을 포함한다. 상반된 화재조건에서의 숯 발생률에 대한 자료는 현재로써는 빈약한 수준이며 (Forbes *et al.*, 2006; Preston and Schmidt, 2006) 그렇기 때문에 인벤토리에 포함될 수 있을 정도의 확고한 체계로 간주할 수 없다. 따라서 이 가이드라인에서는 여기에 대한 추가적인 설명을 생략한다. 여기에 대한 발전 및 개발에 대한 기술적인 근거를 부속서 1에 포함하였다.

NMVOC의 배출량 또한 화재를 통해 발생하지만 현재에는 산정에 필요한 자료가 부족하며, 또한 결정적

인 매개변수 중 다수가 불확정적이므로, 신뢰할만한 정확도로 배출량을 산정할 수 없다. 따라서 여기에 관련된 추가적인 설명도 생략한다.

방법의 설명

이 가이드라인의 각 절은 화재에 의한 이산화탄소(CO_2)와 non-CO_2 배출량 대한 세 개의 Tier 접근법을 포함한다. 어떤 Tier를 선택할지는 그림 2.6에서 제공되는 의사결정도에 제시된 순서에 따라 결정 할 수 있다. Tier 1의 접근법 하에서, 본 장과 관련된 각 토지이용 절에서 제공되는 기본 자료를 취하여 식 2.27의 유도방식을 화재로부터 발생한 이산화탄소(CO_2)와 non-CO_2 배출에 대해 적용할 수 있다. 고차원의 Tier는 식 2.27을 더욱 세밀히 구성하여 적용할 것을 필요로 한다.

상당한 양의 고사 유기물이 연료로 축적되어 있을 때, Tier 1의 방법론은 고사 유기물 저장고를 산정할 (2.3.2절 참조) 간단 화 된 접근법을 사용하므로, 이러한 시스템 (예. 임지와 다른 용도로 전환된 임지) 내에서 화재로 인해 발생한 순 온실가스 배출량을 산정할 때에는 특정한 가정이 성립되어야 한다. 이미 화재가 발생한 산림이지만 완전히 불타지 않은 산림 내의 고사 유기물로부터 이산화탄소(CO_2) 배출은 없다고 가정 할 수 있다. 만약 화재가 충분히 강력하여 산림을 부분적으로 연소시켰다면, Tier 1의 방법론에 의하여 연소된 바이오매스의 탄소 (C) 함유량은 모두 대기 중으로 배출되었다고 가정한다. 만약 화재에 의해 연소된 바이오매스의 양이 화재에 의해 연소된 고사목이나 낙엽층의 탄소(C) 함량보다 많다면, Tier 1의 이러한 간략화는 배출량을 실제보다 높게 산정하는 결과를 가져올 수 있다.

non-CO_2 온실가스 배출량은 모든 화재 상황에 대해 산정된다. Tier 1의 방법에 따라 non-CO_2 배출량은 표 2.4에서 제공되는 연료 소비량과 적절한 배출계수 (표 2.5)를 사용하여 산정할 수 있다 (예. 새롭게 연소된 바이오매스를 소비된 연료에 포함하지 않는다). 만약 산림 내의 화재가 총 순 온실가스 배출량에 크게 기여한다면 각 국이 고사유기물의 동역학을 포함하고, 직접적인 화재의 배출량과 화재 후의 배출량을 더욱 정확히 산정하는 더욱 포괄적인 방법론 (더욱 높은 Tier)을 개발해야 할 것이다.

용도가 변경된 임지의 경우, 연소된 유기물은 추가로 쓰러진 초목과 기존의 고사 유기물로부터 유도되며, 이산화탄소(CO_2)의 배출량이 보고되어야 한다. 이러한 경우에는 소모된 총 연료의 산정치 (표 2.4)는 식 2.27을 통해 이산화탄소(CO_2)와 비 온실가스 배출량을 산정하기 위해 사용될 수 있다. 하지만 토지이용 전환 동안 고사 유기물의 탄소(C) 손실량이 식 2.27과 (연소에서 비롯한 손실로써) 식 2.23 (분해에 의한 손실로써) 중복 계산되지 않도록 주의해야 한다.

산불로 인한 각각의 온실가스 배출량을 산정하기 위한 일반적인 방법론은 식 2.27에 종합적으로 서술하였다.

식 2.27

산불에 의한 온실가스 배출량 산정

$$L_{fire} = A \bullet M_B \bullet C_f \bullet G_{ef} \bullet 10^{-3}$$

여기서:

L_{fire}= 화재로 인한 온실가스 배출량, 각 온실가스의 무게를 톤으로 나타냄. 예, CH_4, N_2O 등.

A = 연소된 면적, ha

M_B =연소 가능한 연료의 질량, 톤 ha^{-1}. 이것은 바이오매스, 지상의 낙엽층, 그리고 고사 유기물을 포함한다. Tier 1의 방법이 사용된다면 낙엽층과 고사목의 저장고를 0으로 가정한다. 단, 토지이용변화가 없다는 조건 하에서 (2.3.2.2절 참조).

C_f = 연소 계수, 무차원 (표 2.6에 제시된 기본 값)

G_{ef} = 배출계수, g kg^{-1} 연소된 건물질 (표 2.5에 제시된 기본 값)

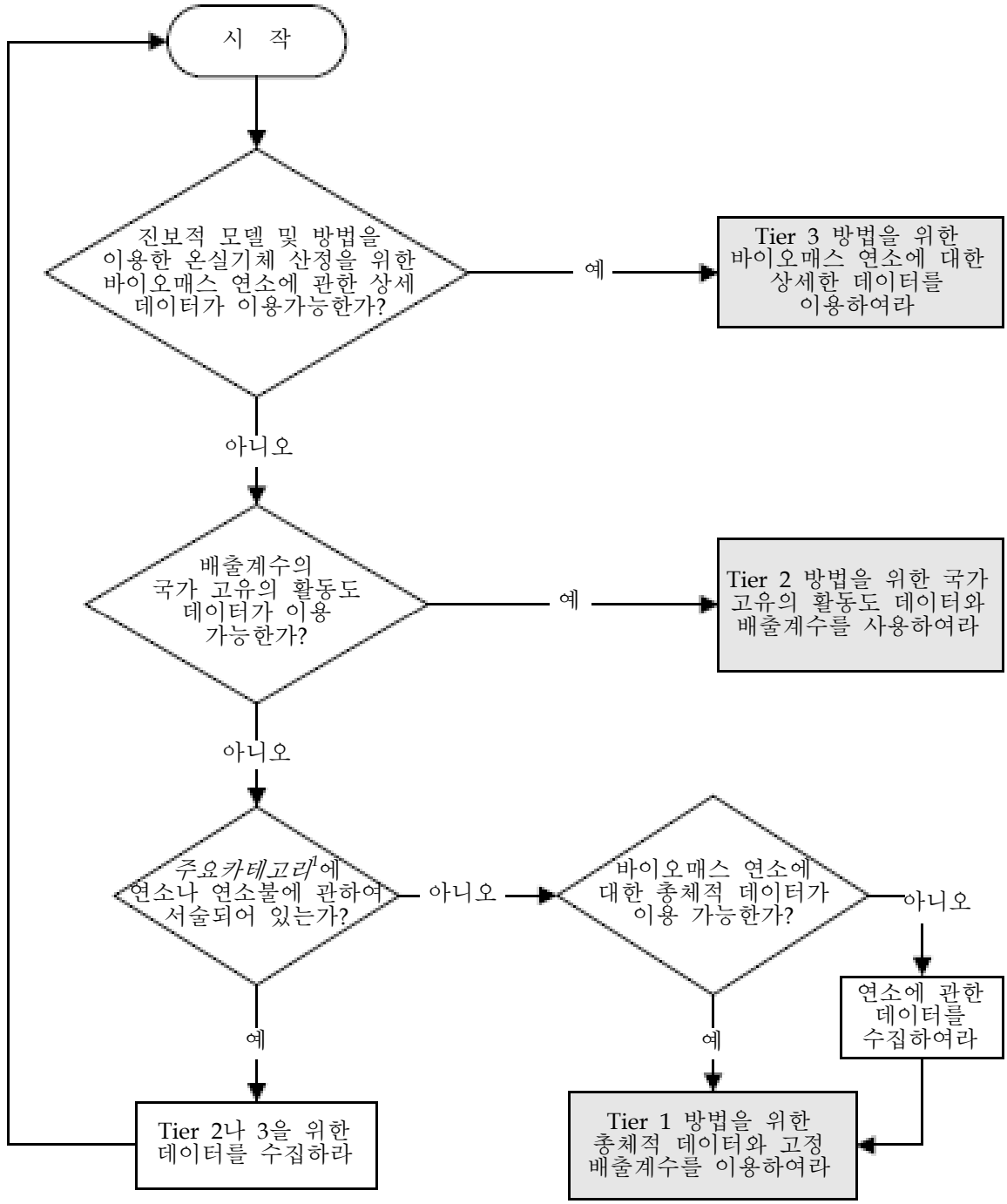
주: 만약 M_B 와 C_f 를 이용 할 수 없다면, Tier 1의 방법론으로 실제로 연소된 연료의 양에 대한 기본 값을 사용 할 수 있다 (M_B 와 C_f를 곱한 값, 표 2.4).

이산화탄소(CO_2)에 한해서, 식 2.27은 식 2.14 와 연계된다. 이를 통해서 어떤 교란에 의한 살아있는 바이오매스의 연간 손실량을 산정할 수 있다. 연소될 수 있는 연료의 양은 연소된 총면적과 알려진 지역의 연료 밀도를 통해 알 수 있다. 지역의 연료 밀도를 계산 할 때, 바이오매스, 고사목, 낙엽을 포함하여 계산하며, 이러한 요소들은 종류, 연령이나 식생 조건에 따라 바뀔 수 있다. 화재의 종류 또한 연소될 수 있는 총 연료의 양에 영향을 미친다. 예를 들면, 산림 내 낮은 화력의 화재일 경우 연소 될 수 있는 연료의 종류는 지표면의 낙엽층이나 고사 유기물 정도로 한정되며, 높은 화력의 '수관화(crown fire)'일 경우에는 상당한 양의 임목 바이오매스를 연료로써 연소할 수 있다.

연소 계수는 연소된 연료의 비율을 나타낸다. 이 비율은 연료의 크기와 구조 (예. 임목줄기와 같은 거친 연료는 풀잎과 같이 비교적 미세한 연료에 비해 잘 탄다), 연료의 수분함량, 그리고 화재의 종류(예. 표 2.6에 나타난 것과 같이 기후나 지역의 물리적 특성에 의해 화력의 정도와 연소율이 바뀐다)에 따라 달라진다. 마지막으로, 연소 계수는 건물질 단위당 배출되는 온실가스의 양을 제시한다. 이 배출량 또한 바이오매스의 탄소(C) 함량과 완전 연소의 여부 등에 따라 달라진다. 또한 N(질소)의 함량이 높은 종의 연료를 연소하는 화재에서는 N의 함량이 질소산화물(NOx)이나 N_2O(아산화질소) 배출량에 직접적으로 영향을 미친다. Andreae and Merlet (2001)가 연소 계수에 대해 포괄적인 재검토를 실시하였고 이를 표 2.5에 나타내었다.

Tier 2 방법은 Tier 1 방법과 같은 일반적인 접근법을 이용한다. 하지만 Tier 1 방법과 다른 점은 기본 표에서 제공되는 자료 보다 더욱 구체적인 국가별 연소 계수와 연료 밀도 산정, 그리고 연소 계수를 사용한다는 점이다. Tier 3 방법은 연료의 역학적 특성 (바이오매스나 고사 유기물 등)을 고려하여 더욱 포괄적이라고 할 수 있다.

그림 2.6 토지이용카테고리로부터 온실가스 배출량을 산정하는데 적절한 Tier를 결정하기 위한 일반적인 의사결정도



주:

1: 제1권 제4장, 주 카테고리에 대한 논의와 의사결정도의 이용에 대한 "방법론의 선택과 주 카테고리의 확인" (제한된 자원에 대한 4.1.2절 참고)

표 2.4
산불로 인한 식생 유형별 연료 (고사 유기물과 살아있는 바이오매스)
바이오매스 (톤, 건물질 HA^{-1}) 소모값
(절대 양인 곱셈 값' M_B C_f 를 산정하기 위해서 식 2.27에서 쓰인다)

식생 유형	하위 카테고리	평균	표준오차	참고문헌
원시 열대림 (잔가지와 연소)	원시 열대림	83.9	25.8	7, 15, 66, 3, 16, 17, 45
	원시 열대소림	163.6	52.1	21
	원시 열대 습윤림	160.4	11.8	37, 73
	원시 열대 건조림	-	-	66
모든 원시 열대림		**119.6**	**50.7**	
2차 열대림 (잔가지와 연소)	어린 2차 열대림 (3-5년)	8.1	-	61
	중간 2차 열대림 (6-10년)	41.1	27.4	61, 35
	진화된 2차 열대림 (14-17년)	46.4	8.0	61, 73
모든 2차 열대림		**42.2**	**23.6**	66, 30
모든 3차 열대림		**54.1**	**-**	66, 30
아한대림	자연산불 (일반적인)	52.8	48.4	2, 33, 66
	수관화	25.1	7.9	11, 43, 66, 41, 63, 64
	지표 화재	21.6	25.1	43, 69, 66, 63, 64, 1
	잔가지 연소 이후	69.6	44.8	49, 40, 66, 18
	토지정리를 위한 산불			10, 67
모든 아한대림		**41.0**	**36.5**	43, 45, 69, 47
유칼립투스림	자연산불	53.0	53.6	66, 32, 9
	화재로 묘사된 - (지상)	16.0	13.7	66, 72, 54, 60, 9
	잔가지 연소 이후	168.4	168.8	25, 58, 46
	쓰러진, 제거된, 연소된 목재 (토지정리를 위한 산불)	132.6	-	62, 9
모든 유칼립투스림		**69.4**	**100.8**	
기타 온대림	자연산불	19.8	6.3	32, 66
	잔가지 연소 이후	77.5	65.0	55, 19, 14, 27, 66
	쓰러지고 연소된 목재 (토지정리를 위한 산불)	48.4	62.7	53, 24, 71
모든"기타"온대림		**50.4**	**53.7**	**43, 56**

표 2.4 (계속)
산불로 인한 식생 유형별 연료 (고사 유기물과 살아있는 바이오매스)
바이오매스 (톤, 건물질 HA^{-1}) 소모값
(절대 양인 곱셈 값' M_B C_f 를 산정하기 위해서 식 2.27에서 쓰인다)

식생 유형	하위 카테고리	평균	표준오차	참고문헌
관목지	관목지 (일반적인)	26.7	4.2	43
	소관목 (*Calluna* heath)	11.5	4.3	26, 39
	산쑥	5.7	3.8	66
	핀보스	12.9	0.1	70, 66
모든 관목지		**14.3**	**9.0**	
사바나 산림지대 (초기 건기의 연소)*	사바나 산림지대	2.5	-	28
	사바나 수림초원지대	2.7	-	57
사바나 산림지대 (초기 건기의 연소)*		**2.6**	**0.1**	
사바나 산림지대 (중/후기 건기의 연소)*	사바나 산림지대	3,3	-	57
	사바나 수림초원지대	4.0	1.1	57, 6, 51
	열대 사바나	6	1.8	52, 73
	기타 사바나 산림지대	5.3	1.7	59, 57, 31
모든 사바나 산림지대 (중기/후기 건기 연소)*		**2.1**	**-**	
사바나 초지/방목지 (중/후기 건기의 연소)*	열대/아열대 초지	5.2	1.7	9, 73, 12, 57
	초지	4.1	3.1	43, 9
	열대 방목지~	23.7	11.8	4, 23, 38, 66
	사바나	7.0	2.7	42, 50, 6, 45, 13, 65
모든 사바나 초지 (중기/후기 건기의 연소)*		**10.0**	**10.1**	
기타 식생 유형	이탄지	41	1.4	68, 33
	툰드라	10	-	33
농산물 잔류물 (수확면적의 연소 이후)	밀 잔류물	**4.0**		주 b 참조
	옥수수 잔류물	10.0		주 b 참조
	벼 잔류물	5.5		주 b 참조
	사탕수수[a]	6.5		주 b 참조

* 지상에서의 연소만
~ 벌채된 열대림에서 유도 (연소되지 않은 목제 물질을 포함)
[a] 사탕수수의 경우, 자료는 수확 이전의 화재에 기반 한다.
[b] 저자들에 의한 전문적인 평가.

표 2.5
식생 유형별 연소에 대한 배출계수 (g kg^{-1} 연소된 건물질).
평균 ±표준오차의 값들이며 ANDREAE and MERLET의 총괄적인 재검토에 기반 한다 (2001)
(식 2.27에서 'G_{ef}'의 양으로 쓰인다)

카테고리	CO_2	CO	CH_4	N_2O	NOx
사바나와 초지	1613 ±95	65 ±20	2.3 ±0.9	0.21 ±0.10	3.9 ±2.4
농산물 잔류물	1515 ±177	92 ±84	2.7	0.07	2.5 ±1.0
열대림	1580 ±90	104 ±20	6.8 ±2.0	0.20	1.6 ±0.7
기타 열대림	1569 ±131	107 ±37	4.7 ±1.9	0.26 ±0.07	3.0 ±1.4
생물연료 연소	1550 ±95	78 ±31	6.1 ±2.2	0.06	1.1 ±0.6

주: "기타 열대림" 카테고리는 모든 산림 유형을 포함한다.

주: 초지와 농경지 내의 비-목제의 바이오매스 연소에 대해서는 CO_2의 배출량을 산정하거나 보고할 필요는 없다. 왜냐하면 CO_2의 연간 흡수량(성장을 통한) 과 배출량 (분해나 화재를 통한)이 서로 균형을 이루고 있다고 가정하기 때문이다 (동시성에 대한 자세한 내용은 2.4절을 참조한다).

표 2.6
식생 유형별 산불에 대한 연소 계수 (화재 전의 연료와 바이오매스 소모 비율)
('평균'칸에 있는 값들은 식 2.27에서 C_f의 양으로 쓰인다)

식생 유형	하위 카테고리	평균	표준편차	참고문헌
원시 열대림 (잔가지와 연소)	원시 열대림	0.32	0.12	7, 8, 15, 56, 66, 3, 16, 53, 17, 45
	원시 열대소림	0.45	0.09	21
	원시 열대 습윤림	0.50	0.03	37, 73
	원시 열대 건조림	-	-	66
모든 원시 열대림		**0.36**	**0.13**	
2차 열대림 (잔가지와 연소)	어린 2차 열대림 (3-5년)	0.46	-	61
	중간 2차 열대림 (6-10년)	0.67	0.21	61, 35
	진화된 2차 열대림 (14-17년)	0.50	0.10	61, 73
모든 2차 열대림		**0.55**	**0.06**	56, 66, 34, 30
모든 3차 열대림		**0.59**	**-**	66, 30
아한대림	자연산불 (일반적인)	0.40	0.06	33
	수관화	0.43	0.21	66, 41, 64, 63
	지표산불	0.15	0.08	64, 63
	잔가지 연소 이후	0.33	0.13	49, 40, 18
	토지정리를 위한 산불	0.59	-	67
모든 아한대림		**0.34**	**0.17**	45, 47
유칼립투스림	자연산불	-	-	
	산불로 묘사된 - (지표)	0.61	0.11	72, 54, 60, 9
	잔가지 연소 이후	0.68	0.14	25, 58, 46
	쓰러진, 제거된, 연소된 목재 (토지정리를 위한 산불)	0.49	-	62
모든 유칼립투스림		**0.63**	**0.13**	
기타 온대림	잔가지 연소 이후	0.62	0.12	55, 19, 27, 14
	쓰러지고 연소된 목재 (토지정리를 위한 산불)	0.51	-	52, 24, 71
모든□□기타□□온대림		**0.45**	**0.16**	**53, 56**

표 2.6 (계속)
식생 유형별 산불에 대한 연소 계수 (화재 전의 연료와 바이오매스 소모 비율)
('평균'칸에 있는 값들은 식 2.27에서 C_f의 양으로 쓰인다)

식생 유형	하위 카테고리	평균	표준편차	참고문헌
관목지	관목지 (일반적인)	0.95	-	44
	소관목 (*Calluna* heath)	0.71	0.30	26, 56, 39
	핀보스	0.61	0.16	70, 44
모든 관목지		**0.72**	**0.25**	
사바나 산림지대 (초기 건기의 연소)*	사바나 산림지대	0.22	-	28
	사바나 수림초원지대	0.73	-	57
	기타 사바나 산림지대	0.37	0.19	22, 29
사바나 산림지대 (초기 건기의 연소)*		**0.40**	**0.22**	
사바나 산림지대 (중/후기 건기의 연소)*	사바나 산림지대	0.72	-	66, 57
	사바나 수림초원지대	0.82	0.07	57, 6, 51
	열대 사바나	0.73	0.04	52, 73, 66, 12
	기타 사바나 산림지대	0.68	0.19	22, 29, 44, 31, 57
모든 사바나 산림지대 (중기/후기 건기 연소)*		**0.74**	**-**	28
사바나 초지/방목지 (중/후기 건기의 연소)*	열대/아열대 초지	0.92	0.11	44, 73, 66, 12, 57
	열대 방목지˜	0.35	0.21	4, 23, 38, 66
	사바나	0.86	0.12	53, 5, 56, 42, 50, 6, 45, 13, 44, 65, 66
모든 사바나 초지 (중기/후기 건기의 연소)*		**0.77**	**0.26**	
기타 식생 유형	이탄지	0.50	-	20, 44
	열대 습지	0.70	-	44
농산물 잔류물 (수확면적의 연소 이후)	밀 잔류물	**0.90**	**-**	주 b 참조
	옥수수 잔류물	0.80	-	주 b 참조
	벼 잔류물	0.80	-	주 b 참조
	사탕수수[a]	0.80	-	주 b 참조

* 지상에서의 연소만
˜ 벌채된 열대림에서 유도 (연소되지 않은 목제 물질을 포함)
[a] 사탕수수의 경우, 자료는 수확 이전의 화재에 기반 한다.
[b] 저자들에 의한 전문적인 평가.

2.5 Tier 3 방법에 대한 추가적인 일반적 지침

본 권에서의 가이드라인은 Tier 2 인벤토리의 개발을 돕는 일반적인 지침과 더불어 주로 Tier 1 방법에 초점을 맞춘 것이다. Tier 3 방법을 다소 소홀하게 다루었지만, 본 절에서 약간의 일반적인 지침이 제시된다. Tier 3 인벤토리는 Tier 1 또는 Tier 2 접근법으로 가능한 것을 넘어서, 온실가스 (GHG) 배출량과 흡수량의 산정방법을 개선시키려는 목적으로 측정 및 모델링을 이용하는 진보된 시스템이다. 본 절에서, 가이드라인은 Tier 3 인벤토리의 개발을 위한 올바른 과학적 근거를 제시하기 위해 상세히 설명된다. *이러한 가이드라인*은 Tier 3의 샘플링 방식이나 모델링 접근법의 선택을 제한하지 않지만, 실행단계에서 인벤토리 개발자들을 돕기 위해 일반적인 지침을 제공한다. 개별 배출원 카테고리에 대한 Tier 3 접근법을 둘러싼 특별한 문제점들은 본 권의 마지막 부분에서 다룰 것이며, 본 절에서는 추가적인 일반적 지침에 대해 다룰 것이다.

2.5.1 측정에 기초한 Tier 3 인벤토리

인벤토리는 탄소(C)의 배출량과 흡수량이 산정되는 탄소(C) 축적량 변화의 직접 측정에 기초한다. 몇몇 non-CO_2 온실가스의 배출량 측정이 가능하기는 하지만, non-CO_2 배출량의 높은 공간적, 일시적 변이성 때문에 Tier 3 방법은 non-CO_2 배출량을 산정하기 위해 과정모델 (process models)과 측정을 함께 사용할 것이다. 예를 들어, 국가 산림 인벤토리를 이용한 반복적인 측정에 기초한 것과 같은 순수한 측정값에 기초한 인벤토리는 과정모델 (process models)에 의존하지 않고 탄소(C) 축적량의 변화를 산정할 수 있지만, 국가 인벤토리에 구획측정의 공간적, 일시적인 비례축소를 위해서 적절한 통계 모델이 필요하다. 국내 배출량 산정을 위해 역학적 모델 (예. 과정모델 (process models))에 기초한 접근법들은 2.5.2절에서 다룰 것이다. 일반적으로, 측정에 기초한 Tier 3 인벤토리의 실행은 6단계로 이루어진다.

단계 1. *샘플링 방식의 개발.* 샘플링 방식은 여러 가지 접근법을 이용해 개발될 수 있지만, 대체로 층(strata)을 포함한 샘플링 현장의 무작위화를 필요로 한다 (몇 단계의 규칙적인 격자눈금에 기초한 인벤토리조차도 격자눈금의 출발점을 무작위로 선택한다). 인벤토리 작성자들은 그들 지역에서 국가의 크기, 주요한 환경적 다양성 (예. 기후), 경영 시스템을 고려하여 적절한 접근법을 결정해야 한다. 마지막 두 항목은 샘플링 방식이 철저한 무작위성을 갖지 않는다면 계층화 변수로 작용할 수 있다. 게다가 특별한 주요 배출원 카테고리에 대한 배출량 및 흡수량의 광범위한 적용을 제공하는 것이 샘플링을 하는데 *바람직하다 (good practice).*

만약 반복 측정을 해야 한다면, 인벤토리 작성자는 현장에서 다시 샘플링을 하기 위한 적절한 기간을 설정해야 한다. 재 측정 시기는 축적량 변화율 또는 non-CO_2 온실가스의 배출량에 달려있다. 예를 들어, 임목이 천천히 자라고 한 해의 DOM 저장고의 변화가 적은 아한대 또는 온대지역의 재 측정 기간은 탄소(C)의 역동성이 더 빠른 지역들보다 길어질 수 있다. 플럭스가 직접적으로 측정되는 곳에서는, 일시적이고 공간적인 변화가 클수록 측정 기록으로부터 빠질 수 있는 플럭스를 얻기 위해 더 자주, 더 철저한 샘플링이 필요하다.

몇몇의 접근법은 동일한 현장에서 다시 샘플링 한 것을 포함하지 않는다. 이러한 견해는 수용될 만 하지만, 분석에 대한 통계적 능력을 제한할 것이고, 그 때문에 불확도가 커지게 된다. 반복적인 측정은 대부분의 국가에서 탄소(C) 축적량의 변화나 배출량을 산정하기 위한 보다 나은 근거를 제공할 것이다.

단계 1의 일부로서 샘플링 방식을 설명하는 방법론적 안내서를 개발하는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 이러한 안내서는 측정, 실험실 분석, 그리고 다른 과정의 분야를 다루는 사람들에게 유용할 것이고, 기록목적을 위해서도 도움이 되는 자료를 제공할 것이다.

단계 2. *샘플링 현장의 선택*. 특정 샘플링 현장은 샘플링계획에 의해 위치가 선정된다. 본래 장소에서 샘플링을 할 수 없는 경우를 대비하여 대체할 수 있는 현장을 찾아놓는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 반복적인 측정 계획 하에, 현장은 주기적으로 재 샘플링 되는 모니터링 네트워크가 될 것이다.

샘플링 위치 결정은 지리정보시스템의 사용을 포함 할 것이다. 지리학적 데이터베이스는 배출원 카테고리와 계층화에 따라서 기후, 토양, 토지이용, 가축 사육 등과 같은 다양한 환경 자료와 관리 자료를 포함한다. 만약 국가 규모의 주요 자료의 이용이 가능하지 않다면, 인벤토리 작성자는 단계 1에서 계획과 계층화 (사용되고 있다면)를 재평가해야 하고, 될 수 있는 한 샘플링 계획을 수정해야 한다.

샘플링은 국가의 장관들, 지역 또는 주정부들, 법인과 개인 토지 소유자들 간의 협력을 필요로 한다. 초기 표본을 수집하기 전에 이러한 이해관계자들 사이에 관계망이 구축되어야 한다. 앞으로 있을 모니터링에 대해 이해관계자들에게 알리는 것이 모니터링 프로그램을 실행하는데 있어 도움이 되고 성공으로 이끌어 줄 수 있을 것이다..

단계 3. *초기 샘플의 수집*. 현장 세트가 최종 결정되면 샘플링 팀은 현장을 방문해서 구획을 정하고 초기 샘플을 수집한다. 초기 샘플은 초기 탄소(C)의 양을 알려주거나 혹은 배출량의 처음 값으로 간주된다. 샘플을 수집하기 전에 현장 측정과 실험실 규정을 확립해 놓는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 더욱이, 위성항법장치 (Global Positing System: GPS)에 따른 토지 위치와 샘플 지점의 지리학적 좌표들을 갖는 것이 좋을 것이다. 또한 반복적인 측정을 계획한다면, 향후에 현장을 쉽게 찾고 다시 샘플링을 쉽게 할 수 있도록 영구적으로 위치를 표시하는 것이 도움이 될 것이다.

현장에서 관련된 측정들을 수행하고 환경 조건을 기록하고 관리하는 것도 *바람직하다 (good practice)*. 이것은 조건들이 샘플링 방식의 일관성을 확인하고, 자료 분석에도 이용될 수 있다 (단계 5). 만약 계층화된 샘플링 접근법이 사용되고, 그래서 많은 또는 대부분의 현장들이 예상되는 환경 조건들 및 관리 시스템들과 일관되지 않는 것이 명백하다면, 새로운 정보의 토대 위에서 샘플링 계획을 재평가하고 가능하게 수정하는 단계 1을 반복하는 것이 *바람직하다 (good practice)*.

단계 4. *주기적인 토대 위의 모니터링 네트워크의 재 샘플*. 반복적인 측정 계획을 위해, 어떤 계획된 기간 동안에 탄소(C) 축적량이나 non-CO_2 배출량의 경향을 평가하기 위해서 샘플링 지역들은 주기적으로 다시 샘플링 되어야 한다. 재-측정 사이의 시간은 축적량 변화율 또는 배출량의 변이성, 모니터링 프로그램을 위한 자원들, 그리고 샘플링 방식의 계획에 좌우된다.

토양 채취 샘플이나 바이오매스 샘플을 제거하는 것과 같은 소거된 (destructive) 샘플링이 포함된다면, 과거에 샘플이 제거되었던 곳과 정확히 일치하는 위치는 아니지만 동일한 현장에서 다시 샘

플을 수집하는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 정확한 위치에서의 소거된 샘플링은 측정의 치우침을 야기하기 쉽다. 이러한 치우침은 모니터링을 손상시키고 국내 경향을 대표하지 못하게 한다.

단계 5. *자료 분석과 탄소(C) 축적량의 변화/non-CO_2 배출량의 결정, 그리고 국내 배출량 및 흡수량 산정과 불확도 측정*. 샘플링 계획에 기초한 적절한 통계적 방법을 선택하는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 통계 분석의 전체 결과는, 탄소(C) 축적량의 변화를 평가할 수 있고 배출량 측정값을 평가할 수 있는데, 이 값에서 국내 배출량과 흡수량 산정치를 유도할 수 있다. 또한 불확도 평가를 포함시키는 것도 *바람직한데 (good practice)*, 이는 샘플 수집과 실험실 과정에서의 측정 오류(즉, 후자는 표준을 이용해서, 그리고 독립적인 실험에서 비교 검토된 결과를 통해서 설명된다), 모니터링 계획과 다른 불확도와 관련된 배출원 (제1권의 불확도 장과 더불어 본 권의 뒷부분에 있는 각 배출원 카테고리의 설명)과 관련된 샘플링 변화를 포함한다. 분석은 큰 공간이나 혹은 임시 범위까지 측정의 스케일링을 포함하는데 이것은 샘플링 방식의 계획에 의해 결정된다. 스케일링은 단순평균 또는 가중평균에서부터 더욱 세분화된 내삽법/외삽법의 기법들에까지 이른다.

축적량의 변화 또는 non-CO_2 온실가스 배출량의 국내 산정치를 얻기 위해 환경적인 조건과 관리, 그리고 다른 활동자료를 고려하는 모델을 이용한 측정값을 외삽법에 의해 추정하는 것이 필요하다. 반복적인 탄소(C) 축적량의 측정만으로 탄소(C)에 기초한 온실가스의 순 변화량이 평가 될 수 있지만, 통계적인 모델과 다른 모델이 국내 산정치에 대한 구획 측정을 비례축소 하는데 이용된다. 국가의 non-CO_2 온실가스의 배출 평가는 측정값을 얻는데 필요한 비용과 어려움 때문에 측정값만으로 얻을 수 없을 것 같다. 예를 들면, 산불로 인한 N_2O(아산화질소) 배출량은 실험적으로 측정하기 어렵지만, 대체로 불에 탄 지역의 활동자료 샘플들, 그리고 연료 소비 측정으로부터 추론할 수 있다. 이와 반대로, 토양의 N_2O(아산화질소) 배출량은 챔버(chamber)를 이용해서 손쉽게 측정할 수 있는데, 국내 배출량 산정치를 제공하는데 필요한 샘플링 강도와 네트워크를 구축하는 것은, 외삽법에 의한 모델의 사용 없이 오로지 측정값만을 기초로 한다면 많은 비용이 많이 들 것이다.

이러한 경향에다 다양한 관리활동들의 기여에 더하여 환경적인 조건들에 관련한 배출량을 분석하는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 유형을 해석하는 것은 미래의 저감 가능성을 평가하는데 유용할 것이다.

단계 6. 보고와 기록. 보고를 목적으로 체계적이며 분명한 방식으로 인벤토리 결과들을 정리하는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 문서는 샘플링 방식과 통계 방법의 기술, 샘플링 계획 (리 샘플링 포함), 축적량의 변화와 배출량 산정, 그리고 배출 경향의 해석 (예. 관리 활동의 기여)을 포함한다. 더불어 QA/QC가 보고에 기록되어야 하고 완성되어야 한다. 분석에 참여하지 않은 동료 비평가가 방법론을 평가할 수 있는, 품질보증절차가 여기에 포함되어야 한다. QA/QC, 보고와 기록에 대한 자세한 내용은 제1권의 제6장에 제시된 정보와 더불어 본 권의 마지막 부분에 있는 특정 배출원 카테고리를 다룬 부분을 참조하면 된다.

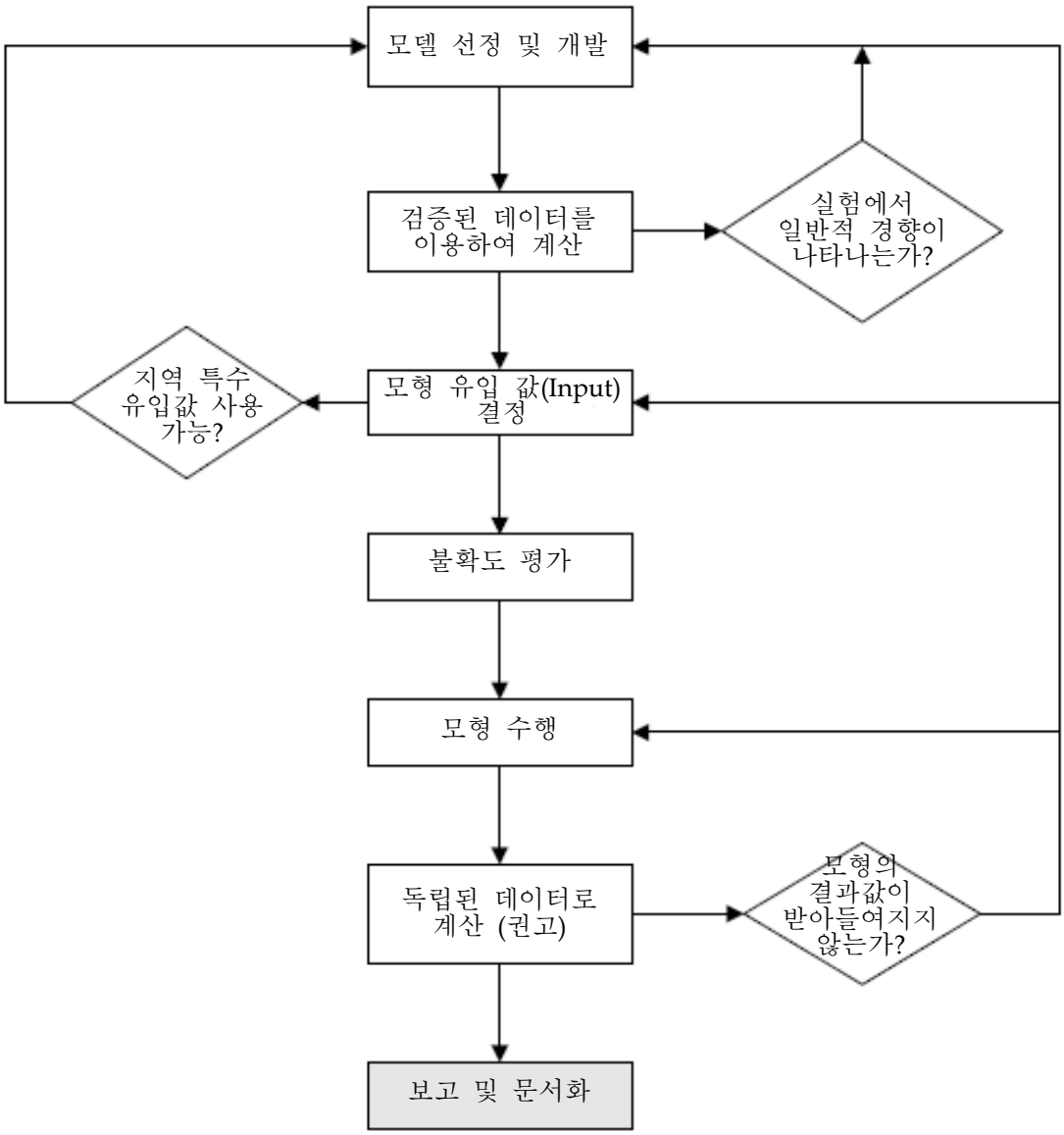
2.5.2 모델에 기초한 Tier 3 인벤토리

모델에 기초한 Tier 3 인벤토리는 경험적이며 과정에 기초한 또는 다른 형태의 진화된 모델을 이용하여 개발되었다. 독립적인 측정법을 갖는 것은 모델이 관심의 대상이 되는 배출원 카테고리에

서의 배출량과 흡수량의 산정이 가능하다는 것을 확실히 하기 위해서 *바람직하다 (good practice)* (Prisley and Mortimer, 2004). 일반적으로 Tier 3의 모델에 기초한 인벤토리를 실행하기 위해서는 7단계의 과정이 필요하다 (그림 2.7).

단계 1. *축적량 변화/또는 온실가스 배출량 계산을 위한 모델의 선택/개발.* Tier 1과 Tier 2를 이용한 것보다 더 정확하게 축적량의 변화나 non-CO_2 온실가스 배출량를 나타낼 수 있는 모델을 선택하고 개발해야 한다. 이러한 결정의 한 부분으로서 투입자료의 이용가능성 (단계 3)과 모델을 실행하기 위해 필요한 계산 자료를 고려하는 것이 *바람직하다 (good practice)*.

그림 2.7 Tier 3의 모델에 기초한 인벤토리 산정 시스템을 개발하기 위한 단계



단계 2. *보정 자료의 평가.* 인벤토리 개발을 위한 중요한 단계로 여기서 모델의 결과가 직접적으로 모델 보정/변수화를 위해 사용되었던 측정값과 비교된다 (예. Falloon and Smith, 2002). 비교는 모델이 관심을 갖는 배출원 카테고리에서 다양한 조건들을 위해 측정된 경향을 효과적으로 모사(simulate)하는 것을 증명하기 위한 목적과 함께 통계 분석이나 도표를 이용하여 이루어진다.

모델이 활동자료에 있어 변화에 적절히 대응하고 제3장에 열거된 협약에 따라 토지이용카테고리에 의한 결과를 보고할 수 있다는 것을 확실히 하는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 구조 (예. 알고리즘)에 대한 모델의 재 보정 또는 수정은 모델이 일반적인 경향을 파악하지 못하거나, 시스템적 오류가 큰 경우에 필요하다. 몇 가지 경우에 있어서, 새로운 모델이 이러한 평가를 기초로 하여 선택되거나 개발될 수 있다. 평가 결과들은 기록을 보고하고, 배출원 카테고리에서의 배출량을 정하기 위해 특정한 모델의 이용을 정당화시키는 데 중요한 요소이다.

단계 3. *활동에 대한 공간적-일시적 자료와 모델에 입력하기 위해 필요한 관련 있는 환경 조건의 수집.* Tier 1과 Tier 2 접근법에서 사용되는 모델들조차도 배출원 카테고리와 관련된 온실가스의 배출과 흡수량를 산정하기 위해 특정한 입력 자료가 필요하다. 이러한 입력 자료는 날씨와 토양 자료에서부터 가축 수, 산림형태, 자연 교란 또는 작물 관리 방법에까지 이른다. 입력 자료는 모델 (즉, 알고리즘)의 공간적 일시적 규모와 일관성이 있는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 예를 들면, 모델이 일일 시간 단계에 따라 작용한다면, 입력 자료는 환경적 특성이나 활동자료의 일변화에 대한 정보를 제공해야 한다. 어떤 경우에, 입력 자료는 모델의 선택에 제한적인 요인이 되며, 몇 몇 모델은 이용 가능한 활동자료 및 환경자료가 주어지면, 부적절한 것으로 간주되어져야 한다.

단계 4. 불확도 *측정.* 불확도는 온실가스 플럭스로 이어지는 활동이나 과정에 대한 불완전한 지식으로부터 기인하는데, 대체로 모델의 구조와 입력 자료에서 증명된다. 따라서 불확도의 분석은 모델 구조와 입력 자료의 불확도에 기초하여 모델 평가에 기인하는 확실하고 정밀한 측정을 제공할 목적이 있으며, 탄소(C) 축적량 변화 또는 non-CO_2 온실가스 플럭스에 대한 변화성의 정도를 발생시키다. 제1권 제3장은 이러한 분석을 실행하는 데 필요한 적절한 방법에 대한 자세한 지침을 마련해 놓고 있다. 부가적인 정보는 본 권의 마지막 부분에 있는 특정 배출원 카테고리를 위해 제시되었다.

단계 5. *모델의 실행.* 이 단계에서 특별히 고려해야 할 점은 입력 자료를 준비하고, 모델 시뮬레이션을 실행하고 결과를 분석할 충분한 계산 자료와 인적 시간이 필요하다는 것이다. 이것은 프로그래밍 초안의 효율성, 모델의 복잡성, 시뮬레이션의 분석과 공간적, 일시적인 범위에 의존한다. 어떤 경우, 계산 자료의 제한은 국가 규모의 실행에 사용될 수 있는 공간적, 일시적 분석 범위와 복잡성을 강요 한다 (즉, 세분화된 공간적 일시적인 규모의 시뮬레이션을 하는 것은 보다 큰 계산 자료를 필요로 할 것이다).

단계 6. *독립적인 자료의 평가.* 단계 2와 단계 6간의 차이점을 인식하는 것이 중요하다. 단계 2는 보정 (즉, 변수화)을 위한 기초로 사용될 수 있는 현장 자료와 함께 모델의 결과를 평가하는 것을 포함한다. 이와 대조적으로, 독립적인 자료의 평가는 완전히 독립적인 자료의 구성으로 이루어지는데, 모델의 구성요소와 결과의 보다 정확한 평가를 제공한다. 최선으로, 독립적인 평가는 모니터

링 네트워크나 모델의 변수들을 보정하는데 사용되지 않았던 연구지들로부터의 측정에 기초해야 한다. 네트워크는 측정에 기초한 인벤토리를 위해 사용되었던 일련의 현장들에 대한 원리와 유사할 것이다. 그러나 샘플링은 농도가 그렇게 높을 필요가 없는데 이는 네트워크가 순수하게 측정에 기초한 인벤토리에서처럼 탄소(C) 축적량 변화나 non-CO_2 온실가스 플럭스를 산정하기 위한 기초를 형성하지 않기 때문이다. 그러나 모델의 결과들을 조사하는데 사용된다.

어떤 경우에 있어서, 독립적인 평가는 모델에 기초한 측정 시스템이 모델의 결과들과 모니터링 네트워크로부터 측정된 경향간의 크고, 예측할 수 없는 차이점 때문에 부적절하다는 것을 나타내기도 한다. 문제는 세 가지 가능성으로부터 발생 한다: 실행단계에서의 오류, 불충분한 입력 자료, 부적절한 모델. 실행단계에서의 문제점은, 대체로 컴퓨터 프로그래밍 오류로부터 발생하는데, 모델의 입력 자료가 관리 활동이나 환경 조건들을 나타내지 못할 때 잘못된 결과를 발생시키기 때문이다. 이 두 경우에 인벤토리 개발자는 이 문제에 의거하여 단계 3이나 단계 6으로 되돌아가는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 단계 2가 합리적이라고 생각되면 이 모델이 부적절한 것으로 여겨질 수 있다. 그러나 이러한 경우, 모델의 선택/개발 단계 (자료 1)로 되돌아가는 것이 *바람직하다 (good practice)*.

선택/개발의 다음 단계인 단계 2 동안, 알고리즘을 재 측정 하거나 개량하기 위해 독립적인 평가 자료를 이용하는 것을 피하는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 이러한 일이 발생되면, 이와 같은 자료들은 독립적인 평가를 위해 더 이상 적절하지 않게 되고, 이 인벤토리 접근법에 있는 단계 6의 목적에 맞지 않게 된다.

단계 7. *보고와 기록*. 인벤토리 결과들을 보고하기 위해 체계적이고 명확한 방식으로 정리하는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 문서는 모델의 기술, 모델의 입력자료 출처의 요약, 모니터링 네트워크로부터의 측정 자료 및 실험 자료를 포함한 모델의 평가 결과, 축적량의 변화와 배출량 산정, 배출 경향의 해석 (즉, 관리 활동의 기여도)을 포함할 수 있다. QA/QC는 보고서에서 완성되고 기록되어야 한다. QA/QC, 보고와 기록에 대한 자세한 내용은 제1권의 제6장에 제시된 정보와 함께 본 권의 마지막 부분에 있는 특정 배출원 카테고리를 다루고 있는 부분을 참조한다.

참고문헌

Andrea, M.O. and Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning, Global *Biogeochemical Cycles* **15:**955-966.

Armentano, T.V. and Menges, E.S. (1986). Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. *Journal of Ecology* **74:**755-774.

Baldocchi, D., Falge, E., Gu, L.H., Olson, R, Hollinger, D., Running, S., Anthoni, P., Bernhofer, C., Davis, K., Evans, R., Fuentes, J., Goldstein, A., Katul, G., Law, B., Lee., X.H., Malhi, Y., Meyers, T., Munger, W., Oechel, W., Pilegaard, K., Schmid, H.P., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K. and Wofsy, S. (2001). FLOXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities. *Bulletin of the American Meteorological Society* **82:** pp. 2415-2343.

Bernoux, M., Carvalho, M.D.S., Volkoff, B. and Cerri, C.C. (2002). Brazil's soil carbon stocks. *Soil Science Society of America Journal* **66:**888-896.

Bhatti, J.S., Apps, M.J. and Jiang, H. (2001). Examining the carbon stocks of boreal forest ecosystems at stand and regional scales. In: Lal R. *et al*. (eds.) Assessment Methods for Soil Carbon, Lewis Publishers, Boca Raton FL, pp. 513-532.

Brady, N.C. and Weil, R.R. (1999). The Nature and Properties of Soils.. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 881 pp.

Clymo, R.S. (1984). The limits to peat bog growth. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* **303:**605-654.

Conant, R.T., Paustian, K. and Elliott, E.T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Application* **11:**343-355.

Coomes, D.A., Allen, R.B., Scott, N.A., Goulding, C. and Beets, P. (2002). Designing system to monitor carbon stocks in forests and shrublands. *Forest Ecology and Management* **164**, pp. 89-108.

Davidson, E.A. and Ackerman, I.L. (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. *Biogeochemistry* **20:** 161-164.

Ellert, B.H., Janzen, H.H. and McConkey, B.C. (2001). Measuring and comparing soil carbon storage. In: R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follet and B.A. Stewart (eds). Soil Management for Enhancing Carbon Sequestration. CRC Press, Boca Raton, F.L, pp. 593-610.

Falloon, P. and Smith, P. (2002). Simulating SOC changes in long-term experiments with the RothC and Century; model evaluation for a regional application. *Soil Use Management* **18:**101-111.

Falloon, P. and Smith, P. (2003). Accounting for changes in soil carbon under the Kyoto Protocol: need for improved long-term data sets to reduce uncertainty in model projections. *Soil Use and Management* **19:**265-269.

Forbes, M.S., Raison, R.J. and Skjemstad, J.O. (2006). Formation, transformation and transport of

black carbon (charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems. *Journal of the Science of the Total Environment* (in press).

Gifford, R.M. and Roderick, M.L. (2003). Soil carbon stocks and bulk density: spatial and curmulatice mass coordinates as a basis for expression? *Global Change Biology* **9:**1507-1513.

Gorham, E. (1991). Northern peatlands: role in the carbon cycle and probably responses to climate warming. *Ecological Applications* **1:**182-195.

Harmon, M.E. and Hua, C. (1991). Coarse woody debris dynamics in two old-growth ecosystems. *BioScience* **41:**604-610.

Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory, S.V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S.P., Aumen, N.G., Sedell, J.R., Lienkaemper, G.W., Cromack, J.R. and Cummins, K.W. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* **15:**133-302.

IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tr□anton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B. A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

IPCC (2000). Watson R., Noble I.R., Bolin B., Ravindranath, N.H., Verardo D.J. and Dokken D.J. (Eds). Land use, Land-use Change, and Forestry: A Special Report. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.

Jobbagy, E.G. and Jackson, R.B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* **19**(2):423-436.

Karjalainen, L. and Kuuluvainen, T. (2002). Amount and diverstiy of coarse woody debris within a boral forest landscape dominated by *Pinus sylvestris* in Viennansalo wilderness, estern Fennoscandia. *Silva Fennica* **36**(1):147-167.

Kasimir-Klemedtsson, A, Klemedtsson, L., Berglud, K., Martikainen, P., Silvola, J. and Oenema, O. (1997). Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. *Soil Use and Management* **13:**245-250.

Krankina, O.N., Harmon, M.E., Kukuev, Y.A., Treyfeld, R.E., Kashpor, N.N., Kresonov, V.G., Skudin, V.M., Protasov, N.A., Yatskov, M., Spycher, G. and Povarov, E.D. (2002). Coarse

woody debris in forest regions of Russia, *Can.J. For. Res.* **32:**768-778.

Kurz, W.A., Apps, M.J., Webb, T.M. and McNamee, P.J. (1992). The carbon budget of the Canadian forest sector: phase I. Forestry Canada, Northwest Region. Information Report NOR-X 326, 93 pp.

Lettens, S., van Orshoven, J., van Wesemael, B. and Muys, B. (2004). Soil organic and inorganic carbon contents of landscape units in Belgium derived using data from 1950-1970. *Soil Use and Management* **20:**40-47.

Mann, L.K. (1986). Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science* **142:**279-288.

Martikainen, P.J., Nykanen, H., Alm, J. and Silvola, J. (1995). Change in fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide due to forest drainage of mire sites of different trophy. *Plant & Soil* **169:**571-577.

McGill, W.B. (1996). Review and classification of ten soil organic matter models. In: Powlson D.S., Smith P., and Smith J.U. (eds.). Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-Term Datasets. Springer-Verlag, Heidelberg: pp. 111-132.

Nyk□nrn, H., Alm, J., Lang, K., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (1995). Emissions of CH_4, N_2O, and CO_2 from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. *Journal of Biogeography* **22:**351-357.

Ogle, S.M., Breidt, F.J., Eve, M.D. and Paustian, K. (2003). Uncertainty in estimating land use and management impacts on soil organic carbon storage for U.S. agricultural lands between 1982 and 1997. *Global Change Biology* **9:**1521-1542.

Ogle, S.M., Breidt, F.J. and Paustian, K. (2005). Agricualtrual management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry* **72:**87-121.

Ogle, S.M., Conant, R.T. and Paustian, K. (2004). Deriving grassland management factors for a carbon accounting apporach developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Environmental Management* **33:**474-484.

Paustian, K., Andren, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., van Noordwijk, M. and Woomer, P.L. (!997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO_2 emissions. *Soil Use and Management* **13:**230-244.

Preston, C.M. and Schmidt, M.W.I. (2006). Black (pyrogenic) carbon in the boreal forests: a synthesis of current knowledge and uncertainties. *Biogeosciences Discussions* **3:**211-271.

Prisley, S.P. and Mortimer, M.J. (2004). A synthesis of literature on evaluation of models for policy applications, with implications for forest carbon accounting. *Forest Ecology and Management* **198:**89-103.

Shaw, C.H., Bhatti, J.S. and Sabourin, K.J. (2005). An ecosystem carbon database for Canadian forests. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta, Information Report NOR-X-403.

Siltanen *et al*. (1997). A soil profile and organic carbon data base for Canadian forest and tundra mineral soils. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta.

Sleutel, S, de Neve, S., Hofman, G., Boechx, P., Beheydt, D., van Cleemput, O., Mestdagh, I., Lootens, P., Carlier, L., van Camp, N., Verbeeck, H., Vand Walle, I., Sampson, R., Lust, N. and Lemeur, R. (2003). Carbon stock changes and carbon sequestration potential of Flemish cropland soils. *Global Change Biology* **9:**1193-1203.

Smith, J.E. and Heath, L.S. (2001). Identifying influences on model uncertainty: an application using a forest carbon budget model. *Environmental Management* **27:**253-267.

Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U. and Elliott, E.T. (eds) (1997b). Evaluation and comparison of soil organic matter models. Special Issue, *Geoderma* **81:**1-225.

Smith, P. (2004a). Monitoring and verification of soil carbon changes under Article 3.4 of the Kyoto Protocol. *Soil Use and Management* **20:**264-270.

Smith, P. (2004b). How long before a change in soil organic carbon can be detected? *Global change Biology* **10:**1878-1883.

Smith, S.V., Renwick, W.H., Buddemeier, R.W. and Crossland, C.J. (2001). Budgets of soil erosion and deposition for sediments and sedimentary organic carbon across the conterminous United States. *Global Biogeochemical Cycles* **15:**697-707.

Smith, W.N., Desjardins, R.L. and Pattey, E. (2000). The net flux of carbon from agricultural soils in Canada 1970-2010. *Global Change Biology* **6:**557-568.

Somogyi, Z.,Cienciala, E., MäKiää, R., Muukkonen, P., Lehtonen, A. and Weiss, P. (2006). Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. European Journal of Forest Research. DOI: 10.1007/s10342006-0215-7.

Tate, K.R., Wilde, R.H., Giltrap, D.J., Baisden, W.T., Saggar, S., Trustrum, N.A., Scott, N.A. and Barton, J.P. (2005). Soil organic carbon stocks and flows in New Zealand: measurement and modeling. *Canadian Journal of Soil Science*, in press.

Thormann M.N., Szumigalski A.R. and Bayley S.E. (1999). Aboce-ground peat and carbon accumulation potentials along a bog-fen-marsh wetland gradient in southern boreal Alberta, Canada, *Wetlands* **19**(2):305-317.

Tremblay, S., Ouimet, R. and Houle, D. (2002). Prediction of organic carbon content in upland forest soils of Quebec, Canada. *Can. J. For. Res.* **32:**pp. 903-914.

VandenBygaart, A.J., Gregorich, E.G., Angers, D.A., *et al*. (2004). Uncertainty analysis of soil organic carbon stock change in Canadian cropland from 1991 to 2001. *Global Change Biology* **10:**983-994.

Vogt, K.A., Vogt, D.J., Pamiotto, P.A., Boon, P., O□□Hara, J. and Asbjornsen, H. (1996). Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type, and species. *Plant and Soil* **187:**pp 159-219.

Yavitt, J.B., Fahey, T.J. and Simmons, J.A. (1997). Methane and carbon dioxide dynamixs in a northern hardwood ecosystem. *Soil Science Society of America Journal* **59:**796-804.

표 2.4와 2.6에 대한 참고문헌

1. Alexander, M. (1978). Calculating and interpreting forest fires intensities. Canadian Journal of Botany 60:p. 349-357.

2. Amiro, B., Todd, J. and Wotton, B. (2001). Direct carbon emissions from canadian forest fires, 1969-1999. *Canadian Journal of Fores Research*, **31:**p. 512-525.

3. Ara□jo, T., Carvalho, J., Higuchi, N., Brasil, A. and Mesquita, A. (1999). A tropical rainforest clearing experiment by biomass burning in the state of Pará, Brazil. *Atmospheric Environment* **33:**p. 1991-1998.

4. Barbosa, R. and Fearnside, P. (1996). Pasture burning in Amazonia: Dynamics of residual biomass and the storage and release of above-ground carbon. *Journal of Geophysical Research*, **101**(D20):p. 25847-25857.

5. Bilbao, B. and Medina, E. (1996). Types of grassland fires and nitrogen volatilizatio in tropical savannas of calabozo, in Biomass murning and Global Change: Volume 2. Biomass burning in South America, Southeast Asia, and temperate and boreal ecosystems, and the oil fires of Kuwait, J. Levine, Editor. MIT Press: Cambridge. P. 569-574.

6. Cachier, H., Liousse, C., Pertusiot, M., Gaudichet, A., Echalar, F. and Lacaux, J. (1996). African fire Particulate emissions and atmospheric influence, in Biomass Burning and Global Change: Volume 1. Remote Sensing, Modeling and Inventory Development, and Biomass Burning in Africa, J. Levine, Editor. MIT Press: Cambridge. p. 428-440.

7. Carvalho, J., Higuchi, N., Araujo, T. and Santos, J. (1998). Combustion completeness in a rainforest clearing experiment in Manaus, Brazil. *Journal of Geophysical Research*. **103**(D11): p. 13195.

8. Carvalho, J., Costa, F., Veras, C., et al. (2001). Biomass fire consumption and carbon release rates of rainforest-clearing experiments conducted in northern Mato Grosso, Brazil. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres,* **106**(D16): p. 17877-17887.

9. Cheyney, N., Raison, R. and Khana, P. (1980). Release of carbon to the atmosphere in Australian vegetation fires, in Carbon Dioxide and Climate: Australian Research, G. Pearman, Editor. *Australian Academy of Science: Canberra*. p. 153-158.

10. Cofer, W., Levine, J., Winstead, E. and Stocks, B. (1990). Gaseous emissions from Canadian boreal forest fires. *Atmospheric Environment,* **24A**(7): p. 1653-1659.

11. Cofer, W., Winstead, E., Stocks, B., Goldammer, J. and Cahoon, D. (1998). Crown fire emissions of CO2, CO, H2, CH4, and TNMHC from a dense jack pine boreal forest fire. *Geophysical Research Letter*, **25**(21): p. 3919-3922.

12. De Castro, E.A. and Kauffman, J.B. (1998). Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of above-ground biomass, root mass and consumption by fire. J*ournal of Tropical Ecology*, **14**(3): p. 263-283.

13. Delmas, R. (1982). On the emission of carbon, nitrogen and sulfur in the atmosphere during bushfires in intertropical savannah zones. Geophysical Research Letters, 9(7): p. 761-764.

14. Einfeld, W., Ward, D. and Hardy, C. (1991). Effects of fire behaviour on prescribed fire smoke characteristics: A case study, in Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric

Implications, J. Levine, Editor, MIT Press: Massachusetts. p. 412-419.

15. Fearnside, P., Filho, N. and Fernandes, F. (1993). Rainforest burning and the global carbon budget: biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **98**(D9): p 16733-16743.

16. Fearnside, P., Graca, P., Filho, N., Rodrigues, J. and Robinson, J. (1999). Tropical forest burning in brazilian Amazonia: measurement of biomass loading, burning efficiency and charcoal formation at Altamira, Para. *Forest Ecology and Management*, **123:** p.65-79.

17. Fearnside, P., Graca, P. and Rodrigues, j. (2001). Burning of Amazonian rainforests: burning efficiency and charcoal formation in forest cleared for cattle pasture near Manaus, Brazil. *Forest Ecology and Management*, **146:** p. 115-128.

18. Feller, M. (1998). The influence of fire severity, not fire intensity, on understory vegetation biomass in British Columbia. in 13th Fire and Forest Meteorology Conference. Lorne, Australia: IAWF.

19. Flinn, D., Hopmans, P., Farell, P. and James, J. (1979). Nutrient loss from the burning of Pinus radiata logging residue. *Australian Forest Research*, **9:** p. 17-23.

20. Garnett, M., Ineson, P. and Stevenson, A. (2000). Effects of burning and grazing on carbon sequestration in a Pennine blanket bog, UK. *Holocene*, **10**(6): p. 729-736.

21. Graca, P., Fearnside, P. and Cerri, C. (1999). Burning of Amazonian forest in Ariquemes, Rondonia, Brazil: biomass, charcoal formation and burning efficiency. *Forest Ecology and Management*, **120:** p. 179-191.

22. Griffin, G. and Friedel, M. (1984). Effects of fire on central Australian rangelands. I Fires and fuel characteristics and changes in herbage and nutrients. *Australian Journal of Ecology*, **9:** p. 381-393.

23. Guild, L., Kauffman, J., Ellingson, L. and Cummings, D. (1998). Dynamics associated with total above-ground biomass, C, nutrient pools, and biomass burning of primary forest and pasture in Rondonia, Brazil during SCAR-B. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **103**(D24): p. 32091-32100.

24. Gupta, P., Prasad, V., Sharma, C., Sarkar, A., Kant, Y., Badarinath, K. and Mitra, A. (2001). CH_4 emissions from biomass burning of shifting cultivation areas of tropical deciduous forests-experimental results from ground-based measurements. *Chemosphere-Global Change Science*, **3:** p. 133-143.

25. Harwood, C. and Jackson, W. (1975). Atmospheric losses of four plant nutrients during a forest fires. Australian Forestry, 38(2): p. 92-99.

26. Hobbs, P. and Gimingham, C. (1984). Studies on fires in Scottish heathland communities. *Journal of Ecology*, **72:** p. 223-240.

27. Hobbs, P., Reid, J., et al. (1996). Particle and trace-gas measurements from prescribed burns of forest products in the Pacific Northwest, in Biomass Burning and Global Change: Colume 2. Biomass burning in South America, Southeast Asia, and temperate nad boreal ecosystems, and the oil fires of Kuwait, J. Levine, Editor. MIT Press: Cambridge. p. 697-715.

28. Hoffa, E., Ward, D., Hao, W., Susott, R. and Wakimoto, R. (1999). Seasonality of carbon emissions from biomass burning in a Zambian savanna. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **104**(D11): p. 13841-13853.

29. Hopkins, B. (1965). Observation on savanna burning in the Olokemeji forest reserve, Nigeria. *Journal of Applied Ecology*, **2**(2): p. 367-381.

30. Hughes, R., Kauffman, J. and Cummings, D. (2000). Fire in the Brazilian Amazon 3. Dynamics of

biomass, C, and nutirent pools in regenerating forests. *Oecologia,* **124**(4): p. 574-588.

31. Hurst, D., Criffith, W. and Cook, G. (1994). Trace gas emissions from biomass burning in tropical Australian savannas. *Journal of Geophysical Research*, **99**(D8): p. 16441-16456.

32. Jackson, W. (2000). Nutrient stocks in Tasmanian vegetation and approximate losses due to fire. Papers and proceedings of the Royal Society of Tasmania, **134:** p. 1-18.

33. Kasischke, E., French, N., Bourgeau-Chavez, L. and Christensen, N. (!995). Estimating release of carbon from 1990 and 1991 forest fires in Alaska. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **100**(D2): p. 2941-2951.

34. Kauffman, J. and Uhl, C. (1990). 8 interactions of anthropogenic activities, fire, and rain forests in the Amazon Basin, in Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Changes, J. Goldammer, Editor. Springer-Verlag: Berlin. p. 117-134.

35. Kauffman, J., Sanford, R., Cummings, D., Salcedo, I. and Sampaio, E. (1993). Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. *Ecology*, **74**(1): p. 140-151.

36. Kauffman, J., Cummings, D. and Ward, D. (!994). Relationships of fire, biomass and nutirent dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado. *Journal of Ecology*, **82:** p. 519-531.

37. Kauffman, J., Cummings, D., Ward, D. and Babbitt, R. (1995). Fire in the Brazilian Amazon: 1. Biomass, nutrient pools, and losses in slashed primary forests. *Oecologia*, **104:** p. 397-408.

38. Kauffman, J., Cummings, D. and Ward, D. (1998). Fire in the Brazilian Amazon: 2. Biomass, nutrient pools and losses in cattle pasture. *Oecologia*, **113:** p. 415-427.

39. Kayll, A. (1966). Some characteristics of heath fires in north-east Scotland. *Journal of Applied Ecology*, **3**(1): p. 29-40.

40. Kiil, A. (1969). Fuel consumption by a prescribed burn in spruce-fir logging slash in Alberta. *The Forestry Chronicle,* : p. 100-102.

41. Kiil, A. (1975). Fire spread in a black spruce stand. Canadian Forestry Service Bi-Monthly Research Notes, **31**(1): p. 2-3.

42. Lacaux, J., Cachier, H. and Delmas, R. (1993). Biomass burning in Africa: an overview of its impact on atmospheric chemistry, in Fire in the Environment: The Ecological, Atmospehric, and Climatic Importance of Vegetation Fires, P. Crutzen and J. Goldammer, Editors. John Wiley & Sons: Chichester. p. 159-191.

43. Lavoue, D., Liousse, C., Cachier, H., Stocks, B. and Goldammer, J. (2000). Modeling of carbonaceous particles emitted by boreal and temperate wildfires at northern latitudes. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **105**(D22): p. 26871-26890.

44. Levine, J. (2000). Global biomass burning: a case study of the gaseous and particulate emissiosn released to the atmosphere during the 1997 fires in Kalimantan and Sumatra, Indonesia, in Biomass Burning and its Inter-relationships with the Climate System, J. Innes, M. Beniston, and M. Verstraete, Editors. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht. p. 15-31.

45. Levine, J. and Cofer, W. (2000). Boreal forest fire emissions and the chemistry of the atmosphere, in Fire, Climate Change and Carbon Cycling in the Boreal Forest, E. Kasischke and B. Stocks, Editor. Springer-Verlag: New York. p. 31-48.

46. Marsdon-Smedley, J. and Slijepcevic, A. (2001). Fuel characteristics and low intensity burning in Eucalyptus obliqua wet forest at the Warra LTER site. *Tasforests*, **13**(2): p. 261-279.

47. Mazurek, M., Cofer, W. and Levine, J. (1991). Carbonaceous aerosols from prescribed burning of a boreal forest ecosystem, in Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications, J. Levine, Editor, MIT Press: Massachusetts. p. 258-263.

48. McNaughton, S., Stronach, N. and Georgiadis, N. (1998). Combustion in natural fires and global emissions budgets. *Ecological Applications*, **8**(2): p. 464-468.

49. McRae, D. and Stocks, B. (1987). Large-scale convection burning in Ontario. in Ninth Conference on Fire and Forest Metearology. San Diego, California: American Meterological Society.

50. Moula, M., Brustet, J., Eva., H., Lacaux, J., Gregoire, J. and Fontan, J. (1996). Contribution of the Spread-Fire Model in the study of savvana fires, in Biomass Burning and Global Change: Volume 1. Remote Sensing, Modeling and Inventory Development, and Biomass Burning in Africa, J. Levine, Editor. MIT Press: Cambridge. p. 270-277.

51. Neil, R., Stronach, N. and Mc Naughton, S. (1989). Grassland fire dynamics in the Serengeti ecosystem, and a potential method of retrospectively estimating fire energy. *Journal of Applied Ecology*, **26:** p. 1025-1033.

52. Pivello, V. and Coutinho, L. (1992). Transfer of macro-nutrient to the atmosphere during experimental burnings in an open cerrado (Brazilian savanna). *Journal of Tropical Ecology*, **8:** p. 487-497.

53. Prasad, V., Kant, Y., Gupta, P., Sharama, C., Mitra, A. and Badarinath, K. (2001). Biomass and combustion characteristics of secondary mixed deciduous forests in Eastern Ghats of India. *Atmospheric Environment*, **35**(18): p. 3085-3095.

54. Raison, R, Khana, P. and Woods, P. (1985). Transfer of elements to the atmosphere during low intensity prescribed fires in three Australian subalpine eucalypt forests. *Canadian Journal of Forest Research*, **15:** p. 657-664.

55. Roberson, K. (1998). Loss of organic matter and carbon during slash burns in New Zealand exotic forest. *New Zealand Journal of Forestry Science*, **28**(2): p. 221-241.

56. Robinson, J. (1989). On uncertainty in the computation of global emissions from biomass burning. *Climatic Change*, **14:** p. 243-262.

57. Shea, R., Shea, B., Kauffman, J., Ward, D., Haskins, C. and Sholes, M. (1996). Fuel biomass and combustion factors associated with fires in savanna ecosystems of South Africa and Zambia. *Journal of Geophysical Research*, **101**(D19): p. 23551-23568.

58. Slijepcevic, A. (2001). Loss of carbon during controlled regeneration burns in Eucalytus obliqua forest. *Tasforests*, **13**(2): p. 281-289.

59. Smith, D. and James, T. (1978). Characteristics of prescribed burns and resultant short-term environmental changes in Populus tremuloides woodland in southern Ontario. *Canadian Journal of Botany*, **56:** p. 1782-1791.

60. Soares, R. and Ribeiro, G. (1998). Fire behaviour and tree stumps sprouting in Eucalyptus prescribed burnings in southern Brazil. in III International Conference on Forest Fire Research / 14th Conference on Fire and Forest Meteorology. Luso.

61. Sorrensen, C. (2000). Linking smallholder land sue and fire activity: examining biomass burning in the Brazilian Lower Amazon. *Forest Ecology and Management*, **128**(1-2): p. 11-25.

62. Stewart, H. and Flinn, D. (1985). Nutrient losses from broadcast burning of Eucalyptus debris in north-east Victoria. *Australian Forest Research*, **15:** p. 321-332.

63. Stocks, B. (1987). Fire behaviour in immature jack pine. *Canadian Journal of Forest Research*, **17:** p. 80-86.

64. Stocks, B. (1989). Fire behaviour in mature jack pine. *Canadian Journal of Forest Research*, **19:** p. 783-790.

65. Stocks, B., van Wilgen B., Trollope W., McRae D., Mason J., Weirich F. and Potgieter A. (1996). Fuels and fire behaviour dynamics on large-scale savanna fires in Kruger National Park, South Africa. Journal of Geophysical Research, 101(D19): p. 23541-23550.

66. Stocks, B. and Kauffman, J. (1997). Biomass consumption and behaviour of wildland fires in boreal, temperate, and tropical ecosystems: parameters necessary to interpret historic fire regimes and future regimes and future fire scenarios, in Sediment Records of Biomass Burning and Global Change, J. Clark, *et al*., Editors. Springer-Verlag: Berlin. p. 169-188.

67. Susott, R., Ward D., Babbitt R. and Latham D. (!991). The measurement of trace emissions and combustion characteristics for a mass fire, in Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications, J. Levine, Editor. MIT Press: Massachusetts. p. 245-257.

68. Turetsky, M. and Wieder, R. (2001). A direct approach to quantifying organic matter lost as a result of peatland wildfire. *Canadian Journal of Forest Research*, **31**(2): p. 363-366.

69. Van Wagner, C. (1972). Duff consumption by fire in eastern pine stands. *Canadian Journal of Forest Research*, **2:** p. 34-39.

70. van Wilgen, B., Le Maitre, D. and Kruger, F. (1985). Fire behaviour in South African fynbos (macchia) vegetation and predictions from Rothermel's fire model. *Journal of Applied Ecology*, 22: **p.** 207-216.

71. Vose, J. and Swank, W. (1993). Site preparation burning to improve southern Appalachian pine-hardwood stands: above-ground biomass, forest floor mass, and nitrogen and carbon pools. *Canadian Journal of Forest Research*, **23:** p. 2255-2262.

72. Walker, J. (1981). Fuel dynamics in Australian vegetation, in Fire and the Australian Biota, A. Gill, R. Groves, and I. Noble, Editors. Australian Academy of Science: Canberra. p. 101-127.

73. Ward, D., Susott, R., Kauffman, J., et al. (1992). Somke and fire characteristics for Cerrado and deforestation burns in Brazil: BASE-B Experiment. Journal of Geophysical Research, **97**(D13): p. 14601-14619.

제3장

일관성 있는 토지이용의 표현

저자

Kathryn Bickel (미국) and Garry Richards (호주)

Michael Köhl (독일) and Ricardo Leonardo Vianna Rodrigues (브라질)

부저자(contributing author)

Goran Stahl (스웨덴)

목 차

3 일관성 있는 토지이용의 표현.....3.6
3.1 서론.....3.6
3.2 토지이용 카테고리.....3.7
3.3 토지이용지역의 표현.....3.11
3.3.1 세 가지 접근법.....3.13
접근법 1: 전체 토지이용지역, 토지이용간의 변화에 대한 자료가 없음.....3.13
접근법 2: 카테고리간의 변화를 포함한 총 토지이용면적.....3.18
접근법 3: 공간명시적 토지이용 변화 자료.....3.19
3.3.2 자료의 이용.....3.19
3.3.2.1 토지이용자료의 계층화.....3.24
3.3.2.2 배출량과 흡수량 산정을 위한 자료준비.....3.26
3.4 온실가스 배출량과 흡수량 산정을 위한 요소들과 토지면적의 연결.....3.26
3.5 접근법들과 연관된 불확도.....3.28
별첨 3A.1 국가적인 토지 피복 자료들의 예.....3.31
별첨 3A.2 토지이용 데이터베이스의 개발.....3.36
3A.2.1. 다른 목적을 위해 준비된 자료의 사용.....3.36
3A.2.2. 표본 조사 방법에 의한 새로운 자료의 수집.....3.37
3A.2.3. 전수조사에 대한 새로운 자료 수집.....3.37
3A.2.4. 자료 수집을 위한 도구.....3.38
별첨 3A.3 표본조사.....3.43
3A.3.1. 서론.....3.43
3A.3.2. 표본조사의 원리에 대한 개괄.....3.43
3A.3.3 표본조사 설계.....3.44
3A.3.4 면적 측정을 위한 표본 조사 방법.....3.47
3A.3.5 비율을 통한 면적 측정.....3.48
3A.3.6 면적의 직접산정.....3.48
별첨 3A.4 접근법 3의 데이터베이스를 개발하기 위한 잠재적인 방법에 대한 개요.....3.49
별첨 3A.5 기본 기후와 토양 계층화.....3.51
참고문헌.....3.57

그 림

그림 3.1 토지이용면적 자료의 준비를 위한 의사결정도.....3.25
그림 3A.3.1 표본조사의 원리.....3.43
그림 3A.3.2 표본의 단순임의구획 (왼쪽)과 체계적인 구획 (오른쪽).....3.45
그림 3A.3.3 변화예측을 위한 영구적이고 일시적인 표본조사 단위들의 다른 조합의 사용 3.46
그림 3A.4.1. 접근법 3의 개요: 토지 이용에 대한 전체 공간범위에서의 직접적이고 반복적인 평가.....3.49
그림 3A.4.1A 원격 탐사는 모든 격자 셀을 완전하게 표현할 수 있다.....3.49
그림 3A.4.1B 격자 셀의 표본은 규칙적으로 배분될 수 있다.....3.50
그림 3A.4.1C 격자 셀의 표본은 비 규칙적으로 배분될 수 있다.....3.50
그림 3A.4.1D 일반화된 지도들은 다면체로 합쳐질 수 있는 격자 셀을 사용하여 준비될 수 있다.....3.50
그림 3A.5.1 1996 IPCC 가이드라인에서 갱신된 주요 기후대 분포도.....3.53
그림 3A.5.2 기본 기후영역의 분류체계. 분류 체계는 고도, 연중평균기온 (MAT), 연평균강수량 (MAP), 연평균강수량 대 잠재적 증발산량 비율 (MAP:PET), 그리고 서리의 발생에 근거한다.....3.54
그림 3A.5.3 USDA 분류체계에 근거한 무기토양의 분류체계.....3.55
그림 3A.5.4 World Reference Base for Soil Resources (WRB)의 분류에 근거한 무기토양의 유형별 분류체계.....3.56

표

표 3.1 Tier 1의 배출량 산정방법을 위한 보충자료의 계층화 예.....3.10
표 3.2 접근법 1의 예: 전 국토면적과 유용한 토지이용자료.....3.15
표 3.3 접근법 1을 위한 자료 계층화의 예시.....3.16
표 3.4 국가적으로 정의된 요소들을 포함하여 접근법 2에 대한 모든 토지이용 변화를 표로 나타낸 예.....3.20
표 3.5 카테고리의 계층화로 토지이용 변화 행렬에서 접근법 2의 자료들의 설명에 도움이 되는 예시.....3.21
표 3.6 접근법 2의 예를 위한 단순화된 토지이용 변화 행렬.....3.23

표 3.7 접근법 1~3의 불확도 개요.....3.29
표 3A.1.1 국가 토지피복 자료들의 예.....3.31
표 3A.3.1 비율을 통한 면적 측정의 예.....3.48

3 일관성 있는 토지이용의 표현

3.1 서론

분류정보, 지역정보, 다양한 토지이용 카테고리를 나타내는 범례들은 탄소(C) 축적량과 농업과 임업, 그리고 다른 토지이용활동과 연관된 온실가스의 배출량과 흡수량을 산정하기 위하여 필요하다. 이 장에서는 토지이용 카테고리를 나타내기 위한 다양한 형태의 자료들을 사용하기 위한 소개를 제공한다. 이를 통하여 관련 자료들이 인벤토리 계산에 가능한 적절하고 일관성 있게 적용될 수 있을 것이다.

국가들은 자료를 얻기 위하여 연간 인구조사와 주기적인 측량 및 원격 탐사 등과 같은 다양한 방법을 사용한다. 이들 각각의 자료수집 방법은 다른 보고 횟수와 다른 속성을 지닌 각기 다른 형태(예를 들면, 지도나 일람표)의 정보들을 산출한다. 세 가지 일반적인 방법은 다음과 같다.

첫 번째 접근방법은 각각의 개별적인 토지이용 카테고리의 국가 내 총면적을 확인하는 것이다. 하지만 토지이용 사이 전환의 속성에 대한 자세한 정보는 제공하지 않는다. 두 번째 접근방법은 토지이용 카테고리들 사이의 전환에 대한 방법을 제공한다. 세 번째 접근방법은 두 번째 접근방법에 공간 명시적인 방식으로 토지이용전환을 가능하도록 정보를 확장한다. 국가들은 시간과 다른 장소에 따라서 접근방법들을 혼용하여 사용할 수 있다.

여기에 제시된 지침들은 국가들이 보고서 작성에 있어서 자료를 가장 잘 활용하면서 동시에 불필요하게 중첩되거나 생략되는 것을 줄이기 위하여 의도되었다. 그리고 온실가스 인벤토리를 준비하는 사람들이 만든 다른 형태의 자료들을 적절하게 사용하기 위해 올바른 결정을 할 수 있도록 도와준다. 하지만 자료가 어떻게 수집되어야 하는지에 대한 설명을 목적으로 하지는 않는다. 일반적으로 모든 자료들은:

- 적합해야 한다. 예를 들어, 탄소(C) 축적량의 변화를 예측하거나 온실가스의 배출량과 흡수량에 필요한 만큼 토지이용카테고리의 표현과 토지이용카테고리간의 전환이 가능한 해야 한다.
- 일관성 있어야 한다. 예를 들어, 시계열 자료의 인위적인 비연속성에 의해 과도하게 영향을 받지 않도록 해야 한다.
- 완전해야 한다. 즉, 어떤 한 나라 안에 있는 모든 토지들이 포함되어야 하며, 어떤 지역의 증가는 다른 지역의 감소로 균형이 잡혀야 하며, 온실가스의 배출과 흡수를 예측하고 보고하는데 필요하다면 생물-물리적인 계층화를 인식할 수 있어야 한다 (자료의 도움도 받을 수 있어야 한다).
- 명백해야 한다. 예를 들어, 자료의 출처, 정의, 방법과 산정들은 반드시 명확하게 서술되어야 한다.

토지이용에 대한 서술은 다음과 같은 구성을 따른다.:

- 토지이용 카테고리 - 광범위한 토지이용 (아래에 서술된 여섯 개의 토지이용 카테고리 중 하나)이 그대로 유지되는가, 아니면 다른 토지이용 카테고리로 전환되는가?
- 하위 카테고리 - 특별한 상황을 지칭한다. (예를 들면, 임지 내의 초지대) 개별적으로 예측되고

보고되지만, 광범위한 토지이용 카테고리 내에 중복되어서는 안 된다.
- 토지이용 카테고리와 하위 카테고리는 토지이용 방식과 생물-물리적 특성에 근거하여 배출량 측정을 위한 보다 동질적인 공간단위를 만들기 위해 더욱 계층화 될 수 있다 (표 3.1 참조).

3.2 토지이용 카테고리

아래에 서술된 여섯 가지 광범위한 토지이용 카테고리들은 토지이용과 토지이용 전환에 따른 온실가스의 배출과 흡수를 측정하고 보고하는 기반을 형성한다. 이러한 토지이용카테고리들은 모든 토지이용면적을 대표하는 최고 수준의 카테고리로 간주될 수 있으며, 자료의 이용이 가능할 때 배출량 측정에 중요한 특정 상황들을 묘사하는 하위 카테고리들을 가진다. 그리고 대부분의 국가들에서 전체 토지면적을 분류하기에 충분히 넓은 체계이며, 국가 토양이용분류체계의 차이점들을 수용하고, 쉽게 계층화 될 수 있다 (예를 들면, 기후나 생태지대에 따라서). 각 영역들 (그리고 하위영역들)은 다음 절에서 묘사된 토지이용면적자료를 나타내기 위한 접근방법들의 적용을 통해 확인되도록 정의되었다.

토지이용 카테고리들의 정의는 토양피복과 토지이용에 바탕을 두거나, 이 둘의 조합을 포함한다. 토지피복의 특성으로부터 토지이용을 유추하거나, 혹은 그 반대 과정에서 주의가 필요하다. 예를 들면, 어떤 국가에서는 임지의 상당한 면적이 초지일 수 있으며, 초지대의 산재된 임목들로부터 장작이 수집될 수 있다. 이처럼 다르게 사용되는 면적들은 각 국가들이 이들을 추가적인 하위 카테고리로 고려할 만큼 중요할 수 있다. 각 국가들은 토지면적이 중복적으로 계산되는 것을 피하기 위해 토지가 한 개 이상의 카테고리 (또는 하위 카테고리)를 갖지 않도록 해야 한다.

편의상, 카테고리들은 토지이용카테고리들로 언급된다. 이들은 선택된 특별한 카테고리들이다. 왜냐하면:

- 배출량과 흡수량을 측정하기 위한 기초가 될 만큼 확고하고;
- 이용가능하며;
- 완전하다. 그래서 한 국가의 모든 토지면적들은 중복됨이 없이 이러한 카테고리들로 구분될 수 있기 때문이다.

국가들은 이러한 카테고리들에 대한 그들 고유의 정의를 사용할 것이며, FAQ나 Ramsar[1]에 의해 정의된 것과 같이 세계적으로 인정되는 정의를 참조할 수도 있고, 하지 않을 수도 있다. 광범위하고 비규범적인 정의만이 관리지 (managed lands)와 비관리지 (unmanaged lands)의 토지이용카테고리에 대해 제공된다. 그러므로 국가들은 국토면적에 대한 정의를 일관되게 묘사하여 적용해야 할 것이다.

국가들은 관리지와 비관리지의 면적을 결정하는데 사용되는 방법들과 정의들에 대해 서술해야 한다. 농경지는 생산과 생태적, 사회적 기능을 수행하기 위해 인간의 간섭과 관행이 적용되어 온 토지이다. 토지에 대한 모든 정의와 분류는 국가수준에서 선정되어야 하며, 명백한 방식으로 서술되

1 습지에 관한 람사협약을 의미. 1971년 이란에서 채택된 습지에 관한 협약은 습지와 습지자원들의 현명한 이용과 보존을 위해 국가적 활동과 국제협력을 위한 틀을 제공하는 범국가적 협약이다.

어야 하고, 시간이 지나도 일관되게 적용되어야 한다. 비관리지의 온실가스 배출량/흡수량은 보고하지 않아도 된다. 그러나 국가들에게 있어서 비관리지를 정량화하고 시간에 따라 추적하는 것이 좋을 것이며, 토지이용의 변화가 발생될 때 면적을 계산하는데 있어서 일관성이 유지될 수 있을 것이다.

국가적인 토지이용의 해상도 차원에서, 지도는 토지이용 카테고리들을 묘사하는데 사용되는 정의들보다 더 부정확할 수도 있다 (예를 들어, 국가에서 적용하는 산림의 정의가 포함하는 최소면적을 1 ha라고 한다면, 이용 가능한 토지이용 지도화의 최소단위는 5 ha이다). 이는 다른 토지이용 카테고리 하에 기록된 어떤 토지이용카테고리의 작은 면적일 가능성이 있다. 이와 같은 작은 면적들은 동일한 카테고리에 남아있을 경우에 지도화 된 토지이용 하에 기록될 수 있다. 만약 다른 토지이용카테고리로 전환되고 (예를 들면, 다른 용도로 전환된 임지의 작은 면적이 농경지로 먼저 지도 화 된 구획 내에 있는 것으로 확인) 이러한 사실이 확인된다면 (예를 들면, 활용을 허가), 적절한 토지이용전환카테고리 (즉, 임지가 다른 토지용도로 전환) 하에 기록되어야 하고, 원래 (이전에 잘못 분류된)의 토지이용 (남겨진) 면적에서는 제해야 할 것이다.

온실가스 인벤토리를 위한 토지이용카테고리들은 다음과 같다:

(i) 임지

이 카테고리는 목본식생으로 된 모든 지역을 포괄하며 국가적인 온실가스 인벤토리에서 산림으로 정의된다. 이는 또한 현재 산림으로 정의될 수 있는 한계 이하의 식생을 가졌지만, 현장에서 잠재적으로 산림으로 포함될 수 있는 지역을 포괄한다.

(ii) 농경지

이 카테고리는 벼논과 임지 카테고리로 간주될 수 있는 한계 이하의 식생구조를 가진 농림업체계를 포함하는 농경지를 의미한다.

(iii) 초지

이 카테고리는 농경지로 고려되지 않는 방목장과 목초지를 포함한다. 또한 임지 카테고리로 간주될 수 있는 한계 이하의 식생구조를 가진 목본식생과 허브와 잡목림과 같은 기타 비-초본식생을 포함한다. 이 카테고리는 또한 황무지에서부터 휴양지 뿐 아니라, 농업과 식림-목초체계 등 모든 초지를 포함한다.

(iv) 습지

이 카테고리는 이탄 추출지역과 연중 또는 부분적으로 물에 포화되거나 물로 덮여있는 지역으로 임지, 농경지, 초지 또는 주거지에 포함되지 않는 지역이다. 이것은 관리된 저수지와 관리되지 않은 강과 호수를 포함한다.

(v) 주거지

이 카테고리는 다른 카테고리에 포함되지 않은 교통시설과 인간 주거지를 포함한 개발된 모든 지역을 의미한다. 이는 국가에서 정의한 것과 일치해야 한다.

(vi) 기타

이 카테고리는 나지와 암석, 빙하를 포함하여 다른 5개의 카테고리에 속하지 않은 지역이다. 이것

은 자료의 이용이 가능한 곳에서 확인된 토지의 총합이 국토 면적과 일치하도록 한다. 만일 자료가 있다면, 국가들은 관리되지 않은 지역을 위의 토지이용 카테고리 (예를 들어, 관리되지 않은 임지, 관리되지 않는 초지, 관리되지 않는 습지)로 분류하도록 장려된다. 이것은 투명성을 향상시키고, 관리되지 않은 특정 유형의 토지에서 위와 같은 카테고리들로 토지이용이 전환된 것을 추적할 수 있는 능력을 강화한다.

토지이용변화

토지이용변화를 산정하는데 필요한 모든 응용의 소개는, 자료 수집 간격, 특히 다른 탄소 (C) 보유량의 측정과 다른 배출과 흡수 요소와 관련된 전환 전과 후의 토지에서 발생한다. 적절한 토지이용과 토지이용의 변화는 아래와 같다:

FF = 임지로 유지되는 임지	LF = 임지로 전환된 토지
GG = 초지로 유지되는 초지	LG = 초지로 전환된 토지
CC = 농경지로 유지되는 농경지	LC = 농경지로 전환된 토지
WW = 습지로 유지되는 습지	LW = 습지로 전환된 토지
SS = 주거지로 유지되는 주거지	LS = 주거지로 전환된 토지
OO = 기타 토지 유지되는 기타 토지	LO = 기타 토지로 전환된 토지

카테고리로 전환된 토지의 기원에 대해 자세한 자료가 있는 곳에서는 (이것은 국가가 토지이용 지역을 나타내기 위한 접근방법의 이용가능성에 달려있다.) 국가들이 토지이용 전환을 구체화할 수 있다. 예를 들면, LC는 임지가 농경지 (FC)로 변화되고, 초지가 농경지 (GC)로 변화되는 하위 카테고리로 구분될 수 있다. 두 지역이 모두 농경지로 바뀌지만, 그들의 기원에 따라 온실가스 배출량과 흡수량의 차이가 나타날 것이기 때문에 가능한 경우 언제든지 보고 하여야 한다. 이러한 토지이용 카테고리의 변화를 적용할 때, 국가들은 토지를 반드시 하나의 카테고리 (최종 토지이용) 하에 분류하여, 중복 계산되는 일이 없도록 해야 한다. 그러므로 보고된 카테고리는 최종 토지이용 카테고리이며, 토지이용변화 이전의 토지이용 카테고리가 아니다.

만약 어떤 국가의 토지이용카테고리체계가 위에서 언급한 (i)~(vi)와 일치하지 않는다면, 그러한 토지이용 분류는 여기서 소개된 카테고리들을 나타내도록 반드시 결합되거나 나뉘어져야 한다. 국가들은 이러한 재분류 과정에 대해 보고해야 한다. 인벤토리에 사용된 모든 카테고리들에 대한 국가의 정의와 이러한 정의에 사용된 어떤 한계치나 변수들에 대해서도 상세히 설명해야 한다. 국가적인 토지이용 분류체계가 처음으로 변화하거나 발달한 곳은 (i)부터 (vi)까지의 분류체계와 양립할 수 있는 방법을 찾아야 한다.

위에 나열된 광범위한 토지이용 카테고리들은 기후나 생태지대, 토양과 식생 형태 등에 의해 이 책의 2, 4, 9장에서 서술되는 탄소(C) 축적량의 변화와 온실가스 배출량과 흡수량을 사정하기 위한 방법들과 토지면적을 일치시키기 위해 필요한 만큼 좀 더 체계화될 수 있다 (3.3.2에 언급했듯이). 기본 기후와 토양분류 체계는 별첨 3A.5에 제공된다. Tier1의 배출량과 흡수량 산정에 사용된

계층화의 예들은 표 3.1에 요약되어 있다. 계층체계의 특성은 토지이용과 탄소(C) 저장고에 따라 다르며, 이 장의 마지막에서 산정방법들로 사용된다. 배출량과 흡수량 측정에 필요한 자료에 맞는 토지이용지역을 계층화하는 것에 대한 설명이 이 장의 3.3.2에 제공된다.

표 3.1
Tier 1의 배출량 산정방법을 위한 보충자료의 계층화 예

인자	요소
기후 (별첨 3A.5 참조)	아한대 한랭 건조 한랭 습윤 온난 건조 온난 습윤 열대 건조 열대 강우 열대 습윤
토양 (별첨 3A.5 참조)	고활성 점토 저활성 점토 사질 스포딕 화산 습지 유기질
생물 (생태적 영역)	열대우림 열대습윤 활엽수림 열대 건조림 열대 관목림 열대 사막 열대 산지 아열대 습윤림 아열대 건조림 아열대 초원 아열대 사막 아열대 산지 온대 해양림 온대 대륙림 온대 초원 온대 사막 온대 산지 북방 침엽수림

	북방 툰드라 산림지대 북방 산지 극지방
관리 활동 (어떤 토지에도 하나 이상 적용)	집약적인 경작 / 흡수된 경작/ 경작 없음 장기간 경작 다년생 임목 경작 석회시용 작물시스템의 투입이 많음/적음/중간 개량 초지 비개량 초지

3.3 토지이용지역의 표현

여기에서는 앞에서 정의한 분류 카테고리를 사용하여 토지이용지역들을 나타내기 위해 사용될 수 있는 세 가지 접근방법을 묘사한다. 이들은 정보의 내용이 증가하는 순으로 아래 나타난다. 접근법 1은 국가 내 각 개별 토지 이용 카테고리를 위한 지역들의 총 변화를 확인한다. 하지만 토지이용 사이의 전환지역과 속성에 관한 정보는 제공하지 못한다. 접근법 2는 카테고리 간의 토지이용 변화에 대한 추적을 포함한다 (하지만, 공간적으로는 표현이 가능하지 않음). 접근법 3은 공간적으로 표현이 가능하게 되어 토지이용 변화의 추적을 허용함으로써 접근법 2를 확장시킨다.

접근방법들은 계층적인 단계로 존재하지 않으며, 정확성의 증가 또는 감소를 암시하지는 않는다. 하지만 수집방법과 속성, 그리고 자료를 사용하는 적절한 방법들을 반영한다. 정확성은 접근 자체라기보다는 접근의 적용의 질에 의하여 영향을 받는다. 접근들은 상호 배타적이지 않으며, 어떤 국가에서는 배출량 측정의 필요성과 자국의 환경을 반영하기 위하여 접근방법들을 혼용할 수 있다. 한 가지 접근방법이 어떤 국가 내에 모든 지역들과 토지이용 카테고리들, 모든 지역들과 토지이용 카테고리들에 동일하게 적용될 수 있다. 또는 다른 접근방법이 다른 지역들과 카테고리들, 또는 다른 시간 간격에 적용될 수도 있다. 모든 경우에 있어서, 국가들은 모든 적합한 토지지역들을 일관성 있게 서술하고 설명해야 하고, 가능한 분명하게 해야 한다.

모든 자료들은 제 2, 4, 9장에서 서술된 인벤토리 방법들에 필요한 토지이용지역 내 역사적인 경향을 반영해야 한다. 역사적인 자료를 위해 필요한 개시 시간은 죽은 유기물질과 토양의 탄소(C) 재고가 토양이용 변화에 따라서 평형에 도달하는데 필요한 충분한 시간에 근거 한다 (20년은 기본값으로 요구되지만 더 길어질 수 있다. 예를 들면, 온대와 아한대의 경우). 평형에 도달하는 시간이 지난 후에 토지이용 변화 카테고리에 추가된 지역은 “토지 이용 카테고리에 유지되는 토지”로 변화되어야 한다. 따라서 토양이용 변화에 대한 시계열 자료는 “카테고리로 전환된 토지” 카테고리에서 “토지이용 카테고리로 유지되는 토지”로 연간 변화를 결정하는데 사용된다.

시계열

인벤토리에는 인벤토리 연도와 상응하는 최소 두 지점에서 토양이용지역에 대한 자료가 필요하다. 접근법 1의 경우 (각 토지이용 카테고리의 지역 내 순 국가적 변화를 확인하지만, 그들 사이의 변화는 아닌) 역사적인 토지이용은 여전히 알지 못할 수 있다. 이와 같은 경우에, 국가들은 이전의

토지이용에 대해 추측하거나 (3.2.2.2의 하단 참조), 토양이용변화 이전의 모든 시간 동안 토지이용 카테고리로 유지되는 지역으로 간주해야 한다. 이러한 산정은 탄소(C) 보유량이 보다 많은 토양으로 변화된 곳에서 흡수량을 과소평가하거나, 그 반대의 경우 배출량을 과소평가할 수 있다.

접근방법의 변화에서 생기는 인위적인 요소가 실재 토지이용변화로 되지 않도록 토양이용 카테고리와 토지이용변화 자료들을 준비하는데 있어서 일관성 있는 시계열 자료가 있는 것이 중요하다. 관리된 지역과 관리되지 않은 지역의 면적이 모두 정의되고 일관성 있게 측정되도록 주의해야 한다. 다음 절에서는 배출량 산정을 위해 탄소(C)축적량의 변화 방법들을 사용할 때 관리된 토지의 변화 (탄소(C) 축적량 변화의 결과)를 어떻게 다루어야 하는 지에 대해 상세히 다루고 있다.

탄소(C) 축적량의 산정에서 일관성 있는 토지구역의 사용

국가 인벤토리의 시계열에서, 관리된 지역의 전체 면적은 관리되지 않는 지역이 관리된 지역으로 변화됨에 따라 증가할 개연성이 높다. 이 경우, 탄소(C) 축적량의 예측에 사용된 토지구역에서 (배출량 산정의 축적량-차이 방법 사용 시) 추가적인 토지의 도입 (관리되지 않는 지역에서 관리된 지역으로의 변화에 의해)은 마치 탄소(C) 축적량이 증가한 것처럼 잘 못 보일 수 있다. 이것은 대기권에서 제거된 것으로 잘못 추론될 수 있다. 하지만 실제로는 인벤토리 시계열 상에서 토지이용 면적의 확장에 따라 증가된 것일 뿐이다. 진짜 탄소(C) 축적량의 변화에서 비롯된 토지에서의 탄소(C) 축적량의 증가를 구분하기 위해서, 탄소(C) 축적량의 산정은 연간 인벤토리에서 관리된 토지의 총 면적이 변화할 때마다 완전한 인벤토리 시계열 지역에 대해서 다시 계산되어야 한다.

시계열에서 어떤 시점에서의 토지의 최대 면적 (그리고 연관된 탄소(C) 축적량)은 전체 인벤토리 기간을 통틀어 배출량과 흡수량 측정의 기초로 사용되어야 한다. 관리되지 않은 지역의 탄소(C) 축적량은 관리된 지역으로 분류되는 기간까지 일정한 상태 (그래서, 탄소(C) 축적량의 변화는 0일 것이다)로 남아있다고 가정될 수 있다. 그러므로 재계산은 토지가 인벤토리에 들어온 해의 초기 탄소(C) 축적량은 변화시키지만, 적절한 토지가 관리될 때까지 시계열 인벤토리에 걸쳐 탄소(C) 축적량 변화의 산정에 영향을 미치지는 않을 것이다.

자료의 가용성

많은 국가들에 있어서 이러한 인벤토리들의 활용은 새로운 자료의 수집을 필요로 할 수 있다. 별첨 3A.3은 표본조사 방법에 대한 일반적인 소개를 하고, 별첨 3A.4는 공간명시적 (접근방법 3) 자료묶음에 대해 소개하고 있다. 토지이용에 대한 이러한 인벤토리들을 적용하는데 필요한 자료의 이용이 국가적으로 가능하지 않은 곳에서는, 토지카테고리에 대한 자료가 전 지구적인 자료묶음에서 파생될 수 있다 (별첨 3A.1에 예시가 제공되지만, 토지이용에 대한 것이 아니라 대개 토지피복에 기반 한 보고이다). 사용되는 자료는 불확도를 계산하기 위한 정보를 산출할 수 있는 것이 보다 바람직하다.

토지이용 자료를 사용할 때, 인벤토리 편집자들은 다음에 제시된 사항들에 유의해야 한다:

- 존재하는 독립 데이터베이스들 간의 정의를 일치시키고, 토지이용카테고리와 함께 격차와 중첩을 최소화한다. 예를 들어, 만일 농경지상의 산림이 산림과 농경지의 자료묶음에 동시에 포함되면

중첩이 발생될 수 있다. 자료를 일치시키기 위해서 산림은 국가적인 차원에서 채택된 산림의 정의에 의해 온실가스 인벤토리의 목적을 위해서 반드시 한번만 계산되어야 한다. 연결의 목적을 위해서 가능한 중첩에 대한 정보는 인벤토리를 책임지는 기관들로부터 활용될 수 있어야 한다. 정의의 조화는 기관들이 쓰는 정의들을 버려야 한다는 것을 의미하는 것이 아니라, 이중계산과 생략을 제거하기 위해 정의들 간의 관계를 확립해야 한다는 것이다. 이것은 자료들 전체에 걸쳐서 시계열상으로 일관성 있게 행해져야 한다.

- 사용된 토지이용 카테고리들이 모든 적절한 행동들을 확인할 수 있도록 해야 한다. 예를 들면, 어떤 국가가 관리된 토지이용 카테고리 (예를 들면, 산림)를 추적할 필요가 있으며, 분류 체계는 관리되지 않은 산림에서 관리된 지역을 구분할 수 있어야 한다.
- 자료 수집 방법이 믿을 만하고, 방법론적으로 잘 기록되고, 시의 적절하며, 적절한 규모, 그리고 믿을만한 출처로부터 얻어진 것이어야 한다.
- 기간 간에 카테고리의 정의를 일관되게 적용해야 한다. 예를 들어, 국가들은 시간에 따라서 산림의 임관과 다른 변수들로 정의된 산림에 대한 정의가 변했는지 점검해야 한다. 그러한 변화가 확인되면, 시계열에 걸쳐서 일관성 있게 정확한 자료를 재계산에 사용해야 하며, 취해진 조취들을 보고해야 한다. 재계산에 대한 소개는 1권 5장에 제시되어 있다.
- 토지이용구역들과 변화된 면적들에 대한 불확도 산정이 온실가스 배출, 흡수, 탄소(C) 축적량 변화를 측정하는데 사용되도록 준비해야 한다.
- 국가의 토지구역들이 인벤토리의 시계열에 따라 일관성이 있도록 해야 한다; 그렇지 않으면, 탄소(C) 축적량의 변화는 축적량변화배출산정방법을 사용할 때 계산된 전체 토지 면적의 변화로 인해 잘못된 탄소(C)의 증가 또는 감소를 반영할 것이다.
- 주어진 자료의 불확도 수준에서, 토지분류자료묶음의 합계가 전체 국토면적과 일치하는지 확인해야 한다. 만약 피복이 완전하다면, 두 시점 사이의 모든 토지 면적의 변화의 순 합계는 연관된 불확도 내에서 0이 되어야 한다. 피복이 완전하지 않는 경우, 국토면적과 피복면적 사이의 차이는 일반적으로 안정하거나 시간에 따라서 느리게 변화하거나, 불확도 내에서 예측이 가능해야 한다. 만일 균형값이 급격하게 변화하거나, (완전한 피복의 경우)합계가 일치하지 않는다면, 인벤토리 편집자들은 이에 대해서 조사하고, 설명하며, 필요한 교정을 해야 한다. 이러한 전체 지역에 대한 연중 또는 주기적인 설문 또는 관련된 인구 조사의 불확도에 대한 검증이 이루어져야 한다. 활용할 수 있는 자료들에 의해 계산된 총 면적과 국토면적 간에 남은 차이는 면적추정에 있어서 예측된 불확도 이내여야 한다.

비료시용, 석회시용과 수확된 목재 생산량의 이용과 같이 기록된 활동들의 경우, 국가적으로 축적된 자료만이 이용가능할지 모른다. 배출량과 흡수량 산정방법들이 국가적인 수준에서 적용되는 곳에서, 토지이용에 의한 분류카테고리 없이 그러한 자료를 사용하는 것이 바람직하다.

3.3.1 세 가지 접근법

접근법 1: 전체 토지이용지역, 토지이용간의 변화에 대한 자료가 없음

접근법 1은 정의된 공간 단위 이내 토지이용 면적의 합계를 반영하며, 이는 종종 국가나 주, 또는 시와 같은 정치적인 반경에 의하여 정의된다. 접근법 1의 자료들의 또 다른 특성은 토지이용지역들의 순 변화만이 시간에 따라서 추적할 수 있다는 데 있다. 결과적으로 정확한 장소 또는 토지이용의 패턴은 공간 단위 내에서 알려지지 않으며, 토지이용 카테고리들에서 정확한 변화들은 탐지

될 수 없다. 자료들은 다른 목적들, 즉 임업이나 농업통계들을 위해 준비되었을 수 있다. 종종 여러 자료들은 국가의 전체 토지분류를 위하여 결합될 것이다. 종종 각 자료의 묶음들이 국가 전체의 토지분류나 지역들을 포함하기 위해 결합될 것이다. 이 경우, 통일된 자료체계가 없으면 잠재적으로 이중계산이나 생략과 같은 실수들을 초래할 수 있다. 왜냐하면 기관들은 그들의 자료들을 계산할 때 특정한 토지이용에 대해서 다른 정의를 사용하지도 모르기 때문이다. 이러한 문제들을 다루는 방법이 아래에 제시되어 있다.

표 3.2와 3.3은 가상의 국가에 대해서 요약된 토지이용지역 자료들을 보여준다. (1억 4천만 ha의 국토면적을 가진) 표 3.2는 넓은 토지이용 카테고리들의 수준에서 준비되었다. 표 3.3은 본 권의 다른 곳에 서술된 배출량 산정방법들을 사용하는 다양한 활동들의 영향을 산정하기 위한 계층화 예시들에 대해 동일한 정보를 나타낸다.

각 카테고리들의 토지이용변화면적의 결정은 두 시점에서 면적의 차이에 기초한다. 접근법 2에서 도입되는 보충적인 자료들이 유용하지 않을 때에는 접근법 1에서 카테고리 간 변화들 (예를 들면, 토지이용 카테고리에 유지되는 토지와 새로운 토지이용 카테고리로 전환된 토지)을 구체적으로 명시하지 않아도 된다.

토지이용 면적 자료들은 주기적인 표본작성자료, 지도들, 또는 인구조사들 (토지소유주 설문조사들과 같은)에 근거하지만, 공간적으로는 명백하지 않을 수 있다. 각 토지이용 소유주들에 대한 자료수집과 인벤토리의 일관성에 따라서 모든 토지이용 카테고리 면적들의 총합은 국가 또는 고려대상의 지역의 총 면적과 일치하지 않을 수도 있으며, 토지이용 카테고리들 간의 변화의 순 결과가 0과 같거나 다를 수 있다. 이 접근의 최종 결과는 주어진 시점에서 토지이용의 표로 주어진다. 모든 토지이용 카테고리에 대해서 매년 보고 되는 총 면적들은 일관성이 있어야 하며, 표3.3과 유사한 표로서 QA/ QC 측정으로 생성되어야 한다. 만일 불일치가 발견된다면, 미래의 인벤토리들을 위하여 그 문제들을 확인하고 교정하는 것이 *좋다(good practice)*. 이것은 개별적인 토지이용 카테고리들에 있어 인벤토리 용어들 사이에 밀접한 협력을 요구하거나, 새로운 조사 또는 다른 형태의 자료 수집을 필요로 할 것이다.

본 권의 다른 부분에서는 표 3.3에 제시된 각 토지이용 카테고리들의 토지면적이 "동일한 토지이용 카테고리로 유지되는 토지"와 "새로운 토지이용 카테고리로 변화되는 토지"로 구분되는데 필요한 정보가 필요하다. 이것은 본 권의 다른 장들에서 방법론적 요구에 의존한다. 만일 토지이용 자료들이 총 토지변화면적들이 계량화될 수 있는 접근법 2 (아래에서 보는 바와 같이)를 활용하기에 불충분하다면, 배출량과 흡수량이 "동일한 토지이용 카테고리로 유지되는 토지"로 보고 할 수 있다. 이것은 각 토지이용 카테고리들의 면적들에 순 변화를 확인하는데 충분할 뿐, 모든 토지 변화들에 미치는 영향은 아닐 수 있다. 하지만 일반적으로 토양과 식생과 관련된 배출량의 산정은 유지되는 토지와 전환된 토지에 의해 카테고리화된 토지면적을 요구하며, 가능하면 그렇게 되는 것이 바람직하다. 전문가의 판단에 의해 그렇게 결정하는 경우에도 동일하다.

"유지되는 토지" 카테고리에서의 보고에 의해서 배출량과 흡수량은 토지이용카테고리 내에 변화하는 토지 (예를 들면, 임지 카테고리로부터 혹은 임지 카테고리에로의 면적 순 변화에 따른 다른 면적들)를 포함하지만 명백하게 반영하지 않는다. 이것은 특정한 "유지되는 토지" 카테고리에 대한 배출량을 과소평가하거나 과대평가할지도 모른다. 하지만, 완전한 인벤토리는 이것을 인벤토리에 있는 또 다른 "유지되는 토지" 카테고리에서의 배출량, 흡수량과 대등하게 할 것이다.

만일 배출량이 개별토지이용 (예를 들면, 토양에서 아산화질소(N_2O) 배출)에 대한 참조 없이 국가

통계들에 근거하여 계산된다면, 토지이용에 관한 속성 없이 배출원에 의한 non-CO_2 배출량의 보고가 수용될 수 있다. 본 권에서 서술된 방법들은 종종 이러한 방식으로 국가통계를 사용하여 배출량을 산정하게 된다.

표 3.2
접근법 1의 예: 전 국토면적과 유용한 토지이용자료

시점 1	시점 2	시점 1과 2 사이의 순 토지이용 변화
F = 18	F = 19	임지 = +1
G = 84	G = 82	초지 = -2
C = 31	C = 29	농경지 = -2
W = 0	W = 0	습지 = 0
S = 5	S = 8	주거지 = +3
O = 2	O = 2	기타 지역 = 0
합계 = 140	합계 = 140	합계 = 0

주의: F = 임지, G = 초지, C = 농경지, W = 습지, S = 주거지, O = 기타 지역.
숫자들은 면적 단위(이 예시에서 Mha)를 나타낸다.

표 3.3
접근법 1을 위한 자료 계층화의 예시

토지이용카테고리/요소	초기 토지면적 (백만 ha)	최종 토지면적 (백만 ha)	순 변화면적 (백만 ha)	상태
총 임지	**18**	**19**	**1**	
임지 (관리되지 않은)	5	5	0	인벤토리 산정에 포함되지 않음.
임지 (온대 대륙성 산림; 다른 토지이용 카테고리로 변화됨)	7	8	1	8백만 ha에 대한 예측들이 준비되어야 함.
임지 (아한대 침엽수)	6	6	0	토지이용 변화가 없음. 다른 관리영역 등에 대한 계층화가 필요할 수 있음.
총 초지	**84**	**82**	**-2**	
초지 (개량되지 않은)	65	63	-2	토지이용변화를 나타내는 면적에 포함됨. 다른 관리영역 등에 대한 계층화가 필요할 수 있음.
초지 (개량된)	19	19	0	토지이용 변화 없음.

				다른 관리 영역 등에 대한 계층화가 필요할 수 있음.
총 농경지	**31**	**29**	**-2**	토지 이용 변화를 나타나는 면적에 포함됨. 다른 관리 영역 등에 대한 계층화가 필요할 수 있음.
총 습지	**0**	**0**	**0**	
총 주거지	**5**	**8**	**3**	
총 기타 토지	**2**	**2**	**0**	관리되지 않음 - 인벤토리 산정에 없음
총계	**140**	**140**	**0**	주의: 면적들이 연결되어야 함
주의: "초기"는 평가가 이루어지기 전 시점에서의 카테고리이며, "최종"이란 평가시점의 카테고리임. 어떤 지역자료에 대한 활동들이 없을 때는 적합한 토지카테고리의 하위 카테고리화를 통해 더 확인되어야 함.				

접근법 2: 카테고리간의 변화를 포함한 총 토지이용면적

접근법 2의 본질적인 특성은 특정한 토지이용카테고리들의 면적에서 순 증가 또는 감소와 이러한 변화가 무엇을 나타내는지에 대한 평가를 제공하는 데에 있다 (즉, 카테고리로부터 그리고 카테고리로의 변화 모두). 그래서 접근법 2는 접근법 1과 그것이 카테고리간의 변화에 대한 정보를 포함한다는 측면에서 다르며, 행정적인 경계들 (즉, 특정한 토지이용과 토지이용변화의 위치는 알려지지 않음)에 기초한다. 이러한 방식으로 토지이용변화를 추적하는 것은 모든 변화 유형들과 카테고리에 의해 변화하지 않는 토지들의 총 면적들 뿐만 아니라 초기와 최종 토지이용 카테고리에 대한 측정을 필요로 할 것이다. 이 접근법의 최종 결과물들은 공간명시적이지 않은 토지이용 변화 행렬의 형태로 나타날 것이다. 이러한 행렬의 형식은 가능한 모든 토지이용카테고리들 사이의 다른 변화들 아래에서 나타나는 면적들을 표현하는 압축된 형식이다. 존재하는 토지이용자료들은 이 접근법에 충분한 자료를 제공할 수 있거나, 표본조사 또는 다른 방식을 통하여 자료를 얻을 필요가 있을 수 있다. 이러한 입력 자료들은 공간적으로 표현이 가능 (즉, 지도화 되거나 지리적으로 참조된)할 수도 있고, 그렇지 않을 수도 있다.

접근법 2에 있어서, 어떤 두 카테고리들 사이에서의 토지변환에 의한 탄소 변화량과 반영하기 위해서 또 배출과 흡수인자들을 선택할 수 있다. 또한 서로 다른 토지이용도와 관련된 초기 탄소(C) 축적량의 차이도 고려할 수 있다. 예를 들어, 토양의 유기탄소(C) 손실률은 일반적으로 목초지에서보다는 농경지에서 더 많을 수 있다.

접근법 2는 접근법 1에 사용된 자료(표 3.3)에 모든 변화에 대한 자료들을 추가하여 표 3.4에 제시하였다. 그러한 자료들은 보다 압축된 행렬 형태로 쓰여 질 수 있으며, 이것은 표 3.5에 나타나 있다. 추가된 접근법 2의 값과 이러한 토지이용 변화 행렬의 형식을 묘사하기 위해서, 표 3.5의 자료를 토지이용카테고리들의 계층화 없이 표 3.6에 제시하였다. 이는 표 3.2의 접근법 1에서 제시한 더욱 제한된 정보와 비교할 수 있다. 표 3.6에서는 토지 카테고리들로 그리고 토지카테고리로부터의 변화가 추적될 수 있는 반면, 표 3.2에서는 광범위한 토지이용 카테고리들에서의 순 변화들만 추적할 수 있다.

표 3.5와 3.6에서 대각선 방향의 칸들은 각 토지이용 카테고리들이 토양이용 변화에 의하여 이러한 인벤토리 연도에 영향을 받지 않은 지역들을 나타낸다. 본 권의 다른 곳에 묘사된 온실가스 배출량과 흡수량의 측정을 준비하기 위해, 이 지역들은 토지이용카테고리 내에 유지되는 지역과 Y해 이전에 토지이용변화에 의해 영향을 받은 지역 (즉, 다른 토지이용카테고리로 전환된 토지) 으로 세분화되어야 한다 (Y는 탄소(C) 저장고가 평형상태에 도달할 것으로 예측되는 시간)(탄소(C) 저장고가 토지이용변화 이후에 평행상태가 되는 전형적인 시간에 근거하여 IPCC의 기본값은 20년이다).

그러므로 매해 인벤토리 때마다 기본값의 가정 하에서, 토지이용 카테고리들로 전환된 면적들은 "전환된 토지" 카테고리에 추가되어야 하고, 이와 동일한 면적은 토지이용카테고리 내에 유지되는 토지로부터 제거 되어야 한다. 21년 전 (만일 기본값을 20년을 기본값으로 정한 경우)에 "전환된 토지"로 들어갔던 토지들은 제거되고, "유지되는 토지" 카테고리로 추가되어야 한다. 예를 들면, 표3.5에서 만약 초지 56 Mha 중 4 Mha가 21년 전에 임지로부터 전환된 것이라면, 4 Mha의 토지는 전환된 초지 카테고리에서 유지되는 초지 카테고리로 이동해야 한다.

접근법 3: 공간명시적 토지이용 변화 자료

접근법 3은 토지이용 카테고리들과 그 변화들에 대해서 공간명시적으로 관찰한다는 특징이 있으며, 특정한 지점 또는 위성 영상 자료와 같은 격자로 된 지도에서 변화를 추적한다. 표본조사, 어디서나 볼 수 있는 지도제작기술, 또는 두 방법의 조합에 의하여 자료가 얻어질 수 있다. 접근법 3의 자료들을 개발하는 잠재적인 방법들에 대한 개관은 별첨 3A.4에 제시되어 있다.

접근법 3의 자료들은 표 3.5, 3.6과 유사한 표들로 요약될 수 있다. 공간명시적 자료들의 주된 이점은 지리정보체계와 같은 분석 도구들이 다방면에 걸친 공간 자료를 연결하는데 사용될 수 있으며, 토지이용변화 이후와 이전의 특정한 토지의 조건에 대한 자세한 서술이 가능하다는 점이다. 이러한 분석 능력은 토지이용 카테고리들을 탄소(C) 축적량과 토양 및 식생의 유형에 따른 배출 요소들로 지도화 된 구성 요소와 함께 배출량의 측정을 향상시킬 수 있다. 이것은 특히 Tier 3의 배출량 산정 방법들에서 적용될 수 있을 것이다. 하지만, 상대적인 공간 해상도가 고려될 필요가 있다.

3.3.2 자료의 이용

그림 3.1은 토지이용 지역들에서 자료들을 묘사하거나 얻는 방법을 보조하는 의사결정도이다. 세 접근법들이 모두 적절하고 일관성 있게 사용된다면, 온전한 온실가스 배출량과 흡수량의 산정값들을 만들어 낼 수 있다. 그러나 접근법 1은 토지의 개별 지역에서 산림벌채와 산림재건에 의한 바이오매스의 변화들을 아마도 인지하지 못 할 것이다. 다만, 산림에서 비-산림용도로 토지이용 지역의 순 변화에 따른 바이오매스의 변화는 인지할 수 있을 것이다. 일반적으로 접근법 3만이 공간적 기반의 탄소(C) 모형의 자료로서 요구되는 공간적인 묘사를 가능하게 할 것이다.

다른 접근법들은 다른 기간에 대해서 보다 효과적이거나, 또는 다른 보고 목적들에 요구될 수 있을지 모른다. 다른 기간이나 용도 간에 시계열을 일치하는 방법들이 적용되어야 한다.

표 3.4
국가적으로 정의된 요소들을 포함하여 접근법 2에 대한
모든 토지이용 변화를 표로 나타낸 예

초기 토지이용	최종 토지이용	토지면적, Mha	포함/배재
임지 (관리되지 않음)	임지 (관리되지 않음)	5	GHG 인벤토리에서 배제
임지 (관리됨, 온대 대륙성)	임지 (관리됨, 온대 대륙성)	4	GHG 인벤토리에 포함
임지 (관리됨, 온대 대륙성)	초지 (관리되지 않음)	2	GHG 인벤토리에 포함
임지 (관리됨, 온대 대륙성)	주거지	1	GHG 인벤토리에 포함
임지 (관리됨, 아한대 침엽수림)	임지 (관리됨, 아한대 침엽수림)	6	GHG 인벤토리에 포함
초지 (개량되지 않음)	초지 (개량되지 않음)	61	GHG 인벤토리에 포함
초지 (개량되지 않음)	초지 (개량됨)	2	GHG 인벤토리에 포함
초지 (개량되지 않음)	임지 (관리됨, 온대 대륙성)	1	GHG 인벤토리에 포함
초지 (개량되지 않음)	주거지	1	GHG 인벤토리에 포함
초지 (개량됨)	초지 (개량됨)	17	GHG 인벤토리에 포함
초지 (개량됨)	임지 (관리됨, 온대 대륙성)	2	GHG 인벤토리에 포함
농경지	농경지	29	GHG 인벤토리에 포함

농경지	임지 (관리됨, 온대 대륙성)	1	GHG 인벤토리에 포함
농경지	주거지	1	GHG 인벤토리에 포함
습지	습지	0	GHG 인벤토리에 포함
주거지	주거지	5	GHG 인벤토리에 포함
기타 지역	기타 지역	2	GHG 인벤토리에서 배재
합계		**140**	

주의: 표 3.3에 계층화된 버전의 자료들임. 하위 카테고리들은 국가적으로 정의되고 서술 될 수 있음. 초기는 평가가 이루어지기 전 시점의 카테고리를 나타내며, 최종은 평가가 이루어지는 시점의 카테고리임.

표 3.5
카테고리의 계층화로 토지이용 변화 행렬에서 접근법 2의 자료들의 설명에 도움이 되는 예시

초기 / 최종	임지 (관리되지 않은)	임지 (관리된, 온대 대륙성)	임지 (관리된, 아한대 침엽수림)	초지 (개량되지 않은)	초지 (개량된)	농경지	습지	주거지	기타	최종 면적
임지 (관리되지 않은)	5									**5**
임지 (관리된, 온대 대륙성)		4		1	2	1				**8**

임지 (관리된, 아한대 침엽수림)			6							**6**
초지 (개량되지 않은)		2		61						**63**
초지 (개량된)				2	17					**19**
농경지						29				**29**
습지							0			**0**
주거지		1		1		1		5		**8**
기타 지역									2	**2**
초기 면적	5	7	6	65	19	31	0	5	2	**140**
순 변화	0	1	0	-2	0	-2	0	+3	0	**0**

주의: 열과 행의 합계는 표3.3에 나타났듯이 토지이용 순 변화를 나타낸다. 초기는 평가가 이루어지기 전 시점의 카테고리를 나타내며, 최종은 평가가 이루어지는 지점의 카테고리임. 아래열의 순 변화는 최종 면적에서 그에 상응하는 열의 앞부분에 있는 각 변화카테고리들의 초기 면적을 뺀 것들이다. 비어있는 칸은 이러한 변화에 대하여 토지이용변화가 없었다는 것을 나타낸다.

표 3.6
접근법 2의 예를 위한 단순화된 토지이용 변화 행렬

순 토지이용 변화 행렬							
초기 / 최종	**F**	**G**	**C**	**W**	**S**	**O**	**최종 합계**
F	**15**	3	1				**19**
G	2	**80**					**82**
C			**29**				**29**
W				**0**			**0**
S	1	1	1		**5**		**8**
O						**2**	**2**
초기 합계	18	84	31	0	5	**2**	**140**

주의:
F = 임지, G = 초지, C = 농경지, W = 습지,
S = 주거지, O = 기타 지역
숫자들은 면적 단위를 나타낸다 (이 예에서 Mha).

3.3.2.1 토지이용자료의 계층화

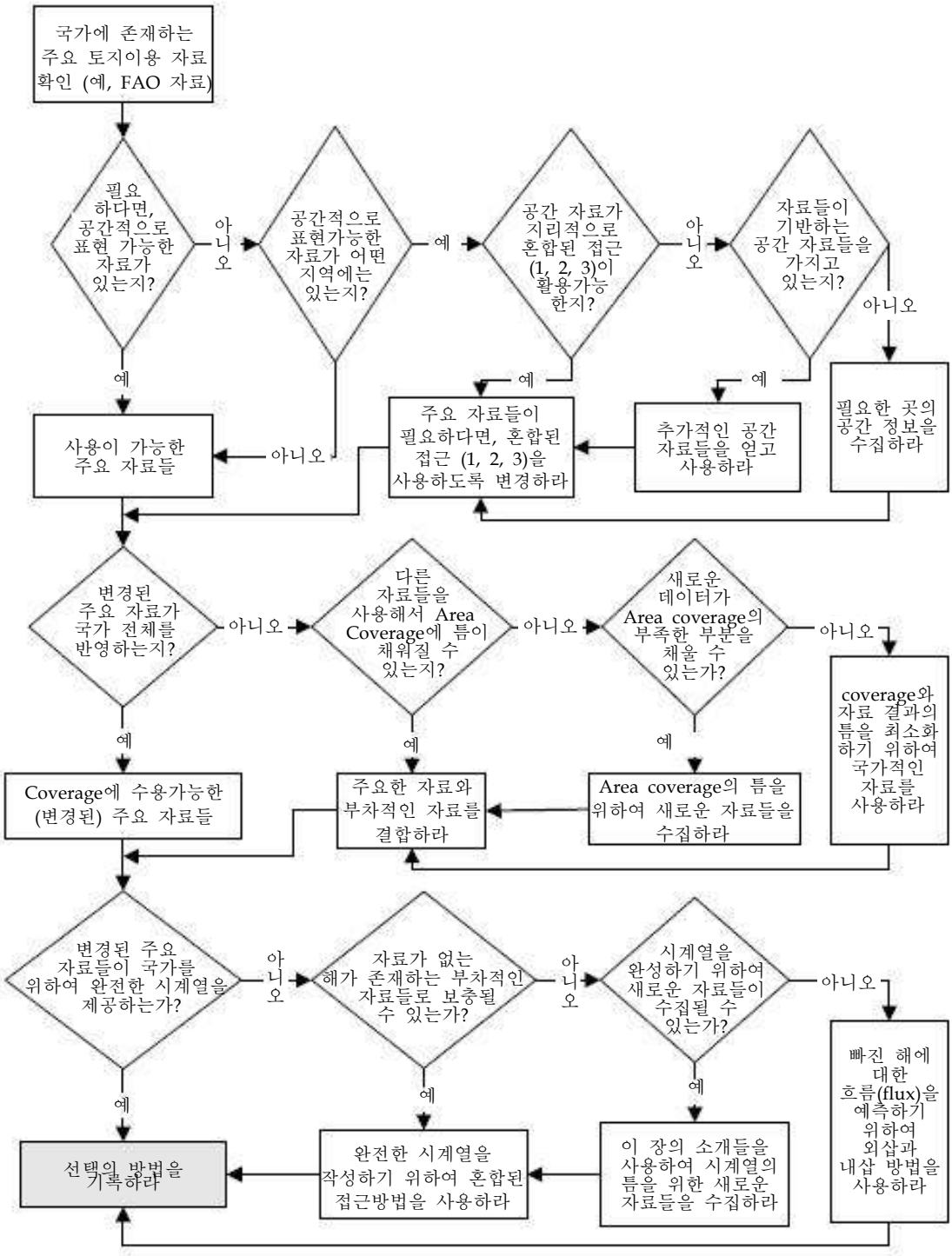
토지이용과 토지이용 변화 지역들이 확정되면, 그 수용력과 더 깊은 계층화에 대한 필요성을 고려할 필요가 있다. 이것은 배출인자, 탄소(C) 축적량 등에 대한 다음 장들로부터 적절한 자료들을 위치짓는 데 필요할 것이다. 표 3.1은 어떤 자료들이 Tier 1의 배출과 흡수 예측에 적용할 있는 전형적인 계층화를 나타낸다. Tier 1의 인벤토리들을 계산하기 위해 정해진 수식들에 사용되는 기본 표 전반에서, 특정한 자료 셀이 Tier 1의 인벤토리에 적용된 미리 정의된 계층화를 표현하는데 강조된다. 다시 말하면, Tier 1의 기본 자료 (표)는 일관적인 계층화를 확정하고, 이는 식을 계산하기 위해 기본 자료의 적절한 선택에서 계산 또는 모호성이 없게 된다. Tier2와 Tier3의 인벤토리를 준비하는 국가들은, 계층화 영역들이 국가-특이적인 정보와 선택에 따라 달라지거나, 기본 값의 변형 또는 보충이 필요할 것이다.

모든 토지이용 면적들과 계층화 자료들이 공간적으로 명확하지 (접근법 3) 않다면, 요소들의 위치 배정을 위한 규칙이 개발되어야 할 것이다. 예를 들면, 접근 1 토지이용 자료들은 토양 탄소(C) 축적량 변화들을 예측하기 위하여 기후와 토양 형태에 따라서 계층화된다. 최적화를 위해선, 각 기후와 토양에 따른 토지이용의 비율을 포착하기 위해서 보조 자료와 전문가의 도움을 얻어 토지이용 자료를 세분화 할 수 있다. 재규모화가 가능하지 않더라도, 인벤토리 산정은 여전히 진행할 수 있지만, 배출과 흡수 측정은 기후나 토양에 따라서 변화하는 배출과 축적량 변화 요소들 (그리고 연관된 변수들)의 할당에 있어서 불확도를 반영해야 한다.

심지어 접근법 2 또는 3의 자료가 토지이용 카테고리들에 유용할 지라도, 관리 자료들은 접근법 1의 형식에서 활용될 수 있을 것이다 (예를 들어, 전문가들의 지식 또는 주기적인 다른 토지 소유자에 대한 설문 조사). 이 경우, 각각의 "남겨진 토지"와 "전환된 토지" 이용 카테고리에서 관리는 관리 방식의 비율로 요약될 수 있다 (예, 비 경작, 심한 경작, 약한 경작 등의 %). 이것은 만일 관리 분류가 토지 이용 카테고리에 의존하는 배출 또는 흡수에 대한 관리의 영향처럼 골고루 분포하지 않는다면, 제한적인 산정이 될 것이다.

Tier 2와 3 방법은 또한 배출/축적량 변화 요소들에 영향을 미치는 관리 전략들 사이의 상호 작용을 평가할지도 모른다. 관리의 적절한 조합에 대한 결정은 신중한 고려가 필요한 다른 쟁점이다. Tier 1 방법들이 형식적으로 배출과 축적량 변화 요소들에 일시적인 경향들을 전형적으로 나타내지 않거나, 특정한 토지 이용에서의 관리 전략들 사이의 상호작용을 포착할 수 없지만, 부정적인 영향을 반영할 수 있다. 결과적으로, 배출/축적량 변화 요소들의 할당은 높은 단계의 방법에서 더 복잡해질 것이며, 적합한 기후, 토양, 생태적 영역, 그리고 관리 체계의 조합에 대한 윤곽을 그리기 위해 사용되는 규모 과정들에 대한 신중한 설명을 요구한다.

그림 3.1 토지이용면적 자료의 준비를 위한 의사결정도



3.3.2.2 배출량과 흡수량 산정을 위한 자료준비

AFOLU (농지, 산림, 및 기타 토지)를 위한 온실가스 인벤토리를 준비하는 것은 토지이용과 관련된 탄소(C) 축적량 변화, 이산화탄소(CO_2), 그리고 non-CO_2 배출량과 흡수량을 산정하기 위하여 지역 관리의 자료와 바이오매스, 죽은 유기 물질, 그리고 토양의 탄소(C) 축적량들의 통합을 필요로 한다. 자료를 활용할 수 있는 형태 (접근법 1, 2, 3)에 따라서 보고하는 표에 표현된 토지이용 변화 틀에 따른 배출과 흡수의 예측을 준비하는데 자료들을 이어 사용하기 위한 함의가 있다.

접근법 1의 자료에만 접근할 수 있는 국가들은 토지이용 카테고리의 변화를 보고 하기 위하여 두 가지 선택 사항을 가지고 있다. 남아 있는 토지이용 카테고리의 전체 면적은 최근 인벤토리 이래로 그 토지이용으로 전환된 일부 지역을 포함 할 수 있다. 국가들은 반드시 시간에 따른 토지이용 면적의 변화를 유추된 토지이용 변화 카테고리에 적절한 탄소(C) 축적량 및 배출 요소 측정을 결정하기 위한 목적에 가능한 어떤 지역도 할당해야 한다. 예를 들어, 1Mha의 산림을 가지고 있는 국가의 경우, 1,000 ha가 벌채되고, 1,000ha가 조림되면 산림면적의 순 변화는 없지만 (이들 변화가 관리된 지역에서 일어난다는 가정 하에) 최소한 충분하게 다시 자라기 전까지 산림바이오매스의 탄소(C) 축적량은 줄어들 것이다. 이러한 유추된 토지 이용 카테고리들 사이의 면적 변화들을 적절한 토지 관리, 바이오매스와 토양의 탄소(C) 축적량 그리고 배출 요소들과 관련시키는 뒤이은 결정이 필요하다. 이것이 행해지는 곳에 국가들은 이들 결정을 위한 근거, 검증의 방법들, 측정들을 적용하였던 교차 검증, 인벤토리 불확도에 대한 영향 등을 보고해야 한다. 만약 이러한 할당이 행해지지 않으며, 국가들은 이것을 명시해야 하며, 그렇게 하는 것과 관련된 불확도에 비치는 영향들을 보고해야한다.

각 토지이용 변화면적에 대한 정보가 알려져 있지만, 공간적으로 나타나진 않는 접근법 2 자료를 가진 국가들은, 면적 측정을 적절한 초기 탄소(C) 축적량, 배출 요소들, 기타와 여전히 관련지을 필요가 있다. 어떤 경우에, 이것은 토지 이용 변화 자료를 기후와 식생 형태, 토양 그리고 관리 체계에 할당하는 것을 요구할 것이다. 이것은 다시 어떤 형태의 표본조사, 축척 변경, 또는 전문가의 판단으로 행해질 수 있다. 국가들은 이들 결정을 위한 근거, 검증의 방법들, 측정들을 적용하였던 교차검증, 조사 불확도에 대한 영향 등을 보고해야 한다.

접근법 3의 자료를 사용하는 국가들은 공간적으로 자료를 기후, 식생유형, 토지 및 관리 체계에 대한 자료와 교차 비교함으로서, 토지이용 변화의 면적을 할당하는 것이 가능하다. 하지만, 공간명시적인 형태로 표현된 관리 방안 방안은 거의 존재하지 않기 때문에, 관리 방안에 따른 토지이용 변화와 생물-물리적 자료들을 할당하기 위해서는 설문 자료와 전문가의 판단 등에 기초한 유추가 필요하다.

3.4 온실가스 배출량과 흡수량 산정을 위한 요소들과 토지 면적의 연결

이 절은 토지이용면적 자료를 탄소(C) 축적량, 배출 요소들, 그리고 다른 적절한 자료들 (예, 산림 바이오매스의 탄소(C) 축적량, 평균 연간 순증가)과 연결시키는 요약적인 소개를 제공한다. 국가 인벤토리 산정을 준비하는 첫 번째 단계는 필요한 토지활용 자료를 결합하고 이들을 적절한 탄소 축적량, 배출, 그리고 흡수 요소들, 그리고 다른 적절한 자료들과 연결시키는 것이다.

이 절은 모든 AFOLU 카테고리들에 대한 특화된 기후, 생태적인 영역 계층화에 따른 1단계 예측을 위한 기본값 (특별히 표시된)을 제공한다. 또한, 국가들은 국가 특이적인 탄소(C) 축적량, 배출, 흡수 요소들과 다른 관련된 자료들 (Tier 2와 Tier 3의 인벤토리 방법들)을 개발할 것이다. 다음은 토지이용 자료들을 탄소(C) 축적량, 배출과 흡수 요소들 그리고 다른 적절한 자료들과 연결시킬 때 지켜져야 할 원칙들을 요약한 것이다.

- 국가적인 토지이용 지역 분류체계들을 가능한 많은 토지이용 카테고리들과 일치시켜라.
- 국가적인 토지이용 면적 분류체계가 이들 조언들의 토지이용 카테고리에 순응하지 않을 때 분류 체계 간의 관계에 대해 기록하라.
- 시간에 걸쳐 일관적인 분류체계를 사용하라. 필요하다면, 분류체계에 가해진 어떤 수정도 기록하라.
- 토지 카테고리의 정의, 토지 이용 면적 예측, 그리고 그들이 배출과 흡수 요소들과 어떻게 연결하는지 기록하라.
- 각 토지이용 카테고리 또는 하위 카테고리들을 가장 적합한 탄소(C) 축적량, 배출 그리고 흡수 요소들과 기타 관련된 자료들과 일치시켜라.

다음은 배출요소와 흡수요소들을 토지면적과 일치시키는데 권장되는 단계들이다:

1. 산정에 필요한 가장 잘 분리된 토지이용면적의 계층화와 가장 자세한 배출 및 흡수 요소들로 시작하라. 예를 들어, 이 책의 4장에 기술된 임지 평가방법들은 상대적으로 다른 요인들 (산림 형태, 지역, 종 집합, 수령, 기후)에 비해 산림 조림지에서의 지상 생체 축적량에 대한 기본 요소를 제공한다. 이러한 층들은 초기 기본 계층화로 사용 될 수 있다.
2. 당신 국가에서 적용될 수 있는 계층들만을 포함시키고, 이것을 기본 계층화로 사용하라.
3. 토지이용 면적 예측을 가장 분해 된 수준에서의 기본 계층화와 연결시켜라. 국가들은 가장 유용한 토지이용 면적 산정을 기본 계층화에 할당하기 위하여 전문가의 판단을 사용할 필요가 있을 것이다.
4. 계층화 카테고리에 가장 근접하게 일치시킴으로서 지도상 배출과 흡수 요소들은 기본 계층화 위로 들어온다. Tier 1의 수식들에서 기본 축적량 변화와 배출 요소들 및 다른 변수들의 많은 것들은 특별하게 정의된 계층들(예, 기후와 토양 형태)을 위하여 통계적으로 유도된 이러한 배출과 흡수를 위해 Tier 1 방법을 사용하고자하는 국가들은 토지이용 카테고리들을 Tier 1의 변화 요소들과 변수들을 위해 특화된 정의를 사용하여 계층화해야 한다.

국가적인 토지이용 분류들이 토지이용 카테고리들 (그리고 하위 카테고리들)에 잘 어울린다면, 이것은 배출과 흡수 요소들을 일치시키는 것을 촉진한다. 예를 들어, 임지, 농경지, 초지를 위한 기본 토양 탄소(C) 요소들은 같은 기후 영역에 의하여 분류할 수 있다 (별첨 3A.5 참조). 그러므로 같은 토지면적 계층화는 일관적인 토지와 토지이용 카테고리 변화로 야기된 토지의 탄소(C) 흐름을 추적을 가능케 하면서 각 토지이용 카테고리마다 토양의 탄소(C) 변화를 예측하는데 사용될 수 있다.

국가들은 시간에 따라서 국가 환경이 변화면서 국가적인 토지 분류체계가 변화한다는 것을 발견할 것이다. 보다 자세한 토지 이용 자료들과 배출/흡수 요소들이 유용하게 된다는 것을 또한 발견할 것이다. 어떤 경우에는, 계층화는 보다 자세한 배출 및 흡수 요소들의 추가로 인해 다듬어 질 것이다. 다른 경우에는, 국가가 새로운 산림자원조사나 원격탐사 표본 조사 설계를 도입할 때 새로운 계층 체계가 성립이 될 것이다. 계층 체계에 변화가 일어날 때 국가들은 가능하면 새로운 계층 체계를 가지고 전체적인 시계열 예측을 다시 계산해야한다.

3.5 접근법들과 연관된 불확도

불확도는 정량화되고 실행 가능한 범위에서 최소로 줄어야 한다. 토지이용 면적 불확도 예측은 전체 불확도 분석에 입력 자료로 필요하다. 접근법들 (1~3)과 연관된 불확도가 명백하게 그것들이 어떻게 활용되었는가에 의존함에도 불구하고, 실제에서 무엇이 얻어질 수 있는 지에 대한 지시를 주는 것이 가능하다. 표 3.7은 다른 접근들에 대한 (중요도가 아닌) 불확도의 근원들을 표현한다. 이것은 불확도의 근원에 대한 소개를 제공하며, 발생할 지도 모르는 특정 조건 하에서의 불확도의 수준을 지시하며, 불확도를 줄이기 위한 기반을 제공한다.

면적 산정에서 불확도의 잠재적인 근원들의 개수는 접근법 1에서 접근법 3으로 가면서 증가하는 경향이 있을 것이다. 왜냐하면 계속해서 평가에 더 많은 자료가 투입되기 때문이다. 하지만 이것은 불확도가 증가한다는 것을 의미하지는 않는데, 왜냐하면 새로운 자료로 인하여 교차 검증이 증가하고, 오류 상호제거로 인해 불확도가 일반적으로 감소하기 때문이다. 접근법 1과 접근법 2, 3의 주요한 차이는 토지이용간의 변화에 대한 불확도의 비율이 접근법 1에서 (모두 알려진다면) 큰 경향이 있다는 것이다. 이것은 접근1의 토지이용 변화들이 전체 면적들의 차이에 의하여 유래하기 때문이다. 이러한 접근법 1의 불확도가 변화로 생긴 배출과 흡수에 미치는 영향은 국가에서 토지 변화가 전체 토지 면적의 한 부분으로서 상대적인 양에 의존할 것이다. 예를 들어, 접근법 3은 배출량 산정에 있어서 어떤 공간 모형 접근에 필요한, 자세한 공간적으로 표현 가능한 정도를 제공한다. 접근법 3은 공간적으로 상세한 정보를 제공하며, 이는 배출량 산정을 위한 공간적 모형 접근법들을 필요로 한다.

표 3.7
접근법 1~3의 불확도 개요

	불확도의 근원	불확도를 줄이는 방법	검증에 따른 지시적 불확도
접근법 1	불확도의 근원은 자료의 출처의 속성에 따라서 다음의 일부 또는 전체를 포함할 것이다: • 인구조사오류의 재발 • 기간별 정의의 차이 • 표본조사 설계 • 표본조사 오류 • 표본들의 해석 • 알려진 지역에서의 순 변화 추가적으로, 카테고리들 간의 면적변화에 대한 교차 검증은 접근법 1에서 수행될 수 없으며, 이것은 불확도를 증가시키는 경향이 있다.	• 국가 면적과 일관성 있는 관계를 위한 검증 • 정의간의 차이 교정 • 불확도가 포함 되는 경향이 있는 통계 기관 참고 조사 • 국가자료와 비교	수 % 수준에서 수 십 % 수준의 각 카테고리 내 총 토지면적 연속적인 조사들로 추론된 면적 변화에 대한 비율보다 더 큰 불확도. 다른 목적을 위해 준비된 자료를 사용할 때 체계적인 오류가 중요할 수 있다.
접근법 2	접근법 1과 같이, 하지만 알려진 면적에서의 총계는 교차 검증을 수행할 수 있는 능력과 함께 변화한다.	위와 같이, 더해서 행렬 안에서의 카테고리 간 변화 사이의 일관적인 검증	이들이 직접적으로 유도된 이래로 수 % 수준에서 수 십 % 수준의 각 카테고리 내 총

			토지면적과 면적의 보다 큰 변화
접근법 3	접근법 2와 같이, 사용된 원격 탐사 자료의 해석과 관련된 불확도를 더하고, 표본 조사 불확도를 빼서 한다.	접근법 2와 같이, 이에 더해서 1권 2장에 정해진 원리들을 사용한 공식적인 불확도 분석	접근법 2와 같이, 하지만 지리적으로 확인 가능한 면적을 포함한다. 하지만 접근3에 대해서, 불확도의 정도는 접근 2보다 보다 정교하게 예측이 가능하다 왜냐하면 오류들은 지도 화되어 있고, 독립적인 자료와 현장 검증을 통해 검증될 수 있기 때문

별첨 3A.1 국가적인 토지 피복 자료들의 예[2]

표 3A.1.1
국가 토지피복 자료들의 예

	(A)	(B)	(C)	(D)
데이터베이스 명	아시아 원격탐사 협회의 전 지구적인 토지피복데이터베이스	국제 지구권-생물권 프로그램 자료와 정보 서비스 (IGBP-DIS) 전 지구적인 1Km 토지피복데이터베이스	전 지구적인 토지 피복 데이터베이스	전 지구적인 토지 피복 데이터베이스
자료 출처	Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University	IGBP/DIS	United States Geological Survey (USGS), USA	GLCF (Global Land Cover Facility)
내용 요약	토지 피복 분류들은 미국 해양대기관리처의 매월 자료를 통하여 확인된다.	이 분류 체계는 보조 자료와 AVHRR 1 Km 자료에 의하여 이끌어진다.	이 데이터베이스은 융통성 있는 자료 기초 구조와 계절적인 토지 피복 지역 개념으로 유도된다.	결정 분지 분류를 사용하는 전 지구적인 토지 피복 분류 산물을 얻기 위해 식생의 시간적 변동을 기술하는 행렬이 1984 PAL data at 8km 해상도에 적

2 이 자료들은 주로 토지 피복과 토지 피복 변화들에 대한 것이다. 실제 토지 이용은 거의 참조하지 않는다.

				용되었다.
분류 체계	본래의 분류 체계가 적용 IGBP/DIS와 호환가능	17개의 분류 체계로 구성	증거 수렵 접근이 각 계절적인 토지 피복 계층에 대한 토지 피복 속성을 결정하는데 사용된다.	연간 주기에서 식생의 계절적인 역동성을 묘사하기 위한 여러 개의 행렬을 테스트하면서 분류체계가 이끌어졌다.
자료 형태 (벡터 / 래스터)	래스터	래스터	래스터	래스터
공간적 피복	지구적	지구적	지구적	지구적
자료 수집연도	1990	1992-1993	1992.04-1993.03	1987

표 3A.1.1 (계속)
국가 토지피복 자료들의 예

	(A)	(B)	(C)	(D)
공간 해상도	4min x 4min.	1km x 1km	1km x 1km	8km x 8km
교정 주기 (시계열 자료에 대한)	해당 사항 없음	해당 사항 없음	해당 사항 없음	해당 사항 없음
질적 속성	데이터베이스에대한 지상 검증 자료가 비교됨	자료를 통계적으로 검증하기 위한 고해상도 위성 영향이 사용된다.	표본 점 정확도: 59.4% 면적-단위 정확도: 66.9% (Scepan, 1999).	기술 없음
연락처와 참조 URL	http://ceres.cr.chiba-u.ac.jp:8080/usr-dir/	http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/	http://edcdaac.usgs.gov/glcc/	http://glcf.umiacs.umd.edu/

표 3A.1.1 (계속)
국가 토지피복 자료들의 예

	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)
데이터베이스 명	지구 표면	AVHRR의 1㎞지표도	CORINE 토지피복 (CLC2000) 자료	세계의 디지털 도표	세계지도
자료 제작	MacDonald Dettwiler & Associates	Dr. Ruth De Fries University of Maryland at College Park, USA	European Environmental Agency	ESRI Products	National Mapping Organizations과 ISCGM에 의한 수집
내용 요약	TM 자료 (Orthorectified Landsat Thematic Mapper)로부터 얻어진 중간 정도의 해상도 토지 피복 데이터베이스	NDVI의 연간 변이에 기초한 11개의 주요 토지 피복 형태의 지리적인 분포를 기술하는 데이터베이스	생물리적 토지 피복의 pan-European 인벤토리를 제공한다. CORINE 토지 피복은 통합된 환경 평가를 위한 중요한 자료이다.	해양선, 경계들, 토지 피복들의 전 세계적인 기초 지도이다. 지리적인 특정을 위한 글 주석을 가진 17개 주제에 할당된 200개의 속성을 가진다.	전체 지역에 걸쳐 1km 해상도의 디지털 지리 정보. 표준화된 계층화와 함께 모든 사람들에게 최소한의 비용으로 활용가능하다.
분류 체계	13 분류 지도	디지털 13개 분류 지도를 가진다.	44 분류 용어 체계를 사용	8개 농업/ 추출 특징들과 7개표면 피복 특징	http://www.iscgm.org 참조
자료 형태 (벡터 / 래스터)	래스터와 벡터	래스터	래스터	벡터 다각형	래스터와 벡터
공간적 피복	전 지구적	전 지구적	오스트리아, 벨기에, 불가리아, 체코, 덴마크, 핀란드, 프랑스, 독일, 그리스, 헝가리, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르	전 지구적	90개 국가들이 참여

			크, 네덜란드, 폴란드, 포르투갈, 루마니아, 슬로바키아, 스페인, 영국, 모로코와 튀니지 일부		
자료 수집 연도	다양함	1987	국가마다 다름 (전체 시간 주기는1985-95)	ONCs of US Defence Mapping Agency에 근거하여, 기간 1970-80. the Compilation date layer을 참조.	참여하는 국가에 따라서
공간적 피복	30m x 30m grid	1 x 1 degree	250m by 250m grid database, 1:100,000에서 원래 벡터 자료가 모아였다.	1:1,000,000 scale	1km x 1km grids
교정 주기 (시계열 자료에 대한)	해당 사항 없음	해당 사항 없음	2000년도 CLC Update Project는 1990년대 자료를 개선한다.	해당 사항 없음	약 5년 주기
질적 속성	기술 없음	기술 없음	특별한 정보가 없다. 국가의 현명한 사용을 위하여 http://dataservice.eea.eu.int/ dataservice/ 참조	자료 질 정보는 자료 안에서 3단계에 존재한다: 속성, 레이어, 출처	http://www.iscgm.org/ 참조
연락처와 참조 URL	http://www.mdafederal.com/geocover/project	landcov@geog.umd.edu http://www.geog.umd.edu/landc over/	dataservice@eea.eu.int http://www.terrestrial.eionet.eu.int/	http://www.esri.com/data/	sec@iscgm.org http://www.iscgm.org/

별첨 3A.2 토지이용 데이터베이스의 개발

온실가스 인벤토리에 필요한 토지이용 데이터베이스를 위한 크게 3가지 출처가 있다:

- 다른 목적을 위해 준비된 데이터베이스
- 표본 조사에 의한 수집
- 완전한 토지 인벤토리

다음 하위 절은 이러한 자료 유형들의 사용에 대한 일반적인 조언을 제공한다. 온실가스 인벤토리 작성자들은 자세한 원격 탐사 자료 또는 지상 설문 자료에 관여하지 않을 수 있지만, 여기에 제시된 조언들을 사용하면, 인벤토리를 향상시키고 이들 지역들의 전문가들과 소통하는데 하는데 도움이 된다.

3A.2.1. 다른 목적을 위해 준비된 자료의 사용

토지를 분류하는데 두 가지 유형의 활용 가능한 자료가 사용될 수 있을 것이다. 많은 국가들에 있어서 아래에 서술된 유형의 국가적인 자료가 유용할 것이다. 다른 경우네, 작성자들은 국가적인 자료들을 사용할 수 있을 것이다. 자료의 두 가지 형태가 아래에 서술된다.

국가 데이터 베이스

존재하는 자료에 보통 근거하여 연간 또는 주기적으로 갱신될 것이다. 자료의 전형적인 유형은 산림 조사, 농업적 인구 조사와 다른 조사들, 도시와 자연 지역을 위한 인구 조사들, 토지 등기 자료와 지도들이다.

국제 데이터 베이스

국제적인 토지이용과 지역적인 수준에서 전 세계적인 규모의 토지 피복 자료들을 개발하기 위하여 여러 가지 프로젝트가 수행되었다 (별첨 3A.1은 이러한 자료들의 일부를 열거한다). 이들 데이터베이스의 거의 대부분은 다른 종류의 위성 원격 탐사 영상을 사용하여 생성된 래스터 자료들로 저장된다. 이들은 현장 조사 또는 존재하는 통계 값과 지도와 비교하여 얻어진 지상의 준거 자료에 의하여 보완된다. 이들 자료들은 다음을 위해 사용 될 수 있다.

- 토지이용카테고리들의 공간적인 분포를 예측. 관례적인 인벤토리는 대게 분류별로 토지이용 면적의 총 합만을 제공한다. 공간적인 분포는 국가적인 데이터베이스이 없는 곳에서는 국제적인 토지이용과 토지피복 자료를 부가적인 자료로 사용하여 다시 구축될 수 있다.
- 존재하는 토지이용 데이터베이스의 신뢰도 평가. 독립적인 국가와 국제적인 데이터베이스의 비교는 명백한 불일치를 나타날 수 있고 이것들은 국가적인 자료의 신뢰성과, 만일 외삽과 같은 목적이 요구된다면, 국제적인 자료의 유용성을 증가시킬 수 있다.
- 국제적인 데이터베이스를 사용할 때 작성자들은 다음 사항들을 고려해야 한다.

(i) 분류체계 (예, 토지 이용 분류와 그들의 관계에 대한 정의)는 국가적 체계에서의 그것과 다를지도 모른다. 그러므로 국가에 의해 사용된 분류 체계와 3.2절 (토지 이용 카테고리들)에 묘사된 체계 사이에서 동등성이 확립될 필요성이 있을지 모른다.

(ii) 공간적인 해상도(전형적으로 1Km 명목상으로, 하지만 때때로 실제에서 더 큰 규모에서)가 자세하지 못해서 대등하게 하기 위해 국가적인 자료가 결합될 필요가 있을 것이다.

(iii) 비록 여러 가지 정확성 검증이 표본 지점에서 대게 수행될지라도 지리기준에서의 분류 정확도와 오류들은 존재할지도 모른다. 해당 기관은 분류 문제들과 행해진 조사들에 대한 자세한 정보를 가지고 있어야 한다.

(iv) 국가 자료에서와 같이 내간과 외삽은 보고를 위해 필요한 자료를 일치시키기 위한 기간 예측 개발을 위해 필요할 지도 모른다.

3A.2.2. 표본 조사 방법에 의한 새로운 자료의 수집

면적과 면적 변화를 예측하기 위한 표본 조사 기법들은 총계가 현장에서의 직접 측정 또는 원격탐사 기법에 의한 평가가 가능하지 않거나 부정확한 결과를 제공하는 상황에 적용된다. 일관적이고 편의(偏倚)없는 예측 절차를 허용하고 정확한 예측을 낳는 표본 조사 개념이 사용되어야 한다.

표본 조사는 대게 표본 단위의 묶음을 가지며, 그 묶음들은 인벤토리 지역 내 일정한 격자 안에 존재한다. 토지이용 분류는 각 표본 단위에 할당된다. 표본 단위들은 인벤토리 지역 내의 토지 이용 카테고리의 비율을 이끌어내기 위하여 사용된다. 총 면적의 비율들을 곱하는 것은, 각 토지 카테고리들의 면적을 예측하는 것을 제공한다. 총 면적이 알려지지 않는 곳에서는 각 표본 단위들이 특정 지역을 대표하는 것으로 간주된다. 토지이용 카테고리들의 면적은 이 카테고리에 떨어진 표본 단위들의 개수를 통하여 예측된다.

면적들을 위한 표본 조사가 계속해서 반복되는 곳에서는 시간에 따른 면적 변화가 토지 이용 카테고리 변화 행렬을 구축하기 위하여 이끌어 질 수 있다.

면적 평가를 위한 표본에 기반 한 유형을 적용하는 것은 각 카테고리들의 면적 예측의 신뢰성을 정량화할 수 있는 표본 오류들의 계산과 신뢰 구간을 계산할 수 있게 한다. 신뢰 구간은 만일 관찰된 카테고리 면적 변화가 통계적으로 중요하고 의미 있는 변화들을 반영할 경우 검증하는데 사용될 수 있다.

별첨 3A.3은 표본 조사에 대한 보다 자세한 정보를 제공한다.

3A.2.3. 전수조사에 대한 새로운 자료 수집

국가의 모든 면적에 대한 토지 전수 조사는 정규 간격으로 국가에 걸친 토지 이용 지도를 얻는 것을 가능하게 한다. 이것은 원격 탐사 기법을 사용하여 얻어질 수 있다. 접근 3에서 드러나듯이 자료들은 GIS 기반 한 묶음 (격자 또는 편의(偏倚)없는 해석을 얻기 위해 필요한 지상검증 자료에 의해 만들어진 다면체들의 묶음)에 가장 쉽게 사용될 수 있을 것이다. 더 자세하지 않은 규모의 자료들은 전체 국가 또는 적절한 지역에 대한 자료를 구축하는데 사용될 수 있다.

전수 조사는 모든 토지 소유주들의 설문 조사함으로서 얻어질 수 있다. 그리고 그들의 많은 다른 토지 구역을 소유하고 있을 때 각각은 적합한 자료를 제공할 필요가 있다. 이 방법에 내재한 문제는 겹침 없이 전체를 조사하는 것에 대한 어려움뿐만이 아니라 토지 소유주의 땅의 크기보다 작은 규모에서 자료를 수집하는 것을 포함한다.

3A.2.4. 자료 수집을 위한 도구

원격 탐사 도구

원격으로 탐사된 자료들은, 여기서 묘사하는 바와 같이, 위성에 탐재된 센서들 (광학, 전파탐지 또는 마이크로파탐지)과 항공기에 장착된 광학적 또는 적외선 필름을 가진 카메라에 의해 얻어진다. 이들 자료들은 대게 토지 피복 예측과 이에 상응하는 면적을 제공하기 위하여 분류되어 지여, 대게는 분류 정확성을 예측하는 필요한 지상 설문 자료들을 요구한다. 시각적인 영상, 사진 분석, 또는 컴퓨터에 기반 한 디지털 방법에 의하여 분류된다. 원격 탐지의 강점은 그것이 공간적으로 표현 가능한 정보를 제공하고 반복되며, 넓은 또는 다른 곳에서 접근 할 수 없는 원 거리의 지역들을 포함하는 그 자체의 능력에 있다. 과거의 위성 영상 자료들의 보관은 수십 년 전에 까지 걸쳐 있기 때문에 토지 피복과 토지 이용의 과거 시계열 자료를 재구축하는데 사용될 수 있다. 원격 탐사 기술의 문제는 해석의 문제와 관련이 있다: 영상들은 토지 이용과 피복에 대한 의미 있는 정보들로 변화되어야 한다. 또 다른 걱정은 특히 오랜 기간 간격에 걸쳐 자료들을 비교할 때, 원격 탐사 체계가 변할 지도 모른다는 것이다. 원격 탐사는 토지 피복과 토지 이용 카테고리들에 대한 면적 예측을 얻는데 특히 유용하다. 그리고 표본 조사의 선택과 수집할 표본의 개수들을 선택하는데 도움을 줄 수 있는 상대적으로 균일한 지역의 확인하는 것을 돕는다.

원격탐사 자료의 유형

원격 탐사 자료의 가장 흔하게 사용되는 유형은: 1) 항공사진 2) 가시광선과 근 적외선 위성 영상을 사용한 위성 영상 자료 3) 위성 또는 항공 레이더 영상 그리고 4) 광선 레이더 탐지 이다. 원격 탐지 자료의 다른 유형의 조합(예, 가시광선/ 근적외선과 레이더; 다른 공간적, 또는 스펙트럼의 해상도)은 다른 토지이용 카테고리들과 지역들을 평가하는데 매우 유용하게 잘 쓰일 것이다. 토지 이용 변화에 대한 완전한 원격 탐사 체계는 여러 가지 해상도 수준에서 많은 센서와 자료 유형들 사이의 조합을 포함 할 것이다.

원격 탐사 자료들과 그 산물들을 선택하는데 필요한 중요한 기준들은 다음과 같다:

- 적절한 토지이용 카테고리 체계
- 적절한 공간 해상도
- 토지 변화 예측에 필요한 적절한 시간 해상도
- 정확도 평가의 유용성
- 자료의 수집과 처리에 적용된 투명한 방법
- 시간에 걸친 일관성과 유용성

1. 항공사진

항공사진의 분석은 산림의 임목 종들과 상대적인 나이 분포에서 산림의 구조를 밝힐 수 있고 임목 건강도(예, 침엽수의 바늘잎의 손실, 활엽수의 잎의 손실과 스트레스 정도)가 유추될 수 있다. 농경지에서 작물의 종류와 스트레스, 묘포장의 임목 피복들을 보여줄 수 있다. 접근이 가능한 가장 작은 공간 단위는 사용된 항공사진의 유형에 달려있지만, 표준으로 이것은 종종 1 평방미터만큼 작은 단위가 가능하다.

2. 가시광선과 근적외선 파장의 위성 영상

넓은 지역 (국가 또는 지역의)에 대한 완전한 토지 이용 또는 토지 피복이 위성 영상 자료의 사용으로 촉진될 것이다. 위성이 지속적으로 그리고 규칙적으로 그것을 지나기 때문에 원하는 지역으로부터 긴 시계열의 자료를 얻는 가능성이 존재한다. 영상들은 대게 자세한 모자이크형태의 뚜렷한 카테고리들을 만들어낸다. 하지만 적절한 토지 피복과 토지이용 카테고리들로 이름을 부여하는 것은 공통적으로 지도 또는 현장 조사를 통한 지상 준거 자료를 요구한다. 확인할 수 있는 가장 작은 단위는 센서의 공간적인 해상도와 작업의 규모의 달려있다. 가장 흔한 탐지 체계는 20-30 m의 공간적 해상도를 가지고 있다. 예를 들면 30 m의 공간 해상도는 1 ha 만큼 작은 단위가 확인될 수 있다는 것이다. 보다 높은 해상도의 위성으로부터 자료 역시 활용가능하다.

3. 레이더 영상

가장 흔한 형태의 레이더 영상은 마이크로 파장을 작동하는 합성개구레이더(SAR)로 불리는 체계에서 얻어진다. 이러한 체계의 주요한 장점은 그것들이 구름과 엷은 안개를 투과하여 밤 동안에도 자료를 얻을 수 있다는 점이다. 이것은 그러므로 영구적으로 구름이 덮여진 전 세계의 많은 지역들에서 원격 탐사의 신뢰할 수 있는 유일한 자료원이 될 것이다. 비록 신호 포화로 인한 높은 바이오매스에서 어떤 한계가 존재할지라도 다른 파장과 다른 편광을 사용함으로서, SAR 체계는 토지 피복 카테고리들(예, 산림/비 산림)과 식생의 바이오매스를 구별 할 수 있다.

4. 광선레이더 영상

빛 탐지와 분포 (lidar)는 레이더와 같은 원리를 사용한다. 라이더 기구는 빛을 대상으로 쏜다. 전달된 빛은 대상과 상호 작용하여 대상에 의하여 변화한다. 이 빛의 일부는 반사되거나 산란되어 기구로 돌아오고 이곳에서 분석된다. 빛의 속성의 변화는 대상의 어떤 속성을 가졌는지 결정하도록 해준다. 빛이 대상에서 다시 라이너 기구까지 돌아오는데 걸린 시간은 대상까지의 거리를 결정하는데 사용된다. 광선레이더에는 범위 탐지기, 다른 흡수 광산레이더, 드로퍼와 같은 3가지 기본 유형이 있다.

지상참조자료

자원조사에 원격 탐사 자료를 사용하기 위해서, 특히 토지 피복과 토지 이용을 관련 짓기 위해서는 원격 탐사된 자료를 지상참조자료 (종종 지상사실자료로 불림)와 비교하는 것이 *우수실행(good*

*practice)*이다. 지상참조자료들은 독립적으로 또는 산림이나 농업 인벤토리에서 얻어 질 수 있다. 예측 기간 동안에 빠르게 변화하거나 알려진 식생 피복이 쉽게 잘못 분류될 수 있는 토지이용지역들은 다른 지역에 비하여 자세하게 지상에 사실적이 되어야 한다. 이것은 지상참조자료를 사용함으로서 행하여 질 수 있으며, 특히 독립적으로 수집된 실재 지상 자료들이 선호된다.

원격 탐사와 지리정보체계(GIS)의 통합

시각적인 영상의 해석은 종종 산림 인벤토리를 위하 표본 지역을 확인하는데 사용된다. 방법은 간단하고 믿을만하지만, 노동집약적이며 따라서 제한된 지역에 한정되며, 다른 조작자의 주관적인 해석에 영향을 받을 지도 모른다.

원격 탐사의 최대한의 사용은 일반적으로 원격 탐사가 광범위한 지역의 해석에 제공할 수 있는 지상 기준 점 측정들과 시공간에서 특정한 토지 이용과 연관된 지역들을 표현하는 지도 자료를 필요로 한다. 이것은 일반적으로 가장 비용 절약 적으로 지리 정보 체계를 사용할 때 얻어진다.

원격 탐사 자료를 사용한 토지 피복 분류 체계

원격으로 탐사된 자료를 사용하는 토지 피복의 분류는 시각적으로 또는 디지털 분석(컴퓨터에 기반 한)에 의하여 행하여진다. 각각에는 장단점이 존재한다. 시각적인 영상 분석은 전체적인 장면(영상에서의 문맥적인 측면의 분석)의 속성을 부여할 때 인간의 간섭을 허용한다. 디지털 분석은, 반면, 자료를 가지고 수행되는 다른 스펙트럼 자료를 합치는 것과 같은 여러 조작들을 허용하는데, 이러한 조작들은 원격으로 탐사된 자료를 사용할 때 생물리적 지상 자료(임목 직경, 수고, 기저 면적, 바이오매스와 같은)의 모델링을 개선하는데 도움을 줄 수 있다. 추가적으로 디지털 분석은 다른 지역 카테고리들과 연관된 즉각적인 면적 계산을 가능하게 한다. 과거 수 십년 동안 컴퓨터 기술 발달과 더불어 빠르게 발전해온 하드웨어와 소프트웨어 및 위성 자료들이 모든 국가들에서 저렴한 비용으로 지체 없이 활용 가능하지만, 이러한 자료들과 시설들을 사용하는 능력, 특히 국가수준에서 지도화 하는 데 외주가 필요할 수도 있다.

원격 탐사를 사용하여 토지이용 변화를 추적하기

원격 탐사들은 변화의 지점을 추적하는데 사용될 수 있다. 변화 추적을 위한 방법들은 두 가지 카테고리로 나눠질 수 있다 (Singh, 1989).

분류 후 변화 탐지: 이것은 두개 또는 그 이상의 선정된 토지 피복/이용 분류 체계가 다른 시점에 존재하는 곳과 그 변화들이 대게는 데이터베이스를 빼면서 탐지될 수 있는 곳의 기술들을 의미한다. 이 기술들은 명백하지만, 해석의 토지이용 카테고리와 해석에서의 불일관성에 민감하다.

분류 전 변화 탐지 : 변화에 대해서 이것은 정교하고 생물-물리적인 접근이다. 두개 또는 그 이상의 시점에서 스펙트럼의 반응 자료들 사이의 차이들은 통계적인 방법들에 의하여 비교된다. 그리고 이 차이들은 토지 피복 / 이용 변화에 대한 정보를 제공하는데 사용 된다. 이러한 유형은 불일관성을 해석하는데 덜 민감하고, 분류 후 접근보다 미묘한 변화를 탐지할 수 있다. 하지만 덜 명백하고 초기의 원격 탐사된 자료에 대한 접근을 필요로 한다.

다른 실행 가능한 방법들도 있다. 예를 들어, 변화 강화(change enhancement)와 시각적인 해석을

사용할 수도 있다. 면적의 변화는 다른 주파수대 (band) 조합, band 차이 또는 유도된 지시자들 (예, 식생 지시자)을 들어냄으로서 강조될 수 있다. 이것은 잠재적인 수동 또는 자동의 기법을 통하여 윤곽이 그려지고 속성이 부과되는 토지-이용 변화 지역들에 대한 관심이 초점을 맞춘다. 이 방법들은 인간 해석자의 불일관성에 취약하지만, 미묘한 변화들을 탐지할 수 있으며, 토지 피복, 내용, 그리고 부차적인 정보가 토지이용 변화를 결정하는데 필요한 곳의 토지이용 변화에 대한 보다 좋은 탐지와 지도화가 가능하다.

지도화 정확성의 검증

토지 피복 또는 토지 이용의 지도가 사용되는 어느 곳에서나, 작성자는 지도의 신뢰성에 대한 정보를 얻어야만 한다. 그러한 지도가 원격 탐사 자료의 분류에 의하여 발생될 때, 지도의 신뢰성이 다른 토지 카테고리들 사이에서 다를 수 있다는 인식을 해야 한다. 어떤 카테고리들은 유일하게 분포하지만, 다른 것들은 다른 것들과 혼합될 수 있다. 예를 들어, 침엽수림은 종종 활엽수림보다 정교하게 분류된다. 왜냐하면 그것의 반사율 특징들이 보다 더 명백하지만, 활엽수림은 예를 들어, 초지 또는 농경지와 같은 다른 카테고리와 쉽게 혼재할 수 있기 때문이다. 유사하게 종종 토지 관리 실행에서의 변화를 확정하는 것이 원격 탐사에서는 어려울 수 있다. 예를 들어, 특정한 토지 이역에 대하여 집중적인 경작에서 완화된 경작으로 변화하는 것을 탐지하기가 쉽지 않다.

작성자들은 카테고리에 기반 한 토지 이용/ 토지 피복 지도들의 정확성을 예측해야만 한다. 지도상의 표본점들의 개수와 그와 상응하는 실제 세계 카테고리들이 혼란 행렬 (별첨 3A.4의 각주 5를 참조)을 만드는데 사용될 수 있다. 행렬은 대각선의 정확한 일치의 비율과 토지 카테고리들과 다른 가능한 카테고리들로 상대적으로 잘못 분류된 비대각선의 요소들로 나타난다. 혼란 행렬은 지도의 정확성을 표현할 뿐만 아니라, 어떤 카테고리들이 다른 것들과 쉽게 혼합될 수 있는지를 나타낸다. 혼란 행렬에 따르면, 많은 정확도 지수가 유도될 수 있다 (Congalton, 1991). 다중-시점 분석 (다른 시간에 얻어진 영상을 분석하여 토지이용 분류의 안정성을 결정하는 분석)이 특히 지상 준거 자료가 제한적일 때 분류의 정확성을 높이는 데 사용될 수 있다.

지상 근거 조사

지상 근거 조사는 토지 이용에 대한 정보를 모으고 기록하는데 사용될 수 있다. 또한 독립적인 지상 사실 자료로 원격 탐사의 분류를 위하여 사용될 수 있다. 항공사진과 위성 영상과 같은 원격 탐사 기술이 출현하기 전에, 지상에 기반 한 조사는 지도를 만드는 유일한 방법이었다. 이 과정은 지도화 목적으로 본질적으로 연구 중인 지역을 방문하고 시각적이고 또는 경관의 물리적인 속성을 기록하는 것이다. 경계와 상징적인 속성들을 컴퓨터로 입력하는 것이 지리정보체계에서 유용한 물리적인 현장 노트와 역사적인 지도를 만드는데 사용되곤 했다. 이것은 그것의 의도된 사용과 결과적인 지도의 규모와 연결된 최소한의 토지 경계선 그리기(delineation)와 속성 카테고리화에 대한 규칙에 의하여 실행되었다.

매우 자세한 면적과 위치에 대한 측정은 경위의, 줄자 측정, 거리 측정 차, 그리고 전자 거리 측정 장치등과 같은 현장 조사 기구들에 의하여 행해질 수 있다. GPS의 발달은 현장의 위치 정보가 들고 다닐 수 있는 컴퓨터 장치를 통해 직접적으로 전자적인 형태로 기록될 수 있다는 것을 의미한다. 자료들은 사무실의 컴퓨터로 등록을 위해 다운로드 되어 공간 분석을 위하여 다른 정보들과 함께 조합된다.

토지 소유주 면접과 설문 조사들은 사회-경제적인 그리고 토지 관리 정보를 수집하기 위하여 사용된다. 이것들은 토지이용과 토지이용 변화에 대한 자료도 같이 제공한다. 이러한 인구 조사 유형을 가지고 자료 수집 기관은 신뢰할 만한 자료를 제공하기 위하여 토지 소유주의 지식과 기록에 의존한다. 정형적으로 거주자는 방문을 받고 수집 기관의 대표들에 의하여 인터뷰를 받는다. 자료들은 미리 결정된 형태로 기록되거나 설문 조사가 토지 소유자가 작성도록 발급된다. 설문자는 보통 적절한 기록 또는 그들이 가지고 있을 수 있는 지도들 을 사용하도록 권유받지만, 질문들이 직접적으로 정보를 이끌어내기 위하여 사용될 수 있다 (Swanson *et al.*, 1997).

인구 설문들은 아마도 자료 수집 방법의 가장 오래된 형태이다 (Darby, 1970). 토지 이용 설문들은 전체 인구나 적절한 크기의 표본에 대하여 수행된다. 현대에서는 전체 범위의 유용성과 정확성 평가 기법을 적용한다. 조사는 종종 개인 방문, 전화 인터뷰 (종종 컴퓨터 보조 지시 메시지), 또는 우편을 통한 설문 조사 등을 통해 수행된다. 토지 이용 설문 조사는 자료의 형식과 중요하고 일괄적인 응답을 바라는 단순하고 명쾌한 질문들에 필요한 정보로 시작한다. 표본 적용에 있어서, 전체 연구 지역들은 적절한 생태적 행정적 토지 단위와 인구 내 중요한 카테고리 간 차이들(예, 개인 대 회사, 큰 것 대 작은 것, 펄프 대 목재, 등)로 지리적으로 계층화된다. 토지 면적과 관리 실행, 어떤 지리적인 위치, 구체적인 좌표가 있는지, 행정적인 기술 또는 최소한 생태적 또는 행정적인 단위들 등을 설문자가 응답하도록 해야 한다. 설문 후 결과의 유효성 검증은 독립적인 자료와 비교하고, 이어지는 검증 설문, 또는 현장 검증 표본 조사를 실행하면서 통계적인 비정상적인 부분을 찾는 것으로 행해진다. 최종적인, 결과의 표현은 초기의 계층적인 변수들을 따라야 한다.

별첨 3A.3 표본조사

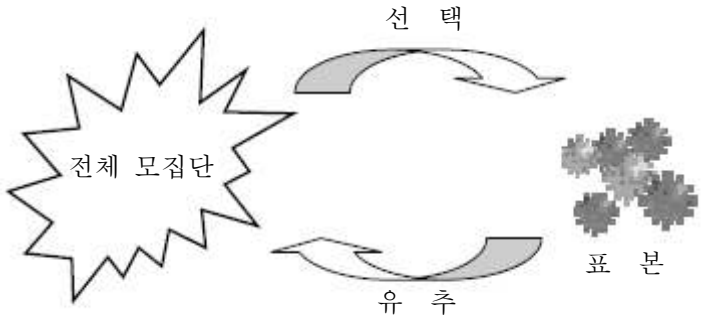
3A.3.1. 서론

토지이용에 대한 자료는 종종 표본 조사로부터 종종 얻어지며, 토지 이용 또는 탄소 축적량의 변화를 예측하기는 일반적으로 사용된다. 국가 산림 인벤토리는 사용되는 조사의 유형 중에서 중요한 예이다. 이 절에서는 온실 가tm의 배출과 흡수의 보고를 위한 표본 조사의 자료 사용에 대한 조언을 제공한다. 또한 이 목적으로 자료를 얻기 위한 표본 조사의 계획에 대한 조언을 제공한다.

3A.3.2. 표본조사의 원리에 대한 개괄

표본 조사는 전체 인구에 대한 정보를 그것의 일부분인 표본을 관찰하면서 추론 한다 (그림 3A.3.1. 참조). 예를 들어, 지역 또는 국가적인 수준에서 입목 바이오매스의 탄소(C) 변화는 제한된 수의 표본 방형구들에서의 성장, 사망률, 그리고 잘려진 임목들로 예측될 수 있다. 표본조사 이론은 표본 방형구로부터 얻어진 정보를 선택된 지리적인 수준으로 규모면에서 비율적으로 증가(Scaling up)시킬 수 있는 수단을 제공하다. 적절하게 계획된 표본 조사는 인벤토리 자원들의 사용에 대한 효율성을 크게 증가시킬 수 있다. 더욱이, 현장 표본 조사는 인벤토리를 개발하는데 일반적으로 필요한데 왜냐하면, 심지어 원격 탐사자료가 전체 육상 피복을 제공한다고 해도, 해석과 검증을 위한 지상 준거 자료가 필요할 것이다.

그림 3A.3.1 표본조사의 원리



표준 표본조사 이론은 전체 모집단에서 표본을 임의로 선택하는 것에 의존 한다; 전체 모집단의 각 단위는 표본으로 선택될 동일한 확률을 가지고 있다. 이것은 표본 방형구가 지역 내에서 완전히 임의로 분포되어 있을 때나 방형구가 격자의 위치가 임의적으로 분포하는 한, 체계적인 격자 방형구 내에서 분포되어 있는 경우이다. 임의 표본 조사는 자료가 편향될 수 있는 위험성을 줄이고, 측정의 불확도에 대한 객관적인 평가를 가능하게 한다. 그러므로 임의로 분포한 표본 조사된 자료는 일반적으로 유용한 어디에서나 또는 새로운 조사를 설계할 때 사용되어져야 한다.

표본조사들은 주관적으로 선택된 위치들에서 선택될 수 있다. 그 위치들은 전체 인구들을 대표하는 것으로 가정된다. 이것은 주관적 (또는 고의적인) 표본 조사방법이라고 불린다. 그러한 조사를 통해 얻어진 자료들은 온실가스 인벤토리에 종종 사용 된다 (예, 임의하게 선택되지 않은 조사 지

역에서 관찰이 전체 토지 카테고리 또는 계층들을 대표하는 것으로 사용될 때). 이러한 조건 아래에서는, 예를 들어, 산림의 종류에 대한 관찰은 그것이 대표하지 않는 지역으로 외삽될 수 있다. 하지만, 제한된 자원들로 인하여 온실가스 인벤토리는 주관적으로 선택된 지역 또는 연구지의 자료들을 사용할 필요가 있을 것이다. 이러한 경우에, 이러한 조사지 또는 방형구를 책임지는 조사기관과 협의하여 주관적인 표본 조사가 대표성을 띠는 것으로 간주될 수 있는 지역을 확인하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

3A.3.3 표본조사 설계

표본 조사 설계는 표본 조사 단위들 (조사지 또는 방형구)이 모집단에서 어떻게 선택될지를 결정하며, 무슨 통계적인 예측 절차가 표본에서의 추론을 결정하는 데 적용될 수 있는지 결정한다. 임의적인 표본 설계들은 부가적인 정보를 사용하여 전체 모집단이 계층화되는지 아닌지에 따라서 두 가지 중요한 그룹으로 나뉠 수 있다. 계층화된 조사는 일반적으로 고정된 비용에서 정확성의 관점에서 보다 효율적이 될 것이다. 반면에, 그들은 보다 복잡한 경향을 가지며, 수집된 자료의 부정확한 사용으로 인한 비 표본오류의 위험성은 증가한다. 표본 조사 계획은 단순성과 효율성 사이에서 좋은 타협점을 목표로 해야 하며, 이것은 다음의 3가지 측면을 따르면서 촉진될 수 있다.

- 부가적인 정보와 계층화 사용
- 체계적인 표본 조사
- 영구적인 표본 조사 방형구와 시계열 자료

부가적인 자료 사용과 계층화

가장 중요한 부가적인 정보를 사용하는 표본 조사 설계의 하나는 모집단이 부가적인 정보를 바탕으로 하위 집단으로 나눠짐으로서 생기는 계층화이다. 이러한 자료는 표본 조사를 하기 효율적이게 하는 법적, 행정적 경계 또는 산림 관리의 경계들 또는, 고지대와 저지대로 나뉘는지도 또는 원격 탐사 자료들, 또는 다른 생태계 형의 사이의 경계 대한 정보들로 구성된다. 계층화는 효율성을 증가시키기 위해 의도된 것으로 그러한 정보가 유용하거나, 저렴한 추가 비용에서 활용 가능할 때 부가적인 정보들을 사용하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

계층화는 두 가지 방식으로 효율성을 증가 시킨다: (i) 전체 모집단의 예측의 정확성을 향상시킴으로서, (ii) 예를 들면 특정한 행정적 영역에서 적절한 결과가 특정한 하위 모집단을 위해 얻어지도록 확인시키면서 효율성을 증가시킨다.

첫 번째 쟁점에서, 계층화는 만일 모집단의 하위 구획이 만들어져서 전체 모집단 내 변이와 비교하여 계층 내 단위 간 변이들이 줄어들 때 표본 조사의 효율성을 증가시킨다. 예를 들어, 어떤 국가가 저지대 (관심 있는 모집단의 어떤 특성을 가진)와 고지대 (그에 상응하는 카테고리들의 다른 특성을 가진)로 나눠질 수 있다고 가정할 때, 만일 각 계층이 균질할 때, 정확한 전체 예측은 각 계층별로 제한된 표본만을 사용해서 얻어질 수 있다. 두 번째 쟁점은 모든 관심 있는 행정적인 단위에 대한 정확성의 특정한 정도에서 결과들을 제공하는 목적을 위해 중요하다. 하지만 또한 조사된 자료가 같은 행정 또는 법적인 경계와 함께 다른 절차를 사용하면서 수집된 존재하는 다른 데이터베이스과 함께 사용되는 데 목적이 있다.

계층 (표본조사에 포함된 토지이용 분류의 하위카테고리)의 경계를 확인하기 위해 원격 탐사 또는

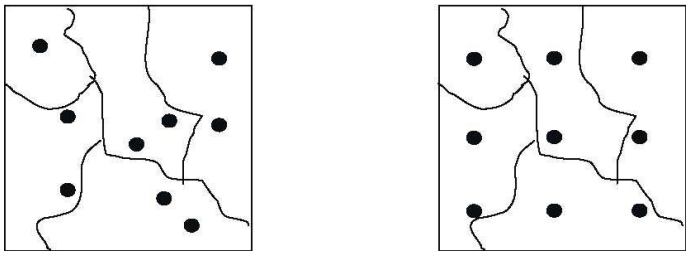
지도 자료들의 사용은 오류를 도입할 수 있다. 어떤 지역이 그 계층에 소속된 것으로 잘못 분류된 곳이나 특정한 분류가 없는 곳에 소속될 다른 지역들이 있는 곳에서 그렇다. 이러한 종류의 오류들은 최종 예측에서 실질적인 오류를 만들어낼 수 있다. 왜냐하면 표본조사를 위한 확인된 지역은 대상 모집단에 상응하지 않는 것이기 때문이다. 이러한 오류가 발생할 지도 모른다는 명백한 위험이 있는 곳에서는 지상 사실 자료를 사용하여 그러한 오류들의 잠재적인 영향에 대한 평가를 하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

온실가스 배출 또는 흡수를 보고하는데 사용되는 자료들은 존재하는 큰 규모의 인벤토리 (국가 산림 인벤토리와 같은)에서 취합될 때 그들이 건전한 통계적인 원리에 근거하는 한 그 인벤토리의 표준 산정 절차를 적용하는 것이 편리하다. 추가적으로 *후-계층화* (예, 현장 조사가 수행된 이후에 부가적 지도 자료나 원격 탐사에 근거하여 계층을 정의하는 것)는 새로운 부가 자료를 사용하여 효율성을 높이고면서 기본적인 현장 설계를 변화시키지 않는 것이 가능할지도 모른다 (Dees *et al.*, 1998). 이러한 예측 원리를 사용하여, 이전 단락에서 지적된 편중에 대한 위험이 줄어들 수 있다.

체계적인 표본 조사

표본에 기반 한 산림 또는 토지이용 조사는 일반적으로 관심 있는 특성이 기록되어 있는 표본 점 또는 방형구들을 사용한다. 여기서 한 가지 중요한 쟁점은 이들 점들 또는 방형구들의 구획에 관한 것이다. 표본 조사가 큰 지역에 걸칠 때 여행비용을 최소화하기 위하여 작은 구획에 방형구들을 배치하는 것은 종종 적합하다. 구획 조사에서 방형구간의 거리는 방형구 사이의 주요한 상호연간 관계를 방지할 정도로 충분히 커야 한다. 중요한 쟁점은 관심 있는 지역에 걸쳐 임의로 분포하는 규칙적인 격자를 사용할 때 방형구들 (또는 방형구의 묶음)이 전체적으로 임의적으로 또는 체계적으로 놓여 져야 하는지에 대한 것이다 (그림 3A.3.2를 보라). 일반적으로 체계적인 표본 조사가 효율적인데, 많은 경우에 있어 이것은 예측의 정확성을 높이기 때문이다. 체계적인 표본 조사는 또한 야외 조사를 단순화시킨다.

그림 3A.3.2 표본의 단순임의구획 (왼쪽)과 체계적인 구획 (오른쪽)



다소 단순하지만, 왜 체계적인 표본 조사가 단순히 임의적인 표본 조사보다 우월한 이유는 표본 방형구가 평등하게 대상 지역[3]의 모든 부분에 골고루 분포할 것이기 때문이다. 단순한 임의 표본 조사에서는, 지역의 어떤 부분은 보다 많은 방형구를 가지는 반면, 다른 부분은 어떠한 방형구도 가지지 못할 것이다.

3 체계적인 격자 체계와 일치하는 영토에 규칙적인 패턴이 있는 특별한 경우, 체계적인 표본 조사는 단순 표본 조사에 비하여 덜 정확한 예측을 이끌 수 도 있다. 하지만 그러한 잠재적인 문제들은 일반적으로 격자 체계를 다른 방향으로 바꿈으로서 조절이 가능하다.

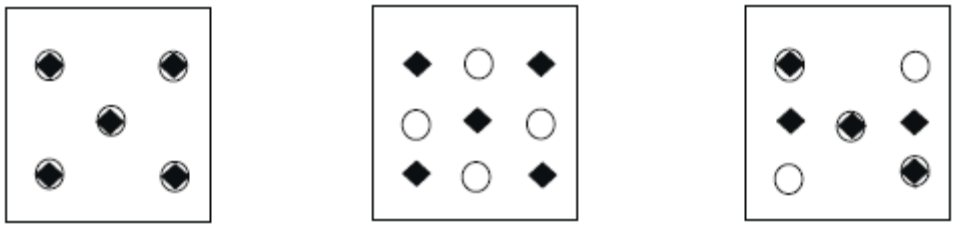
영구적인 표본 조사 방형구와 시계열 자료

온실가스 인벤토리는 현 상태와 시간에 따라서 변화하는 것(예, 토지이용 카테고리들의 면적과 탄소 축적량에서)을 동시에 평가해야 한다. 변화의 평가는 가장 중요하고 그것은 시간에 따른 반복적인 표본 조사를 포함한다. 측정 간 시간 간격은 변화가 일어나는 사건의 빈도와 보고의 필요성에 근거하여 결정되어야 한다. 일반적으로 5-10년의 조사 간격이 적합하고, 많은 국가들의 잘 계획된 조사들은, 특히 산림 지역에서, 이미 수십 년간 자료가 유용하다. 그럼에도 불구하고, 보고를 위한 예측은 연간을 기본으로 하기 때문에, 내삽법과 외삽법이 적용될 필요가 있다. 충분하게 긴 시계열 자료가 없는 경우, 탄소 축적량의 변화의 역동성을 담아내기 위해서 시간상 뒤로 외삽 할 필요가 있을 것이다.
반복되는 표본 조사를 수행할 때, 현재의 상태에 관한 요구되는 자료 또는 탄소 축적량은 각 시기별로 분석된다. 변화들은 t시간에서의 상태에서 t+1의 시간에서의 상태간이 차이를 계산함으로서 예측된다. 세 가지 공통적인 표본 조사 설계가 변화 예측에 사용될 수 있다.

- 두 시간에서 같은 표본 단위들이 사용된다. (영구 방형구)
- 다른, 독립적인 표본 단위의 묶음이 두 시간에 사용된다. (일시적인 방형구)
- 어떤 표본 단위들은 시간 사이에서 대체되는 반면 다른 것들은 같이 남아 있다. (부분적인 대체 표본 조사)

그림 3A.3.3은 이러한 3가지 접근들을 보여준다.

그림 3A.3.3 변화예측을 위한 영구적이고 일시적인 표본조사 단위들의 다른 조합의 사용



이상적인 구성조사 (영구적인 방형구)

독립적인 짜임 (일시적인 방형구)

부분적인 재배치 표본조사 (영구적이고 일시적인 방형구)

○ 시점 1에서 측정된 표본조사 단위
◆ 시점 2에서 측정된 표본조사 단위

영구적인 표본 방형구들은 일반적으로 일시적인 방형구들 보다 변화를 예측하는데 효율적이다. 왜냐하면 그것은 전환된 방형구 선택에 기인하는 차이로부터 실제 경향을 구분해내기가 쉽게 때문

이다. 하지만, 영구적인 방형구 사용의 위험도 존재한다. 만일 영구 방형구의 위치가 토지 관리자에게 알려진다면 (예, 시각적으로 표시된 방형구) 영구적인 방형구의 관리는 다른 지역에 대한 관리과 다르게 적용될 위험이 있다. 이것이 발생하면, 그 방형구는 더 이상 모집단을 대표할 수 없고, 따라서 결과도 편중될 가능성이 있다. 만일 위의 위험이 인식된다면, 이들 방형구들의 조건이 영구적인 방형구의 조건에서 많이 벗어났는지를 결정하는데 어떤 일시적인 방형구들을 대조 표본으로 평가하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

부분적인 대체의 표본 조사의 사용 영구적인 표본 방형구에서만 의존하는 잠재적인 문제점들을 해결할 수 있다. 왜냐하면 다르게 취급된다고 믿어지는 지역을 대체할 수 있기 때문이다. 부분적인 대체 표본 조사는 예측 절차가 복잡할 지라도 사용할 수 있다 (Scott and Kohl, 1994; Kohl *et al.*, 1995).

단지 일시적인 방형구들이 사용될 때, 전체적인 변화는 여전히 예측될 수 있다. 하지만 그것은 시간 차원이 표본에 도입될 수 있지 않은 한 다른 카테고리들 사이의 토지이용 변화를 연구하는 것이 더 이상 가능하지 않다. 이것은 부가적인 자료 (예, 원격 탐사 또는 과거 토지 상태에 대한 행정적 기록)에서 이끌어 냄으로서 가능하다. 이것은 전문가의 판단보다 다른 것을 정량화하기 어렵기 때문에 평가에 추가적인 불확도를 도입하게 된다.

3A.3.4 면적 측정을 위한 표본 조사 방법

토지 이용 지역들 또는 토지 이용의 면적의 변화를 위한 많은 접근들은 표본 조사에 의지한다. 면적과 면적의 변화는 표본 조사를 사용하여 두 가지 다른 방식으로 예측될 수 있다.

- 비율을 통한 면적 측정
- 면적의 직접적인 예측

첫 번째 접근은 조사 지역의 전체 면적을 알고 있는 것과 표본 조사가 다른 토지 카테고리들의 비율만을 제공한다는 것을 요구한다. 두 번째 접근은 전체 면적을 알 필요가 없다.

두 가지 접근 모두 인벤토리 지역에서 위치한 표본 조사 단위들의 주어진 숫자들의 평가를 필요로 한다. 표본 조사 단위를 선택하는 것은 단순 표본조사 또는 체계적인 표본조사 (그림 3A.3.2)를 사용면서 수행될 것이다. 체계적인 표본조사는 특히 다른 토지 이용 분류가 큰 조각에서 일어날 때 일반적으로 면적 예측의 정확성을 증가시킨다. 계층화는 또한 면적 예측의 효율성을 증가시키는 데 적용될 수도 있다. 이 경우 각 계층에서 독립적으로 하위 기술된 절차들을 수행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

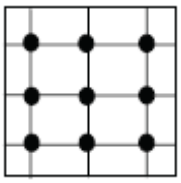
비율을 예측할 때, 표본 조사 단위들은 비록 토지이용 카테고리를 결정할 때 각 점을 둘러싼 작은 면적이 고려되어야 하지만, 차원이 없는 점들로 가정한다. 표본 조사 방형구들은 비록 이러한 접근이 여기에 더 이상 기술되지 않지만 면적 예측에 사용될 수 있다.

3A.3.5 비율을 통한 면적 측정

인벤토리 지역의 전체 면적은 일반적으로 알려져 있다. 이러한 경우, 다른 토지 이용 카테고리들의 지역들에 대한 예측이 면적 비율의 평가에 근거할 수 있다. 이러한 접근들을 적용할 때, 인벤토리 지역은 표본점들의 특정한 개수들에 의하여 덥혀 지고, 토지 이용들은 각 점 마다 결정된다. 각 토지 이용 카테고리들의 비율은 그때, 전체 점의 숫자를 특정한 카테고리에 위치한 점들의 숫자로 나누어서 계산된다.

표 3A.3.1는 이러한 절차들의 예를 제공하다. 면적 예측의 표준 오차는 로서 얻어진다. 여기서 p_i는 특정한 토지이용 카테고리 i에서의 점의 비율; A는 알려진 전체 면적, $A\sqrt{(p_i \bullet (1-p_i))/(n-1)}$ n 은 총 표본점들의 개수[4]. 예측된 토지이용 카테고리 I의 면적 (A_i)에 대한 95 % 의 신뢰구간은 대략 표준 오차의 ±2배가 주어진다.

표 3A.3.1
비율을 통한 면적 측정의 예

표본조사 절차	비율산정	토지이용카테고리의 산정된 면적	표준오차
	$p_i = n_i/n$	$A_i = p_i \cdot A$	$s(A_i)$
	$p_1 = 3/9 \cong 0.333$	$A_1 = 300$ ha	$s(A_1) = 150.0$ ha
	$p_2 = 2/9 \cong 0.222$	$A_2 = 200$ ha	$s(A_2) = 132.2$ ha
	$p_3 = 4/9 \cong 0.444$	$A_3 = 400$ ha	$s(A_3) = 158.1$ ha
	Sum = 1.0	Total = 900 ha	

여기서:

A = 전체 면적 (= 이 예에서는 900 ha)

A_i = 토지이용 카테고리 I에서의 예측된 면적

n_i = 토지이용 카테고리 I에서의 점의 개수

n = 총 표본점의 개수

토지이용 변화 면적의 예측은 연속적인 조사 사이에서 토지가 카테고리 *i*로부터 카테고리 *j*로 전환된 곳에서 A_{ij} 유형의 카테고리를 도입함으로서 만들어질 수 있다.

3A.3.6 면적의 직접산정

전체 인벤토리 면적이 알려질 때마다, 비율 평가를 통한 면적과 면적변화를 산정하는 것은 효율적이다. 왜냐하면 그러한 절차는 가장 높은 정확성을 산출하기 때문이다. 전체 인벤토리 면적이 알려지지 않은 경우나 수용할 수 없는 불확도에 취약한 경우에 대안적인 절차가 적용될 수 있다. 그 대안적인 절차는 다른 토지이용 분류 아래에서의 면적의 직접 평가를 포함 한다; 각 표준점들은 표본 구성의 격자 셀의 크기와 상응한 면적을 대표하게 된다.

예를 들어, 표본점들이 점들 사이의 1000 m 거리를 가진 정방형의 체계적인 격자들로부터 선택되어졌다며, 각 점들은 1 km • 1 km = 100 ha의 면적을 대표하게 된다. 이처럼 만일 15개의 방형구들이 특정한 토지이용분류에 속한다면, 관심면적은 15 • 100 ha = 1500 ha가 될 것이다.

4 이 공식은 체계적인 표본 조사가 적용되었을 때 근접한다는 점을 주의.

별첨 3A.4 접근법 3의 데이터베이스를 개발하기 위한 잠재적인 방법에 대한 개요

그림 3A.4.1. 접근법 3의 개요: 토지 이용에 대한 전체 공간범위에서의 직접적이고 반복적인 평가

기술

접근 3에서 국가들은 격자 셀이나 작은 다면체와 같은 공간 단위로 나눠진다. 이 예에서, 격자 셀은 그 지역의 하위 구획으로 사용된다. 격자 셀은 예측된 면적이 격자 아래에 회색으로 표시된 토지이용 면적을 성립하기 위하여 원격 탐사와 지상 조사를 통하여 표본 조사될 수 있을 것이다. 원격 탐사는 토지 이용의 해석에서 모든 격자 셀에 대한 완전한 커버리지를 가능하게 한다 (그림 3A.4.1A). 지상 조사는 격자 셀의 표본에서 수행될 수 있고 원격 탐사 자료를 해석을 돕는데 뿐만 아니라 직접적으로 토지 이용을 확립하는데 사용될 수 있다. 격자 셀의 표본들은 토지이용 변화가 보다 일어날 수 있는 곳에 많은 면적을 주기 위해서 예를 들어, 규칙적으로 (그림 3A.4.1B) 또는 비 규칙적으로 (그림 3A.4.1C) 분포될 수 있다. 일반화된 지도는 격자 셀을 사용하여 준비될 수 있다. 격자 셀은 다면체로 뭉쳐질 수 있다 (그림 3A.4.1D). 접근의 최종 결과들은 표 또는 공간적으로 표현 가능한 토지 변화 행렬 어느 쪽으로도 나타낼 수 있다.

시간 1 **시간 2**

그림 3A.4.1A 원격 탐사는 모든 격자 셀을 완전하게 표현할 수 있다.

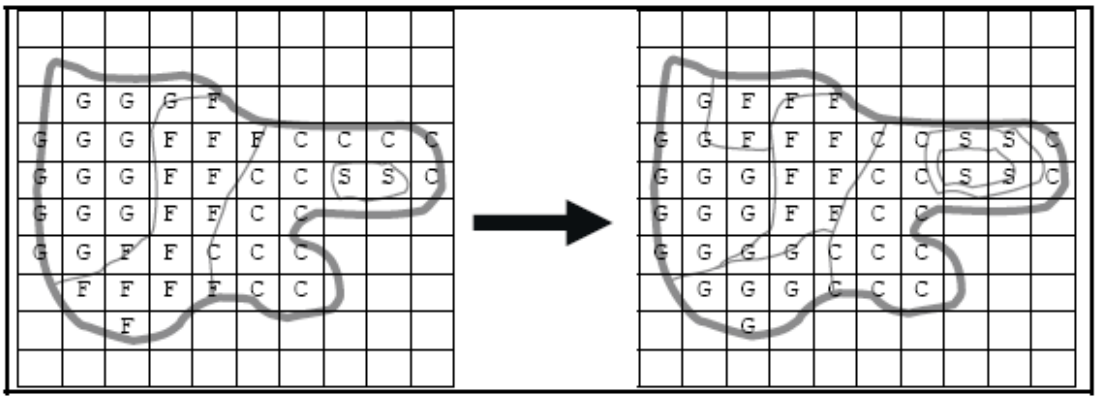
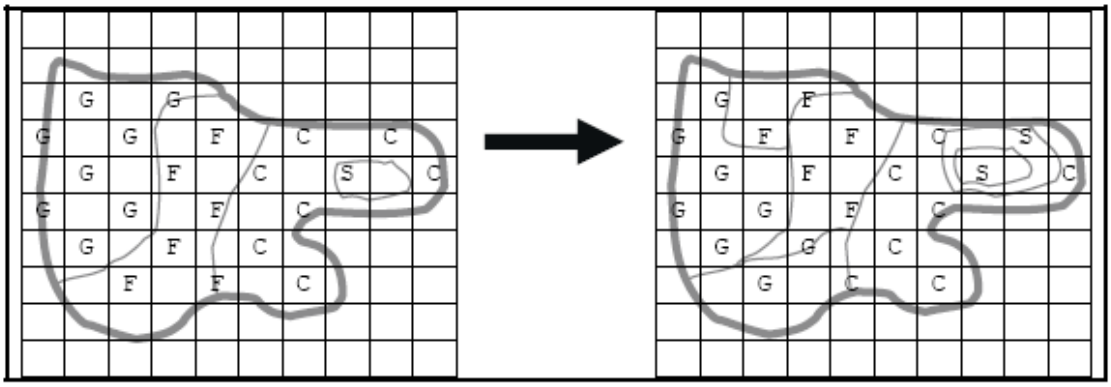


그림 3A.4.1B 격자 셀의 표본은 규칙적으로 배분될 수 있다.



시간 1 **시간 2**

그림 3A.4.1C 격자 셀의 표본은 비 규칙적으로 배분될 수 있다.

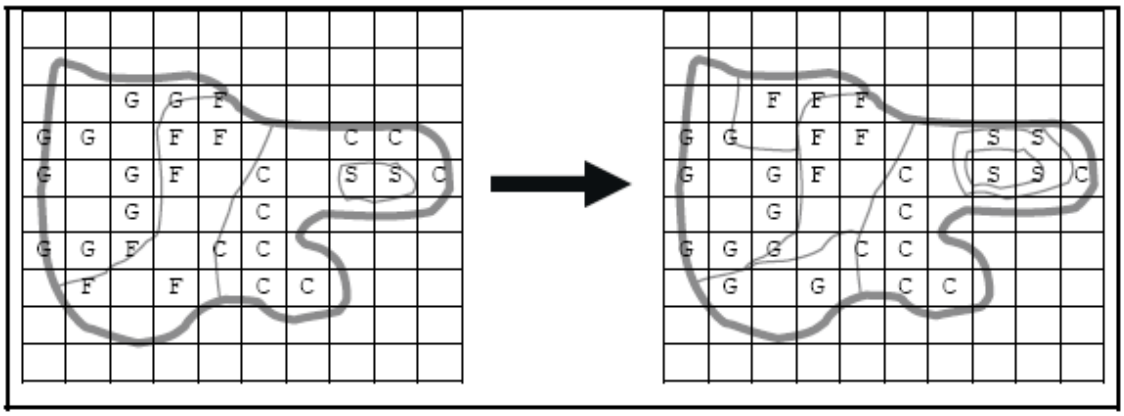
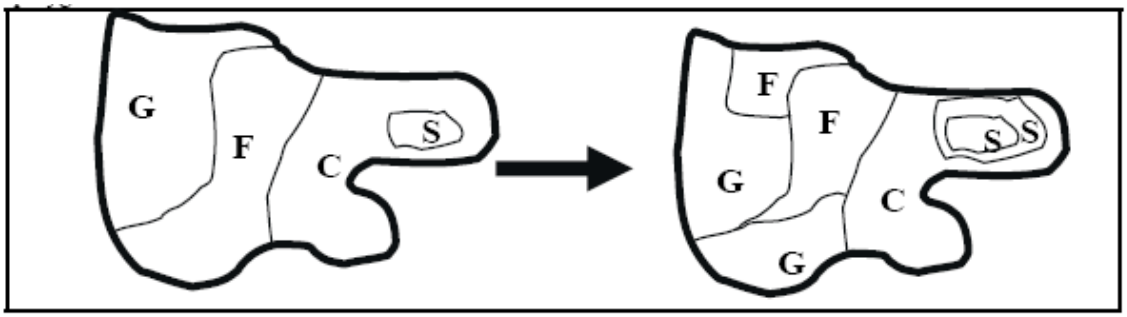


그림 3A.4.1D 일반화된 지도들은 다면체(polygon)로 합쳐질 수 있는 격자 셀을 사용하여 준비될 수 있다.



주:

F = 임지, G = 초지, C = 농경지, W = 습지, S = 주거지, O = 기타 이용지역

접근법 3을 사용할 때, 작성자는 반드시:

- 이 장에서 제공된 조언과 일치하는 표본 수집 전략을 사용해야 한다. 이 전략은 자료가 편중 없고 필요한 곳에서 규모의 증가가 가능하게 해야 한다.
- 원격 탐사 자료가 사용될 때, 이 장 (원격 탐사 기술)에서 설정한 대로 지상 기준 자료를 사용하여 토지 카테고리로 추론하는 방법을 개발해야 한다. 영상을 통해 얻어진 토지 피복 정보를 정확히 토지 이용 카테고리로 할당하는 데는 주의가 필요하다. 지상 기준 또는 고해상도 원격 탐사 자료에 의해 확립된 잘못된 지도 정확성 또는 토지 유형 분류를 가능한 피할 필요가 있다. 관습적인 기술은 주어진 어떠한 토지 분류 체계에 대해서도 다른 후보적인 분류체계의 하나로서 잘못된 분류의 비율을 보여주는 행렬[5]을 성립해야 한다.
- 탄소 축적량의 변화, 배출, 그리고 흡수에 대한 예측에 사용될 수 있는 토지카테고리면적과 면적의 변화에 대한 신뢰 구간을 건설해야 한다.
- 다른 토지 이용 변화 아래에서 국가적 면적의 요약적 표를 이끌어 내야 한다.

별첨 3A.5 기본 기후와 토양 계층화

기후 지역들은 바이오매스, 죽은 유기물질, 그리고 토양 탄소 축적량 변화를 예측하는데 필요한 배출과 흡수 요소들에 적용하기 위하여 분류된다. 기후 분류의 기본 값은 그림 3A.5.1에 제시하였고, 그리고 그림 3A.5.2의 분류 체계를 사용하여 유도할 수 있다. 이 분류 체계는 기본 배출과 저장 변화 요소들은 Tier 1의 식을 사용하여 유도되었기 때문에 Tier 1 방법을 사용하는데 쓰여 져야 한다. 기후 영역은 생체 탄소 축적량 변화를 예측하는 Tier 1 방법에 적용하기 위하여 생태적인 영역으로 하위분류될 수 있다 (4장의 표 4.1 참조). 작성자는 만일 Tier 2와 Tier 3 방법을 사용한다면 국가 특이적인 배출과 축적량 변화 요소들과 더불어 국가 특이적인 기후 분류 체계를 개발하는 선택 사항을 가지고 있다. 기본 값이든 국가 특이적이든, 같은 분류 체계를 모든 토지 이용 유형에 걸쳐서 적용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이처럼, 축적량 변화와 배출 요소들은 동일한 기후 분류 체계를 사용하여 국가 인벤토리에 각 집합소에 할당된다.

토양은 토양 탄소 축적량 변화뿐만 아니라 토양의 아산화질소(N_2O) 배출량 (예, 배수에 따라서 아산화질소(N_2O) 배출량을 측정하기 위하여 유기성 토양은 반드시 분류되어야 한다) 산정을 위한 탄소 축적량 인용값과 축적량 변화요소들에 적용되기 위해 분류된다. 유기성 토양은 습지나 배수가 되고 다른 토지이용 유형 (예, 임지, 농경지, 초지, 주거지)로 전환된 곳에서 발견된다. 유기성 토양은 아래 열거된 준거 1과 2 또는 1과 3에 의하여 결정된다 (FAO 1998):

1. 유기 층의 두께가 10 cm 보다 같거나 크다. 20 cm보다 작은 A 층이 20 cm 깊이에서 혼합되었을 때 12 % 또는 그 이상의 유기성 탄소를 가지고 있어야 한다.

2. 토양은 며칠 이상 동안 물로 포화되지 않으며, 무게 상으로 20 % 유기탄소(C)를 가지고 있어야

5 때때로 혼란 행렬로 불린다.

한다(예, 35% 유기물질).

3. 토양은 물 포화에 노출되어 있으며 동시에:

   a. 만약 그 토양에 점토가 없을 경우 무게 상으로 최소한 12% 유기탄소(C) (예, 20% 유기물)

   b. 만약 토양에 60% 또는 그 이상의 점토가 있을 때, 무게 상으로 최소한 18% 유기탄소(C) (예, 30% 유기물질)

   c. 중간정도 양의 점토를 가지고 중간정도의, 비례하는 양의 유기탄소(C)를 보유할 때

모든 다른 유형의 토양들은 무기 토양으로 분류된다. 무기 토양 분류 체계의 기본 값들이 토지 유형을 카테고리화 하기 위해 USDA 분류법 (USDA, 1999)에 근거하여 그림 3A.5.3에 나타나고 the World Reference Base for Soil Resources Classification (FAO, 1998)에 근거하여 그림 3A.5.4 에 나타나 있다. (주의: 두 분류 체계 모두 같은 기본 IPCC 토지 유형을 제공한다.) 이 기본 무기 토양 분류 체계는 기본 참조 탄소 축적량과 축적량 변화 요소들이 이러한 토양 유형에 따라서 유도되기 때문에 tier1 방법과 함께 사용되어야 한다. 작성자들은 tier 2와 3 방법을 적용한다면, 국가 특이적인 준거 탄소 축적량 및 축적량 변화 요소들 (또는 유기성 토양의 경우 배출 요소들)과 결합하여 무기 및 유기 토양에 대한 국가 특이적인 분류체계를 개발 할 수 있는 선택의 자유를 가지고 있다. 모든 토지 이용 유형에 대해 동일한 분류 체계를 사용하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

그림 3A.5.1 1996 IPCC 가이드라인에서 갱신된 주요 기후대 분포도

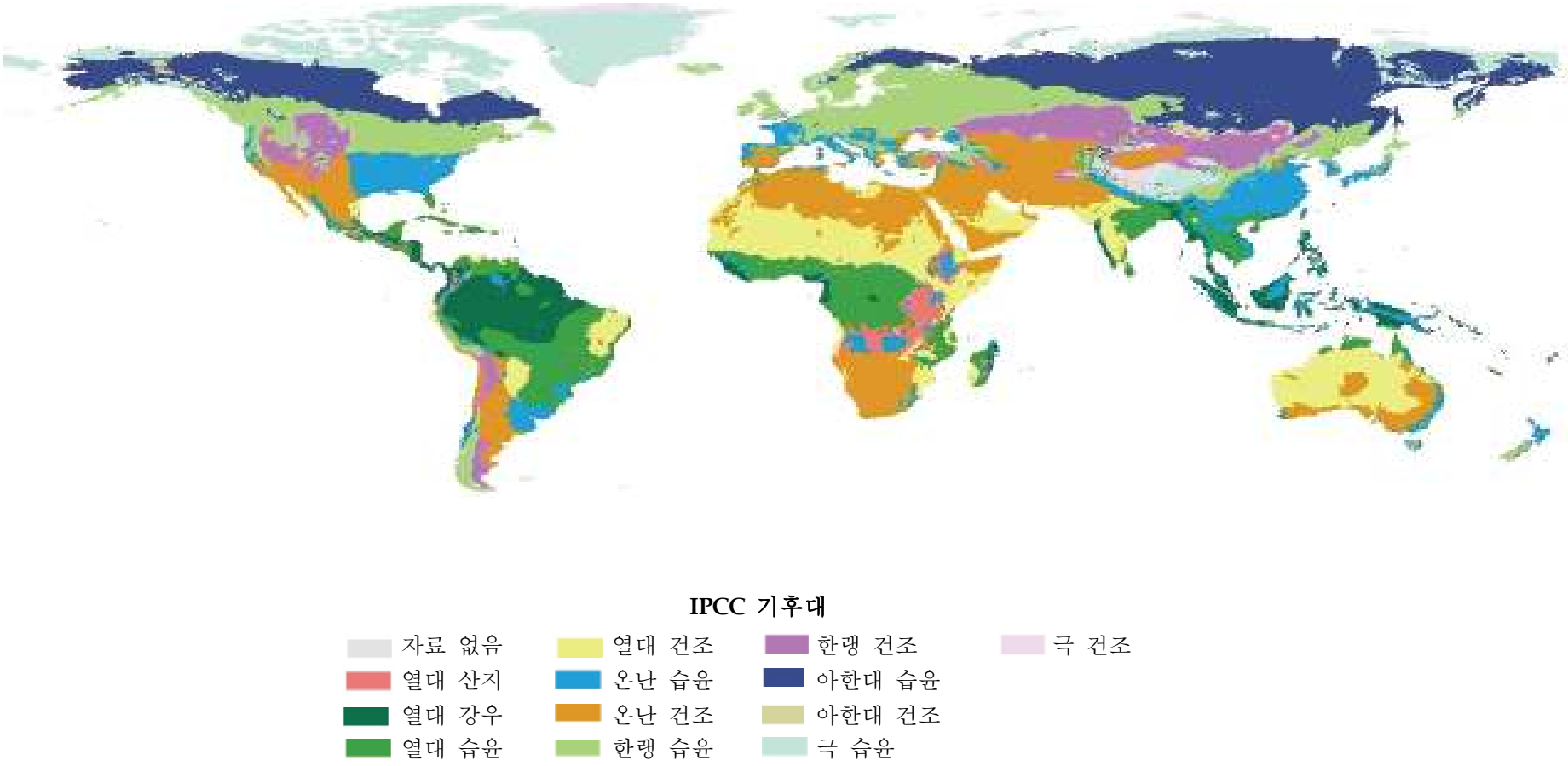


그림 3A.5.2 기본 기후영역의 분류체계. 분류 체계는 고도, 연중평균기온 (MAT), 연평균강수량 (MAP), 연평균강수량 대 잠재적 증발산량 비율 (MAP:PET), 그리고 서리의 발생에 근거한다.

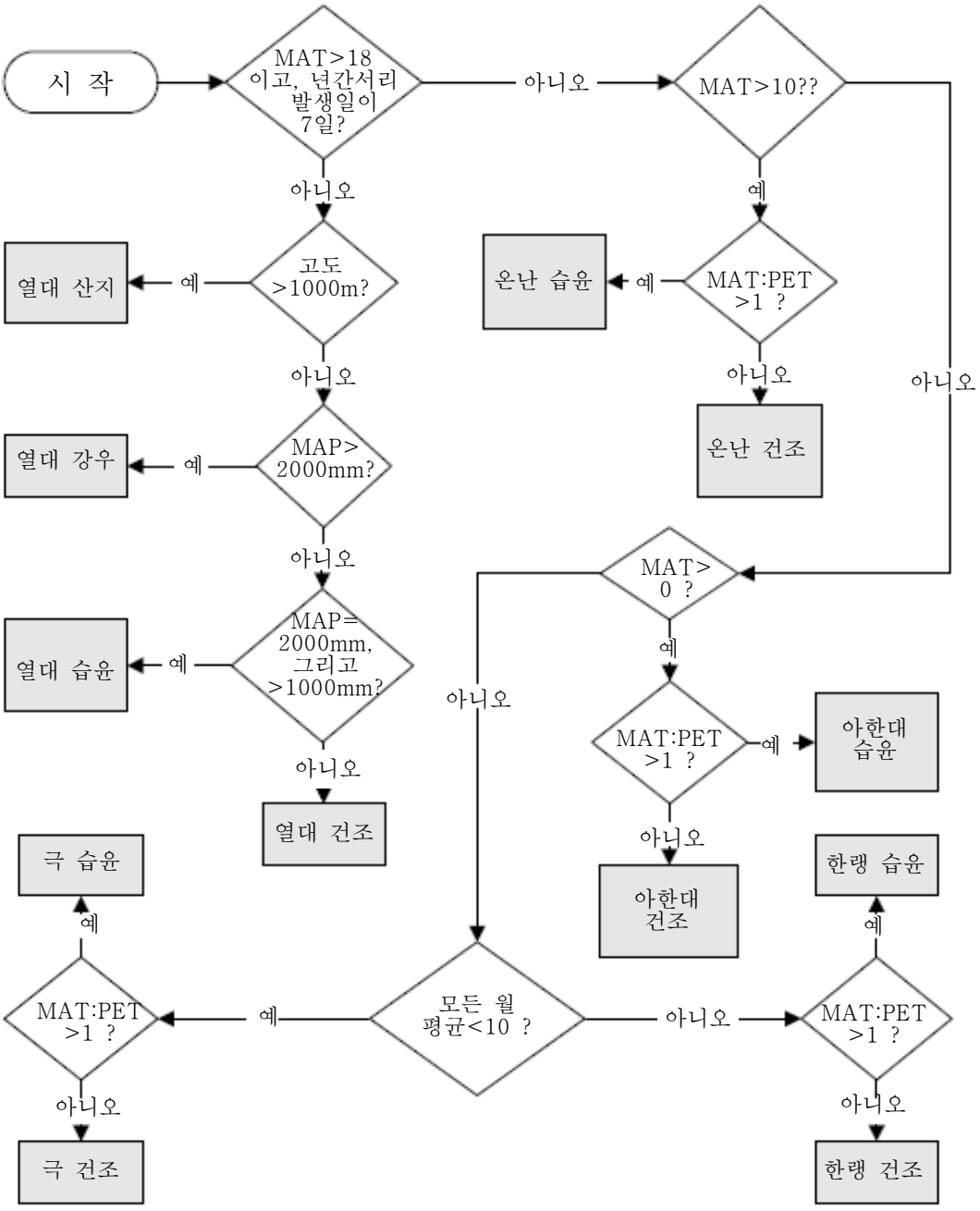


그림 3A.5.3 USDA 분류체계에 근거한 무기토양의 분류체계

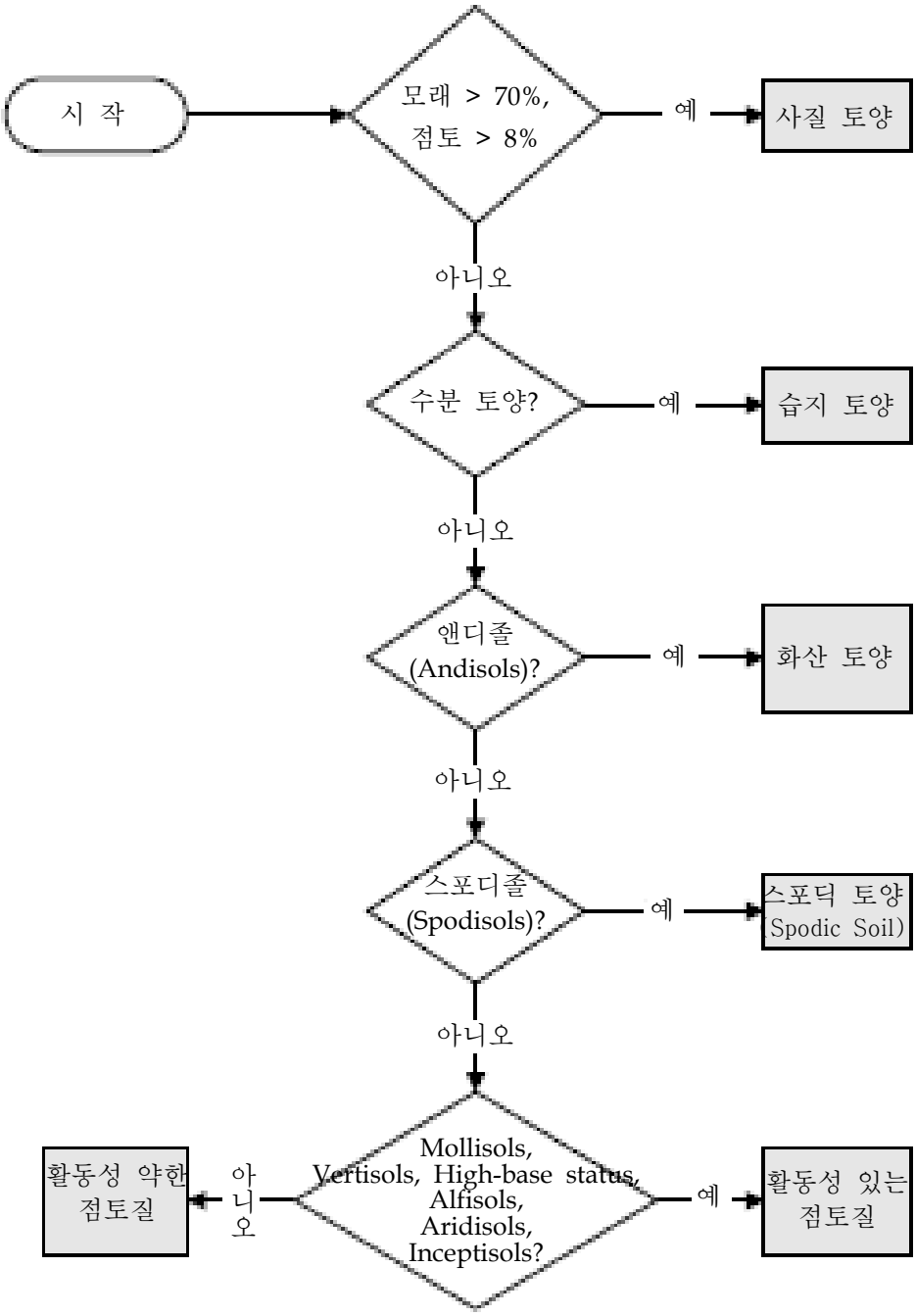
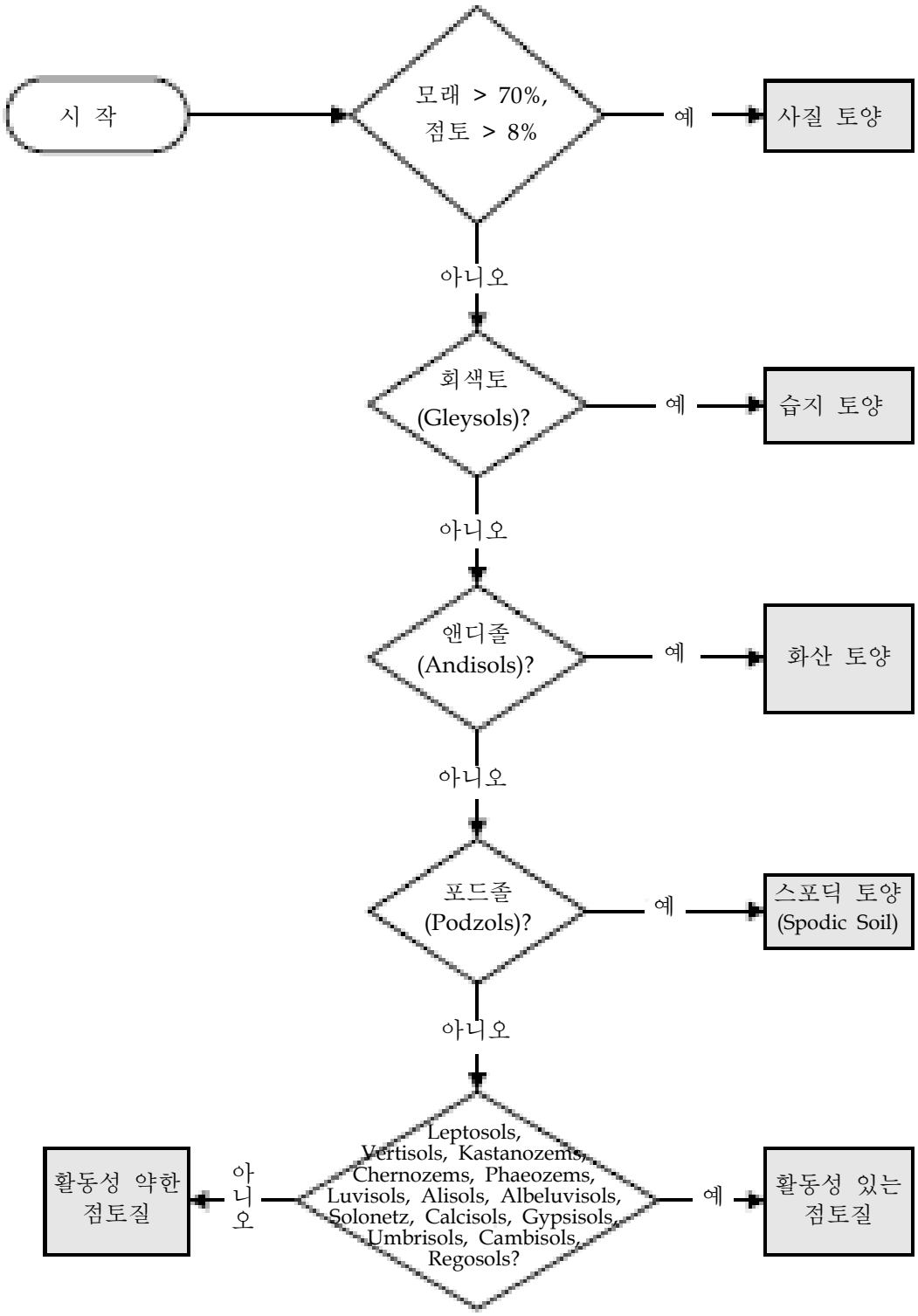


그림 3A.5.4 World Reference Base for Soil Resources (WRB)의 분류에 근거한 무기 토양의 유형별 분류체계



참고문헌

Congalton, R.G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment 37(1), pp. 35-46.

Daby, H.C. (1970). Doomsday Book-The first land utilization survey. The Geographical Magazine 42(6), pp. 416-423.

FAO (1995). Planning for Sustainable use of Land Resources: Towards a New Type. Land and Water Bulletin 2, Food and Agriculture Organisation, Rome Italy, 60 pp.

Scott, C.T. and Kohl, M. (1994). Sampling with partial replacement and stratification. Forest Science 40(1): 30-46.

Singh, B.E., Bentz, R.P. and Sofranco, A.J. (Eds). (1997). Improving agricultural extension. A reference manual. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

USGS (2001). http://edcdaac.usgs.gov/glcc/

제4장

임지

저자

Harald Aalde (노르웨이), Patrick Gonzalez (미국), Michael Gytarsky (러시아), Telma Krug (Brazil), Werner A. Kurz (캐나다), Stephen Ogle (미국), John Raison (호주), Dieter Schoene (FAO), and N.H. Ravindranath (인도)

Nagmeldin G. Elhassan (수단), Linda S. Heath (미국), Niro Higuchi (브라질), Samuel Kainja (Malawi), Mitsuo Matsumoto (일본), Maria José Sanz Sánchez (스페인), and Zoltan Somogyi (유럽공동체위원회/헝가리)

부저자(contributing authors)

Jim B. Carle (FAO) and Indu K. Murthy (인도)

목 차

4 임지.....4.7
4.1 서론.....4.7
4.2 임지로 유지되는 임지.....4.12
4.2.1 바이오매스.....4.12
4.2.1.1 방법의 선정.....4.12
4.2.1.2 배출계수의 선정.....4.16
4.2.1.3 활동자료의 선정.....4.18
4.2.1.4 Tier 1에 대한 계산단계.....4.20
4.2.1.5 불확도 평가.....4.23
4.2.2 고사 유기물.....4.24
4.2.2.1 방법의 선정.....4.25
4.2.2.2 배출/흡수계수의 선정.....4.26
4.2.2.3 활동자료의 선정.....4.27
4.2.2.4 Tier 1에 대한 계산단계.....4.27
4.2.2.5 불확도 평가.....4.27
4.2.3 토양탄소.....4.28
4.2.3.1 방법의 선정.....4.29
4.2.3.2 축적량의 변화와 배출계수의 선정.....4.30
4.2.3.3 활동자료의 선정.....4.32
4.2.3.4 Tier 1에 대한 계산단계.....4.33
4.2.3.5 불확도 평가.....4.34
4.2.4 바이오매스 연소에 의한 non-CO_2 온실가스 배출.....4.35
4.2.4.1 방법의 선정.....4.35
4.2.4.2 배출계수의 선정.....4.36
4.2.4.3 활동자료의 선정.....4.36
4.2.4.4 불확도 평가.....4.37
4.3 임지로 전용된 토지.....4.37
4.3.1 바이오매스.....4.38
4.3.1.1 방법의 선정.....4.38
4.3.1.2 배출계수의 선정.....4.41

4.3.1.3 활동자료의 선정 4.42
4.3.1.4 Tier1에 대한 계산단계 4.44
4.3.1.5 불확도 평가 4.46
4.3.2 고사 유기물 4.47
4.3.2.1 방법의 선정 4.47
4.3.2.2 배출/제거계수의 선정 4.48
4.3.2.3 활동자료의 선정 4.49
4.3.2.4 Tier 1에 대한 계산단계 4.49
4.3.2.5 불확도 평가 4.50
4.3.3 토양탄소 4.50
4.3.3.1 방법의 선정 4.51
4.3.3.2 축적량의 변화와 배출계수의 선정 4.52
4.3.3.3 활동자료의 선정 4.53
4.3.3.4 Tier 1에 대한 계산단계 4.54
4.3.3.5 불확도 평가 4.55
4.3.4 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 온실가스의 배출 4.55
4.4 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고와 기록 4.56
4.4.1 완전성 4.56
4.4.2 일관적 시계열 개발 4.56
4.4.3 품질보증과 품질관리 4.57
4.4.4 보고와 기록 4.58
4.5 표 4.59
별첨 4A.1 임지에 대한 용어집 4.91
참고문헌 4.102

그 림

그림 4.1 관측된 기후와 식생유형에 기초한 지구적 생태지대 (FAO, 2001). 지리정보시스템 자료는 http://www.fao.org에서 이용 가능.....4.10
그림 4.2 1995년 전지구적 산림과 토지피복. 산림자료의 공간적 해상도의 원본은 1 km^2이다 (미국 지질조사 분석 (Loveland *et al.*, 2000)과 FAO (2001). 지리정보시스템 자료는 http://edc.usgs.gov.에서 이용 가능.....4.11

표

표 4.1 기후도메인(FAO, 2001), 기후지역(제3장), 생태지역 (FAO, 2001).....4.59
표 4.2 산림과 토지피복계층.....4.60
표 4.3 지상부 산림바이오매스의 탄소분율.....4.61
표 4.4 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율(R).....4.62
표 4.5 바이오매스 확장 전환계수의 기본값(BCEF).....4.64
표 4.6 관리된 산림의 배수된 유기토양에 대한 배출계수.....4.67
표 4.7 산림에서의 지상부바이오매스 4.67
표 4.8 산림 플랜테이션 지역의 지상부바이오매스.....4.69
표 4.9 자연적 산림에서 지상부바이오매스의 순증가.....4.72
표 4.10 열대 그리고 아열대산림 플랜테이션 지역의 지상부바이오매스 순증가.....4.75
표 4.11A 선택된 재배형 임업 수종에 대한 지상부 순 부피증가.....4.77
표 4.11B 임의의 재배형 임업 수종에 대한 연평균 증가.....4.78
표 4.12 표 4.7–4.11에서 (표 4.11B제외) 산정된 바이오매스 값 Tier 1.....4.80
표 4.13 열대 임목수종의 기본산림밀도(D) 4.80
표 4.14 선택된 온대 및 아한대 임목분류군에 따른 기본 목재 밀도.....4.90

박 스

박스 4.1 세부단계.....4.8
박스 4.2 산림의 바이오매스와 탄소를 평가하기 위한 바이오매스 전환확장계수.....4.14
박스 4.3 임지로 전용된 토지의 확인에 대한 바람직한 실행 접근의 예시.....4.43

4 임지

4.1 서론

본 장에서는 임지와 임지로 전용된 토지에서의 바이오매스, 고사 유기물, 그리고 토양유기탄소의 변화에 의한 온실가스의 배출량과 흡수량을 산정하는 방법을 제시한다. 이 장은 1996년 IPCC 가이드라인과 토지이용, 토지이용변화 및 산림에 대한 우수실행지침 (*GPG-LULUCF*)에 근거하여 작성되었다. 본장에서는:

- 1장에서 정의된 5가지의 탄소 저장고를 제시하고 동일한 토지구역 내 다른 저장고 간의 탄소 (C) 이동에 대해서 다룬다.
- 건축, 농경지 수확, 상업적 벌목, 연료재 수집 및 기타 관리행위 등 인위적 활동과 화재, 태풍, 곤충, 질병 및 기타 교란 등으로 인한 자연적 손실에 의한 탄소 축적량의 변화를 포함한다.
- 간단한 (Tier 1) 방법과 기본값을 제시하고, 탄소 축적량의 변화를 산정하기 위한 상위 단계의 Tier 방법의 개략적 접근방법을 제시한다.
- 바이오매스 연소로 발생하는 non-CO_2 온실가스를 산정하기 위한 방법을 제시한다(예를 들어 토양에서 배출되는 아산화질소(N_2O) 같은 기타 non-CO_2 온실가스 배출량은 제11장에서 다룬다).
- 제2장의 계산식과 방법의 포괄적인 설명이 제3장에서 설명된 연속적인 지역자료를 얻기 위한 접근법과 함께 사용되도록 하였다.

본 가이드라인은 제1장에서 정의한 바와 같이 관리된 산림에 한정하여 온실가스의 배출원와 흡수원을 산정 및 기록하는 방법을 제시한다. 각 국가는 관리된 산림에 대한 국가별 정의를 계속적으로 적용해야 한다. 국가별 정의는 인위적 개입을 가정하는 모든 형태의 산림 (모든 관리행위의 범위를 포함하는 산림을 보호하는 행위, 작물을 재배하는 행위, 자연적인 재생을 촉진시키는 행위, 상업적인 목재생산, 비상업적인 연료재 채취, 관리된 토지의 방치 등)을 포괄할 수 있어야 한다. 본 장에서는 수확된 목제품 (HWP)은 포함하지 않으며 본 권의 12장에서 다루게 된다.

관리된 임지는 2개의 하위 카테고리로 구분된다. 그리고 지침과 방법론은 각 두 개의 부분에 대하여 개별적으로 주어진다.

- 4.2절 임지로 유지되는 임지
- 4.3절 임지로 전환된 토지

4.2절에서는 새로운 토양 탄소층에 도달하기 위해 요구되는 변환시간 (기준값 20년) 이상 임지였던 토지에 적용하는 방법론을 포괄한다. 4.3절은 변환시간 내에 임지로 전용된 토지에 적용한다. 이때 20년이란 기간은 토지용도변경에 따른 탄소 축적량의 변화에 걸리는 변환시간으로서 선택하였다. 각 국가의 임지를 위의 두 개의 카테고리로 차별화하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 실제 변환기간은 특정 국가나 지역의 자연적 생태적 환경에 따라 20년보다 길거나 짧아질 수 있다.

만약 토지전용과 포함된 기간에 대한 자료를 이용할 수 없는 경우, 기본가정은 임지로 유지되는 임지 카테고리에 속하는 모든 관리된 임지와 온실가스 (GHG) 배출과 흡수는 4.2절에 주어진 지침을 이용하여 산정한다.

관련된 탄소(C) 저장고와 non-CO_2 가스들

관련된 탄소 저장고와 non-CO_2 가스들

- 바이오매스(지상부, 지하부바이오매스)
- 고사 유기물(고사목, 낙엽층)
- 토양유기물
- non-CO_2 (메탄(CH_4), 일산화탄소(CO), 아산화질소(N_2O), 질소산화물(NO_x))

산정을 위한 탄소(C) 저장고 또는 non-CO_2의 선정은 저장고의 중요도와 각 토지이용카테고리의 선택된 Tier에 의존할 것이다.

임지 이용의 분류

헥타르 당 온실가스 배출량과 흡수량은 입지, 산림유형, 임분발달, 시업체계 등에 따라 다양하게 나타난다. 임지를 다양한 하위 카테고리로 계층화하는 것은 생장률을 비롯한 기타 산림변수의 변화와 불확도를 줄이기 위한 *우수실행(good practice)*이다. 본 가이드라인은 식량농업기구 (FAO: Food and Agriculture Organization)에서 개발한 (FAO, 2001)의 가장 최근의 생태권역 (4.5절의 표 4.1 및 본장의 그림 4.1 참고) 및 산림피복 (4.5절의 표 4.2 및 본장의 그림 4.2 참고) 분류를 기본으로 이용한다. 각 국가의 전문가들은 그 이외의 자료 요구가 있을 때, 이용가능하고 적용가능하다면, 각 국가에 대한 더 자세한 분류체계를 사용해야한다.

박스 4.1

세부단계

산림유형을 한 국가 내 지역 또는 하위지역 수준에서 동질한 하위 카테고리로 계층화하는 것이 가능하다면, 온실가스 배출과 흡수량의 산정의 불확도를 줄일 수 있다. 단순성과 명확성을 위하여, 본 장에서는 국가차원에서의 배출과 흡수량의 산정에 대하여 논의하고 상대적으로 작은 수의 임지의 하위카테고리에 대하여 논의한다. 이 세부단계는 기본 투입자료, 탄소, 기타 가정에 대해 이용 가능한 자료에 부합하기 위해 계획되었다.

그러나 본 가이드라인의 이용자들은 가능한 한 보다 상세한 수준에서 온실가스 배출 인벤토리 계산하기를 권고한다는 것을 이해하는 것이 중요하다. 다수의 국가들은 본 장에서 기본값을 만들어내는데 사용한 정보보다 더 자세한 산림과 토지이용전환에 대한 정보를 가지고 있다. 이러한 자료는 적합한 경우에 다음의 이유 때문에 사용되어야 한다.

1. 국가차원보다 지역차원에 대한 지리학적 세부사항

전문가들은 한 국가 내 다양한 지역에서 온실가스를 산정하는 것이 생태유형, 바이오매스 밀도, 불에 타서 제거된 바이오매스 파편 등에서 중요한 지리적 변이를 파악하는데 필요하다는 것을 발견할 수 있다.

2. 하위카테고리에 의해 상세화된 세부사항

전문가들은 기후, 생태학 또는 종, 산림유형, 토지이용 또는 시업체계, 연료수집유형 등에서 나타날 수 있는 중요한 차이를 반영하기 위하여 권장된 토지이용 카테고리 및 하위

카테고리를 더 하위단계로 나눌 수 있다.

이런 모든 경우에 있어서, 일반적으로 본 안내서에서 제시하는 기본사항 이외의 부가적인 자료나 가정이 필요할지라도, 더 상세한 수준에서 작업하는 것이 산정방법의 기본사항에는 변화를 주지 않는다. 각 국가의 전문가들에 의해 결정된 가장 적합한 세부단계에서 온실가스배출량이 산정되면, 그 결과는 국가차원과 본 가이드라인에서 요구하는 표준 카테고리로 통합되어야 한다. 이는 모든 참여 국가들간 결과 비교를 가능하게 할 것이다. 일반적으로 세부단계에 사용된 자료와 가정들은 방법의 투명성과 반복성을 보장하기 위해 보고되어야 한다.

용어

바이오매스 축적량과 변화량을 산정하는 방법에 사용되는 용어는 식량농업기구(FAO)에서 사용하는 정의와 용어의 카테고리 내에서 일관성을 유지할 필요가 있다. 식량농업기구(FAO)는 Tier 1 단계 계산에서 산림과 다른 토지이용 카테고리의 활동자료와 배출카테고리의 주요한 출처이다. 식량농업기구(FAO)에서 사용하는 용어의 예는 다음과 같다: 바이오매스 생장, 평균생장(MAI), 바이오매스 손실, 목재 제거. 별첨 4.1의 용어집에 이들 용어의 정의가 수록되어 있다.

그림 4.1 관측된 기후와 식생유형에 기초한 지구적 생태지대 (FAO, 2001). 지리정보시스템 자료는 http://www.fao.org에서 이용 가능.

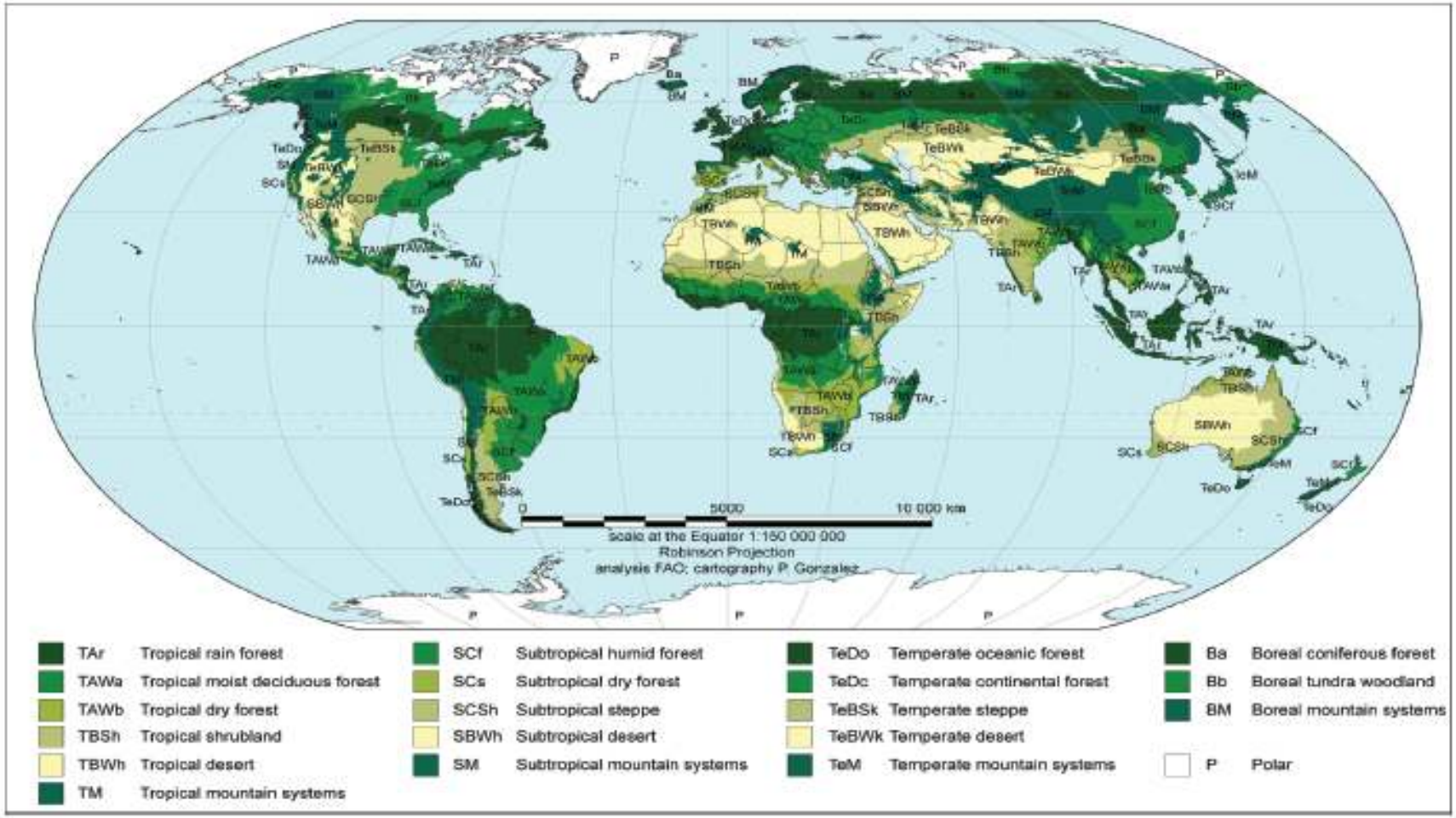
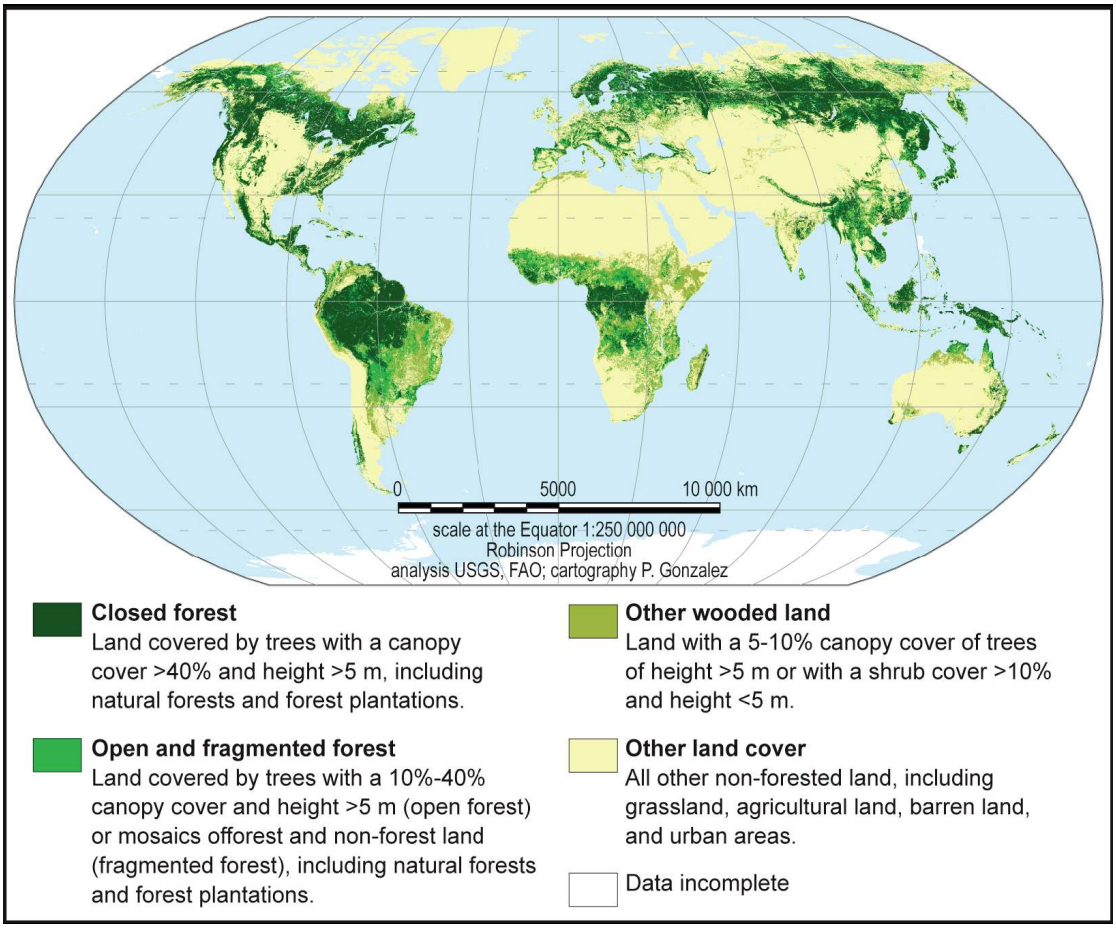


그림 4.2 1995년 전지구적 산림과 토지피복. 산림자료의 공간적 해상도의 원본은 1 km^{2}이다 (미국 지질조사 분석 (Loveland *et al.*, 2000)과 FAO (2001). 지리정보시스템 자료는 http://edc.usgs.gov에서 이용 가능



4.2 임지로 유지되는 임지

본 절에서는 20년(기본값) 또는 국가고유 전환기간 동안 "임지" 부문으로 관리된 임지에 대하여 다룬다. *임지로 유지되는 임지(FF)*에 대한 온실가스 인벤토리는 이산화탄소 이외의 온실가스 배출과 함께 다섯 가지의 탄소 저장고(지상부바이오매스, 지하부바이오매스, 고사목, 낙엽층, 토양 유기물)로부터의 탄소 축적량의 변화를 추정하는 것을 포함한다. 20년 동안 임지로 전용된 토지에 대한 온실가스 배출과 흡수량을 산정하는 방법은(예, 농경지와 초지) 4.3절에 제시되어 있다. 임지에 대한 연간 탄소 축적량의 변화를 산정하기 위한 일반적인 함수식들은 제2장에 제시되어 있다.

4.2.1 바이오매스

본 절에서는 바이오매스의 증가량과 손실량을 산정하는 방법을 제시한다. 증가량은 지상부와 지하수 바이오매스의 증가분을 모두 포함한다. 손실량은 원목의 제거/수확, 연료재의 제거/수확/수집, 화재, 곤충, 질병 등 기타 교란요인에 의한 손실분이다. 이러한 손실이 발생할 경우, 지하부바이오매스 또한 감소하고 고사 유기물로 변화한다.

4.2.1.1 방법의 선정

제2장에서는 다음의 두 가지 방법을 제시하고 있다. *획득-손실방법*은 바이오매스의 증가량과 손실량 산정(식 2.7)으로부터 바이오매스의 연간변화를 산정하는 것에 바탕을 둔 방법이다. *비축차 방법*은 시간 t_2와 t_1에서 바이오매스 탄소 축적량의 차이를 산정하는 방법이다.

바이오매스 획득-손실방법은 모든 Tier에 적용될 수 있는 반면 비축차 방법은 Tier 2와 Tier 3에 더 잘 적용된다. 그 이유는 일반적으로 비축차 방법은 상대적으로 바이오매스의 증가분이나 감소분이 크거나 매우 정확한 산림 인벤토리가 도출되는 곳에 대하여 더 신뢰할 수 있는 산정치를 제공할 수 있기 때문이다. 다양한 산림형태의 식생이 혼합된 지역 그리고/또한 바이오매스의 변화량이 총 바이오매스량에 비교하여 아주 작은 지역의 경우, 비축차 방법에 의한 인벤토리 오차는 예측된 변화량보다 더 커질 수 있다. 주기적인 인벤토리가 고사 유기물의 축적량에 대한 산정을 제공하지 않는다면, 부가적으로 증가하는 축적량에서, 고사 유기물, 수확된 목제품과 교란에 의해 야기된 배출로의 이동의 산정을 위하여 요구되는 고사량과 손실에 대한 다른 자료에 대하여 인식해야한다. 비축차 방법을 이용할 경우, 그 이후에 이어지는 인벤토리는 신뢰할 만한 결과를 얻기 위해 동일한 지역범주 내에 적용시켜봐야 한다.

적절한 Tier 수준에 대한 획득-손실 방법 또는 비축차 방법의 선택은 결국 전문가의 판단과 국가 수준의 인벤토리 시스템 고려, 생태학적조사로부터 얻은 자료와 정보의 이용가능성, 산림 소유권 형태, 활동자료, 전환과 확장요소, 비용/편익분석에 달려 있다. 제1장의 그림 1.2에 제시된 의사결정도는 Tier들 간의 선택을 유도하기 위해 사용된다. 이는 이용가능한 자원의 사용과 이 카테고리 내의 어떤 바이오매스가 중요한 탄소(C) 저장고인지 아니면 제1권 제4장에 설명되어있는 핵심 카테고리인지 고려할 경우의 효율성을 높인다.

Tier-1 (바이매스 획득-손실 방법)

Tier 1은 활동자료와 배출/흡수요소들의 국가고유 산정이 가능하지 않은 경우, 그리고 임지로 유지되는 임지의 바이오매스의 탄소 저장고의 변화가 상대적으로 작은 경우의 작업에서 유용하다. 이 방법은 바이오매스 탄소 증가량에서 바이오매스 탄소(C) 감소량를 뺀 것이다 (식2.7). 바이오매스의 연간 탄소 축적량의 변화는 획득-손실 방법을 이용하여 산정할 수 있다. 바이오매스 증가에 의한 탄소 축적량의 연간 증가량과 바이오매스 감소에 의한 탄소(C) 축적량의 연간 감소량은 아래와 같이 산정된다:

- 바이오매스 탄소(C)축적량의 연간 증가량은 식 2.9를 이용하여 산정 한다.
- 일반적으로 바이오매스 증가량은 상업적 재적 또는 지상부바이오매스의 관점에서 볼 수 있기 때문에 지하부바이오매스는 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율로 산정한다 (식 2.10). 그 대신 부피(m^3)는 바이오매스 전환 및 확장계수($BCEF_I$)를 이용하여 직접 총 바이오매스량으로 전환할 수 있다 (식2.10).
- 만약 $BCEF_I$값을 이용할 수 없고 바이오매스 확장계수(BEF)와 산림밀도(D)가 각각 따로 산정되었다면 다음의 전환식이 이용될 수 있다.

$$BCEF_I = BCEF_I \bullet D$$

  바이오매스 확장계수($BCEF_I$)는 임목, 임분, 산림의 비상업용 구성요소를 포함하기 위하여 상업적 재적을 총 지상부바이오매스 부피로 확장한다. $BCEF_I$는 무차원이다. 임지의 평균 지상부바이오매스는 주어진 표4.7과 표4.8의 교란에 영향을 받는다; 연평균 지상부바이오매스 순 증가값은 표 4.9와 4.10과 4.12에 제시되어있다; 그리고 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비(R)는 표4.4에 주어져있다. 성장하는 축적량의 부의 전환과 확장, 증가량의 전환과 확장, 제거된 목재의 바이오매스로의 전환과 확장에 대한 자세한 설명은 상자 4.2를 참고하라.

- 어떤 생태계에서는 산림밀도(D)가 산림 바이오매스의 공간적 패턴에 영향을 줄 수 있다 (Baker *et al.*, 2004b). 요구되는 세부수준의 산림밀도의 측정값를 가지고 있지 않은 Tier 1 사용자는 2-3 종류의 우점종에 의해 결정되는 전체 산림 바이오매스의 비율을 산정하거나 가중평균 산림밀도 값을 산정할 수 있는 종-고유의 산림밀도값(표 4.13, 표 4.14)을 이용하여 산림밀도를 산정할 수 있다.
- 연간 바이오매스 손실량 또는 바이오매스 탄소 축적량의 감소량은 식 2.11 (목재 제거량 (식 2.12)과 연료재 제거 (식 2.13)와 교란요인 (식 2.13)에 의한 연간 탄소 손실량 산정식)을 사용하여 산정한다. 바이오매스의 고사 유기물로의 전환은 식 2.20을 사용하여 산정한다. 식 2.20은 고사량에 의한 연간 바이오매스 탄소(C)의 손실량 (식 2.21)과 잔가지로 전환된 연간 탄소량 (식 2.22)을 바탕으로 한다.
- 바이오매스 산정은 건물질의 탄소함량을 이용하여 탄소 값으로 변환된다(표 4.3).

바이오매스 카테고리 또는 상세카테고리에서 축적량이나 그의 변화 중 하나가 중요하거나 주 카테고리일 경우, 상위 수준의 Tier 방법론을 선택하여 산정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. Tier2와 Tier3의 선택은 자료의 유형과 정확성, 이용 가능한 모델, 활동자료의 공간분할수준, 국가적 상황에 따라 달라진다.

만약 접근법 1을 통하여 수집된 활동자료를 사용할 경우 (제3장 참조), 임지로 전환된 토지와 임지에서 전용된 토지의 양을 규명하기 위한 추가자료를 사용하는 것은 불가능하다면, 인벤토리 조

사자는 위의 "임지로 유지되는 임지"에서 설명된 Tier 1 방법을 이용하여 전체 임지에 대한 바이오매스 내 탄소 축적량을 산정해야 한다.

Tier 2

Tier 2는 활동자료와 배출/흡수 계수의 국가고유 산정이 가능하거나 합리적인 비용으로 수집이 가능한 국가의 경우 사용할 수 있다. Tier 2는 Tier 1과 마찬가지로 식 2.7에서 2.14를 이용한다 (식 2.8포함). 종-고유의 산림밀도 값(표4.13및 4.14)을 이용하여 종-고유의 산림 인벤토리 자료로부터 바이오매스를 계산할 수 있다. 국가고유의 자료가 이용 가능할 때는 Tier 2에서 비축차 방법 (식 2.8)의 사용도 가능하다.

Tier 3

Tier 3은 바이오매스 탄소 축적량의 변화량을 산정하는데 있어 모델에 기초한 작업을 포함하는 다양한 방법들을 고려하여 접근한다. 실행은 인벤토리 방법, 산림상태, 활동자료의 차이로 인하여 국가별로 다를 수 있다. 타당성과 자료의 완성도, 가정, 사용된 식과 모델 등의 투명한 자료제출은 Tier 3의 중요한 쟁점이다. Tier 3에서 비축차방법을 사용하는 (식 2.8) 경우, 세밀한 국가 산림 인벤토리의 이용이 필요하다. 여기서, 직접적으로 바이오매스 산정이 가능하도록 각국의 상황에 맞게 조정된 상대성장식과 모델 (예를 들면, 아마존지역의 Chambers *et al*. (2001) and Baker *et al*. (2004a; 북아메리카 지역의 Jenkins *et al*. (2004) and Kurz and Apps (2006); 유럽의 and Zianis *et al*. (2005)을 보충자료로 이용할 수 있다.

박스 4.2

산림 내 탄소와 바이오매스 산정을 위한 바이오매스 전환 및 확장계수[1]

일반적으로 산림 인벤토리와 운영기록은 증가하는 축적량, 연간 순 증가량 또는 상업적 제적의 목재 제거량 등을 포함하고 있다. 이것은 줄기상부, 가지, 잎, 그루터기 등의 지상부와 뿌리와 같은 지하부의 비상업적 구성요소는 제외한다. 반면에 바이오매스, 탄소 축적량과 변화량의 산정은 건중량을 톤으로 표시한 비상업용 요소를 포함하여 총 바이오매스, 바이오매스 증가량과 바이오매스 흡수량에 초점을 둔다.

지상부바이오매스와 변화량은 두 가지 방법으로 유도할 수 있다:

(i) 직접적으로, 지역 특성을 잘 나타내는 표준목을 측정 (예를 들어, 직경과 수고)함으로써, 종-고유의 상대성장식이나 이들 식에 기초한 바이오매스 표를 한번 또는 주기적으로 적용

(ii) 간접적으로, 산림 인벤토리에서 이용 가능한 부피 자료 (예를 들어, 증가하는 축적량의 비상업적 재적, 연간 순 증가량 또는 목재 제거량)를 변형 (Somogyi *et al*., 2006).

후자의 접근은 보통 종 또는 종-군집 (t/ha)의 바이오매스 또는 그들의 변화율을 축적 (m^3/ha), 연령, 생태지역, 기타 변수의 함수로 직접 표현하는 바이오매스 회귀함수를 적용하여 수행할 수도 있다 (Pan *et al*., 2004).

지상부바이오매스와 이의 변화량을 유도하기 위하여 이들 바이오매스 회귀함수보다 더

일반적으로 적용되는 것은, 비상업용 부피에 적용되는 하나의 불연속변환계수[2]이다.

(i) 바이오매스확장계수 (BEF)는 축적량, 연간 순증가량, 제거된 목재 등의 상업적 이용 가능한 부피의 건중량[3]을 확장하여 임목, 임분, 산림 등의 비상업용 구성요소를 추정할 수 있게 한다. BEFs를 적용하기 전에 상업적으로 이용 가능한 부피는 기초 산림밀도(D, t/m^3)로 알려진 전환계수를 곱하여 반드시 건중량 (톤)으로 변환되어야 한다.

이 방법은, BEFs가 건중량으로부터 결정될 때, 그리고 지역적으로 적용 가능한 기초산림밀도가 잘 알려진 경우에 최고의 결과를 산출한다.

(ii) 바이오매스전환확장계수 (BCEF)는 전환과 확장을 결합한다. 이는 (t/m^3) 단위를 가지고, 증가하는 축적량과 연간 순증가량 또는 목재 제거량 (m^3)을 직접 지상부바이오매스, 지상부바이오매스 증가량 또는 바이오매스 제거량 (t)으로 전환한다.

BCEFs는 더 편리하다. BCEFs는 기초 산림 밀도에 대한 자료 없이도 부피기반의 산림 인벤토리 자료와 운영기록에 직접 적용이 가능하다. 이는 상업적으로 이용 가능한 부피에 기초하여 지역적으로 유도되는 경우 최고의 결과를 제시한다.

수학적으로 BCEFs와 BEF는 다음과 같이 관련되어 있다.

$$BCEF = BEF \bullet D$$

위 식의 적용은 주의를 요한다. 왜냐하면 기초산림밀도와 바이오매스 확장 계수는 서로 연관되어 있기 때문이다. 만약 같은 표본의 임목이 D, BEF 또는 BCEF을 결정하는데 사용되었다면 변환 시 오류는 발생하지 않는다. 그러나 만약 기초 산림밀도가 정확하게 알려지지 않았다면, BCEF가 특정한 그러나 알려지지 않은 기초산림계수를 암시하기 때문에 하나를 다른 하나로 변환하는 데는 오류가 발생할 것이다. 이론적으로는 모든 변환계수와 확장 계수는 유도되거나 그들의 적합여부를 지역적으로 확인하여야 한다.

BEF와 BCEF는 둘 다, 임분연령의 함수로서, 증가하는 저장밀도(헥타르 당 증가하는 축적량의 부피)가 증가 할수록 감소하는 경향이 있다. 이것은 상업적으로 총 부피에 대한 이용가능한 부피의 비율이 증가하기 때문이다.

GPG-LULUCF는 넓은 범위와 이러한 범위내의 특정 국가에 대한 적용 가능한 값을 어떻게 선택하는 지에 대한 일반적인 지침과 함께 평균적인 기본 BEF값만을 제공했다. 더욱 신뢰할 수 있는 기본값의 선택을 용이하게 하기 위해서, 본 문서는 표4.5에 증가하는 저장 밀도의 함수로서 기본계수들을 제공한다. 더욱 광범위하고 더욱 최근의 자료가 조사문서에서 제시되었기 때문에 표4.5는 BCEF 기본값만을 수록하고 있다. 일관적인 기초 하에 국가-특성 기초산림밀도 와 BEF를 진행하는 각 국가는 위에 제시된 공식을 이용하여 국가-특성 BEF를 계산하기 위하여 이를 적용할 수도 있다. 증가하는 축적량과 연간 순증가량에 적용되는 BCEF 또는 BEF는 차이가 있다. 이 보고서에서는 다음의 기호들이 사용된다.:

$BCEF_S$: 증가하는 축적량에 적용할 수 있는 바이오매스 변환과 확장계수; 증가하는 축적량의 상업적으로 이용가능한 부피를 지상부바이오매스로 전환.

$BCEF_I$: 연간 순 증기량에 적용할 수 있는 바이오매스 변환확장계수; 연간 순증가량의 상업적으로 이용가능한 부피를 지상부바이오매스 증가량으로 전환.

$BCEF_R$: 제거된 목재에 적용할 수 있는 바이오매스 변환과 확장계수; 상업적으로 이용가

능한 부피를 임목껍데기를 포함한 총 바이오매스로 전환. 목재와 연료재 제거와 관련된 $BCEF_R$ 와 BEF_R은 수확손실로 인하여 성장 축적량보다 크게 된다 (별첨 4A.1 용어집 참조). 만약 어떤 국가의 수확손실의 특정값을 알지 못한다면, 기본값은 활엽수의 10%와 침엽수의 8%로 한다 (Kramer and Akca, 1982). 수확된 목재에 대한 변환과 확장계수의 기본값은 BCEFs를 침엽수의 경우 (1-0.08)로 활엽수의 경우 (1-0.1)로 나눔으로써 유도할 수 있다.

증가하는 축적량 바이오매스, 지상부바이오매스 증가량 그리고 지상부바이오매스 제거량을 계층적으로 추정하는 것; 이 층위를 기록하는 것; 이후 결과를 총합하는 것 등은 *우수실행(good practice)*이다. 결과는 이용가능한 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율을 통해 총 바이오매스량으로서 확장되어야 한다.

4.2.1.2 배출계수의 선정

획득-손실 방법은 지상부-지하부바이오매스 성장, 바이오매스전환확장계수 (BCEF), BEF, 그리고/또는 각 산림형태와 국가의 기후대에 따른 기초 산림밀도, 부가적으로 바이오매스 손실과 관련된 배출계수 (목재 제거량, 연료재 제거량과 기타 교란요인에 의한 손실분 포함)를 필요로 한다.

연간 바이오매스 탄소(C) 증가분 ΔC_G

평균 지상부바이오매스 성장 (증가), G_W

Tier 1

표 4.9, 표 4.10, 그리고 표 4.12에 제시된 지상부바이오매스증가 (G_W)의 기본값은 Tier 1에 이용될 수 있다. 만약 이용가능하다면, 이것은 산림 타입별 타 지역의 기본값을 이용하는 것 보다 해당 국가에 더 적절한 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2

Tier 2 방법은 국가고유의 연간 축적의 증가량 (I_V)으로부터 지상부바이오매스 증가, G_W를 계산하기 위해 국가고유의 자료를 이용한다. 표 4.11a와 표 4.11b는 I_V의 기본값을 제시한다. I_V의 결합된 기본 바이오매스 전환확장계수 ($BCEF_I$)는 표 4.5에 제시되어 있다. 증가분에 대한 바이오매스확장계수 (BEF_I)에 기초한 분리된 자료와 기초 산림 밀도 (D)는 이용 가능한 자료를 G_W로 전환하는데 사용될 수 있다. 표4.13과 표4.14는 기초 산림밀도의 기본값을 제시한다.

1 용어집 (별첨 4A.1)의 용어정의 부분을 참고하시오.

2 이러한 변환계수가 일반적으로 별개의 형태에 적용되는 반면 , 또한 이들은 증가하는 축적밀도, 연령 또는 기타 변수의 연속함수로서 표현되고 서술될 수 있다.

3 어떤 적용에 있어서 바이오매스 확장계수는 상업적으로 이용 가능한 구성요소의 건중량을 뿌리를 포함하는 총 바이오매스로 확장하거나 또는 지상부 또는 총 바이오매스 부피로 확장 한다 (Somogyi et al., 2006). 이 기록서에 사용된 바와 같이 바이오매스확장계수는 항상 지상부 임목껍질은 포함하고 뿌리는 포함하지 않는 상업적으로 이용가능한 부피의 건중량으로 변형된다.

Tier 3

연간 순 증가량을 시뮬레이션과정으로 유도하는 것도 가능하다. 특정 탄소(C) 분율과 기초산림밀도 또한 포함되어야 한다. 일반적으로 산림 인벤토리는 산림의 성장하는 저장분의 상황과 그 해 인벤토리 내에서의 연간 순 증가분을 제공한다. 그 해의 인벤토리가 그 해의 기록과 동시에 진행되지 않을 경우, 삽입이나 외삽 된 연간 순 증가분 또는 모델 (즉, 산림동태를 모의실험 할 수 있는 모델)에 의하여 산정된 증가분은 관심대상이 되는 연도의 인벤토리 자료를 갱신하기 위하여 수확과 교란요소에 대한 자료와 함께 사용되어야 한다.

지하부바이오매스 성장 (증가)

Tier 1

1996 IPCC 가이드라인에 따른 기본 가정으로서 지하부의 탄소(C) 저장 변화는 0이 될 수 있다. 대안으로서 지하부바이오매스와 지상부바이오매스 비율 (R)의 기본값은 지하부바이오매스 성장을 산정하는데 사용될 수 있다. 기본값은 표4.4에 제시되어 있다. 엄격히 이들 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율은 저장분에 대해서만 유효하다. 그러나 만약 단기간동안 지상부바이오매스 성장에 이들 비율(R)이 적용되었다면 뚜렷한 오류가 나타나지 않을 수도 있다.

Tier 2

지하부바이오매스와 지상부바이오매스 비율은 산림형태별 지하부바이오매스를 산정하기 위해 사용되어야 한다.

Tier 3

선호되는 지하부바이오매스는 총 바이오매스 증가분과 감소분을 계산하는 모델 내에서 직접 편입되어야 한다. 대안으로서 국가적 또는 지역적으로 결정된 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율 또는 회귀모델 (예, Li *et al.*, 2003)이 사용될 수 있다.

바이오매스 내 연간 탄소(C) 손실분, ΔC_L

제거된 목재로 인한 바이오매스 손실분, $L_{목재\ 제거(량)}$과 $L_{연료재\ 제거(량)}$

제거된 바이오매스를 통하여 탄소(C) 감소분을 산정할 때 다음의 인자들을 필요로 한다: 제거된 목재 (H), 임목이나 임목의 일부 (FG)로서 연료재 제거량, 기초산림밀도(D), 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율 (R), 탄소 (C) 분율 (CF), 제거된 탄소 (C)에 대한 BCEF. 모든 제거된 목재가 산림 바이오매스 저장고에 대한 손실분을 의미하는 한편, 제12장에서는 수확된 목제품 내의 탄소(C)축적량의 연간 변화를 산정하기 위한 지침을 제공한다.

교란요인, $L_{교란}$

탄소 (C)의 타 손실분의 측정은 교란요인에 의해 영향을 받는 지역에서의 자료와 이들 임지의 바이오매스 (B_W)를 필요로 한다. 교란요인에 의해 영향을 받는 산림 타입에서의 지상부바이오매스 산정작업은 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율과 교란요인에의 소실된 바이오매스의 분율을 필요로 한다. 제2장, 표 2.4, 표 2.5, 표 2,6은 연료바이오매스의 소비값, 배출계수, 화재에의

바이오매스 소실 분율의 산정에 필요한 연소계수, 상위 Tier 하의 고사 유기물로 변화하는 비율을 제시한다.

Tier 1

평균 바이오매스는 산림유형과 관리시업에 따라 다양하게 나타난다. 기본값은 표4.9와 표2.10에 주어져 있다. 화재의 경우 CO_2 와 비CO_2 배출은 하층식생을 포함한 지상부바이오매스의 연소된 연료로부터 발생한다. 화재는 하층식생 초목의 많은 부분을 제거할 수 있다. 타 교란요인의 경우, 지상부바이오매스의 일정 부분은 고사 유기물로 변화하고 Tier1하에서, 지역 내 교란요인으로 가정한 모든 바이오매스는 연간 교란요인으로서 배출되는 것으로 가정된다.

Tier 2

Tier 2하에서, 교란에 의한 바이오매스의 변화량은 산림 분류, 교란의 종류와 강도에 따라 고려하여야 한다. 바이오매스의 평균치는 국가-고유의 자료로부터 얻는다.

Tier 3

Tier 2와 같이 손실을 추정하는 것에 덧붙여, Tier 3에서는 모델을 이용할 수 있는데, 이들은 교란의 발생연도와 종류에 대한 공간 참조 혹은 공간 명시정보를 사용한다.

4.2.1.3 활동자료의 선정

관리된 임지의 면적

모든 Tier는 산림유형별, 기후별, 관리체계별 지역별 관리된 임지의 면적에 대한 정보를 필요로 한다.

Tier 1

Tier 1은 산림청 (각기 다른 관리를 시행한 지역에 대한 정보를 가질 수 있음), 보호기관 (특히 자연재생을 위해 관리한 지역에 대한 정보), 지자체, 조사 및 지도제작기관으로부터의 국가의 통계자료를 이용하여 얻을 수 있는 임지에 대한 자료를 사용한다. 비교 검토 작업은 누락이나 제3장에서 상술한 중복을 피하고 완벽하고 일관적인 서술을 분명히 하기 위해 실시해야 한다. 만약 자국의 자료를 전혀 이용할 수 없다면 해외 자료 (FAO, 1995; FAO, 2001; TBFRA, 2000)에서부터 집계된 정보를 얻을 수 있다. 이는 자국의 자료를 이용하여 FAO 자료를 검증하고, 확인하고, 갱신하기 위한 *우수실행(good practice)*이 된다.

Tier 2

Tier 2는 산림유형별, 기후별, 관리체계별, 지역별로 정해진 국가별 자국자료를 이용하는데, 이 자료는 3장의 규정대로 토지면적을 나타내는데 충분한 해상도를 지니고 있다. 제3장의 접근법 2가 Tier 2와 관련되어 있다.

Tier 3

Tier 3은 국가별 산림 인벤토리, 토지이용과 토지이용변화의 등록자료, 원격탐사 등의 다른 자료로부터 관리된 산림에 대한 국가고유의 자료를 이용한다. 이들 자료는 모든 임지로의 토지전용과 기후, 토양, 식생종류에 따른 분류에 대한 충분한 설명을 할 수 있어야 한다. 서로 다른 산림유형에서의 지상참조지역이 3장의 접근법 3을 이용하여 다양한 토지이용별 면적변화를 추적하는데 사용

될 수도 있다.

목재 제거(량)

인벤토리는 바이오매스 축적량 변화와 탄소 저장고 이동을 계산하기 위하여 목재 제거량 (연료재 제거량과 교란요인에 의한 바이오매스 손실분을 포함)에 대한 자료를 필요로 한다. 한편, 산업적인 목적을 위하여 목재 제거는 소규모의 목재 제거 작업 또는 토지 소유자로부터 소비자에게 직접적으로 판매를 위한 목재 제거가 될 수도 있다. 이런 양은 공식적인 통계에 포함되지 않을 수도 있고 조사에 의해 산정할 필요가 있다. 가지와 쓰러진 임목 표면 연료재는 고사목 저장고로의 이동에서 차감되어야 한다. 또한 교란요인에 의하여 영향을 받은 지역에서 회수된 목재는 Tier 1 인벤토리 (교란요인에 의해 영향을 받은 지역 내 바이오매스가 이미 대기 중으로 방출된 것으로 가정됨)에서 중복이 발생하는 것을 확실히 막기 위하여 바이오매스로부터 차감되어야 한다. 생산품 통계자료를 이용함에 있어서 사용자는 관련된 단위에 대하여 세심한 주의를 기울여야 한다. 만약 추가적인 자료 없는 접근법1의 토지 표현에 제한되어 모든 임지를 *임지로 유지되는 임지* 하에서 계산하는 경우가 아니라면, 다른 토지이용으로 인해 임지에서 제거되는 나무는 *임지로 유지되는 임지* 하에서의 손실로 계산해서는 안된다. 왜냐하면 이 손실은 새로운 토지이용 부문에 보고되기 때문이다. 제거된 목재에 대한 통계자료가 토지에 대한 계층화를 제공하지 않는다면, 임지로부터 전용된 토지에서의 바이오매스 손실분에 근접한 바이오매스의 양은 전체 목재 제거량에서 차감되어야 한다. 원목의 추출은 UNECE/FAO 목재기록서와 산림목재의 FAO 연감으로 출판된다. 후자는 1차적으로 국가들에 의해 제공된 자료에 기본을 두고 있다. 공식자료가 없을 때 FAO는 이용 가능한 최상의 정보에 기반한 산정을 제공한다. 보통 FAO 연감은 2년 늦게 발행된다.

Tier 1

FAO 자료는 제2장의 식 2.12의 H의 Tier 1 기본값으로서 사용될 수 있다. 원목 자료는 산림에서 제거된 모든 목재(m^3으로 나타낸 수피제외 재적)를 포함한다. $BCEF_R$ 사용하기 전에 수피제외 자료는 수피포함 자료로 전환이 필요하다. 수피제외 재적을 수피포함재적으로 전환하기 위해서는 수피율을 이용한다.

Tier 2

국가-고유 자료가 사용되어야 한다.

Tier 3

다른 산림 카테고리로부터의 국가-고유 목재제거자료는 보고를 위해 선정된 공간해상도에서 사용되어야 한다.

연료재 제거(량)

연료재 제거로 인한 탄소 손실분의 산정은 연간 연료재 흡수량 (FG)과 기초산림밀도 (D)를 필요로 한다. 연료재는 국가별로 다양한 방법으로 생산되며 임목의 일부의 이용을 위한, 고사목의 수집을 위한 원목수확에 따라 다르다. 연료재는 많은 국가에서 바이오매스 손실의 가장 큰 부분을 차지하여 이러한 국가들의 경우 신뢰성 있는 산정이 필요하다. 만약 가능하다면 임지로 유지되는 임지의 연료재 제거량과 전용된 임지로부터의 연료재 제거량은 분리되어야 한다.

Tier 1

FAO는 모든 국가에 대한 연료와 목탄을 위한 제거량 통계를 제공한다. FAO 통계는 국가의 관련 부/국에 의해 제공된 것에 근거하고 있으나, 국가 자료 집계와 기록체계의 한계로 인하여 전체 연료재나 제거된 목탄에 대하여 충분하게 고려하지 못하는 경우도 있다. 그러므로 Tier 1하에서 FAO 통계는 직접적으로 사용될 수 있지만, FAO에 대한 해당 국가의 자료 출처에 대해 완벽성을 확인해야만 한다 (예 농림부 또는 기타 통계기관). FAO 또는 어떠한 국가적인 산정은 연료재 연소에 대한 지역조사 혹은 지역연구가 부가적으로 시행되어야한다. 왜냐하면 연료재는 다양한 배출원 (산림, 목재 생산 잔여물, 농장, 대지, 마을 등) 로부터 수집되기 때문이다. 만약 국가적으로 더 완전한 정보가 이용가능하다면, 그것을 사용하여야 한다.

Tier 2

이용 가능한 경우 국가특성 자료가 이용되어야 한다. 연료재 제거량에 대한 지역적 조사는 국가자료 배출원이나 FAO 자료원을 검증하고 보충하기 위하여 사용할 수 있다. 국가적 차원에서, 제거된 연료재의 합은 수입수준별, 산업별, 공공시설별 측면에서의 교외와 도시 가정에 대한 지역수준의 조사를 실시함으로써 산정될 수 있다.

Tier 3

국가 차원의 연구로부터 도출된 비상업적으로 제거된 연료재를 포함하는 제거된 연료재 자료를 Tier 3모델에서 요구하는 해상도에 사용하여야만 한다. 제거된 연료재는 산림 형태와 지역에 연계되어야 한다. 임지로 유지되는 임지로부터 연료재제거의 다른 방법들은 조사를 통하여 지역적 또는 총체적 차원에서 평가되어야 한다. 연료재의 배출원은 중복이 발생하는 것을 막기 위해 확인하여야 한다.

교란요인

전 유럽국가에 대한 종류별 자연교란요인의 비율과 영향에의 자료는 다음에서 찾아볼 수 있다 (Schelhaas *et al.*, 2001), http://www.efi.fi/

지구적으로 불에 탄 면적에 대한 UNEP 자료는 다음에서 찾아볼 수 있다:

http://www.grid.unep.ch/

그러나 UNEP 자료베이스는 2000년까지만 유효하다는 것에 주목해야 한다. 많은 국가들에서 연중 불에 탄 지역의 변화정도는 크다. 따라서 이러한 수치는 대표적인 평균치를 제시하지는 않을 것이다. 많은 국가들은 자국의 교란요인 통계를 유지하고 있다 (예를 들면, Stocks *et al.* (2002)). 이는 Tier 2나 Tier 3 접근법에 적용될 수 있다 (Kurz and Apps, 2006). 또한 FRA2005 (FAO, 2005)는 교란요인에 대한 자료를 대상으로 시험되었다.

4.2.1.4 Tier 1에 대한 계산단계

기본값을 이용한 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 변화 ($\triangle C_B$)를 산정을 위한 개략적인 순서는 다음과 같다:

제 1단계: 제3장의 지침 (면적을 나타내는 접근법)을 해당국에 적용함으로써 임지로 유지되는 임지의 면적 (A)을 기후 또는 생태학적 지역별 산림유형으로 분류한다. 참고로, GPG-LULUCF

(IPCC, 2003)의 별첨 3A.1은 비교수단으로서 지방과 국가의 임지와 임지의 연간변화에 대한 국가 차원의 자료를 제공한다. 또한 대안으로서 FAO는 주기적으로 지역 자료를 제공한다.

제 2단계: 제2장의 식 2.9와 2.10을 이용한 각 산림 형태와 국가의 기후지역에 대한 면적과 바이오매스 증가분의 산정을 이용하여, 임지로 유지되는 임지에서 연간 바이오매스 증가($\triangle C_G$)를 산정한다.

제 3단계: 제2장의의 식 2.12를 이용하여 목재 제거 ($L_{목재\ 제거(량)}$)에 의한 연간 탄소(C) 감소분을 산정한다.

제 4단계: 제2장의의 식 2.13을 이용하여 연료재 제거($L_{연료재\ 제거(량)}$)로 인한 연간 탄소(C) 손실량을 산정한다.

제 5단계: 제2장의의 식 2.14를 이용하여 방애요인에 의한 연간 탄소(C) 손실량을 산정한다. 이때 목재 제거(량)와 연료재 제거(량)로 이미 포함된 손실분의 중복은 피한다.

제 6단계: 3단계에서 5단계까지의 산정된 손실분으로부터 제2장 식 2.11을 이용하여 바이오매스 감소($\triangle C_L$)로 인한 탄소(C) 저장의 연간 감소분을 산정한다.

제7단계: 제2장의 식 2.7을 이용하여 바이오매스 ($\triangle C_B$)의 탄소(C) 축적량의 연간 변화를 산정한다.

예제. 다음 예제는 제2장의 식 2.7 ($\Delta C_B = (\Delta C_G - \Delta C_L)$)을 이용한 유럽의 온대 대륙성 임지역의 임의의 국가에 대한 바이오매스 내 탄소(C) 축적량(ΔC_B)의 연간 변화의 획득-손실 방법 (Tier 1) 계산을 보여 준다 (표 4.1, 4.5절).

- 국가 내 임지로 유지되는 임지의 면적(A)은 100,000 ha이다 (제3장 지역분류 참고)
- 위 지역은 평균 지상부 축적이 40 $m^3\ ha^{-1}$인 25년 된 소 소나무림이다.
- 상업적 수피포함 수확 (H)은 1,000 $m^3\ yr^{-1}$
- 연료재로 제거된 모든 임목은($FG_{임목}$) 500 $m^3\ yr^{-1}$이다.
- 곤충으로 인한 교란면적은 2000ha yr-1이고 이에 영향 받은 지상부바이오매스는 4.0 tonne d.m. ha^{-1} 이다.

바이오매스의 연간 증가 ($\triangle C_G$)는 연간 평균 바이오매스 증가분(G_{TOTAL})과 지역면적(A)과 건조물의 탄소(C) 분율(CF)의 결과물이다; 제2장의 식 2.9 ($\triangle C_G = \Sigma ij\ (A \bullet G_{TOTAL} \bullet CF)$. 지상부바이오매스의 연간 증가량 ($G_W$), 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율 (R)과 4.5절에 기본 자료 표에서 주어진 값에 대하여 제2절의 식 2.10을 이용하여, G_{TOTAL}를 계산한다.

임의의 국가에서,

G_W = 4.0 tonnes d.m. $ha^{-1}\ yr^{-1}$ (표 4.9);

R = 0.29 tonne d.m. (tonne d.m.)$^{-1}$ 50~150 t ha^{-1} 의 지상부바이오매스 (표 4.4 지상부바이오매스는 표 4.7참고);

G_{TOTAL} = 4.0 tonnes d.m. $ha^{-1}\ yr^{-1} \bullet (1 + 0.29)$ = 5.16 tonnes d.m. $ha^{-1}\ yr^{-1}$ (식 2.10);

CF = 0.47 tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$ (표 4.3).

결론적으로, (식 2.9): $\triangle C_G$ = 100,000 ha • 5.16 tonnes d.m. ha^{-1} yr^{-1} • 0.47 tonne C $(tonne\ dm)^{-1}$ = 242,520 tonnes C yr^{-1}

바이오매스 감소($\triangle C_L$)는 연료재 제거 ($L_{연료재\ 제거(량)}$)으로 인한 연간 감소, 연료재 수집, 교란 요소의 합이다 (제2장 식 2.11).

*목재 제거(량) ($L_{목재\ 제거(량)}$)*는 제2장의 식2.12, 상업적 원목의 상층부 표피 (H), 바이오매스변환확장계수($BCEF_R$), 수확된 목제품의 수피 비율 (BF), 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율(R), 건물질의 탄소(C) 분율(CF)은 4.5절의 기본값 표를 이용하여 계산한다.

임의의 국가에서,

$BCEF_R$ = 1.11 tonnes d.m. m^{-3} (축적량 부피 40m^3 ha^{-1} 표 4.5참고);

BF = 0.1 tonne d.m. $(tonne\ d.m.)^{-1}$.

R = 0.29 tonne d.m. $(tonne\ d.m.)^{-1}$ 50~150 t ha^{-1} 의 지상부바이오매스 (표 4.4,지상부바이오매스는 표 4.7따름);

CF = 0.47 tonne C $(tonne\ d.m.)^{-1}$ (표 4.3).

$L_{목재\ 제거(량)}$ = 1,000 m^3 yr^{-1} • 1.11 tonnes d.m. m^{-3} (1 + 0.29 + 0.1) • 0.47 tonne C $(tonne\ d.m.)^{-1}$= 725.16 tonnes C yr^{-1} (식 2.12).

*연료재 제거(량) ($L_{연료재\ 제거(량)}$)*은 제2장의 식2.13, 임목 전체 목재 제거(량) ($FG_{임목}$), 바이오매스 변환확장계수($BCEF_R$), 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율 (R), 건조물의 탄소(C)분율 (CF) 4.5절의 기본값표를 이용하여 계산한다. 임의의 국가에 대하여,

$BCEF_R$ = 1.11 tonnes d.m. m^{-3} (축적량 부피 40m^3 ha^{-1} 표 4.5참고)

R = 0.29 tonne d.m. $(tonne\ dm)^{-1}$ 50~150 t ha^{-1} 의 지상부바이오매스 (표 4.4, 지상부바이오매스는 표 4.7따름);

CF = 0.47 tonne C $(tonne\ dm)^{-1}$ (표 4.3).

$L_{연료재\ 제거(량)}$ = 500 m3 yr-1 • 0.75 tonne d.m. m^{-3} (1 + 0.29) • 0.47 tonne C $(tonne\ d.m.)^{-1}$

= 336.50 tonne C yr^{-1} (식 2.13).

*교란요인 ($L_{교란}$)에 의한 바이오매스 내 연간 탄소(C) 손실량*은 제2장의 식 2.14, 교란받는 지역면적, 영향받는 평균 지상부바이오매스 (BW), 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율(R), 건조물의 탄소(C) 분율(CF), 교란요인 내 제거된 바이오매스의 분율 (fd), 4.5절의 기본값표를 이용하여 계산한다. 임의의 국가에 대하여,

R = 0.29 tonne d.m. $(tonne\ dm)^{-1}$ 50~150 t ha^{-1} 의 지상부바이오매스 (표 4.4,지상부바이오매스는 표 4.7따름);

CF = 0.47 tonne C $(tonne\ dm)^{-1}$ (표4.3); 그리고 fd = 0.3

$L_{교란}$ = 2,000 ha yr^{-1} • 4.0 tonnes d.m. ha^{-1} (1 + 0.29) • 0.47 tonne C $(tonne\ dm)^{-1}$ • 0.3

= 1,455.12 tonnes C yr^{-1} (식 2.14)

바이오매스 감소로 인한 탄소(C) 축적량의 연간 감소량 ($\triangle C_L$),

$\triangle C_L$ = 725.16 tonnes C yr^{-1} + 336.50 tonnes C yr^{-1} + 1,455.12 tonnes C yr^{-1}

= 2,516.78 tonnes C yr^{-1} (식 2.11)

바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 연간 변화 ($\triangle C_B$)

제2장의 식2.7을 이용하면, ($\triangle C_B$ = ($\triangle C_G$ $\triangle C_L$)),

$\triangle C_B$ = 242,520 tonnes C yr^{-1} 2,516.78 tonnes C yr^{-1} = 240,003.22 tonnes C yr^{-1}

4.2.1.5 불확도 평가

이번 절에서는 임지로 유지되는 임지에 대해 만들어진 인벤토리 산정과 관련한 배출원의 불확도를 고찰한다. 국가고유, 그리고/또한 분할된 값의 산정은 아래 주어진 것 보다 더 확실한 불확도에 대한 정보를 요구한다. 제1권의 제3장은 표본에 기초한 연구와 관련된 불확도에 대한 정보를 제공한다. 배출계수와 활동자료에 관한 불확도 산정에 이용이 가능한 문헌은 제한적이다.

배출과 제거계수

FAO(2006)는 산림 탄소(C) 계수에 대한 불확도 산정을 제공 한다; 기초산림밀도 (10-40%);연 산업화된 국가의 관리된 산림에서의 연간 증가 (6%); 축적량 (산업화된 국가 8%, 비 산업화된 국가 30%); 산업화된 국가의 결합된 자연적 감소분 (15%); 목재 및 연료재 제거(량) (산업화된 국가 20%).

Hakkila (1968, 1979)의 연구에 의하면 핀란드에서 소나무, 가문비나무, 자작나무의 기초 산림밀도의 불확도는 20%미만이다. 같은 종들 간의 산림 식생의 변화는 낮거나 최대한 같은 종의 개별 임목의 그것과 같아야 한다. 핀란드에서 소나무, 가문비나무, 자작나무의 바이오매스 확장계수의 불확도는 대략 10%였다 (Lehtonen *et al.*, 2003).

산림밀도와 바이오매스 확장계수의 불확도의 주원인은 식생 연령, 종조성과 구조이다. 불확도를 위하여 국가는 그들 환경에 맞는 국가 또는 지역고유의 바이오매스 확장계수와 조건에 맞는 BCEFs을 개발할 것을 권유받는다. 국가 또는 지역고유값의 이용이 어려운 경우, 기본변수의 출처를 확인해야 하며, 그들이 국가고유의 조건에 부합되는 지를 검토해야 한다.

연간 증가분 변화의 원인들은 기후와 성장환경, 토양비옥도를 포함한다. 인공적으로 재생되고 관리된 식생은 자연적 산림보다 변화정도가 덜 하다. 측정의 정확도를 향상시키기 위한 주된 방법은 산림 형태에 의해 계층화된 국가 또는 지역고유의 증가분의 적용과 관련되어 있다. 만약 증가분의 기본값이 사용되었다면, 산정의 불확도는 분명하게 제시되어야 하고 증빙되어야 한다. Tier 3 접근법은 종, 생태학적 지역, 지역 생산성, 관리강도에 의하여 계층화된 성장곡선에 사용될 수 있다. 비슷한 접근은 원목 공급 계획 모델에 의례적으로 사용되며 이러한 정보는 탄소계정 모델에 통합될 수 있다(예를 들면., Kurz *et al.*, 2002).

상업적 벌목에 대한 자료는 불완전하거나 불법벌목에 의해 편향될 수 있고 조세규제에 의한 과소평가에도 불구하고 상대적으로 정확하다. 수집되어 팔리지 않고 직접 사용되는 전통적인 목재 어떠한 통계에도 포함되지 않기 쉽다. 국가들은 이러한 쟁점에 대하여 신중하게 고려해야 한다. 태

풍이 지나가고 난 뒤와 페스트 창궐 뒤의 산림에서 제거된 목재의 양은 시간과 부피측면 모두 변화한다. 이러한 형태의 손실에 대하여는 어떠한 기본 자료도 제공되지 않는다. 이러한 손실과 관련한 불확도는 산림에서 직접적으로 회수된 손상된 목재의 양으로부터 또는 상업적 또는 타 목적으로 그 뒤 사용된 손상된 목재의 자료를 이용하여 산정될 수 있다. 만약 연료재수집이 벌목과는 별개로 다루어진다면, 관련된 불확도는 전통적인 연료재 수집에 관련하여 불확도가 높기 때문에 높아질 수도 있다.

활동자료

지역 자료는 FAO (2000)에서 또는 제3장의 지침을 이용하여 얻어야 한다. 산업화된 국가는 임지 산정의 약 3% 불확도가 산정되었다 (FAO, 2000).

4.2.2 고사 유기물

고사 유기물(Dead Organic Matter: DOM) 저장고 (낙엽층과 고사목)의 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하는 방법의 일반적인 설명은 제2장에 제시되어 있다.

이번 절은 임지로 유지되는 임지에서의 고사 유기물 저장고의 탄소(C)축적량의 변화를 산정하는 방법에 초점을 맞춘다. Tier 1 방법은 DOM 저장고의 탄소(C)축적량 순변화는 0이라 가정한다. 왜냐하면 Tier 1 방법에 이용된 간단한 입력식과 출력식들이 DOM 저장고의 역동성을 파악하는데 적합하지 않기 때문이다. DOM 역동성을 정량화하고자 하는 나라는 Tier 2나 Tier 3 방법론을 개발할 필요성이 있다. DOM이 핵심카테고리가 되는 국가는 고차 Tier를 적용하고 DOM 변화를 산정해야 한다.

고사목(Dead Wood: DW) 저장고는 굵은 임목 부스러기, 죽은 굵은 뿌리, 서있는 고사목과 그 외 죽은 물질들 내의 탄소(C)를 포함한다 (잔재물 또는 토양탄소(C)저장고은 제외). 고사목 저장고의 크기와 역동성을 산정하는 것에는 야외 측정의 문제를 포함한 많은 실질적인 한계를 가지고 있다. 일반적으로, DW 저장고에서 잔재물과 토양 저장고로 이동되는 비율산정, 대기로의 배출산정과 관련된 불확도는 크다. 고사목의 양은 식생들 간, 관리된 토지 (Duvall and Grigal, 1999; Chojnacky and Heath, 2002), 관리되지 않은 토지 (Spies *et al.*, 1988) 모두에서 상당한 차이가 있다. 시간에 따른 고사목의 양은 마지막 교란요인 때문에 감소한다. 교란이 진행되는 동안 교란기간의 바이오매스 입력(고사량)의 양, 자연적 고사량, 부패속도, 관리정도 등 가장 나중의 교란의 종류에 따라 감소하게 된다.

잔재물의 순 축적률은 비축차방법이나 획득-손실 방법을 이용하여 산정할 수 있다. 후자는 연간 낙엽(잔가지, 작은 가지, 열매, 꽃, 뿌리, 임목껍질을 모두 포함)의 양에서 잔재물의 연간 분해율을 제한 균형에 대한 산정을 필요로 한다. 부가적으로 잔재물 저장고의 크기와 구성에 영향을 주는 교란요인은 잔재물 저장고에서 탄소(C)를 더하거나 제거할 수 있다.

식생성장의 초기 단계기간동안 잔재물의 역동성은 가장 마지막 교란요소의 종류와 강도에 의존한다. 원목수확, 벌채잔재물(slash)연소, 경지 정리와 같은 관리행위는 잔재물 특성을 변화 시킨다 (Fisher and Binkley, 2000). 그러나 잔재물 탄소(C)의 관리에 영향에 대하여 명확한 자료제시를 한 연구는 거의 없다 (Smith and Heath, 2002).

4.2.2.1 방법의 선정

제2장의 그림2.3의 의사결정도는 산정작업의 시행에 있어 적합한 Tier 수준을 선택하는데 지침을 제공한다. 두 식이 같기 때문에 고사목과 잔재물 측정 방법 선정은 한꺼번에 설명한다. 그러나 각각의 저장고에 대한 계산은 따로 수행한다. DOM 저장고 내의 탄소(C) 축적량내의 변화의 산정은 고사목과 잔재물 저장고의 탄소(C) 축적량s 내의 산정을 필요로 한다 (제2장의 식 2.17참고).

Tier 1

Tier 1 방법은 고사목과 낙엽층의 탄소(C) 축적량이 평형을 이루고 있다고 가정한다. 따라서 DOM 저장고 내의 탄소(C) 축적량의 변화는 0으로 가정한다. 산림유형, 교란 또는 산림에 대한 관리정책의 중대한 변화를 겪은 국가들은 이러한 변화로 인한 영향을 Tier 2또는 3 방법론을 이용하여 정량화 하고, 축적량 변화와 비-이산화탄소(C) 배출결과를 기록하기 위하여 국내 자료를 개발하도록 노력하여야한다.

Tiers 2 and 3

고사목과 낙엽층 내의 탄소(C) 축적량 변화산정에 대하여 두 가지의 일반적인 방법이 가능하다. 바이오매스 탄소(C) 축적량의 산정에 대하여 비슷한 방법이 존재하며 DOM 변화 산정을 위한 방법의 선정은 바이오매스 탄소(C) 축적량 변화산정에 대한 방법의 선정에 의해 영향을 받을 수도 있다.

획득-손실방법: 획득-손실 방법은 특정 기간의 축적량 변화 산정을 위하여 투입의 질량균형과 고사목과 잔재물 저장고로 부터의 손실분을 사용한다. 이 방법은 임지로 유지되는 관리된 임지의 면적산정과 고사목과 잔재물 저장고로의 그리고 여기로부터 탄소(C) 축적량의 연간 이동을 포함한다.(제2장의 식 2.18) 불확도를 줄이기 위하여, 임지로 유지되는 임지하의 면적은 기후 또는 생태지역, 산림종류, 생산성, 교란체계, 관리방법에 의하여 더욱 계층화되고 또는 기타 고사목과 잔재물 저장고 역동성에 영향을 미치는 영향인자에 의해 계층화된다. 순변동량의 산정은 헥타르당 줄기 손실, 낙엽과 전도로부터의 고사목과 잔재물 저장고로의 연간 이동 그리고 분해에 의한 손실분에 기초한 계산을 필요로 한다. 부가적으로 관리 활동이나 자연적 교란에 지배를 받는 지역 내에서는 고사목과 잔재물은 바이오매스 잔여물의 형태로 더해지고 수확, 연소 또는 다른 메커니즘을 통해 변화된다. DOM에 적용된 임지의 계층화가 바이오매스 탄소(C) 축적량내의 변화의 산정을 위하여 이용된 그것과 일치시키는 것은 *우수실행(good practice)*이다 (4.2.1절).

비축차 방법: 이 방법은 *임지로 유지되는 임지*의 관리 면적 산정과 시간 그리고 두 가지 탄소(C) 축적량 산정사이의 차이계산의 관점에서의 고사목과 잔재물 탄소(C) 축적량 결정을 포함한다(제2장의 식2.19). 인벤토리 해의 연간 탄소(C) 축적량변화는 탄소(C) 축적량을 두 측정 사이 간 시간을 (년수) 나눔으로써 얻어진다. 방법 2는 표본토지에 기초한 산림 인벤토리를 가지고 있는 국가들에 한하여 적용이 가능하다. 시간의 두 지점에서의 탄소(C) 축적량의 차이로서 탄소(C) 축적량 변화를 계산하는 것은 시간 t_1과 t_2에 대한 면적이 기록된 탄소(C) 축적량이 면적의 변화로 인한 결과가 아니라는 것을 보장하기 위해 동일해야 한다.

Tier 2와 3 방법에 대하여, 위 둘의 선택사항들은 집약적인 자료와 필드측정과 실행에 대한 모델을 필요로 한다. 이러한 모델은 원목 공급 계획 과정에 쓰인 산림 역동성의 시뮬레이션에 대한 집적된 정보와 지식에 기반하여 만들어 질 수 있다 (예를 들면, Kurz et al., 2002, and Kurz and Apps, 2006).

4.2.2.2 배출/흡수계수의 선정

Tier 1

기본값으로서 임지로 유지되는 임지에서의 DOM 저장고내의 탄소(C) 축적량은 안정한 것으로 가정한다. 번갯불 중 고사목과 잔재물 저장고로부터 기원한 이산화탄소(CO_2) 배출은 0이 되는 것으로 가정하고 재성장 중 고사목과 잔재물 저장고 내의 탄소(C) 축적 또한 계수되지 않는다. 자연적 화재로 인한 non-CO_2 배출 (메탄(CH_4)과 일산화탄소(CO)를 포함)은 Tier 1에서 산정된다.

Tiers 2와 3

변수 f_{BLol} 는 땅위에서 분해되도록 남겨진 전체 바이오매스의 부분이다. 제2장의 식 2.20을 참고하라. 이동한 탄소(C)의 정확성과 분석은 손실량 계산에 적용되는 확장계수에 상응할 것이다.

f_{BLol}의 Tier 2 산정은 교란 뒤의 유지되는 탄소(C)의 평균 비율에 대한 국가 자료를 필요로 한다. 국가 자료가 불완전한 경우, 제2장은 두 개의 표를 제공 한다:

- 위 국가의 경우 ($1-f_{BL}$)로서 사용된 연소계수의 기본값은 양호한 축적량 바이오매스 자료를 가진다; 이런 경우 손실비율이 사용된다; 표2.6참고
- 축적량 바이오매스 자료의 [MB • .(1-fBL)]로서 사용된 제거된 바이오매스 기본값은 신뢰도가 낮다 (제2장의 표 2.4와 식 2.27 참고).

살아있는 임목 내의 탄소(C)의 이동에 대한 국가고유의 값은 산림유형(침엽수림/활엽수림/혼효림),바이오매스 이용율, 수확작업과 수확 작업 중 손상된 임목의 양을 고려한 국가 확장계수로부터 도출될 수 있는 수확잔여물로서 수확된다.

수확과 자연적 교란 둘 다 바이오매스를 고사목과 잔재물 저장고에 추가시킨다. 다른 관리 시행(수확잔재물의 연소와 같은)와 마른번개는 고사목과 잔재물 저장고로부터 탄소(C)를 제거한다. 만약 각각의 관리 시행하의 지역과 교란에 의해 영향받는 산림의 형태가 알려져 있다면, 교란 매트릭스는 (제2장의 표2.1을 보라;Kurz et al., 1992)각 교란 형태에 대하여 각각의 바이오매스비율, 고사 유기물비율과 토양 탄소(C) 저장고(다른 저장고이나 대기중 또는 수확기간 동안 산림에서 제거되어 이동하는)의 비율 을 정의하는데 사용될 수 있다.

f_{BLol}의 Tier 3 산정은 화재와 태풍 등에 의한 교란에 의한 빠른 제거의 비율에 의 더욱 상세한 지식을 필요로 할 것이다. 자료는 현지측정 또는 비슷한 교란에 대한 연구로부터 얻어져야 한다. 교란 모형 (제2장의 표 2.1참고)은 각각의 교란 형태에 대한 다른 탄소(C) 저장고, 대기 중 방출 또는 수확된 목재생산품으로 이동한 바이오매스 (그리고 모든 탄소(C) 저장고)의 비율을 정의하기 위하여 개발되어 왔다 (Kurz *et al.*, 1992). 교란 매트릭스는 수확의 즉각적인 영향이나 생태계 탄소(C)에 대한 교란을 계산할 때 탄소(C)의 보존을 보장한다.

Tier 3 방법은 더 복잡한 산림 탄소(C) 설명모델에 따른다. 이는 각 산림종류, 생산성과 연령-계층

에 대한 고사 유기물 저장고로부터 투입과 손실의 비율을 탐지한다. 고사 유기물 저장고의 재측정을 포함하는 총체적인 산림 인벤토리가 존재하는 곳에서 탄소(C) 축적량 변화의 산정은 제2장의 식2.19에 설명된 저장-차이 접근법을 이용하여 도출해 낼 수 있다. 주기적인 샘플링과 병행한 인벤토리에 밑바탕을 둔 접근을 제3장의 별첨 3A.3에서 제시된 원리에 따르는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 산림인벤토리에 근거한 접근은 모델과 모든 산림 탄소(C)의 저장고의 동태와 연계할 수 있다. Tier 3 방법은 낮은 수준의 Tier보다 높은 확실성을 가진 산정을 제공하며 바이오매스의 역동성과 고사 유기물 탄소(C) 저장고 간의 높은 연관성을 가진 수치를 제공한다. 고사목과 잔재물 탄소(C) 축적 모델링에서의 다른 중요한 변수들은 산림 종류와 기후 조건에 따라 변하는 부패율과 산림관리방법 (예를 들면, 관리 산불, 간벌 등 여러 형태의 부분적 수확) 등이 있다.

4.2.2.3 활동자료의 선정

Tier 1 방법을 이용하는 국가들은 임지로 유지되는 임지 내 DOM저장고의 탄소(C) 축적량 변화의 산정에 대한 활동자료를 필요로 하지 않는다.

더 높은 수준의 Tier를 이용하는 국가들은 임지로 유지되는 임지(중요한 산림의 종류, 관리방법과 교란양식에 따라 분류된) 면적에 대한 활동자료를 필요로 한다. 총 산림면적과 다른 활동자료는 이번 장의 다른 절에서 기록된 내용 특히 임지로 유지되는 임지의 바이오매스 절(4.2.1절)과 일관성을 가져야 한다. 지역에 대한 국가특정 활동자료는 해마다 수확과 국가 모니터링 프로그램에서 도움이 될 수 있는 교란요소에 의하여 영향을 받는다. 국가 토양 및 기후 자료, 식생 인벤토리, 기타 지구 물리학상의 자료와 결합되어 이용될 수 있다면, DOM 내의 탄소(C) 축적량내의 변화의 평가는 상당히 용이해진다.

자료 출처는 국가의 산림 관리체계에 따라 달라질 수 있다. 자료는 개별 사업자 또는 회자, 규제당국, 산림인벤토리와 관리에 책임이 있는 정부 기관 및 연구기관으로부터 축적 될 수 있다. 자료 포맷은 폭넓게 변하고 주기적으로 인센티브 프로그램에서 제출되는 활동도 기록 또는 규제, 산림관리 인벤토리에 의해 얻어지는 것, 원격탐사영상을 이용하는 모니터링 프로그램에 의한 것들을 포함한다.

4.2.2.4 Tier 1에 대한 계산단계

Tier 1은 임지로 유지되는 임지에 대한 DOM내의 변화가 없다고 가정하기 때문에 계산단계에 대한 지침은 관련이 없다.

4.2.2.5 불확도 평가

정의에 의한 Tier 1은 안정한 탄소(C) 축적량을 가정하므로 이전의 불확도 분석은 적절하지 않다. 사실상 가정은 입목단계에 대하여 거의 참이 아니고, 임지로 조성된 결관에 대하여 결과오차가 작아질 수 있다하더라도 일반적으로는 참이 되기 어렵다. 왜냐하면 어떤 식생 내에서의 증가는 다른 부분에서의 감소로 인해 상쇄될 수 있기 때문이다. 그러나 전체적인 경관이나 국가차원에서 고사 유기물 저장고은 증가하거나 혹은 감소할 수 있다. 어떤 국가의 산림 내에서 발생하는 변화의 종류를 이해한다는 것은 고사 유기물 저장고 내의 변화의 방향으로의 어떤 질적인 고찰을 제공한다. 예를 들면 어떤 국가 내에서 바이오매스 성장 축적량들은 수확과 교란손실이 성장증가분보다 작

기 때문에 증가하고 있다. 이는 Tier 2 또는 3 산정방법이 사용되지 않았다면, 증가속도 알려지지 않았음에도, 고사 유기물 저장고 또한 증가할 수 있다.

전 탄소(C)손실이 연간교란에 의해 발생한다고 가정하는 방법을 사용하는 국가들은 평균이상 교란이 발생한 해의 교란 손실을 과대산정하고 평균이하 교란이 발생한 해의 실제 배출에 대한 과소산정하기 쉽다. 상당히 일정한 수확과 교란이 있는 국가의 경우에는 이러한 방법으로 산출하면 실제 순탄소 저장량의 변화에 가까운 값을 얻게 된다.

고차의 Tier 방법을 이용한불확도 평가는 각 국가에 대한 전문가의 판단을 이용하여 평가해야한다. 일반적으로, 고사 유기물 내의 탄소(C) 축적량의 변화 산정에 대한 불확도가 바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 변화 산정에 대한 불확도보다 크다고 가정하는 것은 타당하다. 왜냐하면 대부분의 국가에서 상당히 많은 자료가 고사 유기물 축적량에 대한 것 보다는 바이오매스 축적량에 대하여 이용가능하기 때문이다. 더욱이 바이오매스 역동성을 묘사하는 모델들이 일반적으로 고사 유기물 역동성에 대한 모델보다 더 발전되어 있기 있다.

산림생태계의 비-원목 구성요소에 대한 이해의 중요성이 증가하고 있어, 다수의 국가들이 자국의 인벤토리 작업을 수정하고 있다. 고사 유기물량과 그 동태에 대한 자료가 더 많이 얻어지면, 인벤토리를 작성하는 기관들은 앞으로 고사 유기물량을 구분하고, 정량화하고 불확도를 감소시키는 일을 더 잘 수행할 수 있을 것이다.

4.2.3 토양탄소

이번 절은 국가고유 산림 토양 탄소(C) 축적량내의 변화를 산정하기 위한 산정과정과 *우수실행(good practice)*에 대하여 상세히 설명한다. 이는 고사 유기물 저장고에 해당하는 산림 잔재물은 포함하지 않는다. 다음의 2종류의 산림 토양에 대한 차별화된 지침이 제공 된다: 1)무기 산림 토양, 2)유기 산림 토양

무기 산림 토양의 유기 탄예상된다 (Li and Apps, 2002; de Groot *et al.*, 2002). 부가적으로 유기토양 산림 식생의 배수도 토양 탄소(C) 축적량을 감소시킨다.

토양 탄소(C) 축적량 변화 산정에 대한 일반적인 정보와 지침은 제2장의 2.3.3절에서 찾을 수 있으며 산림토양 탄소(C) 축적량을 다루는 특정지침을 진행하기 전에 숙지하여야한다. 산림과 관련된 토양 탄소(C) 축적량 내의 변화는 제2장의 식 2.24 (무기 토양과 유기토양에 대한 토양유기탄소(C) 축적량의 변화와 Tier 3에 국한된 토양 무기탄소(C) 저장고의 축적량변화를 결합한 식)를 이용하여 계산한다. 이번 장은 국가고유의 산림토양탄소(C) 유기물 축적량 내의 변화 산정에 대한 산정작업과 *우수실행(good practice)*에 대하여 자세히 설명한다 (이는 고사 유기물 등 산림잔재물은 포함하지 않는다). 차별화된 지침이 2종류의 산림토양에 대하여 제공된다: 1) 무기산림토양 과 2) 유기 산림토양. 토양 무기탄소(C)에 대한 일반적인 사항은 2.3.3.1절을 참고하라 (아래의 임지에 대한 논의에 대한 추가적인 정보는 제공되지 않는다).

임지로 유지되는 임지와 관련된 토양 탄소(C) 축적량 내 변화에 대하여 설명하기 위하여 각 국가들은 최소한 인벤토리 기간의 시작과 끝 시점에서 기후지역과 토양종류에 의해 통계화된 총 산림면적 산정치를 보유하고 있어야 한다. 만약 토지이용과 관리 활동자료가 제한적이라면 접근 1 활동자료 (제3장 참고)는 Tier 1 접근법의 기초로서 사용될 수 있다. 그러나 상위 Tier는 산림 관리체계의 대략적인 교란에 대한 국가 전문가의 지식이나 더욱 상세한 자료가 필요하다. 임지 층위는

기후지역과 중요 토양 종류에 따라 계층화되어야 한다. 이는 적합한 기후와 토양 지도의 중첩으로 완성될 수 있다.

4.2.3.1 방법의 선정

인벤토리는 Tier 1 ,2 혹은 3 접근을 이용하여 개발될 수 있고 각 국가들은 무기 토양과 유기 토양에 대하여 차별적인 tier의 사용을 선택할 수 있다. 제2장의 의사결정도는 인벤토리 편집자들이 토양 탄소(C) 인벤토리에 대한 적절한 Tier의 선택하는 것을 돕기 위하여 무기토양 (그림 2.4)과 유기 토양 (그림 2.5)에 대하여 제공된다.

무기토양

산림 종류와 관리행위, 토양 유기탄소(C)에 대한 다른 교란들의 영향에 대한 문헌자료의 증가에도 불구하고, 사용가능한 증거는 상당부분이 특정지역과 특정연구에 한정되어 있다. 그러나 결국 기후조건, 토양조성, 관심대상이 되는 시간범위 등의 영향과 표본강도와 차별적인 토양 깊이 증가에의 영향을 바탕으로 하여 일반화 한다 (Johnson and Curtis, 2001; Hoover, 2003; Page-Dumroese *et al.*, 2003). 그러나 최근의 기록은 산림 형태와 관리, 기타 교란요소와 관련된 무기산림토양 내 탄소(C) 축적량 변화의 방향과 강도 모두에 대하여 미결상태로 남아있으며 광범위한 일반화작업에 어려움이 있다.

Tier 1

불완전한 과학적 기초와 불확도 결과에 의거하여, Tier 1 방법에서 산림토양탄소(C) 축적량 경우 관리에 의한 변화는 없다고 가정한다. 더욱이 접근법 2 또는 3 활동자료를 사용할 경우 (제3장 참고) 무기 토양에 대한 탄소(C) 축적량 변화를 계산하기 위해 이는 불필요하다 (SOC 축적량의 변화는 0이다).

만약 접근법 1을 통해 수집된 활동자료를 이용한다면, 임지로부터 그리고 임지로 전용된 토지의 양을 확인 하는 것은 불가능 하다. 그러면 인벤토리 편집자는 인벤토리가 산정된 당해 말의 면적과 흡수 또는 산림 토양의 손실의 차이산정을 이용하여 임지에 대한 토양탄소(C)를 산정해야 한다. 임지의 토양 탄소(C) 축적량 내 변화는 토지 이용변화에 의한 영향을 산정하기 위하여 다른 토지 이용에 대한 축적량 내 변화와 합해진다. 만약 편집자가 임지에 대한 축적량을 계산하지 않는다면, 인벤토리 내 계통오차를 범하기 쉽다. 예를 들면, 임지로부터 농경지나 초지로 전용된 토지는 인벤토리의 마지막 해에서 산정된 토양 탄소(C) 축적량을 가지나 인벤토리의 첫 해의 축적량은 가지지 못한다 (산림이었을 경우). 결과적으로 농경지나 초지로의 전환은 토양 탄소(C)의 증가로서 산정 된다. 왜냐하면 토양 탄소(C) 축적량은 임지에서 0으로 가정하였기 때문이다. 그러나 농경지나 초지에서는 그렇지 않다. 이는 인벤토리 산정을 편향되게 만든다. SOC_0와 $SOC_{0\text{-}T}$ 제2장의 식 2.25를 이용하여 토양 표층의 30 cm에서 산정한다. 임지 내 노출된 기반암 지역은 토양 탄소(C) 축적량 계산에 포함되지 않음을 주지하라.

Tier 2

제2장의 식2.25를 이용한 토양유기탄소(C) 축적량은 토양탄소(C) 축적량 참고문헌과 산림형태에 대한 국가고유 축적량 변화계수(FI), 관리(FMG),자연적 교란정도(FD)에 기본을 두고 계산된다. 자연적 교란정도의 축적량변화계수(FD)는 식 2.25의 토지이용계수(FLU)를 대신한다. 부가적으로 국

가특정정보는 탄소(C) 축적량 인용값, 기후지역, 토양형태, 그리고/또한 토지 관리 분류화 시스템을 더 자세히 설명하기 위해 함께 쓰일 수 있다.

Tier 3

Tier 접근은 모델 결과의 평가와 국내 모니터링 체계 그리고 또한 모델링 툴을 포함한 정확하고 총체적인 국내 산정 방법론의 개발을 고려한 상당한 지식과 자료를 필요로 한다. 국가고유 접근의 기본 요소들은 다음과 같다.(adapted from Webbnet Land Resource Services Pty ltd, 1999)

- 인벤토리 내 다른 탄소(C) 저장고에 특히 바이오매스에 대하여 사용된 기후지역, 주요 산림종류, 관리정책에 의한 계층화
- 각 층의 우점 토양 종류의 결정
- 토양 탄소(C) 저장고에 대한 특성화, SOC 투입과 산출 비율에의 결정단계와 진행조건의 확인
- 각 계층의 조작 기본 상태에서의 임지토양탄소(C)축적량 변화 산정 (모델평가작업과 방법론적인 고려를 포함)을 위한 적절한 방법의 결정과 실행은 모니터링 활동의 조합과 (예들들어 반복된 산림토양 인벤토리) 모델링연구, 벤치마크 지역의 설정 등을 포함할 것으로 예측된다. 양호한 토양 모니터링 실행에 대한 더 자세한 지침은 과학문헌에서 이용가능하다 (Kimble et al., 2003, Lal et al., 2001, McKenzie et al., 2000).

유기토양

Tier 1

최근에 산림 유기토양의 배수로 인한 탄소(C) 배출만을 Tier 1 방법 내에서 설명하였는데, 이는 더 정교한 기본 방법론의 개발을 구속하는 자료 한계와 충분한 정보의 부족 때문이다. 제2장의 식 2.26을 이용하여 배수된 산림 유기토양은 기후종류에 의하여 계층화되고 연간 탄소(C) 배출의 산정으로부터 유도된 기후고유의 배출계수와 곱해진다. 임지로 전용된 지역은 토지 이용변화를 확인할 수 있는 접근법 1 토지설명을 이용하여 추가 정보 없이 전체 지역 산정에 포함될 수 있다.

Tier 2

Tier 2에 대하여 Tier 1에서(식2.26)같은 기본 공식이 사용된다. 그러나 국가고유의 정보는 배출계수, 기후지역, 그리고/또한 유기 토양과 관련된 산림분류체계의 개발을 더 자세히 설명하기 위해 함께 이용될 수 있다.

Tier 3

Tier 3 방법론은 산림화된 유기토양의 관리(수문학적 체계, 지표온도, 산림화된 유기토양의 식생구성을 포함하는 모든 인간 활동과 화재와 같은 주요 교란요인을 포함)와 관련된 이산화탄소(C) 배출산정을 포함한다.

4.2.3.2 축적량의 변화와 배출계수의 선정

무기 토양

Tier 1

접근2 또는 3의 활동자료를 가지고 임지로 유지되는 임지에 대한 축적량 산정을 계산하는 것은

불필요하다 (제3장을 보라). 만약 접근1 활동자료를 이용한다면, 투입, 관리와 교란체계 등을 포함한 축적량 변화 계수는 Tier 1 접근을 이용한 1과 같아진다. 결론적으로 이 방법을 적용하기 위해서는 참조 탄소(C) 축적량만이 필요하고 이 자료는 제2장의 표 2.3에 제시되어있다.

Tier 2

Tier 2 접근에서는 축적량 변화 계수들은 관리, 산림종류와 자연적 교란체계에 대한 국가고유 분류계층을 바탕으로 하여 도출된다. Tier 2 접근은 또한 국가고유 탄소(C) 축적량 과 Tier 1 방법에서 제공된 기본 항복보다 더 자세한 기후와 토양의 분류를 포함하여야 한다.

산림 SOC와 영향 받은 산림의 면적을 고려한 가장 광범위한 총체적인 영향을 가지는 계수들에 초점을 맞추는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 관리방법은 조악하게나마 집약적(예, 플랜테이션 임업) 또는 대규모 (예, 자연적 산림)로서 이름붙일 수 있다; 이들 카테고리는 국가별 환경에 대하여 재정의 될 수 있다. 축적량변화계수의 개발은 실험적 지역과 모사되고 짝은 이룬 지역비교를 포함하는 표본 plot에 바탕을 두게 된다 (Johnson *et al.*, 2002; Olsson *et al.*, 1996; Johnson and Curtis, 2001; Hoover, 2003). 실제로는 다른 산림종류, 관리방법, 교란체계의 영향을 분리하는 것은 불가능 할 지도 모른다.

만약 어떤 국가가 다른 관리체계하의 산림종류별 잘 정리된 자료를 가지고 있다면, 탄소참조축적과 조절계수를 사용하지 않고 토양 유기 탄소(C) 산정을 직접적으로 유도할 수 있다. 그러나 탄소참조축적과의 관계는 정립되어야 토지용도변경의 영향은 C 축적량내의 다양한 토지이용 카테고리에 대한 방법내의 일관성 부족으로 인한 인공적인 증감을 제외하고 계산할 수 있다 (즉, 임지, 농경지, 초지 그리고 다른 토지).

인벤토리는 국가특정 탄소(C) 축적량 (SOCref)를 유도함으로써 개선될 수 있고, 발표된 연구와 조사로부터 축적될 수 있다. 이러한 값들은 전형적으로 개발 그리고/또한 방대한 토양단면 데이터베이스의 편집을 통하여 얻어질 수 있다.(Scott *et al.*, 2002; Siltanen *et al.*, 1997) 축적량 변화계수와 탄소참조축적량을 위한 추가적인 지침은 제2장의 2.3.3.1절에 제시되어 있다.소(C) 구성은 (1m 깊이까지) 전형적으로 산림 종류와 기후조건에 따라 20에서 300이상 tonnes C ha^{-1}사이에서 변한다 (Jobbagy and Jackson, 2000). 전 지구적으로 무기 산림 토양은 대략 700 Pg 탄소(C)를 포함한다 (Dixon et al., 1994). 그러나 토양 유기 탄소(C) 저장고는 시간이 지남에 따른 탄소(C) 투입과 출력간의 차이로 인하여 정적이지 않다. 투입은 산림 생산성, 잔재물 자체와 무기토양과 결합한 잔재물 그리고 무기화/호흡을 통한 차후 손실분에 의해 폭 넓게 결정된다 (Pregitzer, 2003). 토양 유기탄소(C)의 다른 손실들은 유기탄소(C)의 부식 또는 지하수로의 용해를 통해 또는 지표수에 의한 손실을 통해 발생한다. 투입의 상당한 비율은 토양 산림 내 지상부 잔재물로 부터 유래한다. 따라서 토양 유기물질은 표층토양 내 (표층 30 cm내 약 토양 유기탄소(C)의 절반 정도)축적되기 쉽다. 토양층 상부에 포함된 탄소(C)는 가장 화학적으로 분해가 잘되고 가장 직접적으로 자연적 또는 인위적 교란에 노출된다. 이번 국가고유의 토양 탄소(C)만을 다루며 분해되는 잔재물은 다루지 않는다 (고사 유기물에 대하여는 4.2.2절 참고).

인간 활동과 산림 종류, 생산성, 분해율과 교란요소 등의 변화 같은 다른 교란 들은 산림 토양의 탄소(C) 역동성에 변화를 줄 수 있다. 순환기간; 임목 종의 선택; 배수; 수확작업 (전체 임목 또는 잘려진 임목, 재생, 부분적 절단 또는; 토지 준비 활동 (불 놓기, 토양 고르기); 그리고 비옥화 등과 같은 차별적인 산림 관리 행위는 토양 유기탄소(C) 축적량에 영향을 미친다 (Harmon and Marks, 2002; Liski *et al.*, 2001; Johnson and Curtis, 2001). 교란 정책 내의 변화 특히 심각한 산불발생, 질병 창궐, 기타 식생교체들 또한 산림 토양 탄소(C) 저장고를 변화시킬 수 있을 것으로

Tier 3

연속적인 축적량 변화속도계수들(per se)은 토지이용과 관리영향을 더 정확하게 파악해 내는 가변적인 속도를 위하여 산정되는 것은 아니다. 이상의 논의는 제2장의 2.3.3.1절을 보라.

유기토양

Tier 1

유기 토양의 배수와 관련된 탄소(C)손실분을 산정하기 위한 기초 배출계수는 4.5절의 표4.6에 제시되어 있다.

Tier 2

Tier 2 접근은 국가특정자료로부터의 배출계수의 유도과정을 포함한다. 주안점은 산림종류이던 관리방법이던 간에 부가적으로 기후지역이 세분화된 계층으로 다시 나누어 질 것이라는 점이다. 이러한 판단은 탄소(C)의 손실속도의 중대한 차이를 대표하는 실험적 자료에 의할 수 있다. 부가적으로 관리행위는 유기토양 하의 탄소(C) 역동성을 붕괴시킬 수 있다.예를 들어 수확은 방해, 증발, 증산이 감소하기 때문에 인하여 지하수위를 높일 수 있다 (Dub *et al.*, 1995).

Tier 3

연속적인 배출속도계수 자체는 토지이용과 관리영향을 더 정확하게 포착해 내는 가변적인 속도를 위하여 산정되는 것은 아니다. 이상의 논의는 제2장의 2.3.3.1절을 보라.

4.2.3.3 활동자료의 선정

무기 토양

Tier 1

Tier 1 접근에서, 산림 토양의 탄소(C) 축적량은 관리 형태에 따라 변하지 않는다고 가정한다. 그러므로 산림을 다양한 종류, 관리계층 또는 자연적 교란체계로 분류하는 것은 불필요하다. 그러나 만약 접근법 1 활동자료 (제3장을 보라.)를 사용한다면, 임지의 적절한 탄소참조축적량을 적용하기 위하여, 국가를 기후 지역과 토양종류로 분류한 환경에 관한 자료를 필요로 한다. 기후 분류 계획 기본값에 대한 자세한 설명은 제3장의 별첨 3.A.5에 주어져 있다. 만약 기후 종류로 분류하기 위하여 필요한 정보가 국가 자료베이스에서 사용가능하지 않은 경우, UNEP(United Nations Environmental Program)과 같은 국제적인 자료 배출원이 있다. 또한, 자료는 토양을 제3장에 주어진 기본 카테고리로 분류하기 위하여 필요하다. 그리고 만약 토양 종류를 지도로 작성하기 위한 국가 자료가 이용가능하지 않은 경우, FAO Soils Map of the World과 같은 합리적인 대안인 국제적인 토양 자료가 제공된다.

Tier 2

Tier 2접근에 대한 활동자료는 주요한 산림 종류, 관리행위, 교란체계와 상기의 것들이 적용되는 면적으로 구성되어 있다. 자료는 산림이 존재하는 국가 산림 인벤토리와 연결된 것 그리고/또한 국가 토양 및 기후 자료베이스와 연결된 것이 선호된다. 전형적인 변화양상은 다음을 포함 한다: 관리되지 않은 산림에서 관리된 산림으로의 전환; 본래 산림에서 새로운 산림종류로의 전환; 지역 예비조사, 임목 가꾸기, 순환주기의 변화와 같은 산림 관리행위의 강화; 수확방법의 변화 (임목줄

기 수확 vs 전체 임목 수확; 현장에 남은 잔재물의 양); 교란의 빈도(해충 및 질병의 창궐, 홍수, 화재 등).

자료출처는 해당 국가의 산림 관리체계에 따라 다양해진다. 그러나 이는 개별적인 사업자 또는 회사, 법적인 산림당국, 산림 인벤토리에 책임을 지는 연구학회 및 기관 등을 포함할 수 있다. 자료형태는 매우 광범위 하고 활동도 기록, 산림 관리 인벤토리, 원격탐사영상 등을 포함한다.

부가적으로, Tier 2는 국가 기후 및 토양 자료에 바탕을 둔 기후지역과 토양 종류를 포함하는 Tier 1 접근보다 상세한 환경 자료의 계층화를 수반한다. 만약 상세한 분류 계획이 Tier 2 인벤토리에 적용된다면, 또한 탄소참조축적량은 더 자세한 기후지역과 토양종류에 대하여 유도되어야 한다. 그리고 토지 관리 자료는 국가고유 분류에 바탕을 두고 계층화되어야 한다.

Tier 3

동적 모델의 적용 그리고/또는 Tier 3 내 인벤토리에 기초한 직접측정에 대하여, Tier 1 및 Tier 2와 비교하여 기후, 토양, 지형과 관리자료를 결합한 비슷하거나 혹은 더 자세한 자료가 필요하다. 그러나 정확한 필요조건은 모델 또는 측정계획에 의한다.

유기토양

Tier 1

Tier 1 방법을 사용할 때, 산림은 다양한 체계로 계층화되지 않는다. 그러나 토지면적은 기후지역과 토양종류(제3장의 토양 및 기후 분류에 대한 지침을 참고)에 의하여 계층화되어야 할 필요가 있다. 그래서 유기토양은 구별될 수 있으며 적합한 기초 배출계수가 적용된다.

Tier 2

Tier 2 접근법은 어떤 의미로는 유기토양에 대한 국가-특정 배출계수와 일치하여 관리형태, 산림종류 혹은 교란체계에의 상세한 계층화를 수반할 수도 있다. 예를 들어, 산림생태계는 만약 관리계수들이 배수 종류에 의하여 유도된다면, 배수에 의해 계층화될 필요가 있다. 그러나 분류작업이 제안된 카테고리에 대한 탄소(C) 변화의 속도의 중대한 차이를 표현하는 경험적인 자료에 바탕을 두는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 부가적으로, Tier 2 접근법은 기후지역에 대한 상세한 계층화를 수반하여야 한다.

Tier 3

동적 모델의 적용 그리고/또는 Tier 3 내 인벤토리에 기초한 직접측정에 대하여, Tier 1 및 Tier 2와 비교하여 기후, 토양, 지형과 관리자료를 결합한 비슷하거나 혹은 더 자세한 자료가 필요하다. 그러나 정확한 필요조건은 모델 또는 측정계획에 의한다.

4.2.3.4 Tier 1에 대한 계산단계

무기토양

Tier 1이 임지로 유지되는 임지에 대하여 무기토양 탄소(C) 축적량 내 변화가 없다고 가정했으므로, 계산단계에 대한 지침은 제공되지 않는다.

유기토양

제 1단계: 관리된 산림 하에서 배수된 유기토양의 면적을 해당 국가의 각 기후지역에 대하여, 인벤토리 기간의 각 해 또는 마지막 해에 대하여 산정한다 (예를 들면, 1990년과 2000년 사이의 인벤토리 시간에 대한 배출은 2000년 토지이용을 기본으로 할 수 있다. 토지이용과 관리는 인벤토리 기간 동안 이들 두 해에 대하여만 알려져 있다고 가정한다).

제 2단계: 연간 이산화탄소(CO_2)손실 (표 4.6)에 대한 적합한 배출계수(EF)를 고른다.

제 3단계: 면적(A)의 생산 합과 전체 기후지역에 대한 배출계수(EF)를 곱하여 총 배출을 산정한다.

4.2.3.5 불확도 평가

토양 탄소(C) 인벤토리 내 존재하는 불확도의 세 가지 중요한 출처는 다음과 같다. 1) 토지이용, 관리행위, 환경 자료에 대한 불확도 2) Tier 1 또는 2 접근을 이용한 경우(무기토양에 한정), 탄소 참조축적량에 대한 불확도 3)Tier 1 또는 2 접근에 대한 축적량 변화/배출계수, 접근법에 기초한 Tier 3 모델에 대한 모델구조/변수 오차, 또는 인벤토리에 기초한 Tier 3산정과 관련된 측정오차/ 샘플링 다양성에 대한 불확도.

일반적으로 위 세 가지 중요한 카테고리 값의 산정을 위한 샘플링으로 인하여 인벤토리의 정밀도는 높아진다 (즉 신뢰구간이 더 작아짐). 부가적으로 편향을 줄이는 것은 (즉 정확도를 높이는 것은) 국가고유 정보와 함께 이용되는 상위 수준의 Tier 인벤토리의 개발을 통하여 달성될 수 있을 것이다.

Tier 1에 대하여, 불확도는 표2.3 (제2장)의 첫 번째 각주의 탄소(C) 축적량 인용값에 주어져 있다. 그리고 유기토양에 대한 배출계수 불확도는 국가-특정4.5의 표4.6에 주어져 있다. 토지이용과 관리 자료에 대한 불확도는 인벤토리 편집자에 의하여 설명되어야 하며 단순오류확산식 (the simple error propagation equations)과 같은 적절한 방법을 이용하여, 기본 계수와 탄소(C) 축적량 인용값 (무기 토양에만 해당)에 대한 불확도와 결합되어야 한다. 토지 면적 산정에 대한 불확도 산정에 대한 국가-특정4.2.1.5를 참고하라. 그러나 인벤토리 편집자가 표준 수준을 이용하는 대신 국가 고유 활동자료로부터 불확도를 유도하는 것은 바람직하다.

무기토양에 대한 탄소참조축적량, 기본값과 유기토양에 대한 배출계수는 어떤 국가에 적용할 경우, 기본적으로 높은 불확도를 가질 수 있고 부분적으로 치우칠 수 있다. 기본값은 토지이용과 관리영향 또는 지역-특성 값으로부터 다양해지는 탄소참조축적량의 전 지구적인 평균값을 의미한다 (Powers et al., 2004; Ogle et al., 2006). 치우침은 Tier 2 방법을 사용한 국가고유 계수를 유도하거나 Tier 3 국가특성 산정 체계를 개발함으로써 감소시킬 수 있다. 고차의 Tier 접근에 대한 기본 원리는 토양 탄소(C)에 대한 토지이용과 관리의 영향을 설명하는 국가 또는 근접지역에 대하여 조사될 수 있다. 부가적으로 기후지역의 변화 그리고/또는 토양종류와 같은 토지이용과 관리영향에의 중요한 국가 내 차이를 고려함으로서 치우침을 최소화하는 것은 계수 산정의 정확도를 조금 떨어뜨린다 하더라도 (Ogle et al., 2006), 더 바람직하다. 치우침은 축적량 변화 기록에 있어 더욱 문제가 되는 부분으로 간주된다. 왜냐하면 이는 불확도 카테고리 내에서 포착되기 어렵기 때문이다. (즉, 만약 계수에 중대한 치우침이 있다면, 축적량 변화의 참값은 기록된 불확도 카테고리 밖이 될 수 있다.)

토지이용 활동도 계층화의 불확도는 추가적인 표본 샘플 위치 그리고/또한 추가적인 적용범위를

제공하기 위한 원격탐사와 함께 이용하는 지표에 기반한 조사의 개발 또는 확장과 같은 더 나은 국가 체계를 통하여 개선될 수 있다. 국가 스케일에서 불확도를 최소화하기위한 충분한 표본 크기를 가지고 토지이용과 관리행위의 대부분을 포함하는 계층화를 계획하는 것은 바람직하다.

Tier 2 방법에 대하여, 국가특성 정보는 치우침을 줄이기 위한 목적의 인벤토리 분석과 함께 이용된다. 예를 들어, Ogle et al. (2003)는 US 특정계수, 활동자료와 경작용 토양에 대한 기준 탄소(C) 축적량에 대하여 확률분포함수를 고안하기 위하여 국가특성자료를 활용했다. 탄소참조축적량 또는 토지이용, 관리 활동자료 등 계수들 간 상관성을 평가하는 것은 바람직하다. 부분적으로, 토지이용과 관리 활동자료간의 강한 상관성은 일반적이다. 왜냐하면 관리행위는 시간과 공간에 영향을 받기 쉽기 때문이다. 축적량 변화, 배출계수, 탄소참조축적량, 활동자료에 대한 불확도를 결합하는 것은 단순오류확산식 또는 몬테 카를로 방식과 같은 방법을 사용함으로서 가능하다.

결과산정의 불확도와 연관된 정량화에는 영향을 주기 어렵다. 몬테 카를로 분석은 가능하나(Smith and Heath, 2001), 만약 모델이 많은 변수를 가질 경우 적용이 어려울 수 있다 (어떤 모델은 수백개의 변수를 가질 수도 있다). 모니터링 네트워크에서 측정된 결과와 모델을 통한 결과사이의 관계에 대한 통계적 평가에까지 사용하는 경험에 기반한 접근(Monte et al., 1996)과 같은 방법도 또한 이용가능하다. 모델링과 반대로, Tier 3에 기반한 측정에의 불확도는 표본 변화, 측정오차, 불확도와 관련된 다른 원인에서부터 결정될 수 있다.

4.2.4 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 온실가스의 배출

산불은 산림으로부터 non-CO_2 가스 배출에 주된 영향을 미친다. 또한 임지로 유지되는 임지에서, 바이오매스 연소로 인한 이산화탄소(CO_2) 배출 또한 설명되어야 한다. 왜냐하면 이는 일반적으로 이산화탄소(CO_2) 흡수율과 동시에 발생하는 것이 아니기 때문이다. 산불 후 조성된 식생과 열대지역에서 전환경작주기는 매우 중요하다.

산림의 종류가 바뀌는 곳에서는(예를 들면 원시림에서 재배형 산림으로의 전환) ,만약 전환기간 동안 상당량의 임목 바이오매스가 연소되었다면 그에 한하여, 첫 해 동안 바이오매스 연소로 인한 순 이산화탄소(CO_2) 배출이 있을 수 있다. 그러나 시간이 지남에 따라 그 영향은 임지에서 농경지나 초지로 전환된 결과로 인한 영향보다 더 크지는 않다. 만약 제한된 접근1 토지면적 표현이 토지이용전환을 명백히 구분하기위한 부가적인 자료 없이 이용된다면, 토지이용전환기간 동안 화재배출은 새로운 토지이용 카테고리로 포함된다. 이 경우 임지로 부터의 화재배출은 모두 임지로 유지되는 임지 카테고리에 포함되어야 한다.

임지로 유지되는 임지와 임지로 전환된 토지의 온실가스배출을 산정하기 위한 일반적인 방법은 제2장의 식2.27에 설명되어있다. Tier 1 접근에 대한 기본값 표 또는 Tier 2 접근의 구성요소는 제2장의 2.4절에 제시되어 있다.

4.2.4.1 방법의 선정

국가들이 제2장의 그림 2.6에 제시된 의사결정도에 기반하여 화재로 인한 온실가스배출을 기록하기 위한 적합한 Tier를 선정하는 것은 바람직하다. 화재가 핵심카테고리가 되는 국가에서는 Tier2 또는 Tier3접근을 이용하여야 한다. 인위적인 화재의 경우, 신뢰할 만한 배출의 산정을 위하여 국

가특성 자료를 필요로 한다. 왜냐하면 일반적으로 활동자료는 전 지구적 자료를 반영하기 어렵기 때문이다. 임지에서, 순 탄소(C) 흐름의 산정의 경우 바이오매스 연소에 의한 이산화탄소(CO_2) 배출과 식생의 재성장으로 인한 이산화탄소(CO_2)제거는 모두 설명되어야 한다.

4.2.4.2 배출계수의 선정

연소 시 이용 가능한 연료의 질량은(식2.27의 MB) 비-CO_2배출 산정에 중요하다. Tier 1접근 하의 배출의 산정을 보완하기 위한 기본 자료는 제2장의 표2.4에서 2.6에 주어져 있다. 국가들은 기본값 표에 설명된 중요한 식생카테고리에 상응하는 각 국가의 식생종류가 무엇인지를 판단할 필요가 있다. 이를 위한 지침은 제3장에 제시되어 있다. Tier 2를 이용하는 국가들은 산림종류와 관리체계에 따른 MB의 각각의 수준에서의 국가 자료를 가지기 쉽다. Tier 3 산정은 산림종류별, 지역별, 관리체계별 MB의 공간적 산정을 필요로 한다. Tier 3 산정방법은 또한 다른 강도에서의 화재, 다른 연료 소비량의 결과들을 구별할 수 있다.

4.2.4.3 활동자료의 선정

임지로 유지되는 임지에서 연소 면적의 산정은 필요하다. 매년 화재에 의해서 연소된 면적을 포함하는 전 지구적 자료베이스가 존재하지만 이는 개별 국가에서 인위적인 화재로 인한 연간 불탄 면적에 대하여는 신뢰할 만한 자료를 제공하지 못한다. 불탄 면적의 국가별 산정과 화재의 특성 특히 화재가 탄소(C) 역동성에 어떤 영향을 미치는 지에 대하여 (예를 들어, 임목 고사에 미치는 영향) 연구하고 국가 인벤토리의 신뢰도를 향상시키는 것은 바람직하다. Tier 2를 이용하는 국가들은 국가 산정에의 접근하기 쉽다. Tier 3 산정은 화재나 화재강도에 영향을 받는 지역의 지역별, 산림형태 특성별 산정을 필요로 한다.

2장의 식2.27을 이용한 바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출의 계산단계에 대한 요약은 다음과 같다:

제 1단계: 제3장의 지침을 이용하여(대표적인 토지이용지역에 대한 접근), 식2.27의 국가에 의해 적용된 바와 같이 임지로 유지되는 임지의 면적을 기후나 생태구역별 산림종류로 분류한다. 전 지구적 자료베이스 또는 국가별 배출원으로부터 A(불탄 면적)의 산정을 얻는다.

제 2단계: 바이오매스, 잔재물, 죽은 임목을 포함한 연소에 이용가능한 연료의 질량(MB tonnes/ha)을 산정한다.

제 3단계: 연소계수(Cf)를 선택한다.(기본값은 제2장의 표2.6에 주어져 있다.)

제 4단계: 연소된 연료의양을 산정하기 위하여 MB와 Cf를 곱한다. 만약 MB와 Cf이 알려져 있지 않은 경우, MB와 Cf의 결과물에 대한 기본값이 표 2.4에 주어져있다.

제 5단계: 배출계수(Gef)를 선택한다.(기본값은 제2장의 표2.5에 주어져 있다.)

제 6단계: 바이오매스 연소로 인한 온실가스 배출을 정량화하기 위하여 변수 A, MB, Cf, Gef를 곱한다 (또는 MB와 Cf,, 표2.4). 각 온실가스에 대하여 위의 단계를 반복하라.

4.2.4.4 불확도 평가

국가-특성 불확도 산정은 임지로 유지되는 임지에 대하여 산정된다. 이는 활동자료 (불탄 면적)및 배출계수와 연관된 불확도의 결과물로서 일어난다. Tier 1 접근과 비교하여 위 방법이 불확도의 감소를 나타내지 않는다면, 오차산정 (예를 들면, 범위, 표준오차)을 제공하고 국가고유 자료 또는 접근법을 사용하지 않는 것은 바람직하다.

4.3 임지로 전용된 토지

이번 절은 연간 배출의 산정 및 다른 토지용도 (농경지, 초지, 습지, 주거지, 기타 용지를 포함)에서 조림, 재조림, 자연적 또는 인위적인 재생을 통한 임지로 전용된 토지에서 일어나는 온실가스의 제거에 대한 방법론적인 지침을 제공한다. 또한 인간 활동으로 인하여 산림으로 재생된 전용된 토지에서의 배출과 제거는 본 국가-특정에서 산정되어야 한다. 본 절은 IPCC 가이드라인의 카테고리 5A,5C,5D에서 설명된 방법을 대치한다. 토지는 조림과 재조림, 자연적 또는 인위적 갱신(재배형임업 포함)에 의하여 임지로 전환된다. 인위적인 전환은 자연적 재성장의 촉진(예를 들어 배수에 의해 토양 내 수분함량을 향상시키는 것), 비임지 또는 이전에 관리되지 않은 임지, 주거지, 공업용지, 방치된 농경지. 목초지 또는 기타 산림으로 재성장된 관리된 토지를 포함한다. 관리되지 않은 임지는 인위적인 온실가스 배출원 혹은 흡수원으로 생각하지 않으며 인벤토리 계산에서 제외한다. 이러한 관리되지 않은 임지들은 경작, 간벌, 자연적 재생이나 그 밖의 촉진행위와 같은 인간 활동에 의하여 영향을 받는다. 이는 상태를 바꾸어 임지로 전용된 토지 카테고리 하에서 기록된 관리된 토지로 변한다. 여기서의 온실가스 배출과 제거는 인벤토리 내 포함되고 본 절의 지침을 사용하여 산정되어야 한다. 토지전용은 바이오매스, 고사 유기물과 토양탄소(C)내의 변화로 인하여 탄소(C)의 초기손실을 야기할 수 있다. 그러나 자연적인 재생 또는 조림작업은 조림면적과 그들의 바이오매스 축적량 내의 변화와 관련된 탄소(C) 축적의 원인이 된다.

만약 다음의 전환이 국가에서 선택한 산림의 정의와 일치한다면, 전용된 면적은 임지로 간주된다. 임지로 전용된 토지는 새로운 산림의 토양탄소(C)가 안정화 단계에 이를 때 까지는, 국가 온실가스 인벤토리의 이번 국가-특정에 포함된다. 기본 시간으로서 20년이 제안되었다. 산림 생태계는 바이오매스수준, 안정된 토양, 교란되지 않은 상태의 잔재물 저장고로 돌아가기 위한 특정 시간을 필요로 한다. 이러한 가정에서 실용적인 값으로서 기본값 20년 이란 시간이 제안되었다. 각 국가는 변환시간의 기간을 확장할 수 있는 선택권 역시 가지고 있다. 20년 또는 선택된 다른 시간 간격 후에, 전용된 토지는 산림이 된다. 즉 토지 면적은 임지 카테고리로 전환된 토지에서 임지로 유지되는 임지 (4.2절)로 변화한다. 가능하다면 아직도 만들어지고 있는 지역은 분리된 단계로 다루어 질 수 있다. 재생 또는 재성장의 결과로 인한 벌목량은 임지로 유지되는 임지 카테고리 하에서 고려되어야 한다. 왜냐하면 토지용도변경은 수반되지 않기 때문이다.

어떤 전용된 토지는 산림 재성장이 일어나기에 비옥도가 상당히 떨어지거나, 염분도가 상당히 높거나 또는 침식도가 상당할 수도 있다. 이러한 경우 토지는 현재 이러한 상태로 방치되거나 또는 그 정도가 심해지고 유기물을 잃는 것 둘 중의 하나다. 일정한 탄소(C)흐름을 가정한 이들 토지는 무시될 수 있다. 그러나 어떤 국가들에서는, 전용된 토지의 퇴보가 심각한 문제가 될 수 있으며 CO_2의 중요한 배출원이 될 수도 있다. 계속적으로 황폐화 되는 토지에서는 지상부바이오매스와 토양탄소(C)가 빠르게 감소할 수 있다 (예를 들면, 침식작용 때문에). 침식된 토양에서의 탄소(C)는 강, 호수 또는 다른 토지 하천 내에 다시 퇴적될 수 있다. 이러한 땅의 상당 면적을 보유한 국

가들에서는, 이런 쟁점이 더 상세한 계산으로 고려되어야 한다.

토지의 분류화: 임지로 전용된 토지는 기후 도메인과 생태지역과 계층에의 수관부에 바탕하여 분류할 수 있다. 탄소(C) 축적량은 기후, 생물 군계, 또는 산림종류, 종의 혼합도, 관리방침 등에 따라 다양하다. 토지를 온실가스 배출산정의 불확도를 줄이기 위하여 균일한 하위카테고리(제3장을 보라.)에 따라 계층화하는 것은 바람직하다.

임지로 전용된 토지이용에서의 탄소(C)의 배출과 흡수의 산정은 세 가지의 하위부문으로 나누어진다: 바이오매스 내에서의 탄소(C) 축적량 변화(국가-특정 4.3.1), 고사 유기물 내에서의 탄소(C) 축적량 변화(국가-특정 4.3.2), 토양 내에서의 탄소(C) 축적량 변화 (국가-특정 4.3.3). 임지로 전용된 토지에서의 탄소(C) 축적량의 연간변화는 바이오매스내 탄소(C) 축적량의 연간변화, 고사 유기물(죽은임목 와 잔재물 포함)과 토양에 기초한 제2장의 식2.2와 식2.3을 이용하여 계산된다. 임지로 전용된 토지에서의 탄소(C) 축적량 변화는 다음을 이용하여 산정된다:

- 지상부-와 지하부바이오매스에서의 탄소(C) 축적량의 연간변화
- 고사목과 잔재물을 포함하는 고사 유기물에서의 탄소(C) 축적량 연간변화
- 토양에서의 탄소(C) 축적량의 연간변화

non-CO_2 배출의 계산을 위한 접근법은 제2장에 주어진 계산법에 기초한 국가고유 4.3.4에 설명되어 있다.

이러한 방법의 적용은, 제3장에서 정립된 대표 토지면적에 대한 접근법 2 또는 3를 사용할 때 혹은 토지이용 전환을 확인하기 위하여 추가적인 정보를 더한 접근법 1자료를 이용하는 경우에 한하여 가능하다. 이러한 경우에 대하여 취해지는 조치는 국가-특정 4.2에서 이미 확인할 수 있다. (임지로 유지되는 임지)

4.3.1 바이오매스

본 국가-특정은 임지로 전용된 토지에서의 바이오매스의 변화에 따른 CO_2의 배출과 제거의 계산에 대한 방법론적인 지침을 제시한다. 이는 새로 조성된 산림에 적용된 IPCC 가이드라인의 “산림과 다른 목재 바이오매스 축적량에서의 변화”와 “관리된 토지의 포기”카테고리를 기록하기 위하여 제공된 방법론을 대치한다.

4.3.1.1 방법의 선정

본 국가-특정은 임지로 전용된 토지에서의 지상부와 지하부바이오매스 변화에 따른 이산화탄소 배출과 제거의 계산에 대한 방법론적인 지침을 제시한다. 활동자료와 이용가능한 자원들과 같은 핵심카테고리 분석에 바탕을 둔, 세 가지의 Tier 방법이 바이오매스 축적량의 변화를 산정하는데 제안된다. 제2절의 그림1.3의 의사결정도는 임지로 전용된 토지에서의 바이오매스 내 이산화탄소배출과 제거를 계산하기 위한 방법을 선택하는데 바람직한 접근을 제시한다.

Tier 1

바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 연간 변화는 제2장의 식2.7을 이용하여 산정된다. Tier 1은 기본 접근법에 따른다. 이는 국가-특정 4.5에 제시된 기본 변수의 사용을 의미한다. 또한 이러한 접근은 만약 제3장의 접근 1을 이용하여 산정된 대상이 되는 토지의 이전의 토지이용에 대한 자료가 이용가능하지 않은 경우, 적용가능 하다. 이는 표4.1에서 4.14에 주어진 기본 변수의 사용을 의미한다.

바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 연간 증가($\triangle C_G$), $\triangle C_G$의 계산은 제2장의 식2.9에 따라 진행되어야 한다. 임목의 성장률이 관리체계에 강하게 의존하기 때문에, 집약적으로 관리된 산림과 (예를 들어, 재배형 임업) 조방적으로 관리된 산림을(인간의 간섭이 적거나 최소화 된 자연적으로 재성장한 식생) 구분해야 한다. 집약적 및 조방적으로 관리된 산림은 기후, 종, 관리방법 등에 기반하여 더욱 상세하게 계층화될 수 있다. 그러므로 탄소(C) 축적량의 연간증가는 식2.9를 2번 이용하여 집약적으로 관리된 산림과 조방적으로 관리된 산림에 대하여 구분하여 산정될 수 있다. 첫 번째로, 집약적으로 관리된 산림의 경우 집약적으로 관리된 산림에 관련된 면적(AI)과 관련된 연평균 바이오매스 증가(G_{Total}), 두 번째로, 절절한 면적을 이용한 조방적으로 관리된 산림(AE)과 조방적으로 관리된 산림에 대한 관련된 연평균 바이오매스 증가(G_{Total}). G_{Total}은 제2장의 식2.10과 국가-특정 4.5의 기본 자료표을 이용하여 계산된다. 집약적 및 조방적으로 관리된 산림은 기후, 종, 관리방법 등에 기반하여 더욱 상세하게 계층화될 수 있다. 표에서 집약적 및 조방적으로 관리된 산림에 대한 기본 자료는 임목의 종조성 과 기후지역과 관련하여 선택 될 수 있다. 집약적 및 조방적으로 관리된 산림에 대한 기본 자료는 국가-특정 4.5에서 대응하여 취하여야한다.

손실로 인한 바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 연간 감소($\triangle C_L$). 임지로 전용된 토지에서의 제거된 임목($L_{목재\ 제거(량)}$), 제거된 연료재($L_{연료재\ 제거(량)}$), 교란에($L_{교란}$)의한 바이오매스 손실은 제2장의 식2.11을 이용하여 산정된다.

제거된 임목($L_{목재\ 제거(량)}$)로 인한 바이오매스 손실은 제2장의 식2.12를 이용하여 산정된다. 그리고 기초 산림밀도, 원목벌채에 대한 자료, 바이오매스전환확장계수, 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율(R), 건조물의 탄소(C)분율(CF)의 기본값은 국가-특정 4.5 표에 제공되어 있다. 제거된 연료재로 인한 바이오매스 감소는 식 2.13, 연료재에 대해 수집된 자료, 축적량에 대한 관련된 $BCEF_R$, 국가-특정 4.5의 기본값표의 R 과 CF를 이용하여 산정된다. ($L_{교란}$) 제2장의 식2.14, 교란 면적, 교란에 의해 영향 받은 토지면적의 평균 바이오매스 축적량, 국가-특정 4.5의 기본값표의 R 과 CF를 이용하여 산정된다.

만약 손실에 대한 이용 가능한 자료가 없다면(식2.11에 해당), C_L은 0으로 가정되어야 한다. 중복이나 누락을 방지하기 위하여 바이오매스 손실에 대하여 국가-특정4.2.1과 4.3.1에 계속적으로 기록되어야 한다.

Tier 2

Tier 2 방법은 Tier 1과 비슷하다. 그러나 Tier 2방법은 국가차원에서 유도된 자료와 더욱 통합적인 활동자료를 사용하고 바이오매스 내 탄소(C) 축적량 변화에 대한 더 정확한 산정을 제공한다. 연간 순 CO_2 제거는 전용된 토지에 대한 바이오배스 성장으로 인한 바이오매스의 증가와 실제적인 전환과(전환 전후 바이오매스 축적량의 차이) 전환된 토지에서의 손실로 인한 변화의 합으로써 계산된다.(제2장의 식15,16)

또한 기본값과 Tier 2의 적용(식2.15)은 국가차원의 자료를 필요로 한다: i)연간 산림으로 전환된

면적; ii)전용된 토지에 대한 헥타르 당 바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 연 평균성장, 예를 들면 산림인벤토리로부터 얻어짐 (기본자료는 제공되지 않는다.); iii)비임지가 임지로 변한 경우 바이오매스 탄소(C)의 변화; iv)전용된 토지에 대한 바이오매스 손실로 인한 배출. 접근법은 이전의 토지이용과 토지이용변화 매트릭스의 정보(제3장의 표3.4를 보라.)와 이들 토지에 대한 탄소(C) 축적량에 대한 자료를 필요로 한다.

△CG은 식2.9를 이용하여 산정되어야 한다. 임지로 전용된 토지면적(A)는 각각의 집약적 및 조방적으로 관리된 임지의 연간 평균증가(종, 기후 등에 기초하여 세부 분류됨)와 개별적으로 고려되어야 하며, 더해져야 한다. 관리된 산림에의 바이오매스 연평균 증가는 국가-특정 4.2.1 임지로 유지되는 임지와 제2장의 식2.10에서처럼 Tier 2 방법에 따라 계산되며 국가특성자료와 헥타르당 상업적으로 이용 가능한 부피 내의 연평균 바이오매스 성장, 임지로 전용된 토지(산림인벤토리로부터 얻어짐),기초 산림밀도, 바이오매스전환확장계수. 지상부와 지하부바이오매스의 비율에 근거한다.

$\Delta C_{CONVERSION}$은 토지이용변경의 결과로(예를 들면, 바이오매스의 일부가 인공적 또는 자연적 갱신이 일어나기 전의 토지에 적용된 토지정리, 재축적 또는 다른 인위적 활동에 의하여 회수될 수 있다.) 바이오매스 축적량의 초기변화에 대하여 설명한다. 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 이들 변화는 제2장의 식2.16을 이용하여 계산된다. 이는 토지타입i의 전용 전($B_{BEFOREi}$)과 후의(B_{AFTERi}) 바이오매스 축적량의 산정 (tonnes d.m. ha^{-1}), 특정 해에 임지로 전용된 토지이용i의 면적($\Delta A_{TO\_FORESTi}$), 그리고 건중물의 탄소(C)분율(CF)를 필요로 한다. $\Delta C_{CONVERSION}$의 계산은 전환전의 특정 토지 종류에 대하여 발생하는 탄소(C) 축적량의 차이를 개별적으로 고려하여 적용되어야 한다. $\Delta_{TO_FORESTi}$는 계산이 진행된 부분적인 인벤토리 년을 참고로 한다.

ΔC_L는 제2장의 식2.11을 이용하여 산정된다. 목재 제거량, 연료재 제거, 교란으로 인한 바이오매스 손실은 제2장의 식2,12에서 식2.14를 이용하여 산정된다. 인벤토리 편집자는 국가특성별 산림밀도, 식2.12에 적용하기 위한 (Tier 2 계산에 대한) 성장하는 축적량의 증가와 수확에 대한 BEF 또는 BCEF 값을 개발하려는 노력을 해야 한다. 제2장은 연료재수집과 교란에 의한 바이오매스 손실의 계산 방법을 설명한다. 만약 손실에 대한 이용 가능한 자료가 없는 경우, ΔC_L는 0으로 가정되어야 한다. 중복 또는 누락으로 인한 과대 혹은 과소산정을 피하기 위해 국가-특정 4.2.2절과 4.2.3절의 바이오매스 손실에 대하여 계속적인 기록을 보장하는 것은 바람직하다.

Tier 3

Tier 3은 임지로 전용된 토지가 핵심카테고리인 경우와 탄소(C) 축적량의 중대한 변화를 야기하는 경우에 사용되어야 한다. Tier 3은 Tier 2와 동일한 공식과 단계를 따르거나 혹은 더욱 복잡한 방법과 모델을 사용할 수 있다. 그러나 어느 한 경우에서는 실질적인 국가차원의 방법과 국가특성자료의 사용을 할 수 있다. 식2.15와 식2.16은 상세한 지리적 차원과 산림형태, 종, 전환 이전 토지형태의 하위분류에 근거하여 확장될 수 있다. 국가별로 정의된 방법론은 표준 산림 인벤토리 또는 지리참조된 자료 그리고/또는 바이오매스 변화를 설명하는 모델에 근거할 수도 있다. 국가차원의 활동자료는 높은 해상도를 가질 수 있으며 전용된 토지와 전용된 토지에 대하여 만들어진 산림종류에 대한 모든 카테고리에 대하여 이용가능하다. 제1권의 제8장과 연계하여 방법론을 설명하고 증빙하는 것은 바람직하다.

바이오매스의 고사 유기물로의 변화

임지로의 토지전용의 과정에서 또한 벌목을 통한 바이오매스의 추출과정에서 모두, 바이오매스의 비 상업적 구성요소는 산림에 남거나 또는 고사 유기물로 변화한다. 방법의 설명과 고사 유기물에 대한 가정에 대하여는 4.3.2절을 참고하라.

4.3.1.2 배출계수의 선정

바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 연간 증가분, ΔC_G

이 계산은 다음의 두 가지 중요한 관리방법을 구별한다.:집약적 (예를 들어, 준비된 곳에서 재배형 임업, 선택된 종의 재배와 비옥화 등)과 조방적(인간의 간섭을 최소화 한 자연적 재생). 이들 카테고리들은 또한 국가 환경에 따라 세분화 될 수 있다. 예를 들면 원래의 식생(예: 자연 또는 인공갱신, 재축적, 자연적 재-성장의 촉진 등), 기후, 종, 관리방법 등에 근거한다.

Tier 1

전체 바이오매스의 계산 방법은 지상부와 지하부바이오매스 저장고을 필요로 한다.(저장고에 대한 설명은 제1장을 참고하라.) 국가-특정 4.5의 표들은 집약적(재배형 임업), 그리고 조방적(자연적으로 갱신된)관리된 산림, 바이오매스전환확장계수, 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율(R), 건물질의 탄소(C)분율(CF)에 대한 지상부바이오매스의 연간 평균 증가분의 기본 값을 보여준다. 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율(R)은 전체 바이오매스 산정에서 지하부바이오매스를 고려하기 위하여 사용되어야 한다. 기초산림밀도와 바이오매스 확장계수는 국가고유 4.2.1의 임지로 유지되는 임지에서 설명된 △CG의 계산을 따른다. 어떠한 지역적인 또는 다른 해당 국가와 관련 있는 기본값을 탐구하는 일은 바람직하다.

Tier 2

각 국가 상황에 적합한 연간 증가값, 지상부바이오매스 대 지하부바이오매스, 기초산림밀도와 바이오매스 전환 및 확장계수 등이 이용 가능한 어떤 경우에서도 Tier 2 계산 하에서 판단하고 이용하는 것은 바람직하다. 이들 카테고리들은 국가 상황에 따라 상세화 될 수 있다. 예를 들면 원래의 식생 (예: 자연적 또는 인공적 갱신, 재축적량, 자연적 재-성장의 촉진 등), 기후, 종, 관리방법 등에 근거한다. 더욱 상세한 계층화는 임목 종조성, 관리 체계, 임분연령, 기후지역과 토양종류 등에 근거할 수도 있다. 각 국가들은 연구노력을 통하여 특정 바이오매스 증가분과 확장계수를 얻기 위해 노력한다. 부가적인 지침은 국가고유 4.2.1에 제시되어 있다.

Tier 3

바이오매스 탄소(C) 축적량의 증가는 국가특성 연간 바이오매스 성장과 산림 인벤토리, 표본점, 연구 그리고/또한 모델에서 기인한 바이오매스 자료 내 탄소(C) 분율에 근거하여 산정될 수 있다. 인벤토리 편집자는 모델과 산림 인벤토리 자료가 제1권의 제8장에서 강조한 요구사항에 일치되게끔 적절한 서술과 증거자료 첨부를 확실히 해야 한다.

전환 전후 토지의 바이오매스 축적량의 변화, $\Delta C_{CONVERSION}$

전환 전후의 바이오매스 축적량의 계산은 다른 토지이용과 일치한 값들을 사용하여 진행된다. 예

를 들면, 탄소(C) 축적량의 비교 가능한 값은 임지로 전환된 초지의 초기 탄소(C) 축적량과 초지로 유지되는 초지의 바이오매스 내 변화를 산정할 때 사용되어야 한다.

Tier 1

Tier 1 계산에서 $\Delta C_{CONVERSION}$의 산정은 요구되지 않는다.

Tier 2

가능한 어떤 경우든, 전환 전후의 바이오매스 축적량에 대한 국가특성 자료를 얻고 이용하는 것은 바람직한 일이다. 이 산정은 농경지, 초지, 습지. 주거지 등 기타 용지의 탄소(C) 축적량 변화의 계산에 이용되는 것들과 조화를 이루어야 한다. 그리고 이는 국가기관이나 조사에 의하여 얻어져야 한다. Tier 2는 국가특성 자료와 기본 자료의 조합하여 이용하는 것을 의미할 수 있다. 전환 전후의 용지에 대한 바이오매스 축적량 기본값은 이번 권의 다른 국가-특정에서 장에서 다룬다.

Tier 3

산정과 계산은 산림 인벤토리와 그리고/또한 모델 자료에 근거하여 실행되어야 한다. 산림 인벤토리와 모델, 자료는 제1권의 제8장에서 개략적으로 설명한 절차에 일치되게 증빙되어야 한다.

손실로 인한 바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 변화, ΔC_L

임지로 전용된 토지에 대하여 탄소(C) 손실을 야기하는 낙엽, 화재, 곤충습격과 같은 제거된 임목, 제거된 연료재, 자연적 교란은 국가-특정 4.2.1에 제공된 바람직한 실행 접근법에 따라 기록되어져야 한다. 탄소(C) 손실산정에 대한 국가-특정 4.2.1에 제시된 바람직한 실행 접근법은 전적으로 적용가능하고 국가-특정 4.2.2하의 적절한 계산에 대하여 사용되어야 한다. 만약 탄소(C) 축적량의 변화가 표준 산림 인벤토리에서 유도되었다면, 제거된 임목과 교란에 의한 손실은 이들 각각을 기록할 필요 없이 총괄할 수 있다. 국가-특정 4.2.1과 4.2.2사이의 바이오매스 손실에 대하여 지속적인 기록을 확실히 하고 중복이나 누락을 방지하는 것은 바람직하다.

원목의 벌목에 대한 자료는 FAO의 국가차원 배출원에서 이용하여야 한다. 수확된 임목의 수피비율(BF)은 수확으로 제거된 임목 중 수피를 고려하기 위하여 적용되어야 한다. 만약 벌목이 중요하게 다루어지는 나라의 경우에는, 인벤토리 편집자는 국가차원의 수확 자료를 이용하거나 또는 국가특성 BF 값을 유도하기 위하여 노력해야 한다.

대부분의 나라에서, 교란된 면적에 대한 정보는 다음 두 개의 하위카테고리, 임지로 유지되는 임지와 임지로 전용된 토지 하위카테고리에 대해 이용하기 어렵다. 후자에 주어진 것은 대부분의 경우 전자보다 상당히 작다. 모든 교란요소는 임지로 유지되는 임지에 적용될 수 있다. 연료재소비 자료는 보통 임지로 유지되는 임지와 임지로 전용된 토지에 대하여 구분되어 기록되지 않는다. 그래서 연료재의 기본 자료는 임지로 유지되는 임지에 포함되어 기록된다. 연료재에 대한 기록은 임지로 유지되는 임지의 연료재에 대한 기록을 체크함으로서 발생하는 중복을 피하기 위하여 두 개의 토지 하위카테고리사이에서 비교검토 하여야 한다.

4.3.1.3 활동자료의 선정

임지로 전용된 면적, ΔA_{TO_FORES}

모든 Tier는 임지로 전용된 면적에 대한 인벤토리 해 이전의 20년 이상의 정보를 필요로 한다. 20년 또는 선정된 다른 시간간격 뒤에 각 국가에서 정의된 임지로 전용된 토지는 변화되어야 하며 국가고유 4.2(임지로 유지되는 임지)하에서 고려되어야 한다. 동일한 면적 자료는 국가고유 4.3.2 (고사 유기물에 대한 탄소(C) 축적량 변화),국가고유 4.3. 3(non-CO_2 온실가스 배출)에 대하여 사용되어야한다. 만약 가능하다면, 이러한 면적은 주요 토양 종류와 전환 전후 토지의 바이오매스 밀도를 고려하여 더욱 세분되어야 한다. 박스 4.3은 임지로 전용된 토지의 구분에 대한 바람직한 실행 접근의 예시를 보여준다. 국가차원의 자료 이용가능성에 구애받는 인벤토리 편집자는 또한 제3장에 제시된 접근에 근거한 바람직한 실행 접근법을 선택 할 수 있다.

각기 다른 바이오매스 성장률은 포기된 토지의 재-성장한 산림과 재배형 산림에 대한 바이오매스 축적량의 계산을 위하여 사용되어야 한다. Tier 2와 3하의 계산을 하기 위하여, 인벤토리 편집자는 임지로 전용된 토지의 이전 토지 이용종류에 대한 정보를 얻기 위해 노력해야 한다.

Tier 1

활동자료는 국가통계자료, 산림청(관리형태별 면적에 대한 정보), 보전기관(자연적으로 갱신된 면적),지방단체, 조사 및 지도제작기관으로부터 얻어질 수 있다. 만약 기록된 자료의 이용이 어렵다면, 새로 생긴 산림이 집약적관리가 주된 것인지 조방적 관리가 주된 것인지 평가하기 위하여 전문가의 판단이 이용될 수 있다. 만약 집약적으로 관리된 산림면적과 조방적으로 관리된 산림면적에 대한 자료가 이용가능하다면, 이들은 더 정확한 산정을 얻기 위하여 더욱 분할된 면적에 대하여 이용하여야 한다. 비교-검토법은 중복과 누락을 방지하기 위한 완전하고 계속적인 자료의 표현의 확실성을 보장하기 위하여 적용된다. 만약 국가별 자료가 이용가능하지 않다면, 정보의 수집은 국제적 자료출처로부터 얻어질 수 있다.(FAO, 2001; TBFRA, 2000).

Tier 2

주어진 시간동안 또는 그 시간범위를 넘어서 전용이 예정된 토지이용하의 면적은 이용가능하다. 면적은 국가차원의 자료 배출원과 토지이용 변화 매트릭스 또는 임지로의 가능한 모든 변화를 포괄하는 토지이용변화 매트릭스에 상당하는 정보로부터 온다. 국가별로 정의된 국가차원의 자료 집합은 volume 1의 제3장 규정과 일치하여 적절한 토지면적의 표현을 보장하기 위하여 충분한 해답을 가져야 한다. 천연갱신과 재배형임업 접근을 통하여 임지로 전용된 토지를 산정하는 일은 중요하다.

Tier 3

자연 및 인공갱신을 통하여 임지로 전용된 토지에 대한 국가 활동자료는 본 권의 제3장에 설명된 바와 같은 유명한 국가 산림 인벤토리, 토지이용등록과 토지이용변화, 원격탐사 등과 같이 서로 다른 자료출처로부터 이용가능하다. 이들 자료는 임지로 변화된 모든 토지이용을 포괄하여야 하며, 기후, 토양, 식생종류에 따른 세분화를 할 수도 있다. 일반적으로 재배형 임업이 진행된 면적은 종과 식생연령에 따라서 이용가능하다.

박스 4.3

임지로 전용된 토지의 확인에 대한 바람직한 실행 접근의 예시

국가의 토지관리체계는 토지이용변화와 많은 국가에서 실시되는 토지통계조사체계의 확인을 가능하게 한다. 또한 토지 이용에 대한 계속적인 설명과 시간에 따른 변화에 대한 설명을 가능하게 한다. 국가 인벤토리 편집자는 토지관리체계 또는 통계자료로부터 자료를 얻어야 한고 이를 전용된 토지의 확인을 위한 근거로 사용해야 한다. 토지전용자료는 전용된 토지에 대한 부분적인 활동을 수행하는 회사, 개별 소유자, 정부, 기관들로부터 직접 얻어질 수 있다.

어떤 국가들은, 전용된 토지에 대한 배출과 흡수량을 산정하기 위한 특별한 회계시스템을 개발하고 있다. The Australia National Carbon Accounting System (NCAS) <http://www.greenhouse.gov.au/>은 토지전용을 확인하기 위한 바람직한 실행 접근법의 예가 된다. NCAS는 배출원의 재조사, 필드 연구, 원격탐사로부터 얻은 자료를 포함하는 정교한 모델에 기반한 도구이다. NCAS는 높은 공간적 시간적 단위에서 조작된다. NCAS는 탄소(C) 저장고과 인위적인 활동에 영향 받는 모든 온실가스를 포함한 토지시스템의 활동도에 대한 모든 부문을 다룬다. 이는 조림과 재조림에 관련된 배출과 흡수량 산정이 이루어지는 국가의 영역 내 조림과 재조림 활동의 추적을 제공한다. 새 자료가 NCAS에 투입되는 즉시 인벤토리 자료는 계속적으로 갱신된다. NCAS의 설계와 적용과 NCAS의 구성요소는 광범위한 동료심사, 정도관리를 수반한다. (AGO, 2002).

비슷한 시스템들이 뉴질랜드 (Stephens *et al.*, 2005; Trotter *et al.*, 2005), 캐나다 (Kurz and Apps, 2006), 그 외 다른 국가들에 의해 개발되었다. 이러한 토지관리시스템의 이용은 양질의 인벤토리개발과 영역 내 불확도의 정도를 줄이는 데에 기여한다.

4.3.1.4 Tier 1에 대한 계산단계

기본 방법을 이용한 바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 (ΔC_B) 변화산정을 위한 요약된 단계들은 다음과 같다.

제 1단계: 농경지, 초지, 주거지와 같은 다른 토지이용으로부터 임지로 전용된 토지를(인벤토리 해 이전 20년 동안) 산정하라. 임지로 전용된 토지의 산정에 대한 상세한 접근은 제3장을 참고하라.

제 2단계: 임지로 전용된 면적을 전환에 이용된 접근에 근거하여 집약적으로 관리된 산림과(재배형 산림관리) 조방적으로 관리된 산림으로(자연적 재생)구분한다.

제 3단계: 토지전용과 관련된 초기 바이오매스 손실을($\triangle C_{CONVERSION}$) 계산하라. (식2.16) 이것은 토지전용방법에 의하여 계층화 될 수 있다.

제 4단계: 임지로 전용된 토지의 성장으로 인한 바이오매스 내 탄소(C) 축적량(△CG)의 연간 증가를 산정하라. 집약적으로 관리된 산림에서 종과 다른 하위 카테고리수준은 제2장의 식2.9와 2.10을 이용하여 산정한다. 종과 다른 하위카테고리 수준의 바이오매스 연간 증가를 산정하라.

제 5단계: 조방적으로 관리된 산림의 종과 다른 하위카테고리 수준에 대한 임지로 전용된 토지의 바이오매스 성장 내 탄소(C) 축적량의 연간 증가는 제2장의 식2.9와 2.10을 이용하여 산정한다.

제 6단계: 상업적 벌목(산업적인 목재와 잘린 통임목)로 인한 연간 바이오매스의 손실 또는 감소($L_{목재제거(량)}$)는 제2장의 식2.12를 이용하여 산정한다.

제 7단계: 임지로 전용된 토지에서 제거된 연료재로 인한 바이오매스 손실은($L_{연료재\ 제거(량)}$) 제2장의 식2.13을 이용하여 산정한다.

제 8단계: 교란이나 다른 손실로 인한 연간 탄소(C) 손실은(Ldisturbance) 제2장의 식 2.14를 이용

하여 산정한다.

제 9단계: 제거된 임목, 제거된 연료재, 교란에 의한 바이오매스 전체 손실은($\triangle C_L$) 제2장의 식2.11을 이용하여 산정된다.

제 10단계: 임지로 전용된 토지의 바이오매스 내 탄소(C) 축적량의($\triangle C_B$) 연간 변화는 제2장의 식 2.15를 이용하여 산정된다.

예제. 다음의 예제는 유럽의 온대 대륙성 임지역의 가상의 국가에 대한 바이오매스 탄소(C) 축적량의 연간 변화(제2장의 식2.7,△CB)에 대한 획득-손실 방법 (Tier 1) 계산을 보여준다 (국가고유 제4.5장의 표4.1.) 국가 내 임지로 전용된 비 산림토지의 면적(A)는 1,000 ha(지역 분류에 대하여는 제3장을 참고하라.)이다. 새로 조성된 산림은 집약적으로 관리된 9년생 소나무 임목 조림지이며, 평균 지상부바이오매스의 축적량 부피는 10 m^3 ha^{-1}이다. 상업용 원목 수피 (H)는 100 m^3 yr^{-1}로 얇은 두께로 제거된다; 전체 임목(FGtrees)의 50 m^3 yr^{-1}는 연료재로서 제거되었다. 곤충습격에($A_{disturbance}$) 의한 면적은 1.0 톤 d.m. ha^{-1} 으로 1.0 톤 d.m. ha^{-1} 의 지상부바이오매스 영향을 받는다 (BW).

바이오매스의 연간증가는(△CG) 연평균 바이오매스 증가분(G_{TOTAL}), 임지로 전용된 토지면적(A), 건중물의 탄소(C) 분율(CF), 제2장의 식2.9의 결과물이다.

G_{TOTAL}은 연간 지상부바이오매스 증가, 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율(R) (제2장의 식2.10)과 국가-특정 4.5의 기본 자료 표를 이용하여 계산된다.

가상의 국가에 대하여,

GW = 4.0 톤 d.m. ha^{-1} yr^{-1} (표 4.12);

R = 0.40 tonne d.m. (tonne d.m.)-1 지상부바이오매스의 경우<50 t ha^{-1} (표 4,4 지하부바이오매스의 경우는 표 4.8 참고)

G_{TOTAL} = 4.0 톤 d.m. ha^{-1} yr^{-1} • (1 + 0.40) = 5.6 톤 d.m. ha^{-1} yr^{-1} (식 2.10)

CF = 0.47 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$ (표 4.3)

ΔCG (식 2.9): = 1,000 ha • 5.6 톤 d.m. ha^{-1} yr^{-1} • 0.47 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

= 2,632 톤 C yr^{-1}

바이오매스 손실량 (△CL)은 제거된 목재, 제거된 연료재, 교란에 의한 손실에 의한 연간 손실의 합이다 (제2장, 식2.11)

*목재 제거량 ($L_{wood\text{-}removals}$)*은 제2장 식 2.12의 상업용 원목 (H), 바이오매스확장전환계수(BCEFR), 수확된 임목의 임목껍질 분율(BF), 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율(R), 건중물의 탄소(C) 분율(CF), 국가고유 4.5의 기본값 표를 이용하여 계산된다. 가상의 국가에 대하여

BCEFR = 2.0 톤 d.m. m^{-3} (표 4.5, 증가한 축적량의 부피를 참고하면 10m^3 ha^{-1})

BEF = 0.1 톤 d.m. ha^{-1} yr^{-1}

R = 0.40 톤 d.m. (톤 d.m.)$^{-1}$ 지상부바이오매스의 경우<50 t ha^{-1} (표 4.4, 지상부바이오매스는 표 4.8참고)

CF = 0.47 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$ (표 4.3)

$L_{wood\text{-}removals}$ = 100 m3 yr^{-1}• 2 톤 d.m. m^{-3} (1 + 0.40 + 0.1) • 0.47 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

= 141 톤 C yr^{-1} (식 2.12)

제거된 연료재(Lfuelwood)는 식 2.13, 제2장과 전체 임목으로서 제거된 임목(FGtrees), 바이오매스전환확장계수(BCEFR), 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율(R), 건중물의 탄소(C)분율(CF), 국가-특정 4.5의 기본값 표를 이용하여 계산된다. 가상의 국가에 대하여,

BCEFR = 2.0 톤 d.m. m^{-3} (표 4.5 증가한 축적량 부피를 참고하면, 10 m^3 ha^{-1})

R = 0.40 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$ 지상부바이오매스의 경우 <50 t ha^{-1} (표 4.4, 지상부바이오매스는 표 4.8참고)

CF = 0.47 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$ (표 4.3).

$L_{fuelwood}$ = 50 m^3 yr-1 • 2.0 톤 d.m. m^{-3} (1 + 0.40) • 0.47 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

= 65.80 톤 C yr^{-1} (식 2.13)

교란에 의한 연간 바이오매스 증가($L_{disturbance}$)는 식 2.14, 제2장, 교란면적(Adisturbance), 영향 받은 평균 지상부바이오매스(BW), 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율(R), 건중물의 탄소(C)분율(CF), 교란의 바이오매스 손실분율(fd), 국가고유 4.5의 기본값 표를 이용하여 계산된다. 가상의 국가에 대하여,

fd = 0.3;

R = 0.40 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$ 지상부바이오매스의 경우 <50 t ha^{-1} (표 4.4, 지상부바이오매스는 표 4.8참고);

CF = 0.47 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$ (표 4.3).

Ldisturbance = 50 ha yr^{-1} • 1.0 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$ ha^{-1} (1 + 0.40) • 0.47 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$ • 0.3

= 9.87 톤 C yr^{-1} (식 2.14)

바이오매스 손실로 인한 연간 탄소(C) 축적량의 감소분(⊿CL),

△CL = 141.00 톤 C yr^{-1} + 65.80 톤 C yr^{-1} + 9.87 톤 C yr^{-1}

= 216.67 톤 C yr^{-1} (식 2.11)

바이오매스 탄소(C) 축적량의 연간변화 (△CB)

제2장, 식 2.7 (△CB = (△CG △CL))을 이용하면,

△CB = 2,632 톤 C yr^{-1} 216.67 톤 C yr^{-1}1 = 2,415.33 톤 C yr^{-1} (식 2.7)

4.3.1.5 불확도 평가

임지로 전용된 토지의 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위해 요구되는 배출계수는 임지로 유지되는 임지의 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위해 요구되는 배출계수와 거의 동일하다. 그러나 인벤토리 해의 20년 범주 내에(전용의 기본 기간) 임지로 전용된 토지에 한정된다. 임지로 유지되는 임지의 불확도에 대한 논의는 여기에서도 또한 적용된다. 전용 전 후의 토지의 바이오매스 축적량

의 산정을 포함하는 불확도 정도는 높다. 제거된 임목에 대한 불확도는 낮다. 그 이유는 때로 산림벌채로 인한 상업적 수확을 임지로 유지되는 임지에서부터 기인한 것과 구분하기 어렵다 하더라도 국가 통계가 상업적 수확에 대하여 수행되기 때문이다. 그러나 제거된 연료재와 연료재수집, 교란에 의한 바이오매스 손실에 대하여는 높아진다. 상업적인 그리고 전통적인 방법을 포함하는 불확도는 각기 다른 사회생태지역과 기후지역에 따른 표본 조사를 수행함으로서 감소시켜야 한다.

탄소(C) 축적량 산정에 요구되는 중요한 활동자료는 초기 전환과 그 후의 기간 동안 전용된 토지 면적과 바이오매스의 손실률을 포함한다. 집약적, 조방적 조림지 면적에 대한 불확도 수준은 낮아질 수 있다. 왜냐하면 대부분의 국가들이 조림 그리고 재조림된 면적에 대한 정보를 가지고 있기 때문이다. 불확도는 임지로 원격탐사와 다른 모니터링기술에 기반한 전용된 토지의 각 카테고리에 대한 임지로 유지되는 임지의 토지이용변화매트릭스를 개발함으로서 감소시켜야 한다. 원격탐사와 지역조사의 조합은 불확도를 10-15%범위로 낮게 유지할 수 있다.

4.3.2 고사 유기물

이번 국가-특정에서는 임지로 전용된 토지이용카테고리에 대한 고사 유기물 탄소(C) 축적량의 변화에 대해 논의한다. 농경지, 초지, 주거지, 기타 토지이용카테고리들은 조림 또는 자연적 재생에 의하여 임지로 전용될 가능성을 가지고 있다. 대부분의 비-임지는 상당한량의 고사목 혹은 잔재물 탄소(C) 저장고을 가지지는 않을 것이다. 따라서 Tier 1가정은 비-임지에서의 고사목과 잔재물 저장고의 탄소(C) 축적량은 0이 된다. 그리고 고사 유기물 저장고의 탄소(C)는 특정 시간(기본값=20년)동안 잘 발달한 산림의 값에 비례하여 증가한다.

관리되지 않은 임지에서 관리된 임지로의 전환에 대한 Tier 1가정은 관리되지 않은 산림의 고사 유기물 탄소(C) 축적량은 관리된 산림의 그것과 비슷하며 탄소(C) 축적량 변화를 기록할 필요성은 없다. 실제로 다른 카테고리들은 같으며, 관리되지 않은 산림의 고사 유기물 탄소(C) 축적량은 관리된 산림에의 그것보다 크다. 그 이유는 수확으로 인하여 장기 DOM 저장고의 역동성에 기여하는 임목 바이오매스가 제거되기 때문이다 (Kurz *et al.*, 1998). 그리고 관리되지 않은 산림에서 관리된 산림으로의 전환률이 높은 국가들은 DOM 저장고의 변화를 산정하기 위하여 상위 단계의 Tier를 사용하는 것이 바람직하다.

임지로 전용된 토지의 고사 유기물 저장고에서 탄소(C)의 배출과 제거를 산정하는 방법은 전환 바로 전과 후의 탄소(C) 축적량의 산정, 인벤토리 기간 내 전용된 토지면적의 산정을 필요로 한다. 어떤 비-산림 토지이용카테고리에서는(습지, 주거지, 농경지, 초지 등) DOM 저장고 내 상당량의 탄소(C) 축적량을 가질 수 있다. DOM 저장고 사이즈를 0으로 가정하는 것이 임지로 전용된 토지에 대하여 옳은지 아닌지를 평가하는 일(예를 들면, 어떤 토지이용 카테고리에서 고사목과 잔재물 저장고은 0이 아니다.)그리고 임지로의 이동으로 인한 결과로서 DOM 저장고이 변화하는 기간 동안(기본값=20년) 변화기간을 정량화하는 일은 바람직하다고 볼 수 있다.

4.3.2.1 방법의 선정

고사 유기물 저장고의 탄소(C) 축적량 변화를 산정하는 일반적인 방법은 제2장의 국가고유 2.3.2에 설명되어 있다. chapter 1, 그림1.3의 의사결정도는 산정작업의 이행 시 적합한 tier수준을 선정하는 데 지침을 제공한다. 고사목과 잔재물 탄소(C) 축적량 산정은 때로 이전의 토지이용, 산림

종류, 재생종류에 따라 상당히 다른 결과를 도출할 수 있다.

Tier 1

임지로 전용된 토지에 대하여, Tier 1 가정은 고사목과 잔재물 저장고의 증가는 0에서(비-산림 토지이용카테고리) 시간 T 년 동안 기후지역에 대한 기본값까지(현재 기본값 20년은 잔재물과 고사목 탄소(C) 저장고 모두에 해당한다.) 선형으로 증가한다. 연료재 수집과 산림을 조성하는 활동과 같은 인간 활동은 고사목과 잔재물 저장고의 탄소(C) 축적률에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 기본 저장고의 크기와 가정된 변화기간이 주어진 국가의 기후와 관리체계에 비추어 합리적인지를 평가하는 것은 바람직하다. 20년의 기본 기간은 잔재물 저장고에는 적합하나 특히 식생이 성장이 느린 추운지역의 고사목 저장고에 대하여는 너무 짧은 경향이 있다. 만약 DOM 저장고을 축적하기 위해 요구되는 시간이 기본값 기간보다 길다면, Tier 1 가정은 탄소(C)축적률을 과대산정하게 된다. 임지로 전용된 토지이용을 포함하는 면적이 넓은 지역에서는, 임지로 전용된 토지에서 잔재물과 고사목의 탄소(C)축적률의 국가별 산정을 개발하는 것이 바람직하다.

Tiers 2 와 3

Tier 2 또는 Tier 3 하의 고사목과 잔재물저장고의 탄소(C) 축적량의 변화는 제2장에 개략적으로 명시된 두 가지 방법을 이용하여 산정할 수 있다.(식2.18,2.19) 임지로 전용된 면적을 이전 토지이용, 전용 시 사용된 방법(예를 들면, 장소 마련, 유지되는 바이오매스의 처리), 재성장된 산림의 생산성과 특징에 따라 계층화 하는 것은 바람직한 시도이다. 이들 인자들 모두는 임지로 전용된 토지의 DOM 저장고의 탄소(C) 축적량 변화율과 강도에 영향을 미친다.

보다 높은 수준의 Tier를 이용하는 국가들은 또한 잔재물과 고사목 탄소(C) 축적량의 적절한 변화기간을 고르기 위하여 노력하여야 한다. 잔재물 저장고은 상대적으로 빨리 안정화 될 수 있다. 고사목 저장고은 일반적으로 비 산림에서 산림환경으로의 변화기간보다 더 긴 시간을 필요로 한다. 게다가 잔재물과 고사목 탄소(C) 축적량 양쪽 모두의 크기는 많은 요소에 의하여 영향을 받으며, 상위수준의 Tier를 이용하는 국가들은 자국의 환경을 정확히 반영하는 성숙단계의 DOM 축적량 값을 선택하도록 노력하여야 한다. Tier 3 모델링 접근법을 이용하는 국가들은 시뮬레이션한 투입과 손실의 균형에 근거한 고사 유기물 축적량의 산정을 얻는다.

4.3.2.2 배출/제거 계수의 선정

Tier 1

Tier 1 방법을 이용하는 국가들은 제3장의 표3.1에 정의된 바와 같이, 기후지역별 6가지 토지이용 카테고리에 대한 죽은 임목과 잔재물 탄소(C) 축적량의 기본값에 대한 자료를 필요로 한다. Tier 1은 모든 비-산림 토지이용카테고리에서의 잔재물과 고사목 저장고의 탄소(C) 축적량은 0이라 가정한다. 임지로 전용된 토지의 경우, 고사목과 잔재물 저장고에의 탄소(C) 축적량은 변화기간 T(잔재물과 고사목 탄소(C) 축적량 전부에 대하여 기본값 20년 임)에 대하여 비례하여 증가한다. 그러므로 연간 증가율은 비산림의 DOM저장고의 탄소(C) 축적량의 차이와 산림카테고리, 변화기간 T 내의 연수사이의 비율로서 산정된다.

Tiers 2 and 3

chapter 4, 국가-특정4.2 임지로 유지되는 임지에서 설명된 상위 수준의 Tier 방법들은 임지로 전용도니 토지에 대하여 동일하게 적용될 수 있다. 부가적인 배출 및 제거계수는 토지이용 전환행위

로 영향을 받는 지역 (예를 들어 경지정리와 벌채 연소)에서 산정된다. 만약 비산림 토지이용 카테고리의 고사목과 잔재물 저장고의 탄소(C) 축적량이 0이 라는 가정이 타당하지 않을 경우, 예들 들어 농림업(agro-forestry) 시스템, 산림면적을 대체하는 주거지, 기타 환경 내에서와 같은 경우, 추가적인 요구사항이 생길 수 있다. 이는 특별한 도전으로서 인식될 수 있다. 그 이유는 산림 인벤토리는 전형적으로 이러한 면적과 확인작업에 필요하거나 또는 측정프로그램 실행을 위해 필요한 다른 자료 배출원을 포함하지 않기 때문이다.

4.3.2.3 활동자료의 선택

Tier 1 방법은 임지로 연간 전용률에 대한 활동자료를 필요로 한다. 활동자료는 제3장에 정립된 일반적 원칙에 따라 임지로 전용된 토지의 바이오매스 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하는 데 사용한 활동자료와 일관성을 유지해야 한다. 활동자료는 산림관리기관, 보전기관, 지자체, 조사 및 지도화 기관으로부터 얻은 국가통계로부터 얻어진다. 기록프로그램이 사용된 곳에서, 임지로 전용된 토지의 완전하고 안정적인 표현을 보장하곡 중복이나 누락을 피하기 위하여 검증작업과 비교검토 작업을 실시하는 것이 바람직하다. 자료는 일반적인 기후카테고리와 산림종류에 따라 분류되어야 한다.

상위 수준의 Tier를 사용한 인벤토리는 새로운 산림의 조성에 대하여, 상세한 토양층위, 기후, 공간적 시간적 해상도와 함께, 더욱 포괄적인 정보를 필요로 한다. T년 전 보다 더 이전에 변화가 발생한 토지는 임지로 유지되는 임지 카테고리 하에서 변화되고 기록된다.

4.3.2.4 TIER 1에 대한 계산단계

다음은 기본 방법들을 이용한 고사 유기물의 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하는 요약된 단계들이다.

제 1단계: 농경지, 초지, 주거지 등 다른 토지이용카테고리로부터 임지(인벤토리 해 이전 20년 동안)로 전용된 면적을 산정한다. 임지로 전용된 토지의 산정에 대한 자세한 접근은 3장을 참고하라.

제 2단계: Tier 1은 비산림 토지에 대한 고사 유기물 (죽은 임목과 잔재물)탄소(C) 축적량은 0이라 가정한다. 만약 비임지에서 고사목과 잔재물 탄소(C) 축적량에 대한 국가차원의 자료를 이용할 수 있는 경우, 고사 유기물산정이 가능할 때와 동일한 카테고리를 이용하여, 원래의 토지이용카테고리(예를 들어 초지, 농경지 등)에 따라 임지로 전용된 면적을 분류한다. 임지의 잔재물 탄소(C) 축적량의 기본값은 표2.2에 제시되어 있다. 통계적으로 유효한 산림의 고사목 탄소(C) 축적량에 대한 지역적 기본산정은 이용가능하지 않다.

제 3단계: 고사목과 잔재물과는 별도로 고사 유기물의 연평균증가는 변화시간에 대하여 전환 전후 탄소(C) 축적량의 차이로 나눔으로써 산정한다.(제2장의 식2.23) Tier 1의 기본가정은 비산림 고사 유기물 탄소(C) 축적량은 0이며 변환기간의 기본값은 20년이다.

제4단계: 임지로 전용된 토지에의 고사 유기물 탄소(C) 축적량의 연간변화를 연평균증가(제3단계)를 20년간(기본값) 임지로 전용된 토지 면적에 곱하여 산정한다.

4.3.2.5 불확도 평가

일반적으로, 고사 유기물에 대한 불확도의 정도는 바이오매스 산정의 불확도보다 크다. 왜냐하면 바이오매스 저장고과 비교하여 상대적으로 훨씬 적은 자료가 DOM 저장고에 대하여 이용가능하기 때문이다. 제3장에 제안된 접근을 이용하여 도출된 면적산정에의 불확도는 표3.7에 제시되어 있다. 그리고 고사 유기물 탄소(C) 축적량 변화를 평가함에 있어 불확도는 기본계수를 이용한 바이오매스 축적량변화의 불확도보다 몇 배 이상 커질 수 있다.

상대적으로 DOM 저장고의 탄소(C) 축적량 변화에 대한 불확도 산정이 문헌 또는 다른 경우에서 이용가능한 부분이 거의 없음에도 불구하고, 불확도의 몇몇 자료출처들은 임지로 전용된 토지에 대한 고사 유기물 저장고의 변화 산정에 대하여 구별될 수 있다. 첫째, 비산림 토지의 DOM 내 탄소(C) 축적량을 0으로 하는 가정은 항상 타당한 것은 아니다. 실제 초기 DOM 축적량 크기의 과소산정은 실제 축적률의 과대산정을 야기할 수 있다. 둘째, 잔재물과 고사목 탄소(C) 축적량 크기의 기본값은 오랜 기간 임지였던 토지로부터의 산정에 근거하여 편향될 수 있다. 그러므로 변화기간의 마지막의 축적량 크기는 과대산정 될 수도 있다. 셋째, 기본 변화기간은, 실제 축적률의 과소산정을 야기하는 잔재물 탄소(C) 축적량에 대하여 너무 길어질 수도 있다. 그러나 고사목 저장고에 대하여 20년이라는 변화기간의 현재 기본값 가정은 너무 짧을 수 있다. 그러므로 고사목 저장고의 탄소(C) 축적률은 과대산정 될 수 있다.

4.3.3 토양 탄소

무기토양에서의 토지전용은 일반적으로 토지가 이전에 연간 곡물생산을 위하여 이용되었다면, 탄소(C)축적량의 비슷한 수준을 유지하던지 아니면 부분적으로 토양 탄소(C) 축적량을 증가시키는 환경을 조성한다.(Post and Kwon, 2000) 그러나, 특정 환경 하에서, 임지로 전용된 초지는 전환 후 수 십 년 동안 무기토양 안에서 적은양의 탄소(C) 손실을 야기하는 것으로 보인다. (Davis and Condron, 2002; Paul et al., 2002) 유기토양으로부터의 탄소(C) 배출은 이전의 용도와 배수정도에 따라 다양해진다. 특히 농경지에서 전환된 토지의 경우는 배출이 감소되기 쉽다; 초지로부터의 전용은 비슷한 배출율을 유지하기 쉽다; 반면 습지로부터의 전용은 때로 탄소(C) 배출이 증가한다.

토양 탄소(C) 축적량 변화를 산정에 대한 일반적인 정보와 가이드라인은 제2장의 식2.3.3에서 찾을 수 있다(식도 포함). 그리고 산림 토양 탄소(C) 축적량을 다루는 지침을 이용하여 작업을 진행하기 전에 이를 읽어볼 필요성이 있다. 임지로 전용된 토지에 대한 토양 탄소(C) 축적량의 총 변화는 제2장의 식2.24를 이용하여 계산된다. 이식은 무기토양과 유기토양에 대한 토양 유기탄소(C) 축적량의 변화를 무기 토양 탄소(C) 저장고에 대한 탄소(C) 축적량 변화 (Tier3에 한정)와 결합한 식이다. 본 국가고유 카테고리는 토양 유기탄소(C) 축적량 산정에 대한 자세한 지침을 제공한다.; 토양 무기탄소(C)에 대한 일반적인 논의는 국가고유 2.3.31(제2장)을 참고하라 (아래의 논의는 임지에 대한 추가적인 정보를 제공하지 않는다).

임지로 전용된 토지와 관련된 토양 탄소(C) 축적량 변화를 고려하기 위하여, 각 국가들은 인벤토리기간 동안 기후지역과 토양종류에 따라 계층화된 임지로 전용된 토지의 면적의 최소한의 산정을 해야 한다. 만약토지이용과 관리자료가 제한적이라면, 접근법1 활동자료는 시발점으로서 전용된 토지이용종류의 대략의 분포에 대한 국가별 전문가의 지식과 함께 사용될 수 있다. 만약 이전의 토지이용과 임지로 전용된 토지의 전환이 알려지지 않은 경우, SOC 축적량 변화는 임지로 유지되는 임지에서 제공된 방법을 이용하여 계산할 수 있다. 그러나 기본 토양은 인벤토리의 첫 해

와 비교하여 현재 년도의 산림과 달라질 수 있다. 그러나 모든 토지이용 구역에 대한 전체 토지면적은 인벤토리 기간 동안 일정하다는 것과 (예를 들어, 인벤토리 기간의 마지막 년에 5십만 헥타르가 농경지와 초지에서 임지로 전환되었다면 임지는 인벤토리 기간 동안 부가적으로 5십만 헥타르를 얻고 반면 농경지와 초지는 마지막 해에 5십만 헥타르를 잃은 셈이 된다.) 총 변화는 전체 토지이용에 대한 SOC 축적량을 합할 때 산정가능하다는 것은 중요하다. 임지로 전용된 토지는 기본 계층화 또는 국가특성 계층화에 근거한 기후지역과 주요 토양종류에 따라서 계층화 된다. 이는 토지 전용의 위치에 하여 공간적으로 명시된 자료와 함께 기후와 토양지도의 중첩에 의하여 완성된다.

인벤토리는 이전보다 많은 상세정보와 자원을 요구하는 일련의 Tier 1,2 또는 3 접근을 이용하여 개발될 수 있다. 각 국가들은 출처카테고리의 개별 구성요소에 대한 산정을 준비하기 위하여 각 다른 tier를 사용하는 것이 가능하다. (즉, 무기토양과 유기토양 내 토양 유기탄소(C) 축적량: 그리고 토양 유기탄소(C) 저장고과 관련된 변화)

4.3.3.1 방법의 선정

인벤토리는 Tier 1,2 또는 3를 이용하여 개발할 수 있으며 각 국가는 무기토양과 유기토양에 대한 각 다른 tier를 선택 할 수 있다. 인벤토리 편집자가 토양 탄소(C) 인벤토리에 대한 적절한 tier를 선택하는 데 도움을 주기위해 국가-특정 2.3.3.1의 무기토양(그림2.4)와 유기토양(그림2.5)에 대한 의사결정도가 제공되어 있다.

무기토양

Tier 1

토양 유기탄소(C) 축적량의 변화는 제2장의 식2.25를 이용하여 임지로 전용된 토지에의 무기토양에 대하여 산정될 수 있다. Tier1에 대하여, 초기(전환 전) 토양유기탄소(C)축적량 ($SOC_{(0-T)}$)과 인벤토리 기간의 마지막해의 탄소(C) 축적량은(SOC_0) 토양유기탄소(C)축적량 기준(SOC_{REF})과 전환 전후에 대한 토지이용과 관리를 설명하기에 적합한 기본 축적량 변화계수(FLU, FMG, FI)의 일반적인 집합으로부터 결정된다. 임지나 이전 토지이용에서 기반암이 노출된 지역은 토양탄소(C) 계산에 포함하지 않음을 주의하라 (축적량을 0으로 가정하라).

Tier 2

무기토양에 대한 Tier 2 접근은 또한 제2장의 식2.25를 이용한다. 그러나 국가 또는 지역특성 기준 탄소(C) 축적량 그리고/또는 축적량 변화 계수와 가능한 세분화된 토지이용 활동도와 환경적인 자료를 포함한다.

Tier 3

Tier 3 접근은 더 자세한 그리고 국가특성모델과/또한 상당한 수준으로 분해된 토지이용과 관리 자료를 수반하는 접근에 기반 한 측정을 포함한다. Tier 3 접근이 임지로 전용된 토지, 고용 모델, 모니터링 네트워크 그리고/또한 초지, 농경지와 가능한 주거지 또는 기타 토지이용을 포함하는 토지 이용들로부터 시간에 대한 변화를 표현하는데 가능한 자료로부터 토양 탄소(C)를 산정하는 것

은 바람직하다. 모델은 토양 탄소(C) 축적량의 전환 후 변화에 대한 기후, 토양, 산림 종류/관리의 관계를 설명하는 국가 또는 지역특성 필드 위치로 부터의 독립적인 관찰로부터 평가된다는 것은 중요한 사항이다.

유기토양

Tier 1 and Tier 2

인벤토리 기간 내 유기 토양에서 임지로 전용된 토지는 유기토양에 대한 임지로 전용된 임지와 동일하게 취급된다. 새로이 임지로 전용된 토지에 대한 탄소(C) 손실은 만약 토양이 배수된 경우, 제2장의 식2.26을 이용하여 계산된다. Tier 1과 2 접근에 대한 부가적인 지침은 국가고유 4.3.31에 주어져 있다.

Tier 3

무기토양과 비슷하게, Tier 3 접근은 국가특성모델 그리고/또한 상당히 분해된 토지이용과 관리 자료를 수반하는 접근에 근거한 측정을 포함하게 된다.(추가적인 논의에 대하여는 상기한 무기토양을 참고하라.)

4.3.3.2 축적량의 변화와 배출계수의 선정

무기토양

Tier 1

관리된 산림과 농경지, 최소한의 교란으로 명의상 관리된 초지 또한 자연그대로 관리되지 않은 토지에 대하여, 토양 탄소(C) 축적량은 기준값과 동일하다고 가정된다.(즉, 토지이용, 교란(산림에 한하여), 관리방법과 투입계수는 1로 동일하다.)그러나 향상되거나 퇴행된 초지 또한 모든 농경지 시스템과 같은 임지로 전용될 수 있는 다른 시스템을 표한하기 위하여 절절한 축적량 변화 계수를 적용하는 일은 꼭 필요하다. 기본 축적량 변화계수에 대한 적절한 토지이용 국가-특정을 보라.(4.2.2의 임지, 국가-특정 5.2.3.2의 농경지, 6.3.3.2의 초지, 8.2.3.2의 주거지, 기타 토지이용은 9.3.3.2를 보라.) 기본 기준 탄소(C) 축적량은 제2장의 표2.3에서 찾아 볼 수 있다.

Tier 2

국가특성 축적량 변화 계수의 산정은 아마도 Tier2 접근과 관련된 가장 중요한 개발이 될 것이다. 토지 이용들 간의 토양 유기 탄소(C) 축적량의 차이는 표준상태에 상대적으로 계산된다. 만약 기본 기준 탄소(C) 축적량이 사용된다면, 표준상태는 토지이용이나 관리행위에 의하여 퇴행되거나 향상되지도 않은 자연 그대로의 식생이 된다. 만일 산림이 표준 상태를 대표한다면, 자연 그대로의 산림에의 토지이용전환에 대한 축적량 변화 계수는 1과 같아질 수 있다. 그러나 축적량 변화 계수는 표준상태를 대표하지 않는 임지로 전용된 토지에 대하여 새로운 산림 시스템의 탄소(C) 축적량을 상세화 하기 위하여 사용된 교란(FD), 투입(FI) 그리고 관리방법(FMG)의 영향을 고려하여 유도하여야 할 필요성이 있다. 다른 토지이용 구역에 대한 축적량 변화계수의 유도과정에 관한 특정 정보에 대한 적절한 국가-특정을 참고하라. (5.2.3.2의 농경지, 국가-특정 6.2.3.2의 초지, 8.2.3.2의 주거지, 기타 토지이용에 대하여 9.3.3.2를 참고하라.)

탄소(C) 축적량 인용값 2 접근의 국가특성 자료로부터 또한 유도할 수 있다. 그러나 인용값의 이

용에 대하여 일정한 값을 유지해야 하고(즉, 임지, 농경지, 초지, 주거지, 기타의 다른 토지) 따라서 AFOLU에 대한 토양 탄소(C) 인벤토리를 작성하는 다양한 그룹들 사이의 협력이 필요하다.

Tier 3

연속적인 축적량 변화율 계수 자체는 토지이용과 관리의 영향을 더 정확히 잡아내는 다양한 비율에 대하여 산정되지는 않는다. 이상의 논의에 대하여는 제2장의 국가-특정 2.3.3.1절을 참고하라.

유기토양

Tier 1 and Tier 2

인벤토리 기간 내 유기토양의 임지로 전용된 토지는 유기토양의 임지로 유지되는 임지와 동일하게 취급된다. 즉 임지로 전용된 토지는 기후체계에 근거한 이에 적용되는 연속적인 배출계수를 가지고 있다. Tier 1 배출계수는 국가-특정4.5의 표4.6에 주어져 있다. 반면 Tier2 배출계수는 국가 또는 지역특성별 자료로부터 유도된다.

Tier 3

연속적인 배출률 계수(per se)는 토지이용과 관리영향을 더 정확하게 잡아내는 다양한 비율에 대하여 산정되지는 않는다. 이상의 논의에 대하여는 제2장의 국가고유 2.3.3.1을 참고하라.

4.3.3.3 활동자료의 선정

무기토양

Tier 1 and Tier 2

토양 탄소(C) 축적량 변화산정을 위하여 임지로 전용된 토지의 면적산정은 주요 기후지역과 토양 종류에 따라 계층화되어야 한다. 이는 적합한 기후와 토양지도 그리고 토지전용 위치에 대한 공간적으로 명시된 자료의 중첩에 근거할 수 있다. 기본적인 기후와 토양계층화 계획에 대한 상세한 설명은 제3장에 제시되어 있다. 특정 정보는 토지이용/관리 활동자료의 취급과 관련한 토지이용 국가-특정 각각에 대하여 제공 된다 (4.3.3.2절의 임지, 5.2.2.3절의 농경지, 6.2.3.3절의 초지, 8.2.3.3절의 주거지, 기타 토지이용에 대하여 9.3.3.3절을 참고하라).

유기토양 탄소(C)축적량에의 임지로 전용된 토지의 영향을 산정하는데 하나의 중요한 논점은 토지이용의 종류와 관리 활동자료이다. 접근법 2 또는 3을 이용하여 수집된 활동자료는(접근에 대한 논의는 3장을 참고하라.) 임지로 전용된 토지의 이전 토지이용을 판단하는 근거를 제공한다. 대조적으로 수집된 정보(제3장의 접근법1)는 단지 각 토지이용의 전체 면적만을 제공하며 특정 변환을 판단하는 근거를 제시해주지는 못한다. 그러므로 임지로의 전환이전 토지이용은 알 수 없다. 이는 Tier 1또는 2 방법을 사용할 때 문제가 되지는 않는다. 왜냐하면 계산이 동적이지 않고 평형상태에서 다른 상태로의 변화하는 단계를 가정하기 때문이다. 토양 유기탄소(C) 축적량 내에서 변화하는 수집된 자료는 (접근법1)각 토지기본 구역에 따라 개별적으로 계산될 수 있으며 전체 축적량 변화를 얻기 위해 결합될 수 있다. 축적량 변화의 일부는 특정 구역에서의 적은 또는 넓은 토지면적에 대하여 일어난다. 그러나 토지에 근거한 이러한 변화는 다른 구역의 토지면적에의 동반하는 증가 또는 감소로 인하여 상쇄될 수 있다. 이러한 접근을 이용하여 전체 토지기본이 시간에 따라 일정하게 유지되게 하기위하여 각 구역사이의 조정을 하는 것은 필요하다. (어떤 토지면적은 각

인벤토리 수행연도 동안 토지이용변화로 인하여 개별 구역 내에서 잃거나 얻어질 수 있다.)

Tier 3

dynamic 모델 그리고/또한 Tier 3 인벤토리에 근거한 직접측정에의 적용은, Tier 1 또는 2방법과 비교하여 상대적으로, 기후, 토양, 지형, 관리자료의 결합에 대한 비슷하거나 더 자세한 자료를 필요로 한다. 그러나 정확한 요구사항은 모델 또는 측정계획에 의존한다.

유기토양

Tier 1 and Tier 2

인벤토리 기간 동안 유기토양에서 임지로 전용된 토지는 유기토양에서의 임지로 유지되는 임지와 동등하게 취급된다.: 국가-특정 4.2.3.3을 참고하라.

Tier 3

무기토양과 비슷하게. Tier 3접근은 상대적으로 Tier 1 또는 2방법보다 기후, 토양, 지형, 관리자료의 조합의 대한 더 상세한 자료를 필요로 한다. 그러나 정확한 요구사항은 모델 또는 측정계획에 의존한다.

4.3.3.4 Tier 1에 대한 계산단계

무기토양

SOC0와 SOC(0-T)의 측정단계와 헥타르 당 임지로 전용된 토지의 순 탄소(C) 축적량 변화는 다음과 같다;

제 1단계: 인벤토리기간의 첫해에서(활동자료의 시간간격에 따라 다양하게 변할 수 있음,0-T:5, 10, 20년 전) 토지에 대한 무기 토양종류와 기후지역에 따른 토지이용과 관리를 결정한다.

제 2단계: 인벤토리된 각 토지면적에 대한 기후와 토양종류에 근거한 자연 상태의 탄소(C) 축적량 인용값을(SOC_{REF}) 표2.3으로부터 선정한다. 탄소참조축적량은 구역간의 참조축적량의 차이로 인하여 탄소(C) 축적량 내 틀린 변화가 계산되지 않게 하기 위하여 모든 토지이용카테고리에 대하여 동일하다.

제 3단계: 산림으로 전환 이전을 표현하는 토지이용과 관리시스템을 표현하는 토지이용계수(FLU), 관리 계수(FMG), 탄소(C) 투입수준 (FI)을 선정한다. FLU, FMG , FI 의 값은 토지이용 구역에 대한 각각의 국가-특정에 주어져 있다 (제5장 농경지, 제6장 초지).

제 4단계: 인벤토리 기간에 대한 초기 토양 유기탄소(C) 축적량을(SOC(0-T)) 산정하기 위하여 이들 값을 기준 토양 탄소(C) 축적량과 곱한다.

제 5단계: 동일한 자연 상태의 탄소(C) 축적량 인용값을 이용하여, 제1단계에서 4단계를 반복하여 탄소(C) 축적량 인용값 (SOC_{REF})을 계산한다. 그러나 인벤토리 최종년도 (year 0)이 상황을 나타내는 토지이용, 관리와 입력계수는 제외한다. Tier 1에 대하여, 모든 축적량 변화 계수는 임지에 대하여 1과 같다고 가정 한다 (Tier 2에 대하여는, 새로이 임지로 전용된 토지에의 이들 계수의 각기 다른 값은 국가특성 자료에 근거하여 사용되어야 한다.).

제 6단계: 인벤토리 기간 내 면적에 대한 토양 탄소(C) 축적량의 연평균 변화를($\Delta C_{CCMineral}$) 산정하라.(제2장의 식2.25를 보라.)

제 7단계: 만약 추가적인 인벤토리 기간이 있을 경우, 1에서 6단계를 반복하라. (예를 들어 1990에서 2000년, 2001년에서 2010년 등)

농경지 토양의 조림에 대한 계산 예제가 아래 주어져 있다.

예제. 100,000 헥타르 면적의 농경지가 산림으로 조림되었다. 토양 종류는 열대 습윤 기후에의 울티졸이며, 이는 47 tonnes C ha-1 (표 2.3)의 자연그대로의 기준 축적량, SOCRef (0-30 cm)을 가진다. 이전 토지이용은 일년생 작물이며, 비료를 뿌리지 않는 전통적인 농경지이고 곡물 잔재물은 제거된다. 따라서 인벤토리 기간의 초기(이 예제에서는, 1995년에서 5년 전) 토양 탄소(C) 축적량은($SOC_{Ref} \bullet F_{LU} \bullet F_{MG} \bullet F_I$) = 47 tonnes C ha-1 • 0.48 • 1 • 0.92 = 20.8 tonnes C ha-1 (농경지에 대한 축적량 변화 계수는 제5장의 표5.5를 참고하라.) Tier 1하에서, 관리된 산림은 표준상태와 동일한 토양 탄소(C) 축적량을 가진다고 가정한다. (즉, 모든 축적량 변화계수는 1로 동일하다.) 그러므로, 인벤토리 기간동안 면적에 대한 토양 탄소(C) 축적량의 연평균 변화는 (47 tonnes C ha-1 −20.8 tonnes C ha-1) / 20 yrs = 1.3 tonnes C ha-1 yr-1.으로 산정된다. 재조림된 면적에 대하여, 131,000 tonnes C yr-1.의 증가가 발생한다. (주의: 20 년 동안 축적량 변화 계수는 시간 의존적이다, 즉 계수는 20년간 변화의 연간 비율을 표현한다.)

유기토양

계산과정은 위의 국가-특정 4.2.3.4와 동일하다.

4.3.3.5 불확도 평가

임지로 전용된 토지에 대한 불확도 분석은 기본적으로 임지로 유지되는 임지와 동일하다. 불확도의 세 가지 주요 자료원은 다음과 같다. 1) 토지이용과 관리 활동과 환경 자료에 대한 불확도, 2) Tier 1 또는 2접근 이용 시, 탄소(C) 축적량 인용값의 불확도(무기토양에 한정), 3) Tier 1 또는 2 접근에 대한 축적량 변화/배출계수, 접근법에 근거한 Tier 3 모델에 대한 모델 구조/변수 오차 또는 인벤토리에 근거한 Tier 3 측정과 관련된 측정 오차/샘플링 다양성에의 불확도. 추가적인 논의에 대하여는 임지로 유지되는 임지의 불확도 국가고유를 참고하라(국가고유 4.2.3.5절).

4.3.4 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 온실가스 배출

바이오매스로부터 또는 임지로 전용된 토지에서의 화재로부터의 non-CO_2 온실가스 배출을 산정하기 위한 지침은 국가-특정 4.2.4에서 논의한다. 일반적인 지침은 또한 제2장의 국가-특정 2.4에 제공되어 있다. 산림토양으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출산정에 대한 지침은 제11장에 제공되어 있다.

4.4 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고와 기록

4.4.1 완전성

완전성은 온실가스 인벤토리를 위한 필요조건이며 수확된 목재 생산을 포함한 모든 산림 탄소(C) 증가와 손실을 표현하는 것은 바람직하다고 할 수 있다. 임지에 대한 온실가스 인벤토리는 임지하의 토지와 임지로 전용된 모든 토지이용 카테고리 하에의 토지이용을 포함하여야 한다. 완전성에 대하여, 모든 탄소(C) 저장고과 non-CO_2 온실가스를 포함하는 것은 바람직하다. 제11장 11.2절은 배수된 유기토양에서의 아산화질소(N_2O) 배출에 대한 조언을 제공한다. 탄소(C) 저장고별 계산을 위해 이용된 산림면적은 동일해야 한다. 유기토양에서의 배출과 무기토양에서 토지이용변화에 기여한 배출과 제거는 산정되어야 한다. 고차수준의 tier는 국가특성 정보와의 조합을 통하여 무기토양에서 관리와 자연적 교란체계에 의한 추가적인 영향을 포함하여야 한다. 임지로 유지되는 임지와 임지로 전용된 토지에 관련된 이산화탄소(CO_2)의 배출과 제거를 고려한 완전성 또는 관리된 (그리고 적용 가능한 경우 관리되지 않은) 임지에서 바이오매스 연소로 인한 영향으로부터의 이산화탄소(CO_2) 배출과 제거를 고려한 완전성은 필요하다. 고사 유기물 저장고로의 이동을 야기하는 바이오매스 탄소(C) 저장고로부터의 모든 손실이 바이오매스 탄소(C) 축적량 변화로서 처음에 고려되는 것은 바람직하다. Tier 1 산정방법을 이용하는 국가들이 화재 또는 다른 교란 시 DOM 저장고로부터의 탄소(C) 배출을 고려하지 않는 것은 바람직하다. 왜냐하면, 더해진 모든DOM 저장고은 부가적인 년도에서 방출된 것으로 가정하기 때문이다. 결론적으로, Tier 1방법은 또한 자연적 교란의 결과로 발생하는 DOM 저장고의 증가를 고려하지 않는다.

4.4.2 일관적 시계열 개발

제1권의 제5장의 지침을 이용하여, 모든 AFOLU 카테고리에 대한 인위적인 온실가스의 배출과 제거에 대한 안정적인 시계열 인벤토리를 작성하는 것은 바람직하다. 그러므로 다른 토지이용카테고리 안에서 기후, 산림타입, 토양계층에 대한 일관성 없는 정의로부터 야기되는 회계오차로 인하여 토지이용 변화가 예상되는 면적은 소실되거나 중복되지 않는다. Tier 1,2 또는 3을 이용하여 온실가스의 배출과 제거를 산정하기 위하여, 시계열의 매년 국가특성 자료가 이용되는 분해의 동일한 수준에서 일관성이 지켜지도록 이론적으로 동일한 프로토콜이 적용되어야 한다(샘플링 전략, 방법 등). 시계열의 모든 지점에서의 동일한 계산을 위하여 동일한 계수와 방법을 사용하는 것이 바람직하다.

그러나 인벤토리 용량과 정보와 자료출처의 이용가능성이 시간이 지남에 따라 향상됨에 따라, 새로운 배출원과 흡수원 카테고리는 포함되거나 또는 상위 Tier, 계산산정이 이용되는 방법과 자료는 업데이트되고 상세화될 수 있다. 이러한 조건에서, 역사적인 배출과 제거의 재계산은 *우수실행 (good practice)*이다. 어떤 경우에서는 만약 어떤 역사적인 자료가 소실되었다면, 다른 자료출처로부터 산정할 수도 있다. 예를 들어, *2006 IPCC 가이드라인*은 1966 가이드라인은 (제1장 참고) 포함하지 않는 산림에서의 이산화탄소(CO_2)와 non-CO_2배출에 대하 산정을 필요로 한다. 새로운 자료 그리고/또한 방법을 고려한 역사적인 인벤토리의 재계산의 필요성 때문에, 지식의 수준과 토양에 대한 배출산정의 세부사항은 또한 시간이 지남에 따라 향상된다. 산림토양에서의 변화는 때로 10년보다 세분화된 시간단위에서 파악이 어려울 수 있다. 연간 배출과 흡수량 산정을 얻기 위한 측정들 사이에서 중간 항을 삽입할 필요가 있다.

Tier 1 방법을 이용하는 국가에서는, DOM 축적량 변화의 산정은 임지에서 또는 임지로의 토지이용의 경우에만 제공된다. 만일 잔재물과 고사목탄소(C) 저장고에 대한 기본값 또는 변화기간의 길이가 변하는 경우에는, 자료에 대하여 전체 시계열에 대한 재계산을 하는 것은 바람직하다. 만약 토지이용 변화율과 같은 활동자료의 수정이 생긴 경우, 산정에 대한 전체 시계열에 대하여 재계산을 하는 것은 바람직하다. 장래 더 많은 지상표본점과 고사목과 잔재물 탄소(C) 축적량에 대한 다른 표본 자료가 이용 가능해 질수록, 국가들은 고차수준의 tier 산정작업을 이용하는 모델을 발전시키기에 용이해진다. 전체 시계열에 대하여 그리고 만일 하나 또는 그 이상의 모델 변수가 변하는 경우, 전체 시계열을 재계산하기 위하여 동일한 모델 변수값을 이용하는 것이 좋다(낙엽 비율, 사멸률, 교란요소 투입 등).

4.4.3 품질보증과 품질관리

임지의 온실가스 인벤토리 산정은 정밀도, 정확도, 편향의 수준에 대하여 각기 다른 특성을 가질 수 있다. 게다가, 산정은 질과 해당 국가에서 이용 가능한 자료와 정보의 일관성 또한 지식의 격차에 의하여 영향을 받는다. 부가적으로, 국가에서 사용하는 Tier 수준에 따라, 산정은 샘플링 오차, 평가오차, 원격탐사영상의 분류오차, 모델링 오차 등 다양한 오차에 의해 영향을 받을 수 있다.

품질보증(QA)과 품질관리(QC)작업을 통하여 품질통제검사를 실시하고 배출산정과정에 대한 전문가 집단의 검토를 실시하는 것은 바람직하다. 특히 고차 tier 방법이 배출산정에 이용된 경우, 제1권의 제6장 Tier 2접근에서 개략적으로 설명된 부가적인 품질제어검사 또한 이용가능하다. 자료출처 특성별 분류작업과 함께 자료 프로세싱과 운용, 보고, 기록과 관련된 전반적인 QA/QC를 보충하는 것은 바람직하다. 품질보증/품질통제 작업은 임지로 유지되는 임지와 임지로 전용된 토지에 대하여 개별적으로 증거자료를 첨부해야 한다.

정보를 수집하는 기관은 정보가 정확하게 수집, 분해되고 이전 년도와 다른 자료출처를 통한 자료의 비교검토가 되었는지를 보장하고 자료가 신뢰성 있고 안전하며 시간에 대하여 일관성을 가지는지 보장하기 위하여 수집과 정보수집방법의 검토와 자료를 확인할 책임을 지고 있다. FAO 자료는 정확성과 일관성을 위하여 다른 국가차원의 자료출처를 가지고 확인을 해야 할 필요성을 가진다. 산정의 기본은(예를 들어, 통계적 조사) QC 과정의 일부로서 검토되고 설명되어야 한다. 증거자료 첨부는 검토 작업의 주요한 구성요소이다. 왜냐하면, 이는 검토자들이 정확성, 격차를 확인하고 개선방법을 제안하는 것을 가능하게 하기 때문이다. 기록에 있어서의 기록과 투명성은 상당히 불확실한 배출원 카테고리에 대하여 매우 중요하다. 그리고 이는 국가특성 계수와 기본값 간의 또는 다른 국가에서 사용한 계수간의 상이함에 대한 근거를 제시한다. 비슷한(생태학적)조건에 있는 국가들은 방법, 배출계수, 불확도 평가에 대한 세분화 부문에서의 협력이 요구된다.

활동자료 확인: 인벤토리 기관은 가능한 경우, 독립적인 자료출처를 이용하는 모든 관리된 토지면적을 포함하는 자료를 확인하고 이를 비교해야 한다. 많은 국가들에서, FAO 자료베이스는 주요한 배출원이 되며 이러한 경우 FAO 자료는 다른 자료출처와 함께 비교 검토되어야 한다. 면적기록에 대한 어떤 변화는 검토의 목적으로 증거자료가 첨부되어야 한다. 전체 면적에 대한 활동자료는 인벤토리에 포함된 전체 면적과 시간변화에 따라 영속적으로 유지되는 기후, 토양타입에 대한 계층화를 확실하게 하기 위하여 모든 토지이용카테고리에 대한 합이 되어야 한다. 국가고유 자료를 이용하는 경우,(standing 바이오매스, 바이오매스 성장률, 지상부바이오매스의 탄소(C)분율, 바이오매스확장계수, 합성비료소비산정에 대한 자료 등) 인벤토리 기관은 이를 IPCC 기본값 또는 배출

계수자료베이스(EFDB)와 비교하고 그 차이를 명시해야 한다.

국가특성 변수는 양질이어야 하며, 되도록 동료들이 검토한 실험적 자료이고, 정확히 설명되어야 하고 증거자료가 첨부되어야 한다. 인벤토리를 작성하는 기관들은 이용된 바람직한 실행방법과 동료들이 검토한 결과를 보장하여야 한다. 실험 면적에 대한 평가는 제시된 그림의 신뢰도를 검증하기 위하여 이용되어야 한다.

내부적인 그리고 외부적인 검토: 제1권의 제8장에 정립된 검토과정은 되록이면 인벤토리 개발과정에 직접참여하지 않는 전문가에 의하여 수행되어야 한다. 인벤토리 기관은 이용된 방법과 자료에 대한 전문가 동료의 검토를 수행하기 위하여 AFOUL 내의 온실가스 제거와 배출에 대한 전문가를 활용하여야 한다. 어떤 카테고리에 대한 국가고유 계수를 계산하는데 이용된 그 부문의 전문가에 의해서 선택된 변수의 주어진 복잡성과 독창성은 상기한 검토들을 포함해야 한다. 만약 토양계수가 직접측정에 근거한다면, 인벤토리 기관은 그들이 실제 환경과 토양관리환경, 연내 기후변화를 대표할 수 있는지 여부를 확실하게 하기위해 측정에 대한 검토를 수행해야 하고 정해진 기준에 따라 측정법을 개발해야 한다. 지역에 영향을 미치는 QA/QC 프로토콜은 또한 검토되어야 하고 산정에 근거한 기본값을 가지고 지역 간 산정의 결과를 도출해야 한다.

Tier 1 방법을 이용하는 국가의 경우 검토를 실시하고 필요하다면, 산림벌채에 의한 탄소(C) 손실의 산정을 위해 요구되는 잔재물과 고사목 저장고의 탄소(C) 축적량에 대한 기본 가정에 대하여 제고하는 것은 바람직하다. 고차수준의 tier를 이용하는 국가들은 DOM 축적량 변화산정 개발을 위해 이용된 모델의 중간 지표를 계산하여야 한다. 예를 들어, QA/QC과정은 축적량 크기, 낙엽발생, 부패손실 등의 산정을 문헌에 제시된 값과 다른 검토기록들과 비교할 수 있다. 가능한 곳에서는, 모델산정을 현지측정과 다른 자료출처와 비교하는 것은 바람지한 방법이다. 어떤 QA/QC 검사는 탄소(C)를 생산하거나 잃지 않은 모델이 배출원 또는 배출원으로서 기록되지 않았음을 확실하게 하기 위하여 내부 질량 균형을 계산하기 위하여 모델링 시스템에 쉽게 적용할 수 있다.

더욱이 벌채자료는 모델에 의하여 수행된 이동 산정을 확인하기 위하여 사용될 수 있다. 2번째 QA/QC 과정은 상위 Tier 산정법을 이용하는 국가가 지역, 산림타입과 토양타입 (유기토양 대 무기토양)에 의하여 계층화된 DOM 저장고의 상한과 하한의 경계를 정립하는데 도구로서 사용된다. 인벤토리에 기록되거나 위 경계를 벗어난 모델에 의해 산정된 어떤 값들은 앞으로 더 조사될 수 있다.

4.4.4 보고와 기록

보고와 기록에 대한 일반적인 요구사항은 제1권의 제8장에 정립되어 있다. 일반적으로, 국가 배출/제거 인벤토리의 작성에 적용된 모든 자료와 정보를 기록하고 증거자료를 첨부하는 것은 바람직하다 (예. 그림, 통계, 가정의 배출원, 모델링접근, 불확도 분석, 검증연구, 관련 프로토콜, 기타 기초 자료 등). 탄소(C) 저장고 정의에 대한 자세한 검토는 기록되어야 하며 인벤토리에 포함된 관리된 토지의 면적의 결정과 관련된 정의와 이들 정의에 대한 증거는 주어진 시간에 대하여 일관성 있게 적용되어야 한다.

증거자료는 완전성, 샘플과 방법과 연도사이의; 중간항 삽입에 대한 시계열 자료와 방법의 일관성 그리고 중복을 피하고 QA/QC를 수행하기 한 재계산을 위하여 필요하다. 인벤토리 편집자가 고차 수준의 tier를 이용하는 과정을 결정함으로써, 계산방법과 자료는 현재 부피에 대하여 설명되지 않고 또한 더 분해 된 접근법에 의하여 특성화된다. 추가적인 증거자료는 더 진보하고 정확한 방

법론을 이용하는데 도움을 주기 위하여 요구된다. 국가별로 정의된 변수와 고 해상도의 지도와 자료가 만들어져 있다. 그러나 모든 Tier 수준에서 방법론, 계수, 활동자료의 선택을 고려한 결정에 대하여 설명이 필요하다. 그 목적은 독립적인 제 3자에 의한 산정의 재설정을 용이하게 위함이나 국가 인벤토리기록에 필요한 모든 증거자료를 포함하는 것이 실행 가능하지 않음을 보여주기도 한다. 그러므로 인벤토리는 이용된 접근법과 방법의 합을 포함하여야 하며, 기록된 배출산정과 같은 자료 배출원의 참고문헌은 투명하고 계산과정에 적용된 단계들은 다시 출처를 규명해야 한다.

배출계수: 이용된 배출과 제거계수의 배출원은(특정한 IPCC 기본값 또는 다른 값) 인용되어야 한다. 만약 국가 또는 지역 또는 산림타입별 특정 배출계수가 사용되고 만약 새로운 방법(IPCC 기본방법이 아닌)이 이용되었다면, 이러한 배출계수와 방법의 과학적 근거는 완전하게 설명되고 증거자료를 첨부해야 한다. 이는 입력변수의 정의와 배출계수와 방법이 유도된 과정과 또한 배출원과 불확도의 정도에 대한 설명을 포함한다. 국가특성 배출계수를 이용하는 인벤토리 기관 각기 다른 계수의 선택에 근거한 정보를 제공하고 이 계수가 어떻게 유도되었는지를 설명하며, 이 계수를 다른 배출계수와 비교하고, 중요한 차이를 설명하며, 불확도의 범위를 지정해야 한다.

활동자료: 모든 활동자료의 배출원은(예를 들어 계산에 이용된 면적, 토양타입과 특성, 식생피복 등)제공되어야 한다.(즉, 자료가 기원한 통계적인 자료베이스에 대한 확실한 출처가 제시되어야 한다.) 자료베이스의 메타자료에 대한 참고문헌은 유용하다.(시간에 대한 정보, 자료 수집의 주기, 샘플링과정, 토양특성과 유기탄소(C) 내 감지할 수 있는 최소한의 변화를 얻기 위해 이용된 분석과정, 정밀도와 정확도의 산정을 포함) 활동자료가 자료베이스로부터 직접적으로 얻어지지 않는 경우, 활동자료를 유도하기 위하여 이용된 정보와 가정은 활동자료 유도와 관련된 불확도의 산정과 함께 제공되어야 한다. 이는 넓은 범위의 산정을 유도하기 위하여 사용된 규모확대과정과 같은 특정한 경우에 적용한다. 이러한 경우, 통계적인 과정은 연관된 불확도와 함께 설명하여야 한다.

모델 시뮬레이션의 결과: 만약 인벤토리 기관이 산정과정에서 모델에서 산출된 자료를 사용한다면, 모델 선정과 사용을 위한 이론적 근거가 제공되어야 한다. 모델이 설명되고 모델링 결과가 해석되고 검증된 간행물에 대하여 완벽하게 출처를 밝히는 것은 바람직하다. 자세한 정보는 검토자들이 일반적인 모델링접근, 모델의 핵심가정, 투입과 산출자료, 변수값과 매개변수지정과정, 모델결과의 신뢰구간, 도출된 결과에 대하여 수행된 민감도분석의 결과 등을 포함하는 모델의 유효성을 평가하는 것을 가능하게 한다. 부가적으로 모델에 대한 컴퓨터 소스코드는 모든 입력과 출력파일과 함께 미래의 참고를 위해 영구적으로 보관되어야 한다.

배출의 분석: 연간 배출에서의 변동에 대한 설명이 수반되어야 한다. 활동도 수준간의 변화와 해마다 배출계수의 변화 간 구별화가 되어야하며 이러한 변화의 원인이 첨부되어야 한다. 만약 각 연도에 다른 배출계수가 사용되었다면, 그 이유는 설명되고 자료가 첨부되어야 한다.

4.5 표

표 4.1 기후 도메인 (FAO, 2001), 기후 지역 (CHAPTER 3), 생태지역 (FAO, 2001)

기후 도메인		기후지역	생태지역 도메인		
도메인	도메인 기준		지역	코드	지역 기준
열대	모든 달에서	열대 강우	열대우림	TAr	습윤: ≤ 3 개월 건조, 겨울 동안

	서리가 없음 해양의 경우 온도가 18˚C 이상	열대 습윤	열대 습윤 낙엽수림	TAwa	주로 습윤: 3-5 개월 건조, 겨울 동안
		열대 건조	열대 건조 산림	TAWb	주로 건조: 5-8 개월 건조, 겨울 동안
			열대 관목	TBSh	준건조: 증발량 > 강수량
			열대 사막	TBWh	건조: 모든 달에 건조
		열대 산악	열대 산악지형	TM	고도가 대략 >1000 m, 국지적 변이
아열대	8개월 이상의 기간동안 기온이 10˚C 초과	온난 온대 습윤	아열대 습윤 산림	SCf	습윤: 건기 없음
		온난 온대 건조	아열대 건조 산림	SCs	계절적으로 건조: 겨울 강수, 건조한 여름
			아열대 스텝	SBSh	준건조: 증발량 > 강수량
			아열대 사막	SBWh	건조: 모든 달에 건조
		온난 온대 습윤 또는 건조	아열대 산악지형	SM	고도가 대략 800 m - 1000 m
온대	4-8 정도 동안 기온이 10˚C 이상	냉온대 습윤	온대 해양성 산림	TeDo	해양성 기후: 가장 추운 달 >0˚C
			온대 대륙성 산림	TeDc	대륙성 기후: 가장 추운 달 <0˚C
		냉온대 건조	온대 스텝	TeBSk	준건조: 증발량 > 강수량
			온대 사막	TeBWk	건조: 모든 달에 건조
		냉온대 건조 또는 습윤	온대 산악 지형	TeM	고도가 대략 >800 m
아한대	3개월 이내 기간 동안 기온이 10˚C 이상	아한대 습윤	아한대 침엽수림	Ba	침엽밀집수림이 대부분
		아한대 건조	아한대 툰드라 산림지	Bb	산림지와 성긴 산림이 대부분
		아한대 습윤 또는 건조	아한대 산악 지형	BM	고도가 대략 >600 m
극지방	모든 달에 10˚C 이하	극지 습윤 또는 건조	극지	P	모든 계절 <10˚C

기후도메인: K□pen-Trewartha 기후그룹(K□pen, 1931)과 동일한 비교적 동일한 온도체계를 가진 지역
기후지역: 다른 탄소 풀에 대하여 보고하는 경우, chatper 3에서 정의된 비슷한 기후지역
생태지역: 넓은 지역이나 비교적 동일한 자연상태의 식생조성(식물상관상, 동일할 필요는 없으나 비슷한)을 가진 지역.
건기(Dry month): 총 강수량(mm) ≤ 2 x 평균기온 (℃)인 달

표 4.2 산림 또는 토지피복 계층

산림 또는 토지피복 계층	정의
산림	높이 5m이상의 나무와 10% 이상의 수관밀도 또는 현지 임계조건에 도달할 수 있는 나무를 가진 0.5 ha 이상의 토지면적. 이는 농업적 또는 도시토지이용이 지배적인 토지는 포함하지 않는다. 산림

	은 나무의 존재와 다른 지배적인 토지이용의 부재로 결정된다. 나무는 현지에서, 최소한 높이 5m에 도달할 수 있어야 한다. 아직 이에 도달하지 못했으나 10%의 수관밀도와 나무높이 5m에 도달할 수 있을 것으로 예상되는 재조림 면적은 일시적으로 저장되지 않은 면적에 포함된다. **포함:** 재생이 예상되는 인간행위 또는 자연적 원인에 의한 결과는 제시된 기준을 만족하는 대나무와 야자나무를 가진 면적과 임도와 방화선과 다른 작은 열린 면적, 국립공원의 산림, 자연보존지역과 과학적, 역사적, 문화적 또는 심미적 보호지역, 방풍림, 거주지벨트와 0.5 ha 이상의 면적과 20m이상의 폭을 가진 나무 생태통로, 고무나무 경작지와 코르크 나무 경작지와 같은 보호목적 또는 경제림에 주로 이용되는 플랜테이션. **제외**: 농업생산시스템 내의 산림, 예를 들면, 과수 경작지와 농림업 시스템(agroforestry systems). 도시공원과 정원의 나무 역시 제외된다.
다른 목지	높이 5m이상의 나무와 5-10%의 수관밀도 또는 현지 임계조건에 도달할 수 있는 나무를 가진 또는 10% 이상의 관목, 덤불과 나무로 결합되어 덮힌 0.5 ha 이상의 "Forest(산림)"으로 분류되지 않은 토지면적. 농업적 또는 도시토지이용이 지배적인 토지는 포함되지 않는다.
기타 토지	산림 또는 다른 목지로 분류되지 않은 모든 토지. **포함:** 농경지, 목초지(meadows), 방목지(pastures), 조성된 면적, 불모지 등과 나무가 있는 기타 토지의 하위카테고리하에서 분류된 면적
나무가 있는 기타 토지	기타 토지로 분류된 토지는 성숙된 상태에서, 높이 5m이상에 도달할 수 있는 나무의 10%이상 수관밀도를 가진 0.5 ha 이상의 면적이다. **포함:** 나무의 집단과 경작지, 공원, 정원, 건물 주변에(제시된 면적, 높이, 수관밀도 기준을 충족하는) 산재되어 있는 나무들, 과수원이나 야자수 경작지와 같은 나무보다는 다른 목적으로 설정된 산림 경작지

Source: FAO, 2006. Global Forest Resources Assessment 2005 progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper No. 147. Rome.

표4.3 지상부 산림 바이오매스의 탄소 분율

도메인	나무의 부분	탄소분율 (CF) [tonne C (tonne d.m.)-1]	References
기본값	전체	0.47	McGroddy et al., 2004

열대와 아열대	전체	0.47 (0.44 - 0.49)	Andreae and Merlet, 2001; Chambers et al., 2001; McGroddy et al., 2004; Lasco and Pulhin, 2003
	목질부	0.49	Feldpausch et al., 2004
	목질부, 나무 직경 < 10 cm	0.46	Hughes et al., 2000
	목질부, 나무 직경 ≥ 10 cm	0.49	Hughes et al., 2000
	잎	0.47	Feldpausch et al., 2004
	잎, 나무 직경 < 10 cm	0.43	Hughes et al., 2000
	잎, 나무 직경 ≥ 10 cm	0.46	Hughes et al., 2000
온대와 아한대	전체	0.47 (0.47 - 0.49)	Andreae and Merlet, 2001; Gayoso et al., 2002; Matthews, 1993; McGroddy et al., 2004
	활엽수	0.48 (0.46 - 0.50)	Lamlom and Savidge, 2003
	침엽수	0.51 (0.47 - 0.55)	Lamlom and Savidge, 2003

표 4.4 지상부 바이오매스와 지하부 바이오매스의 비율(R)

도메인	생태지역	지상부 바이오매스	R [tonne root d.m. (tonne shoot d.m.)-1]	References
열대	열대우림		0.37	Fittkau and Klinge, 1973
	열대 습윤 활엽수림	지상부 바이오매스 <125 tonnes ha^{-1}	0.20 (0.09 - 0.25)	Mokany et al., 2006

		지상부 바이오매스>125 tonnes ha^{-1}	0.24 (0.22 - 0.33)	Mokany et al., 2006
	열대 건조 수림	지상부 바이오매스<20 tonnes ha^{-1}	0.56 (0.28 - 0.68)	Mokany et al., 2006
		지상부 바이오매스>20 tonnes ha^{-1}	0.28 (0.27 - 0.28)	Mokany et al., 2006
	열대 관목림		0.40	Poupon, 1980
	열대 산악 지형		0.27 (0.27 - 0.28)	Singh et al., 1994
아열대	아열대 습윤림	지상부 바이오매스 <125 tonnes ha^{-1}	0.20 (0.09 - 0.25)	Mokany et al., 2006
		지상부 바이오매스 >125 tonnes ha^{-1}	0.24 (0.22 - 0.33)	Mokany et al., 2006
	아열대 건조림	지상부 바이오매스 <20 tonnes ha^{-1}	0.56 (0.28 - 0.68)	Mokany et al., 2006
		지상부 바이오매스 >20 tonnes ha^{-1}	0.28 (0.27 - 0.28)	Mokany et al., 2006
	아열대 스텝		0.32 (0.26 - 0.71)	Mokany et al., 2006
	아열대 산악 지형		no estimate available	
온대	온대 해양림, 온대 대륙림, 온대 산악 지형	침엽수 지상부 바이오매스 < 50 tonnes ha^{-1}	0.40 (0.21 - 1.06)	Mokany et al., 2006
		침엽수 지상부 바이오매스 50-150 tonnes ha^{-1}	0.29 (0.24 - 0.50)	Mokany et al., 2006
		침엽수 지상부 바이오매스 > 150 tonnes ha^{-1}	0.20 (0.12 - 0.49)	Mokany et al., 2006
		참나무과 지상부 바이오매스 >70 tonnes ha^{-1}	0.30 (0.20 - 1.16)	Mokany et al., 2006
		유칼리나무과 지상부 바이오매스 < 50 tonnes ha^{-1}	0.44 (0.29 - 0.81)	Mokany et al., 2006
		유칼리나무과 지상부 바이오매스 50-150 tonnes ha^{-1}	0.28 (0.15 - 0.81)	Mokany et al., 2006
		유칼리나무과 지상부 바이오매스 > 150 tonnes ha^{-1}	0.20 (0.10 - 0.33)	Mokany et al., 2006
		다른 활엽수 지상부 바이오매스 < 75 tonnes ha^{-1}	0.46 (0.12 - 0.93)	Mokany et al., 2006
		다른 활엽수 지상부 바이오매스s 75-150 tonnes ha^{-1}	0.23 (0.13 - 0.37)	Mokany et al., 2006
		다른 활엽수 지상부 바이오매스 >150 tonnes ha^{-1}	0.24 (0.17 - 0.44)	Mokany et al., 2006
아한대	아한대 침엽수림 아한대 툰드라 산림지 아한대 산악 지형	지상부 바이오매스 <75 tonnes ha^{-1}	0.39 (0.23 - 0.96)	Li et al., 2003; Mokany et al., 2006
		지상부 바이오매스 >75 tonnes ha^{-1}	0.24 (0.15 - 0.37)	Li et al., 2003; Mokany et al., 2006

표 4.5

기본 바이오매스 전환 확장 계수 (BCEF), 바이오매스 TONNES (나무 부피 M3)-1

BCEF는 지상부 바이오매스($BCEF_S$)에 대한 merchantable growing stock volume으로의 확장과 연간 순증가의($BCEF_I$) 전환과 제거된 지상부 바이오매스 제거에 대한($BCEF_R$) 나무와 땔감제거의 전환을 위한 것이다.

기후지역	산림타입	BCEF	Growing stock level (m3)			
			<20	21-50	51-100	>100
아한대	소나무	$BCEF_S$	**1.2**(0.85-1.3)	**0.68** (0.5-0.72)	**0.57** (0.52-0.65)	**0.5** (0.45-0.58)
		$BCEF_I$	0.47	0.46	0.46	0.463
		$BCEF_R$	1.33	0.75	0.63	0.55
	낙엽송	$BCEF_S$	**1.22**(0.9-1.5)	**0.78** (0.7-0.8)	**0.77** (0.7-0.85)	**0.77** (0.7-0.85)
		$BCEF_I$	0.9	0.75	0.77	0.77
		$BCEF_R$	1.35	0.87	0.85	0.85
	전나무와 가문비나무	$BCEF_S$	**1.16**(0.8-1.5)	**0.66** (0.55-0.75)	**0.58** (0.5-0.65)	**0.53** (0.45-0.605)
		$BCEF_I$	0.55	0.47	0.47	0.464
		$BCEF_R$	1.29	0.73	0.64	0.59
	경목	$BCEF_S$	**0.9** (0.7-1.2)	**0.7** (0.6-0.75)	**0.62** (0.53-0.7)	**0.55** (0.5-0.65)
		$BCEF_I$	0.65	0.54	0.52	0.505
		$BCEF_R$	1.0	0.77	0.69	0.61

표 4.5 (계속)
기본 바이오매스 전환 확장 계수 (BCEF), 바이오매스 TONNES (나무 부피 M3)-1
BCEF는 지상부 바이오매스($BCEF_S$)에 대한 merchantable growing stock volume으로의 확장과 연간 순증가의($BCEF_I$) 전환과 제거된 지상부 바이오매스 제거에 대한($BCEF_R$) 나무와 땔감제거의 전환을 위한 것이다.

기후지역	산림타입	BCEF	Growing stock level (m3)				
			<20	21-40	41-100	100-200	>200
온대	소나무	$BCEF_S$	**3.0**(0.8-4.5)	**1.7** (0.8-2.6)	**1.4** (0.7-1.9)	**1.05** (0.6-1.4)	**0.8**(0.55-1.1)
		$BCEF_I$	1.5	1.3	0.9	0.6	0.48
		$BCEF_R$	3.33	1.89	1.55	1.17	0.89
	낙엽송	$BCEF_S$	**1.8**(0.6-2.4)	**1.0** (0.65-1.5)	**0.75** (0.6-1.0)	**0.7** (0.4-1.0)	**0.7**(0.4-1.0)
		$BCEF_I$	1.5	0.75	0.6	0.67	0.69
		$BCEF_R$	2.0	0.11	0.83	0.77	0.77
	전나무와 가문비나무	$BCEF_S$	**3.0**(0.7-4.0)	**1.44** (0.5-2.5)	**1.0** (0.5-1.4)	**0.75** (0.4-1.2)	**0.7**(0.35-0.9)
		$BCEF_I$	1.0	0.83	0.57	0.53	0.60
		$BCEF_R$	3.33	1.55	1.11	0.83	0.77
지중해성, 열대 건조, 아열대			<20	21-40	41-80	>80	
	경목	$BCEF_S$	**0.5**(2.0-8.0)	**1.9**(1.0-2.6)	**0.8**(0.6-1.4)	**0.66(**0.4-0.9)	
		$BCEF_I$	1.5	0.5	0.55	0.66	
		$BCEF_R$	5.55	2.11	0.89	0.73	
		$BCEF_S$	**6.0**(3.0-8.0)	**1.2**(0.5-2.0)	**0.6**(0.4-0.9)	**0.55**(0.4-0.7)	
		$BCEF_I$	1.5	0.4	0.45	0.54	
		$BCEF_R$	6.67	1.33	0.67	0.61	

표 4.5 (계속)

기본 바이오매스 전환 확장 계수 (BCEF), 바이오매스 TONNES (나무 부피 M3)-1

BCEF는 지상부 바이오매스($BCEF_S$)에 대한 merchantable growing stock volume으로의 확장과 연간 순증가의($BCEF_I$) 전환과 제거된 지상부 바이오매스 제거에 대한($BCEF_R$) 나무와 땔감제거의 전환을 위한 것이다.

기후지역	산림 타입	BCEF	Growing stock level (m3)							
			<10	11-20	21-40	41-60	61-80	80-120	120-200	>200
습윤 열대	활엽수림	$BCEF_S$	**4.0** (3.0-6.0)	**1.75** (1.4-2.4)	**1.25** (1.0-1.5)	**1.0** (0.8-1.2)	**0.8** (0.7-1.2)	**0.76** (0.6-1.0)	**0.7** (0.6-0.9)	**0.7** (0.6-0.9)
		$BCEF_I$	2.5	0.95	0.65	0.55	0.53	0.58	0.66	0.70
		$BCEF_R$	4.44	1.94	1.39	1.11	0.89	0.84	0.77	0.77
	자연산림	$BCEF_S$	**9.0**(4.0-12.0)	**4.0** (2.5-4.5)	**2.8** (1.4-3.4)	**2.05** (1.2-2.5)	**1.7** (1.2-2.2)	**1.5** (1.0-1.8)	**1.3**(0.9-1.6)	**0.95** (0.71.1)
		$BCEF_I$	4.5	1.6	1.1	0.93	0.9	0.87	0.86	0.85
		$BCEF_R$	10.0	4.44	3.11	2.28	1.89	1.67	1.44	1.05

Note: 만약 축적 정의가 가지, stem tops, cull trees을 포함하는 경우, $BCEF_S$ 범위의 아래 값이 적용된다. 만약 가지와 top이 축적의 일부가 아니고 범위의 위에 값이 적용된다. minimum top diameters in the definition of growing stock are large, inventoried volume falls near the lower category limit or basic wood densities are relatively high. 연속그래프, 함수구조와 새로운 연구의 엡데이트는 산림과 기후변화 웹사이트에서 찾아볼 수 있다. (http://www.fao.org/forestry/) 비균질 산림(inhomogeneous forest)에 대한 평균 BCEF는 가능한 가중평균에서 유도되어야 한다. 선택된 계수를 정당화하는 작업은 바람직하다. $BCEF_I$를 적용하기 위하여 최근 축적의 평균추정이 필요로 한다. 이는 FRA 2005(http://www.fao.org/forestry/)에서 유도될 수 있고, $BCEF_R$은 $BCEF_S$를 0.9로 나눔으로써 유도할 수 있다.

Sources: Boreal forests: Alexeyev V.A. and R.A. Birdseye, 1998; Fang J. and Z.M. Wang, 2001; temperate forests: Fang J. et al., 2001; Fukuda M. et al., 2003; Schroeder P. et al., 1997; Snowdon P. et.al., 2000; Smith J. et. al., 2002; Brown S., 1999; Schoene D. and A. Schulte, 1999; Smith J. et al., 2004; Mediterranean forests: Vayreda et al., 2002; Gracia et al., 2002; tropical forests: Brown S. et al., 1989; Brown S. and A. Lugo, 1992; Brown S., 2002; Fang J.Y., 2001.

표 4.6 관리된 산림에서 배수된 유기토양에 대한 배출계수

기후	배출계수(tonnes C ha-1 yr-1)	
	값	범위
열대	1.36	0.82 3.82
온대	0.68	0.41 1.91
아한대	0.16	0.08 1.09
Source: GPG-LULUCF, 표 3.2.3		

표 4.7 산림에서의 지상부 바이오매스

도메인	생태지역	대륙	지상부 바이오매스 (tonnes d.m. ha-1)	References
열대	열대우림	아프리카	310 (130-510)	IPCC, 2003
		북미, 남미	300 (120-400)	Baker et al., 2004a; Hughes et al., 1999
		아시아 (대륙)	280 (120-680)	IPCC, 2003
		아시아 (섬)	350 (280-520)	IPCC, 2003
	열대습윤 활엽수림	아프리카	260 (160-430)	IPCC, 2003
		북미, 남미	220 (210-280)	IPCC, 2003
		아시아 (대륙)	180 (10-560)	IPCC, 2003
		아시아 (섬)	290	IPCC, 2003
	열대건조림	아프리카	120 (120-130)	IPCC, 2003
		북미, 남미	210 (200-410)	IPCC, 2003
		아시아 (대륙)	130 (100-160)	IPCC, 2003
		아시아 (섬)	160	IPCC, 2003
	열대관목림	아프리카	70 (20-200)	IPCC, 2003
		북미, 남미	80 (40-90)	IPCC, 2003
		아시아 (대륙)	60	IPCC, 2003
		아시아 (섬)	70	IPCC, 2003
	열대 산악 지형	아프리카	40-190	IPCC, 2003
		북미, 남미	60-230	IPCC, 2003
		아시아 (대륙)	50-220	IPCC, 2003
		아시아 (섬)	50-360	IPCC, 2003
아열대	아열대 습윤림	북미, 남미	220 (210-280)	IPCC, 2003
		아시아 (대륙)	180 (10-560)	IPCC, 2003
		아시아 (섬)	290	IPCC, 2003
	아열대 건조림	아프리카	140	Sebei et al., 2001
		북미, 남미	210 (200-410)	IPCC, 2003
		아시아 (대륙)	130 (100-160)	IPCC, 2003
		아시아 (섬)	160	IPCC, 2003
	아열대 스텝	아프리카	70 (20-200)	IPCC, 2003
		북미, 남미	80 (40-90)	IPCC, 2003
		아시아 (대륙)	60	IPCC, 2003
		아시아 (섬)	70	IPCC, 2003
	아열대			

	산악 지형	아프리카	50	Mont et al., 2002
		북미, 남미	60-230	IPCC, 2003
		아시아 (대륙)	50-220	IPCC, 2003
		아시아 (섬)	50-360	IPCC, 2003

표 4.7 (계속) 산림에서의 지상부 바이오매스

도메인	생태지역	대륙	지상부 바이오매스 (tonnes d.m. ha-1)	References
온대	온대 해양림	유럽	120	-
		북미	660 (80-1200)	Hessl et al., 2004; Smithwick et al., 2002
		뉴질랜드	360 (210-430)	Hall et al., 2001
		남미	180 (90-310)	Gayoso and Schlegel, 2003; Battles et al., 2002
	온대 대륙림	아시아, 유럽 (≤20 y)	20	IPCC, 2003
		아시아, 유럽 (>20 y)	120 (20-320)	IPCC, 2003
		북미, 남미 (≤20 y)	60 (10-130)	IPCC, 2003
		북미, 남미 (>20 y)	130 (50-200)	IPCC, 2003
	온대 산악 지형	아시아, 유럽 (≤20 y)	100 (20-180)	IPCC, 2003
		아시아, 유럽 (>20 y)	130 (20-600)	IPCC, 2003
		북미, 남미 (≤20 y)	50 (20-110)	IPCC, 2003
		북미, 남미 (>20 y)	130 (40-280)	IPCC, 2003
아한대	아한대 침엽수림	아시아, 유럽, 북미	10-90	Gower et al., 2001
	아한대 툰드라 산림지	아시아, 유럽, 북미 (≤20 y)	3-4	IPCC, 2003
		아시아, 유럽, 북미 (>20 y)	15-20	IPCC, 2003
	아한대 산악 지형	아시아, 유럽, 북미 (≤20 y)	12-15	IPCC, 2003
		아시아, 유럽, 북미 (>20 y)	40-50	IPCC, 2003

표4.8 산림 플랜테이션에서의 지상부 바이오매스

도메인	생태지역	대륙	지상부 바이오매스(tonnes d.m. ha-1)	References
열대	열대우림	아프리카 활엽수 > 20 y	300	IPCC, 2003
		아프리카 활엽수 ≤ 20 y	100	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 > 20 y	200	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 ≤ 20 y	60	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스 류	200	IPCC, 2003
		미국 소나무류	300	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	240	Kraenzel et al., 2003
		미국 기타 활엽수	150	IPCC, 2003
		아시아 활엽수	220	IPCC, 2003
		아시아 기타	130	IPCC, 2003
	열대 습윤 활엽수림	아프리카 활엽수 > 20 y	150	IPCC, 2003
		아프리카 활엽수 ≤ 20 y	80	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 > 20 y	120	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 ≤ 20 y	40	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스 류	90	Stape et al., 2004
		미국 소나무류	270	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	120	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	100	IPCC, 2003
		아시아 활엽수	180	IPCC, 2003
		아시아 기타	100	IPCC, 2003

표4.8 (계속) 산림 플랜테이션에서의 지상부 바이오매스

도메인	생태지역	대륙	지상부바이오매스 (tonnes d.m. ha-1)	References
열대	열대건조림	아프리카 활엽수 > 20 y	70	IPCC, 2003
		아프리카 활엽수 ≤ 20 y	30	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 > 20 y	60	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 ≤ 20 y	20	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스 류	90	Stape et al., 2004
		미국 소나무류	110	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	90	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	60	IPCC, 2003
		아시아 활엽수	90	IPCC, 2003
		아시아 기타	60	IPCC, 2003
	열대관목림	아프리카 활엽수	20	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 > 20 y	20	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 ≤ 20 y	15	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스 류	60	IPCC, 2003
		미국 소나무류	60	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	50	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	30	IPCC, 2003
		아시아 활엽수	40	IPCC, 2003
		아시아 기타	30	IPCC, 2003
	열대산악지형	아프리카 활엽수 > 20 y	60-150	IPCC, 2003
		아프리카 활엽수 ≤ 20 y	40-100	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 > 20 y	30-100	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 ≤ 20 y	10-40	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스 류	30-120	IPCC, 2003
		미국 소나무류	60-170	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	30-130	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	30-80	IPCC, 2003
		아시아 활엽수	40-150	IPCC, 2003
		아시아 기타	25-80	IPCC, 2003
아열대	아열대습윤산림	미국 유칼립투스 류	140	IPCC, 2003
		미국 소나무류	270	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	120	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	100	IPCC, 2003
		아시아 활엽수	180	IPCC, 2003
		아시아 기타	100	IPCC, 2003
	아열대건조산림	아프리카 활엽수 > 20 y	70	IPCC, 2003
		아프리카 활엽수 ≤ 20 y	30	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 > 20 y	60	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 ≤ 20 y	20	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스 류	110	IPCC, 2003
		미국 소나무류	110	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	90	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	60	IPCC, 2003
		아시아 활엽수	90	IPCC, 2003
		아시아 기타	60	IPCC, 2003

표4.8 (계속) 산림 플랜테이션에서의 지상부 바이오매스

도메인	생태지역	대륙	지상부바이오매스(tonnes d.m. ha-1)	References
아열대	아열대 스텝	아프리카 활엽수	20	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 > 20 y	20	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 ≤ 20 y	15	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스 류	60	IPCC, 2003
		미국 소나무류	60	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	50	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	30	IPCC, 2003
		아시아 활엽수 > 20 y	80	IPCC, 2003
		아시아 활엽수 ≤ 20 y	10	IPCC, 2003
		아시아 침엽수 > 20 y	20	IPCC, 2003
		아시아 침엽수 ≤ 20 y	100-120	IPCC, 2003
	아열대 산악 지형	아프리카 활엽수 > 20 y	60-150	IPCC, 2003
		아프리카 활엽수 ≤ 20 y	40-100	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 > 20 y	30-100	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 ≤ 20 y	10-40	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스 류	30-120	IPCC, 2003
		미국 소나무류	60-170	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	30-130	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	30-80	IPCC, 2003
		아시아 활엽수	40-150	IPCC, 2003
		아시아 기타	25-80	IPCC, 2003
온대	온대 해양림	아시아, 유럽, 활엽수 > 20 y	200	IPCC, 2003
		아시아, 유럽, 활엽수 ≤ 20 y	30	IPCC, 2003
		아시아, 유럽, 침엽수 > 20 y	150-250	IPCC, 2003
		아시아, 유럽, 침엽수 ≤ 20 y	40	IPCC, 2003
		북미	50-300	IPCC, 2003
		뉴질랜드	150-350	Hinds and Reid, 1957; Hall and Hollinger, 1997; Hall, 2001
		남미	90-120	IPCC, 2003
	온대 내륙림, 온대 산악 지형	아시아, 유럽, 활엽수 > 20 y	200	IPCC, 2003
		아시아, 유럽, 활엽수 ≤ 20 y	15	IPCC, 2003
		아시아, 유럽, 침엽수 > 20 y	150-200	IPCC, 2003
		아시아, 유럽, 침엽수 ≤ 20 y	25-30	IPCC, 2003
		북미	50-300	IPCC, 2003
		남미	90-120	IPCC, 2003
아한대	아한대 침엽수림 및 산악 지형	아시아, 유럽 > 20 y	40	IPCC, 2003
		아시아, 유럽 ≤ 20 y	5	IPCC, 2003
		북미	40-50	IPCC, 2003
	아한대 툰드라 산림지	아시아, 유럽 > 20 y	25	IPCC, 2003
		아시아, 유럽 ≤ 20 y	5	IPCC, 2003
		북미	25	IPCC, 2003

표 4.9 천연산림에서 지상부 바이오매스 순증가				
도메인	**생태지역**	**대륙**	**지상부 바이오매스증가 (tonnes d.m. ha^{-1} yr^{-1})**	**Reference**
열대	열대우림	아프리카 (≤20 y)	10	IPCC, 2003
		열대 습윤 활엽수림	3.1 (2.3-3.8)	IPCC, 2003
		북미	0.9-18	Clark et al., 2003 ; Hughes et al., 1999
		남미 (≤20 y)	11	Feldpausch et al., 2004
		남미 (>20 y)	3.1 (1.5-5.5)	Malhi et al., 2004
		아시아 (대륙 ≤20 y)	7.0 (3.0-11.0)	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 >20 y)	2.2 (1.3-3.0)	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 ≤20 y)	13	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 >20 y)	3.4	IPCC, 2003
	열대습윤활엽수림	아프리카 (≤20 y)	5	Harmand et al., 2004
		아프리카 (>20 y)	1.3	IPCC, 2003
		북남미 (≤20 y)	7.0	IPCC, 2003
		북남미 (>20 y)	2.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 ≤20 y)	9.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 >20 y)	2.0	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 ≤20 y)	11	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 >20 y)	3.0	IPCC, 2003
	열대건조림	아프리카 (≤20 y)	2.4 (2.3-2.5)	IPCC, 2003
		열대관목림	1.8 (0.6-3.0)	IPCC, 2003
		열대 산악 지형	4.0	IPCC, 2003
		북남미 (>20 y)	1.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 ≤20 y)	6.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 >20 y)	1.5	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 ≤20 y)	7.0	IPCC, 2003
	열대관목림	아시아 (도서지역 >20 y)	2.0	IPCC, 2003
		아프리카 (≤20 y)	0.2-0.7	Nyg□d et al., 2004
		열대 산악 지형	0.9 (0.2-1.6)	IPCC, 2003

		북남미 (≤20 y)	4.0	IPCC, 2003
		북남미 (>20 y)	1.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 ≤20 y)	5.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 >20 y)	1.3 (1.0-2.2)	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 ≤20 y)	2.0	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 >20 y)	1.0	IPCC, 2003
	열대 산악 지형	아프리카 (≤20 y)	2.0-5.0	IPCC, 2003
		아프리카 (>20 y)	1.0-1.5	IPCC, 2003
		북남미 (≤20 y)	1.8-5.0	IPCC, 2003
		북남미 (>20 y)	0.4-1.4	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 ≤20 y)	1.0-5.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 >20 y)	0.5-1.0	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 ≤20 y)	3.0-12	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 >20 y)	1.0-3.0	IPCC, 2003
아열대	아열대 습윤림	북남미 (≤20 y)	7.0	IPCC, 2003
		북남미 (>20 y)	2.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 ≤20 y)	9.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 >20 y)	2.0	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 ≤20 y)	11	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 >20 y)	3.0	IPCC, 2003
	아열대 건조림	아프리카 (≤20 y)	2.4 (2.3-2.5)	IPCC, 2003
		아프리카 (>20 y)	1.8 (0.6-3.0)	IPCC, 2003
		북남미 (≤20 y)	4.0	IPCC, 2003

표 4.9 (계속) 천연산림에서 지상부 바이오매스 순증가

도메인	생태지역	대륙	지상부 바이오매스 성장 (tonnes d.m. ha-1 yr-1)	Reference
아열대		북남미 (>20 y)	1.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 ≤20 y)	6.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 >20 y)	1.5	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 ≤20 y)	7.0	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 >20 y)	2.0	IPCC, 2003
	아열대 스텝	아프리카 (≤20 y)	1.2 (0.8-1.5)	IPCC, 2003
		아프리카 (>20 y)	0.9 (0.2-1.6)	IPCC, 2003
		북남미 (≤20 y)	4.0	IPCC, 2003
		북남미 (>20 y)	1.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 ≤20 y)	5.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 >20 y)	1.3 (1.0-2.2)	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 ≤20 y)	2.0	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 >20 y)	1.0	IPCC, 2003
	아열대 산악 지형	아프리카 (≤20 y)	2.0-5.0	IPCC, 2003
		아프리카 (>20 y)	1.0-1.5	IPCC, 2003
		북남미 (≤20 y)	1.8-5.0	IPCC, 2003
		북남미 (>20 y)	0.4-1.4	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 ≤20 y)	1.0-5.0	IPCC, 2003
		아시아 (대륙 >20 y)	0.5-1.0	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 ≤20 y)	3.0-12	IPCC, 2003
		아시아 (도서지역 >20 y)	1.0-3.0	IPCC, 2003
온대	온대 해양림	유럽	2.3	
		북미	15 (1.2-105)	Hessl et al., 2004
		뉴질랜드	3.5 (3.2-3.8)	Coomes et al., 2002
		남미	2.4-8.9	Echevarria and Lara, 2004
	온대 대륙림	아시아, 유럽, 북미 (≤20 y)	4.0 (0.5-8.0)	IPCC, 2003
		아시아, 유럽, 북미(>20 y)	4.0 (0.5-7.5)	IPCC, 2003
	온대 산악 지형	아시아, 유럽, 북미	3.0 (0.5-6.0)	IPCC, 2003
아한대	아한대 침엽수림	아시아, 유럽, 북미	0.1-2.1	Gower et al., 2001
	아한대 툰드라 산림림	아시아, 유럽, 북미	0.4 (0.2-0.5)	IPCC, 2003
	아한대 산악 지형	아시아, 유럽, 북미 (≤20 y)	1.0-1.1	IPCC, 2003
		아시아, 유럽, 북미 (>20 y)	1.1-1.5	IPCC, 2003

표 4.10 열대와 아열대 산림 플랜테이션에서 지상부 바이오매스 순 성장

도메인	생태지역	대륙	지상부 바이오매스 성장 (tonnes d.m. ha^{-1} yr^{-1})	References
열대	열대 우림	아프리카 소나무 ≤ 20 y	20	IPCC, 2003
		아프리카 기타 ≤ 20 y	6 (5-8)	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스	20 (6-40)	IPCC, 2003
		미국 소나무	20	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	15	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	20 (5-35)	IPCC, 2003
		아시아 유칼립투스	5 (4-8)	IPCC, 2003
		아시아 기타	5 (2-8)	IPCC, 2003
	열대 습윤 활엽수림	아프리카 유칼립투스 >20 y	25	IPCC, 2003
		아프리카 유칼립투스 ≤20 y	20	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 > 20 y	15	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 ≤ 20 y	10	IPCC, 2003
		아프리카 기타 ≤ 20 y	9 (3-15)	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스	16	Stape et al., 2004
		미국 소나무	7 (4-10)	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	8 (4-12)	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	6-20	Lugo et al., 1990
		아시아	8	IPCC, 2003
	열대 건조림	아프리카 유칼립투스 >20 y	13	IPCC, 2003
		아프리카 유칼립투스 ≤20 y	10	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 > 20 y	8	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 ≤ 20 y	10 (4-20)	IPCC, 2003
		아프리카 기타 ≤ 20 y	20 (6-30)	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스	7 (4-10)	IPCC, 2003
		미국 소나무	8 (4-12)	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	10 (3-12)	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	15 (5-25)	IPCC, 2003
		아시아 기타	7 (2-13)	IPCC, 2003
	열대 관목림	아프리카 유칼립투스 >20 y	8 (5-14)	IPCC, 2003
		아프리카 유칼립투스 ≤20 y	5 (3-7)	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 > 20 y	2.5	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 ≤ 20 y	3 (0.5-6)	IPCC, 2003
		아프리카 기타 ≤ 20 y	10	IPCC, 2003

		아프리카 기타 ≤ 20 y	15	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스	20	IPCC, 2003
		미국 소나무	5	IPCC, 2003
		아시아	6 (1-12)	IPCC, 2003
	열대 산악 지형	아프리카	10	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스	10 (8-18)	IPCC, 2003
		미국 소나무	10	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	2	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	4	IPCC, 2003
		아시아 유칼립투스	3	IPCC, 2003
		아시아 기타	5 (1-10)	IPCC, 2003
아열대	아열대 습윤림	미국 유칼립투스	20 (6-32)	IPCC, 2003
		미국 소나무	7 (4-10)	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	8 (4-12)	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	10 (3-12)	IPCC, 2003
		아시아	8	IPCC, 2003
	아열대 건조림	미국 유칼립투스 ≤20 y	13	IPCC, 2003
		미국 소나무 > 20 y	10	IPCC, 2003
		미국 소나무 ≤ 20 y	8	IPCC, 2003
		아프리카 기타 ≤ 20 y	10 (4-20)	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스	20 (6-30)	IPCC, 2003
		미국 소나무	7 (4-10)	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	8 (4-12)	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	10 (3-12)	IPCC, 2003
		아시아 유칼립투스	15 (5-25)	IPCC, 2003
		아시아 기타	7 (2-13)	IPCC, 2003

표 4.10 (계속) 열대와 아열대 산림 플랜테이션에서 지상부 바이오매스 순 성장

도메인	생태지역	대륙	지상부 바이오매스 성장 (tonnes d.m. ha-1 yr-1)	References
아열대	아열대 스텝	아프리카 유칼립투스 >20 y	8 (5-14)	IPCC, 2003
		아프리카 유칼립투스 sp. ≤20 y	5 (3-7)	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 > 20 y	2.5	IPCC, 2003
		아프리카 소나무 ≤ 20 y	3 (0.5-6)	IPCC, 2003
		아프리카 기타 > 20 y	10	IPCC, 2003
		아프리카 기타 ≤ 20 y	15	IPCC, 2003

		미국 유칼립투스	20	IPCC, 2003
		미국 소나무	5	IPCC, 2003
		아시아	6 (1-12)	IPCC, 2003
	아열대 산악 지형	아프리카	10	IPCC, 2003
		미국 유칼립투스	10 (8-18)	IPCC, 2003
		미국 소나무	10	IPCC, 2003
		미국 티크(Tectona grandis)	2	IPCC, 2003
		미국 기타 활엽수	4	IPCC, 2003
		아시아 유칼립투스	3	IPCC, 2003
		아시아 기타	5 (1-10)	IPCC, 2003
온대	온대 해양림	아시아, 유럽, 활엽수 > 20 y	-	-
		아시아, 유럽, 활엽수 ≤ 20 y	-	-
		아시아, 유럽, 침엽수 > 20 y	-	-
		아시아, 유럽, 침엽수 ≤ 20 y	-	-
		북미	-	-
		뉴질랜드	-	-
		남미	-	-
	온대 대륙림, 온대 산악 지형	아시아, 유럽, 활엽수 > 20 y	-	-
		아시아, 유럽, 활엽수 ≤ 20 y	-	-
		아시아, 유럽, 침엽수 > 20 y	-	-
		아시아, 유럽, 침엽수 ≤ 20 y	-	-
		북미	-	-
		남미	-	-
아한대	아한대 침엽수림 및 산악 지형	아시아, 유럽 > 20 y	-	-
		아시아, 유럽 ≤ 20 y	-	-
		북미	-	-
	아한대 툰드라 산림지	아시아, 유럽 > 20 y	-	-
		아시아, 유럽 ≤ 20 y	-	-
		북미	-	-

표 4.11A
선택된 재배형 임업 수종에 대한 지상부 순 부피증가

나무 종류	지상부 순 부피증가 (m^3 ha^{-1} y^{-1})
Acacia auriculiformis	6 - 20
Acacia mearnsii	14 - 25
Araucaria angustifolia	8 - 24
Araucaria cunninghamii	10 - 18

Casuarina equisetifolia	6 - 20
Casuarina junghuhniana	7 - 11
Cordia alliadora	10 - 20
Cupressus lusitanica	8 - 40
Dalbergia sissoo	5 - 8
Eucalyptus camaldulensis	15 - 30
Eucalyptus deglupta	14 - 50
Eucalyptus globulus	10 - 40
Eucalyptus grandis	15 - 50
Eucalyptus robusta	10 - 40
Eucalyptus saligna	10 - 55
Eucalyptus urophylla	20 - 60
Gmelina arborea	12 - 50
Leucaena leucocephala	30 - 55
Pinus caribaea v. caribaea	10 - 28
Pinus caribaea v. hondurensis	20 - 50
Pinus oocarpa	10 - 40
Pinus patula	8 - 40
Pinus radiata	10 - 50
Swietenia macrophylla	7 - 30
Tectona grandis	6 - 18
Terminalia ivorensis	8 - 17
Terminalia superba	10 - 14
Source: Ugalde and Perez, 2001	

표 4.11B 어떤 재배형 임업 수종에 대한 연평균 증가
(MERCHANTABLE VOLUME에 대한 증가)

Planted forest type/ region	Tree species	Mean annual increment (MAI) over rotation (m^3 ha^{-1} y^{-1})	
		MAI min	MAI max
Productive plantations			
아프리카	Acacia mellifera	2.2	4.0
	Acacia nilotica	15.0	20.0
	Acacia senegal	1.4	2.6
	Acacia seyal	2.0	6.0
	Ailanthus excelsa	6.6	9.4
	Bamboo bamboo	5.0	7.5
	Cupressus spp.	15.0	24.0
	Eucalyptus spp.	12.0	14.0
	Khaya spp.	8.5	12.0
	Tectona grandis	2.5	3.5
아시아	Eucalyptus camaldulensis	21.0	43.0
	Pinus spp.	4.0	15.0
남 아메리카	Tectona grandis	7.3	17.3
	Xylia xylocapa	3.0	8.8
	Acacia spp.	15.0	30.0
	Araucaria angustifolia	15.0	30.0

	Eucalyptus spp.	20.0	70.0
	Hevea brasiliensis	10.0	20.0
	Mimosa scabrella	10.0	25.0
	Pinus spp.	25.0	40.0
	Populus spp.	10.0	30.0
	Tectona grandis	15.0	35.0
Productive, semi-natural forests			
아프리카	Acacia albida	4.0	6.1
	Acacia mellifera	1.9	3.5
	Acacia nilotica	12.5	20.0
	Acacia senegal	1.1	2.4
	Acacia seyal	1.8	3.2
	Acacia tortilis	1.2	3.7
	Acacia tortilis var siprocarpa	1.5	2.4
	Balanites aegyptiaca	1.2	1.5
	Sclerocarya birrea	1.5	1.7
	Ziziphus mauritiana	0.9	1.0
Protective plantations			
아프리카	Acacia mellifera	2.0	6.0
	Acacia nilotica	13.0	21.0
	Acacia senegal	1.4	2.8
	Acacia seyal	1.9	4.3
	Ailanthus spp.	6.0	12.0
	Bamboo bamboo	4.0	8.0
	Cupressus spp.	14.0	20.0
	Eucalyptus spp.	10.0	14.0
	Khaya spp.	7.0	16.0
	Tectona grandis	5.0	8.0

표 4.11B (계속) 어떤 재배형 임업 수종에 대한 연평균 증가
(MERCHANTABLE VOLUME에 대한 증가)

Planted forest type/ region	나무 종류	연평균 증가 (MAI) over rotation (m^3 ha^{-1} y^{-1})	
		MAI min	MAI max
Protective Semi-natural plantations			
아프리카	Acacia albida	4.0	6.2
	Acacia mellifera	1.7	3.2
	Acacia nilotica	12.0	15.0
	Acacia senegal	1.1	2.4
	Acacia seyal	1.8	3.3
	Acacia tortilis	1.3	3.5
	Acacia tortilis var siprocarpa	1.6	2.4
	Balanites aegyptiaca	1.2	1.5

	Sclerocarya birrea	1.5	1.7
	Ziziphus mauritiana	0.9	1.0
Source: FAO at http://www.fao.org/forestry/			

표 4.12 표4.7 4.11로부터 TIER 1 추정된 바이오매스 값 (표 4.11B 제외)
(값들은 TIER 1에 대한 근사적인 이용이다.)

기후 도메인	생태지역	천연산림에서 지상부 바이오매스(tonnes d.m. ha^{-1})	산림 plantations에서 지상부 바이오매스 (tonnes d.m. ha^{-1})	천연산림에서 지상부 바이오매스 순증가 (tonnes d.m. ha^{-1} yr^{-1})	산림 plantations에서 지상부 바이오매스 순증가 (tonnes d.m. ha^{-1} yr^{-1})
열대	열대 우림	300	150	7.0	15.0
	열대 습윤 활엽수림	180	120	5.0	10.0
	열대 건조림	130	60	2.4	8.0
	열대 관목림	70	30	1.0	5.0
	열대 산악 지형	140	90	1.0	5.0
아열대	아열대 습윤림	220	140	5.0	10.0
	아열대 건조림	130	60	2.4	8.0
	아열대 스텝	70	30	1.0	5.0
	아열대 산악 지형	140	90	1.0	5.0
온대	온대 해양림	180	160	4.4	4.4
	온대 대륙림	120	100	4.0	4.0
	온대 산악 지형	100	100	3.0	3.0
아한대	아한대 침엽수림	50	40	1.0	1.0
	아한대 툰드라 산림지	15	15	0.4	0.4
	아한대 산악지형	30	30	1.0	1.0

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Adina cordifolia	0.58-0.59	아시아	5
Aegle marmelo	0.75	아시아	5
Afzelia bipidensis	0.67-0.79	아프리카	3
Agathis sp.	0.44	아시아	5
Aglaia llanosiana	0.89	아시아	5
Agonandra brasiliensis	0.74	미국	4
Aidia ochroleuca	0.78	아프리카	5
Alangium longiflorum	0.65	아시아	5
Albizia sp.	0.52	미국	5
Albizzia amara	0.70	아시아	5
Albizzia falcataria	0.25	아시아	5
Alcornea sp.	0.34	미국	5
Aldina heterophylla	0.73	미국	4
Aleurites trisperma	0.43	아시아	5
Alexa grandiflora	0.59	미국	4
Alexa imperatricis	0.52	미국	4

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Cleidion speciflorum	0.50	아시아	5
Cleistanthus eollinus	0.88	아시아	5
Cleistanthus mildbraedii	0.87	아프리카	5
Cleistocalyx sp.	0.76	아시아	5
Cleistopholis patens	0.36	아프리카	5
Clusia rosea	0.67	미국	5
Cochlospermum gossypium	0.27	아시아	5
Cochlospermum orinocensis	0.26	미국	5
Cocos nucifera	0.50	아시아	5
Coda edulis	0.78	아프리카	5
Coelocaryon preussii	0.56	아프리카	5
Cola sp.	0.70	아프리카	5
Colona serratifolia	0.33	아시아	5
Combretodendron quadrialatum	0.57	아시아	5
Conopharyngia holstii	0.50	아프리카	5

Allophyllus africanus	0.45	아프리카	5
Alnus ferruginea	0.38	미국	5
Alnus japonica	0.43	아시아	5
Alphitonia zizyphoides	0.50	아시아	5
Alphonsea arborea	0.69	아시아	5
Alseodaphne longipes	0.49	아시아	5
Alstonia congensis	0.33	아프리카	5
Amburana cearensis	0.43	미국	1
Amoora sp.	0.60	아시아	5
Amphimas pterocarpoides	0.63	아프리카	5
Anacardium excelsum	0.41	미국	4
Anacardium giganteum	0.44	미국	4
Anadenanthera macrocarpa	0.86	미국	4
Andira inermis	0.64	미국	4
Andira parviflora	0.69	미국	4
Andira retusa	0.67	미국	5
Aniba amazonica	0.52-0.56	미국	1
Aniba canelilla	0.92	미국	4
Aningeria robusta	0.44-0.53	아프리카	3
Anisophyllea obtusifolia	0.63	아프리카	5
Anisophyllea zeylanica	0.46	아시아	5
Anisoptera sp.	0.54	아시아	5
Annonidium mannii	0.29	아프리카	5
Anogeissus latifolia	0.78-0.79	아시아	5
Anopyxis klaineana	0.74	아프리카	5
Anthocephalus chinensis	0.33-0.36	아시아	5
Anthocleista keniensis	0.50	아프리카	5
Anthonotha macrophylla	0.78	아프리카	5
Anthostemma aubryanum	0.32	아프리카	5
Antiaris africana	0.38	미국	5
Antiaris sp.	0.38	아프리카	5
Antidesma pleuricum	0.59	아시아	5
Antrocaryon klaineanum	0.50	아프리카	5
Apeiba aspera	0.28	미국	1
Apeiba echinata	0.36	미국	5
Apeiba peiouma	0.20	미국	4
Aphanamiris perrottetiana	0.52	아시아	5
Apuleia leiocarpa	0.70	미국	1
Apuleia molaris	0.76	미국	4
Araucaria bidwillii	0.43	아시아	5
Ardisia cubana	0.62	미국	1
Artocarpus comunis	0.70	미국	5
Artocarpus sp.	0.58	아시아	5
Aspidosperma album	0.76	미국	4

Copaifera officinalis	0.61	미국	1
Copaifera pubifora	0.56	미국	1
Copaifera religiosa	0.50	아프리카	5
Copaifera reticulata	0.63	미국	4
Cordia alliodora	0.48	미국	5
Cordia bicolor	0.49	미국	4
Cordia gerascanthus	0.74	미국	5
Cordia goeldiana	0.48	미국	4
Cordia millenii	0.34	아프리카	5
Cordia platythyrsa	0.36	아프리카	5
Cordia sagotii	0.50	미국	4
Cordia sp.	0.53	아시아	5
Corynanthe pachyceras	0.63	아프리카	5
Corythophora rimosa	0.84	미국	4
Cotylelobium sp.	0.69	아시아	5
Couepia sp.	0.70	미국	5
Couma macrocarpa	0.50	미국	4
Couratari guianensis	0.54	미국	4
Couratari multiflora	0.47	미국	4
Couratari oblongifolia	0.49	미국	4
Couratari stellata	0.63	미국	4
Crataeva religiosa	0.53	아시아	5
Cratoxylon arborescens	0.40	아시아	5
Croton megalocarpus	0.57	아프리카	5
Croton xanthochloros	0.48	미국	5
Cryptocarya sp.	0.59	아시아	5
Cryptosepalum staudtii	0.70	아프리카	5
Ctenolophon englerianus	0.78	아프리카	5
Cubilia cubili	0.49	아시아	5
Cullenia excelsa	0.53	아시아	5
Cupressus lusitanica	0.43-0.44	미국	5
Curatella americana	0.41	미국	2
Cylicodiscus gabonensis	0.80	아프리카	5
Cynometra alexandri	0.74	아프리카	5
Cynometra sp.	0.80	아시아	5
Cyrilla racemiflora	0.53	미국	5
Dacrycarpus imbricatus	0.45-0.47	아시아	5
Dacrydium sp.	0.46	아시아	5
Dacryodes buttneri	0.44-0.57	아프리카	3
Dacryodes excelsa	0.52-0.53	미국	5
Dacryodes sp.	0.61	아시아	5
Dactyodes colombiana	0.51	미국	5
Dalbergia paniculata	0.64	아시아	5
Dalbergia retusa.	0.89	미국	5
Dalbergia stevensonii	0.82	미국	5
Daniellia oliveri	0.53	아프리카	3
Declinanona calycina	0.47	미국	5
Decussocarpus vitiensis	0.37	아시아	5

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Degeneria vitiensis	0.35	아시아	5
Dehaasia triandra	0.64	아시아	5
Dendropanax arboreum	0.40	미국	4
Desbordesia pierreana	0.87	아프리카	5
Detarium senegalensis	0.63	아프리카	5
Dialium excelsum	0.78	아프리카	5

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Koordersiodendron pinnatum	0.65-0.69	아시아	5
Kydia calycina	0.72	아시아	5
Lachmellea speciosa	0.73	미국	5
Laetia procera	0.63	미국	1
Lagerstroemia sp.	0.55	아시아	5

Dialium guianense	0.88	미국	4
Dialium sp.	0.80	아시아	5
Dialyanthera sp.	0.36-0.48	미국	5
Diclinanona calycina	0.47	미국	4
Dicorynia ghuianensis	0.65	미국	4
Dicorynia paraensis	0.60	미국	5
Didelotia africana	0.78	아프리카	5
Didelotia letouzeyi	0.50	아프리카	5
Didymopanax sp.	0.74	미국	5
Dillenia sp.	0.59	아시아	5
Dimorphandra mora	0.99	미국	5
Dinizia excelsa	0.86	미국	4
Diospyros sp.	0.82	아프리카	5
Diospyros sp.	0.47	미국	1
Diospyros sp.	0.70	아시아	5
Diplodiscus paniculatus	0.63	아시아	5
Diploon cuspidatum	0.85	미국	4
Diplotropis martiusii	0.74	미국	1
Diplotropis purpurea	0.78	미국	4
Dipterocarpus caudatus	0.61	아시아	5
Dipterocarpus eurynchus	0.56	아시아	5
Dipterocarpus gracilis	0.61	아시아	5
Dipterocarpus grandiflorus	0.62	아시아	5
Dipterocarpus kerrii	0.56	아시아	5
Dipterocarpus kunstlerii	0.57	아시아	5
Dipterocarpus sp.	0.61	아시아	5
Dipterocarpus warburgii	0.52	아시아	5
Dipteryx odorata	0.93	미국	4
Dipteryx polyphylla	0.87	미국	4
Discoglypremna caloneura	0.32	아프리카	5
Distemonanthus benthamianus	0.58	아프리카	5
Dracontomelon sp.	0.50	아시아	5
Dryobalanops sp.	0.61	아시아	5
Drypetes sp.	0.63	아프리카	5
Drypetes variabilis	0.71	미국	4
Dtypetes bordenii	0.75	아시아	5
Durio sp.	0.53	아시아	5
Dussia lehmannii	0.59	미국	5
Dyera costulata	0.36	아시아	5
Dysoxylum quercifolium	0.49	아시아	5
Ecclinusa bacuri	0.59	미국	4
Ecclinusa guianensis	0.63	미국	5
Ehretia acuminata	0.51	아프리카	5
Elaeocarpus serratus	0.40	아시아	5
Emblica officinalis	0.80	아시아	5
Enantia chlorantha	0.42	아프리카	5
Endiandra laxiflora	0.54	아시아	5
Endlicheria sp.	0.50	미국	1
Endodesmia calophylloides	0.66	아프리카	5
Endopleura uchi	0.78	미국	4
Endospermum sp.	0.38	아시아	5
Entandrophragma utile	0.53-0.62	아프리카	3
Enterolobium cyclocarpum	0.34	미국	4

Lannea grandis	0.50	아시아	5
Lecomtedoxa klainenna	0.78	아프리카	5
Lecythis idatimon	0.77	미국	4
Lecythis lurida	0.83	미국	4
Lecythis pisonis	0.84	미국	4
Lecythis poltequi	0.81	미국	4
Lecythis zabucaja	0.86	미국	4
Letestua durissima	0.87	아프리카	5
Leucaena leucocephala	0.64	아시아	5
Licania macrophylla	0.76	미국	4
Licania oblongifolia	0.88	미국	4
Licania octandra	0.77	미국	4
Licania unguiculata	0.88	미국	1
Licaria aritu	0.80	미국	4
Licaria cannella	1.04	미국	4
Licaria rigida	0.73	미국	4
Lindackeria sp.	0.41	미국	5
Linociera domingensis	0.81	미국	5
Lithocarpus soleriana	0.63	아시아	5
Litsea sp.	0.40	아시아	5
Lonchocarpus sp.	0.69	Americas	5
Lophira alata	0.84-0.97	아프리카	3
Lophopetalum sp.	0.46	아시아	5
Lovoa trichilioides	0.45	아프리카	5
Loxopterygium sagotii	0.56	미국	5
Lucuma sp.	0.79	미국	5
Luehea sp.	0.50	미국	5
Lueheopsis duckeana	0.62	미국	4
Mabea piriri	0.59	미국	5
Macaranga denticulata	0.53	아시아	5
Machaerium sp.	0.70	미국	5
Maclura tinctoria	0.71	미국	1
Macoubea guianensis	0.40	미국	5
Madhuca oblongifolia	0.53	아시아	5
Maesopsis eminii	0.41	아프리카	5
Magnolia sp.	0.52	미국	5
Maguira sclerophylla	0.57	미국	5
Malacantha sp.	0.45	아프리카	5
Mallotus philippinensis	0.64	아시아	5
Malouetia duckei	0.57	미국	4
Mammea africana	0.62	아프리카	5
Mammea americana	0.62	미국	5
Mangifera indica	0.55	미국	5
Mangifera sp.	0.52	아시아	5
Manilkara amazonica	0.85	미국	4
Manilkara bidentata	0.87	미국	1
Manilkara huberi	0.93	미국	4
Manilkara lacera	0.78	아프리카	5
Maniltoa minor	0.76	아시아	5
Maquira sclerophylla	0.57	미국	4
Marila sp.	0.63	미국	5
Markhamia platycalyx	0.45	아프리카	5
Marmaroxylon racemosum	0.81	미국	4
Mastixia philippinensis	0.47	아시아	5
Matayba domingensis	0.70	미국	5
Matisia hirta	0.61	미국	5
Mauria sp.	0.31	미국	1
Maytenus sp.	0.71	미국	5
Melanorrhea sp.	0.63	아시아	5
Melia dubia	0.40	아시아	5
Melicope triphylla	0.37	아시아	5
Meliosma macrophylla	0.27	아시아	5

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Guazuma ulmifolia	0.50-0.52	미국	5
Guibourtia demeusii	0.70-0.84	아프리카	3
Guillielma gasipae	0.95-1.25	미국	5
Gustavia speciosa	0.34	미국	1
Hannoa klaineana	0.28	아프리카	5
Hardwickia binata	0.73	아시아	5
Harpullia arborea	0.62	아시아	5
Harungana madagascariensis	0.45	아프리카	5
Helicostylis tomentosa	0.72	미국	4
Heritiera sp.	0.56	아시아	5
Hernandia Sonora	0.29	미국	5
Hevea brasiliensis	0.49	미국	4
Hevea brasiliensis	0.53	아시아	5
Hexalobus crispiflorus	0.48	아프리카	5
Hibiscus tiliaceus	0.57	아시아	5
Hieronyma chocoensis	0.59-0.62	미국	1
Hieronyma laxiflora	0.55	미국	1
Himatanthus articulatus	0.38	미국	2
Hirtella davisii	0.74	미국	5
Holoptelea grandis	0.59	아프리카	5
Homalanthus populneus	0.38	아시아	5
Homalium sp.	0.70	아프리카	5
Homalium sp.	0.76	아시아	5
Hopea acuminata	0.62	아시아	5
Hopea sp.	0.64	아시아	5
Huberodendron patinoi	0.50	미국	1
Humiria balsamifera	0.66	미국	4
Humiriastrum excelsum	0.75	미국	4
Humiriastrum procera	0.70	미국	5
Hura crepitans	0.36	미국	4
Hyeronima alchorneoides	0.64	미국	4
Hyeronima laxiflora	0.59	미국	5
Hylodendron gabonense	0.78	아프리카	5
Hymenaea courbaril	0.77	미국	1
Hymenaea davisii	0.67	미국	5
Hymenaea oblongifolia	0.62	미국	1
Hymenaea parvifolia	0.95	미국	4
Hymenolobium excelsum	0.64	미국	4
Hymenolobium modestum	0.65	미국	4
Hymenolobium pulcherrimum	0.67	미국	4
Hymenostegia pellegrini	0.78	아프리카	5
Inga alba	0.62	미국	4
Inga edulis	0.51	미국	1
Inga paraensis	0.82	미국	4
Intsia palembanica	0.68	아시아	5
Irvingia grandifolia	0.78	아프리카	5
Iryanthera grandis	0.55	미국	4
Iryanthera sagotiana	0.57	미국	4
Iryanthera trocornis	0.72	미국	4
Jacaranda copaia	0.33	미국	4
Joannesia heveoides	0.39	미국	4

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 Y TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Enterolobium cyclocarpum	0.35	아시아	5
Enterolobium maximum	0.40	미국	4
Enterolobium schomburgkii	0.78	미국	4
Eperua falcata	0.78	미국	4
Epicharis cumingiana	0.73	아시아	5
Eribroma oblongum	0.60	아프리카	5
Eriocoelum microspermum	0.50	아프리카	5
Eriotheca longipedicellata	0.45	미국	4
Erisma uncinatum	0.47	미국	1
Erismadelphus ensul	0.56	아프리카	5
Erythrina sp.	0.23	미국	5
Erythrina subumbrans	0.24	아시아	5
Erythrina vogelii	0.25	아프리카	5
Erythrophleum ivorense	0.70-0.88	아프리카	3
Erythrophloeum densiflorum	0.65	아시아	5
Eschweilera amazonica	0.90	미국	4
Eschweilera coriacea	0.78	미국	4
Eschweilera ovata	0.81	미국	4
Eschweilera sagotiana	0.79	미국	4
Eucalyptus citriodora	0.64	아시아	5
Eucalyptus deglupta	0.34	아시아	5
Eucalyptus robusta	0.51	미국	5
Eugenia sp.	0.65	아시아	5
Eugenia stahlii	0.73	미국	5
Euxylophora paraensis	0.70	미국	4
Fagara macrophylla	0.69	아프리카	5
Fagara sp.	0.69	미국	5
Fagraea sp.	0.73	아시아	5
Ficus benjamina	0.65	아시아	5
Ficus insipida	0.50	미국	1
Ficus iteophylla	0.40	아프리카	5
Fumtumia latifolia	0.45	아프리카	5
Gallesia integrifolia	0.51	미국	1
Gambeya sp.	0.56	아프리카	5
Ganua obovatifolia	0.59	아시아	5
Garcinia myrtifolia	0.65	아시아	5
Garcinia punctata	0.78	아프리카	5
Garcinia sp.	0.75	아시아	5
Gardenia turgida	0.64	아시아	5
Garuga pinnata	0.51	아시아	5
Genipa americana	0.51	미국	4
Gilletiodendron mildbraedii	0.87	아프리카	5
Gluta sp.	0.63	아시아	5
Glycydendron amazonicum	0.66	미국	4
Gmelina arborea	0.41-0.45	아시아	5
Gmelina vitiensis	0.54	아시아	5
Gonocaryum calleryanum	0.64	아시아	5
Gonystylus punctatus	0.57	아시아	5
Gossweilerodendron balsamiferum	0.40	아프리카	5
Goupia glabra	0.68	미국	1
Grewia tiliaefolia	0.68	아시아	5

Julbernardia globiflora	0.78	아프리카	5
Kayea garciae	0.53	아시아	5
Khaya ivorensis	0.40-0.48	아프리카	3
Kingiodendron alternifolium	0.48	아시아	5
Klainedoxa gabonensis	0.87	아프리카	5
Kleinhovia hospita	0.36	아시아	5
Knema sp.	0.53	아시아	5
Koompassia excelsa	0.63	아시아	5

Guarea cedrata	0.48-0.57	아프리카	3
Guarea chalde	0.52	미국	5
Guarea guidonia	0.68	미국	4
Guarea kunthiana	0.60	미국	1
Guatteria decurrens	0.52	미국	1
Guatteria olivacea	0.51	미국	4
Guatteria procera	0.65	미국	4

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Melochia umbellata	0.25	아시아	5
Memecylon capitellatum	0.77	아프리카	5
Metrosideros collina	0.70-0.76	아시아	5
Mezilaurus itauba	0.70	미국	4
Mezilaurus lindaviana	0.68	미국	4
Michelia sp.	0.43	아시아	5
Michropholis sp.	0.61	미국	5
Microberlinia brazzavillensis	0.70	아시아	5
Microcos coriaceus	0.42	아프리카	5
Microcos stylocarpa	0.40	아시아	5
Micromelum compressum	0.64	아시아	5
Micropholi guyanensis	0.65	미국	4
Micropholi venulosa	0.67	미국	4
Milletia sp.	0.72	아프리카	5
Milliusa velutina	0.63	아시아	5
Mimusops elengi	0.72	아시아	5
Minquartia guianensis	0.76	미국	1
Mitragyna parviflora	0.56	아시아	5
Mitragyna stipulosa	0.47	아프리카	5
Monopetalanthus heitzii	0.44-0.53	아프리카	3
Mora excelsa	0.80	미국	4
Mora gonggrijpii	0.78	미국	1
Mora megistosperma	0.63	미국	1
Mouriri barinensis	0.78	미국	1
Mouriria sideroxylon	0.88	미국	5
Musanga cecropioides	0.23	아프리카	5
Myrciaria floribunda	0.73	미국	5
Myristica platysperma	0.55	미국	4
Myristica sp.	0.53	아시아	5
Myroxylon balsamum	0.78	미국	1
Myroxylon peruiferum	0.78	미국	1
Nauclea diderrichii	0.63	아프리카	5
Nealchornea yapurensis	0.61	미국	1
Nectandra rubra	0.57	미국	5
Neesia sp.	0.53	아시아	5
Neonauclea bernardoi	0.62	아시아	5
Neopoutonia macrocalyx	0.32	아프리카	5
Neotrewia cumingii	0.55	아시아	5
Nesogordonia papaverifera	0.65	아프리카	5
Ochna foxworthyi	0.86	아시아	5
Ochroma pyramidale	0.30	아시아	5
Ochtocosmus africanus	0.78	아프리카	5
Ocotea guianensis	0.63	미국	4
Ocotea neesiana	0.63	미국	4
Octomeles sumatrana	0.27-0.32	아시아	5
Odyendea sp.	0.32	아프리카	5

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Platymiscium sp.	0.71-0.84	미국	5
Podocarpus oleifolius	0.44	미국	1
Podocarpus rospigliosii	0.57	미국	1
Podocarpus sp.	0.43	아시아	5
Poga oleosa	0.36	아프리카	5
Polyalthia flava	0.51	아시아	5
Polyalthia suaveolens	0.66	아프리카	5
Polyscias nodosa	0.38	아시아	5
Pometia sp.	0.54	아시아	5
Poulsenia armata	0.37-0.44	미국	1
Pourouma sp.	0.32	미국	5
Pouteria anibifolia	0.66	미국	1
Pouteria anomala	0.81	미국	4
Pouteria caimito	0.87	미국	4
Pouteria guianensis	0.90	미국	4
Pouteria manaosensis	0.64	미국	4
Pouteria oppositifolia	0.65	미국	4
Pouteria villamilii	0.47	아시아	5
Premna angolensis	0.63	아프리카	5
Premna tomentosa	0.96	아시아	5
Prioria copaifera	0.40-0.41	미국	5
Protium heptaphyllum	0.54	미국	4
Protium tenuifolium	0.65	미국	4
Pseudolmedia laevigata	0.62-0.63	미국	1
Pseudolmedia laevis	0.71	미국	1
Pteleopsis hylodendron	0.63	아프리카	5
Pterocarpus marsupium	0.67	아시아	5
Pterocarpus soyauxii	0.62-0.79	아프리카	3
Pterocarpus vernalis	0.57	미국	1
Pterogyne nitens	0.66	미국	4
Pterygota sp.	0.52	아프리카	5
Pterygota sp.	0.62	미국	1
Pycnanthus angolensis	0.40-0.53	아프리카	3
Qualea albiflora	0.50	미국	5
Qualea brevipedicellata	0.69	미국	4
Qualea dinizii	0.58	미국	5
Qualea lancifolia	0.58	미국	4
Qualea paraensis	0.67	미국	4
Quararibea asterolepis	0.45	미국	1
Quararibea bicolor	0.52-0.53	미국	1
Quararibea cordata	0.43	미국	1
Quassia simarouba	0.37	미국	4
Quercus alata	0.71	미국	5
Quercus costaricensis	0.61	미국	5
Quercus eugeniaefolia	0.67	미국	5
Quercus sp.	0.70	아시아	5
Radermachera pinnata	0.51	아시아	5
Randia cladantha	0.78	아프리카	5
Raputia sp.	0.55	미국	5
Rauwolfia macrophylla	0.47	아프리카	5
Rheedia sp.	0.60	미국	1

Oldfieldia africana	0.78	아프리카	5
Ongokea gore	0.72	아프리카	5
Onychopetalum amazonicum	0.61	미국	4
Ormosia coccinea	0.61	미국	1
Ormosia paraensis	0.67	미국	4
Ormosia schunkei	0.57	미국	1
Oroxylon indicum	0.32	아시아	5
Otoba gracilipes	0.32	미국	1
Ougenia dalbergiodes	0.70	아시아	5
Ouratea sp.	0.66	미국	5
Oxystigma oxyphyllum	0.53	아프리카	5
Pachira acuatica	0.43	미국	5
Pachyelasma tessmannii	0.70	아프리카	5
Pachypodanthium staudtii	0.58	아프리카	5
Rhizophora mangle	0.89	미국	4
Ricinodendron heudelotii	0.20	아프리카	5
Rollinia exsucca	0.52	미국	4
Roupala moniana	0.77	미국	4
Ruizierania albiflora	0.57	미국	4
Saccoglottis gabonensis	0.74	아프리카	5
Saccoglottis guianensis	0.77	미국	4
Salmalia malabarica	0.32-0.33	아시아	5
Samanea saman	0.45-0.46	아시아	5
Sandoricum vidalii	0.43	아시아	5
Santiria trimera	0.53	아프리카	5
Sapindus saponaria	0.58	아시아	5
Sapium ellipticum	0.50	아프리카	5
Sapium luzontcum	0.40	아시아	5
Sapium marmieri	0.40	미국	1
Schefflera morototoni	0.36	미국	1
Schizolobium parahyba	0.40	미국	1

표 4.13 열대 나무 수종의 기초 산림 밀도 (D) (완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Vismia sp.	0.41	미국	5
Vitex doniana	0.40	아프리카	5
Vitex sp.	0.52-0.57	미국	5
Vitex sp.	0.65	아시아	5
Vitex stahelii	0.60	미국	5
Vochysia densiflora	0.29	미국	1
Vochysia ferruginea	0.37	미국	1
Vochysia guianensis	0.53	미국	4
Vochysia lanceolata	0.49	미국	1
Vochysia macrophylla	0.36	미국	1
Vochysia maxima	0.47	미국	4
Vochysia melinonii	0.51	미국	4
Vochysia obidensis	0.50	미국	4
Vochysia surinamensis	0.66	미국	4
Vouacapoua americana	0.79	미국	4
Warszewicsia coccinea	0.56	미국	5
Wrightia tinctorea	0.75	아시아	5
Xanthophyllum excelsum	0.63	아시아	5
Xanthoxylum martinicensis	0.46	미국	5
Xanthoxylum sp.	0.44	미국	5
Xylia xylocarpa	0.73-0.81	아시아	5
Xylopia frutescens	0.64	미국	5
Xylopia nitida	0.57	미국	4
Xylopia staudtii	0.36	아프리카	5
Zanthoxylum rhetsa	0.33	아시아	5
Zizyphus sp.	0.76	아시아	5

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Swintonia foxworthyi	0.62	아시아	5
Swintonia sp.	0.61	아시아	5
Sycopsis dunni	0.63	아시아	5
Symphonia globulifera	0.58	아프리카	5
Symphonia globulifera	0.58	미국	1
Syzygium cordatum	0.59	아프리카	5
Syzygium sp.	0.69-0.76	아시아	5
Tabebuia rosea	0.54	미국	1
Tabebuia serratifolia	0.92	미국	1
Tabebuia stenocalyx	0.55-0.57	미국	5
Tachigalia myrmecophylla	0.53	미국	4
Talisia sp.	0.84	미국	5
Tamarindus indica	0.75	아시아	5
Tapirira guianensis	0.50	미국	4
Taralea oppositifolia	0.80	미국	1
Tectona grandis	0.50-0.55	아시아	5
Terminalia amazonica	0.65	미국	1
Terminalia citrina	0.71	아시아	5
Terminalia copelandii	0.46	아시아	5
Terminalia ivorensis	0.40-0.59	아프리카	3
Terminalia microcarpa	0.53	아시아	5
Terminalia nitens	0.58	아시아	5
Terminalia oblonga	0.73	미국	1
Terminalia pterocarpa	0.48	아시아	5
Terminalia superba	0.40-0.66	아프리카	3
Terminalia tomentosa	0.73-0.77	아시아	5
Ternstroemia megacarpa	0.53	아시아	5
Tessmania africana	0.85	아프리카	5
Testulea gabonensis	0.60	아프리카	5
Tetragastris altissima	0.74	미국	4
Tetragastris panamensis	0.76	미국	4
Tetrameles nudiflora	0.30	아시아	5
Tetramerista glabra	0.61	아시아	5
Tetrapleura tetraptera	0.50	아프리카	5
Thespesia populnea	0.52	아시아	5
Thyrsodium guianensis	0.63	미국	4
Tieghemella africana	0.53-0.66	아프리카	3
Toluifera balsamum	0.74	미국	5
Torrubia sp.	0.52	미국	5
Toulicia pulvinata	0.63	미국	5
Tovomita guianensis	0.60	미국	5
Trattinickia sp.	0.38	미국	5
Trema orientalis	0.31	아시아	5
Trema sp.	0.40	아프리카	5
Trichilia lecointei	0.90	미국	4
Trichilia prieureana	0.63	아프리카	5
Trichilia propingua	0.58	미국	5
Trichoscypha arborea	0.59	아프리카	5
Trichosperma	0.41	미국	5

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Schleichera oleosa	0.96	아시아	5
Schrebera arborea	0.63	아프리카	5
Schrebera swietenoides	0.82	아시아	5
Sclerolobium chrysopyllum	0.62	미국	4
Sclerolobium paraense	0.64	미국	4
Sclerolobium peoppigianum	0.65	미국	4
Scleronema micranthum	0.61	미국	4
Sclorodophloeus zenkeri	0.68	아프리카	5
Scottellia coriacea	0.56	아프리카	5
Scyphocephalium ochocoa	0.48	아프리카	5
Scytopetalum tieghemii	0.56	아프리카	5
Semicarpus anacardium	0.64	아시아	5
Serialbizia acle	0.57	아시아	5
Serianthes melanesica	0.48	아시아	5
Sesbania grandiflora	0.40	아시아	5
Shorea assamica forma philippinensis	0.41	아시아	5
Shorea astylosa	0.73	아시아	5
Shorea ciliata	0.75	아시아	5
Shorea contorta	0.44	아시아	5
Shorea palosapis	0.39	아시아	5
Shorea plagata	0.70	아시아	5
Shorea polita	0.47	아시아	5
Shorea robusta	0.72	아시아	5
Shorea sp. (balau)	0.70	아시아	5
Shorea sp. (dark red meranti)	0.55	아시아	5
Shorea sp. (light red meranti)	0.40	아시아	5
Sickingia sp.	0.52	미국	5
Simaba multiflora	0.51	미국	5
Simarouba amara	0.36	미국	1
Simira sp.	0.65	미국	1
Sindoropsis letestui	0.56	아프리카	5
Sloanea guianensis	0.79	미국	5
Sloanea javanica	0.53	아시아	5
Sloanea nitida	1.01	미국	4
Soymida febrifuga	0.97	아시아	5
Spathodea campanulata	0.25	아시아	5
Spondias lutea	0.38	미국	4
Spondias mombin	0.31-0.35	미국	1
Spondias purpurea	0.40	미국	4
Staudtia stipitata	0.75	아프리카	5
Stemonurus luzoniensis	0.37	아시아	5
Sterculia apetala	0.33	미국	4

mexicanum			
Trichospermum richii	0.32	아시아	5
Triplaris cumingiana	0.53	미국	5
Triplochiton scleroxylon.	0.28-0.44	아프리카	3
Tristania sp.	0.80	아시아	5
Trophis sp.	0.44	미국	1
Turpinia ovalifolia	0.36	아시아	5
Vantanea parviflora	0.86	미국	4
Vatairea guianensis	0.70	미국	4
Vatairea paraensis	0.78	미국	4
Vatairea sericea	0.64	미국	4
Vateria indica	0.47	아시아	5
Vatica sp.	0.69	아시아	5
Vepris undulata	0.70	아프리카	5
Virola michelii	0.50	미국	4
Virola reidii	0.35	미국	1
Virola sebifera	0.37	미국	1

Sterculia pruriens	0.46	미국	4
Sterculia rhinopetala	0.64	아프리카	5
Sterculia speciosa	0.51	미국	4
Sterculia vitiensis	0.31	아시아	5
Stereospermum suaveolens	0.62	아시아	5
Strephonema pseudocola	0.56	아프리카	5
Strombosia philippinensis	0.71	아시아	5
Strombosiopsis tetrandra	0.63	아프리카	5
Strychnos potatorum	0.88	아시아	5
Stylogyne sp.	0.69	미국	5
Swartzia fistuloides	0.82	아프리카	5
Swartzia laevicarpa	0.61	미국	1
Swartzia panacoco	0.97	미국	4
Swietenia macrophylla	0.43	미국	1
Swietenia macrophylla	0.49-0.53	아시아	5

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Byrsonima verbascifolia	0.33	미국	2
Cabralea canjerana	0.55	미국	4
Caesalpinia sp.	1.05	미국	5
Calophyllum brasiliense	0.53	미국	4
Calophyllum sp.	0.46	미국	1
Calophyllum sp.	0.53	아시아	5
Calpocalyx klainei	0.63	아프리카	5
Calycarpa arborea	0.53	아시아	5
Calycophyllum spruceanum	0.74	미국	1
Campnosperma panamensis	0.37	미국	1
Cananga odorata	0.29	아시아	5
Canarium sp.	0.44	아시아	5
Canthium monstrosum	0.42	아시아	5
Canthium rubrocostratum	0.63	아프리카	5
Carallia calycina	0.66	아시아	5
Carapa guianensis	0.55	미국	4
Carapa procera	0.59	아프리카	5
Cariniana integrifolia	0.49	미국	4
Cariniana micrantha	0.64	미국	4
Caryocar glabrum	0.65	미국	1
Caryocar villosum	0.72	미국	4
Casearia battiscombei	0.50	아프리카	5
Casearia sp.	0.62	미국	5
Cassia javanica	0.69	아시아	5
Cassia moschata	0.71	미국	5
Cassia scleroxylon	1.01	미국	4
Cassipourea euryoides	0.70	아프리카	5
Cassipourea malosana	0.59	아프리카	5
Castanopsis philippensis	0.51	아시아	5
Casuarina equisetifolia	0.81	미국	5
Casuarina equisetifolia	0.83	아시아	5
Casuarina nodiflora	0.85	아시아	5
Catostemma commune	0.50	미국	1
Cecropia sp.	0.36	미국	5
Cedrela odorata	0.42	미국	1
Cedrela odorata	0.38	아시아	5
Cedrela sp.	0.40-0.46	미국	5
Cedrela toona	0.43	아시아	5
Cedrelinga catenaeformis	0.45	미국	1
Ceiba pentandra	0.18-0.39	아프리카	3
Ceiba pentandra	0.28	미국	4
Ceiba pentandra	0.23	아시아	5
Ceiba samauma	0.57	미국	1
Celtis luzonica	0.49	아시아	5
Celtis schippii	0.59	미국	1
Celtis sp.	0.59	아프리카	5
Centrolobium sp.	0.65	미국	5
Cespedesia macrophylla	0.63	미국	5
Cespedesia spathulata	0.54	미국	1
Chaetocarpus schomburgkianus	0.80	미국	5
Chisocheton pentandrus	0.52	아시아	5
Chlorophora excelsa	0.48-0.66	아프리카	3
Chlorophora tinctoria	0.73	미국	4
Chloroxylon swietenia	0.76-0.80	아시아	5
Chorisia integrifolia	0.28	미국	1

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

종	밀도	대륙	Reference
Palaquium sp.	0.55	아시아	5
Pangium edule	0.50	아시아	5
Paraberlinia bifoliolata	0.56	아프리카	5
Parashorea stellata	0.59	아시아	5
Paratecoma peroba	0.60	미국	5
Paratrophis glabra	0.77	아시아	5
Parinari excelsa	0.68	미국	4
Parinari glabra	0.87	아프리카	5
Parinari montana	0.71	미국	4
Parinari rodolphii	0.71	미국	4
Parinari sp.	0.68	아시아	5
Parkia multijuga	0.38	미국	4
Parkia nitada	0.40	미국	4
Parkia paraensis	0.44	미국	4
Parkia pendula	0.55	미국	4
Parkia roxburghii	0.34	아시아	5
Parkia ulei	0.40	미국	4
Pausandra trianae	0.59	미국	1
Pausinystalia brachythyrsa	0.56	아프리카	5
Pausinystalia sp.	0.56	아프리카	5
Payena sp.	0.55	아시아	5
Peltogyne paniculata	0.89	미국	4
Peltogyne paradoxa	0.91	미국	4
Peltogyne porphyrocardia	0.89	미국	1
Peltophorum pterocarpum	0.62	아시아	5
Pentace sp.	0.56	아시아	5
Pentaclethra macroloba	0.43	미국	1
Pentaclethra macrophylla	0.78	아프리카	5
Pentadesma butyracea	0.78	아프리카	5
Persea sp.	0.40-0.52	미국	5
Peru glabrata	0.65	미국	5
Peru schomburgkiana	0.59	미국	5
Petitia domingensis	0.66	미국	5
Phaeanthus ebracteolatus	0.56	아시아	5
Phyllanthus discoideus	0.76	아프리카	5
Phyllocladus hypophyllus	0.53	아시아	5
Phyllostylon brasiliensis	0.77	미국	4
Pierreodendron africanum	0.70	아프리카	5
Pinus caribaea	0.51	미국	5
Pinus caribaea	0.48	아시아	5
Pinus insularis	0.47-0.48	아시아	5
Pinus merkusii	0.54	아시아	5
Pinus oocarpa	0.55	미국	5
Pinus patula	0.45	미국	5
Piptadenia communis	0.68	미국	4
Piptadenia grata	0.86	미국	1
Piptadenia suaveolens	0.75	미국	4
Piptadeniastrum africanum	0.56	아프리카	5
Piratinera guianensis	0.96	미국	5
Pisonia umbellifera	0.21	아시아	5
Pithecellobium guachapele	0.56	미국	5
Pithecellobium latifolium	0.36	미국	1
Pithecellobium saman	0.49	미국	1

Chrysophyllum albidum	0.56	아프리카	5
Chukrassia tabularis	0.57	아시아	5
Citrus grandis	0.59	아시아	5
Clarisia racemosa	0.59	미국	4
Pittosporum pentandrum	0.51	아시아	5
Plagiostyles africana	0.70	아프리카	5
Planchonia sp.	0.59	아시아	5
Platonia insignis	0.70	미국	5

표 4.13열대 나무 수중의 기초 산림 밀도 (D)(완전건조 TONNES (MOIST M-3)) 1 = Baker et al., 2004b; 2 = Barbosa and Fearnside, 2004; 3 = CTFT, 1989; 4 = Fearnside, 1997; 5 = Reyes et al., 1992

Species	Density	Continent	Reference
Aspidosperma macrocarpon	0.67	미국	1
Aspidosperma obscurinervium	0.86	미국	4
Astronium gracile	0.73	미국	4
Astronium graveolens	0.75	미국	4
Astronium lecointei	0.73	미국	5
Astronium ulei	0.71	미국	4
Astronium urundeuva	1.21	미국	4
Aucoumea klaineana	0.31-0.48	아프리카	3
Autranella congolensis	0.78	아프리카	5
Azadirachta sp.	0.52	아시아	5
Bagassa guianensis	0.69	미국	4
Baillonella toxisperma	0.70	아프리카	3
Balanites aegyptiaca	0.63	아프리카	5
Balanocarpus sp.	0.76	아시아	5
Banara guianensis	0.61	미국	5
Baphia kirkii	0.93	아프리카	5
Barringtonia edulis	0.48	아시아	5
Basiloxylon exelsum	0.58	미국	5
Bauhinia sp.	0.67	아시아	5
Beilschmiedia louisii	0.70	아프리카	5
Beilschmiedia nitida	0.50	아프리카	5
Beilschmiedia sp.	0.61	미국	5
Beilschmiedia tawa	0.58	아시아	5
Berlinia sp.	0.58	아프리카	5
Berrya cordifolia	0.78	아시아	5
Bertholletia excelsa	0.62	미국	4
Bischofia javanica	0.54-0.62	아시아	5
Bixa arborea	0.32	미국	4
Bleasdalea vitiensis	0.43	아시아	5
Blighia welwitschii	0.74	아프리카	5
Bocoa sp.	0.42	미국	1
Bombacopsis quinata	0.39	미국	1
Bombacopsis sepium	0.39	미국	5
Bombax costatum	0.35	아프리카	3
Bombax paraense	0.39	미국	1
Borojoa patinoi	0.52	미국	5
Boswellia serrata	0.50	아시아	5
Bowdichia coccolobifolia	0.39	미국	2
Bowdichia crassifolia	0.39	미국	2
Bowdichia nitida	0.79	미국	4
Bowdichia virgilioides	0.52	미국	2
Brachystegia sp.	0.52	아프리카	5
Bridelia micrantha	0.47	아프리카	5
Bridelia squamosa	0.50	아시아	5
Brosimum acutifolium	0.55	미국	4
Brosimum alicastrum	0.69	미국	4
Brosimum guianense	0.96	미국	4
Brosimum lactescens	0.70	미국	1
Brosimum parinarioides	0.58	미국	4
Brosimum potabile	0.53	미국	4

Brosimum rubescens	0.87	미국	4
Brosimum utile	0.40-0.49	미국	1
Brysenia adenophylla	0.54	미국	5
Buchenavia capitata	0.63	미국	4
Buchenavia huberi	0.79	미국	4
Buchenavia latifolia	0.45	아시아	5
Buchenavia oxycarpa	0.72	미국	4
Buchenavia viridiflora	0.88	미국	1
Bucida buceras	0.93	미국	5
Bursera serrata	0.59	아시아	5
Bursera simaruba	0.29-0.34	미국	5
Butea monosperma	0.48	아시아	5
Byrsonima coriacea	0.64	미국	5
Byrsonima spicata	0.61	미국	4

표 4.14 선택된 온대 아한대 나무 분류군(taxa)에 대한 기초 산림 밀도(D)

Taxon(분류군)	D [oven-dry tonnes (moist m-3)]	Source
Abies spp.	0.40	2
Acer spp.	0.52	2
Alnus spp.	0.45	2
Betula spp.	0.51	2
Fagus sylvatica	0.58	2
Fraxinus spp.	0.57	2
Larix decidua	0.46	2
Picea abies	0.40	2
Picea sitchensis	0.40	3
Pinus pinaster	0.44	4
Pinus radiata	0.38 (0.33 - 0.45)	1
Pinus strobus	0.32	2
Pinus sylvestris	0.42	2
Populus spp.	0.35	2
Prunus spp.	0.49	2
Pseudotsuga menziesii	0.45	2
Quercus spp.	0.58	2
Salix spp.	0.45	2
Tilia spp.	0.43	2

1 = Beets et al., 2001 2 = Dietz, 1975 3 = Knigge and Shulz, 1966 4 = Rijsdijk and Laming, 1994

별첨 4.1 임지에 대한 용어집

본 권에서 정의된 축적량과 산림의 변화에 대한 용어			
구성요소	**상태**	**증가**	**수확으로 인한 감소**
상업적 재적	성장하는 축적량	연간 순증가량	흡수량
상업적 재적 내의 바이오매스	성장하는 축적량 바이오매스	바이오매스 증가량	바이오매스 흡수량
총 지상부 바이오매스	지상부 바이오매스	지상부 바이오매스 성장	지상부바이오매스 흡수량
총 지하부 바이오매스	지하부 바이오매스	지하부 바이오매스 성장	지상부바이오매스 흡수량[4]
총 지상부 지하부바이오매스	총 바이오매스	총 바이오매스 성장	바이오매스 흡수량
탄소(C)	지상부의 모든 구성요소(예를 들어 성장하는 축적량 내 탄소(C), 제거된 바이오매스 등)내의 탄소(C), 또는 잔재물과 죽은임목, 토양유기물 내의 탄소(C)		

지상부바이오매스

임목과 초본 모두에 대한 살아있는 식생, 줄기, 그루터기, 가지, 임목껍질, 씨앗과 잎의 모든 바이오매스.

주: 산림의 상층부가 지상부바이오매스 탄소(C) 저장고의 비교적 작은 구성요소를 이루는 경우, 방법론과 어떤 Tier에 이용된 관련 자료는 제외될 수 있으며, 인벤토리 시계열에 대하여 일관성 있게 이용된 Tier가 제공된다.

지상부바이오매스 성장

임목, 식생 또는 산림의 연간 순증가(s.b)의 완전건조 중량과 줄기, 잔가지, 잎, 그루터기의 연간 증가의 완전건조중량. 용어"성장"은 여기서 "증가"를 대신하여 사용되었다. 후자의 용어가 비상업적 재적에 대한 용어로서 이해가 용이하기 때문이다.

조림[5]

재배, 파종 그리고/또한 자연적 씨앗 배출원의 인위적 촉진을 통한 최소한 50년간 조림되지 않은 토지에의 직접적인 인위적 전환

4 다음의 경우 발생한다. 예를 들면, 뿌리 축적량(열매) 또는 전체 뿌리 시스템이 제거된 경우(바이오매스 수확)

5 In the context of the Kyoto Protocol, as stipulated by the Marrakesh Accords, cf. paragraph 1 of the Annex to draft decision-/CMP.1 (Land Use, Land-use Change and Forestry) contained in document FCCC/CP/2001/13/Add.1, p.58.

농림업

계획적인 보존, 서론 또는 임목 혹은 다른 다년생 곡물의 혼합을 포함하는 토지이용 시스템과 구성요소 간 경제적 또는 생태학적 상호작용을 이용하는 동물 생산 시스템 (Dictionary of Forestry, helms, 1998, Society of American Foresters).

기본 산림 밀도

완전 건조된 질량과 나물 껍질을 제외한 건강한 줄기-임목 부피간의 비율

지하부바이오매스

살아있는 뿌리에의 모든 바이오매스, 2 mm 지름보다(제안된 값) 작은 양호한 뿌리는 가끔 제외된다. 왜냐하면 토양 유기물 또는 잔재물과 경험적으로 구별되기 어렵기 때문이다.

바이오매스 전환 확장계수 (BCEF)

축적량의 merchantable volume, 연간 순증가의 merchantable volume 또는 제거도니 임목과 제거된 연료재의 merchantable volume을 지상부바이오매스, 지상부바이오매스 성장 또는 제거된 바이오매스로 각각 전환하는 곱셈계수(multiplication factor). 축적량($BCEF_S$),연간순증가(BEF_I), 제거된 임목과 제거된 연료재(BEF_R)에 대한 바이오매스 확장 전환 계수는 일반적으로 차이가 있다. 본 가이드라인에서 이용된 바와 같이, 바이오매스 전환 확장계수는 지상부 구성요소만을 고려한다. 자세한 사항은 Box.4.2를 참고하라.

바이오매스 확장계수(BEF)

비상업용 또는 임목줄기, 가지, 잔가지, 잎 등과 같은 비상업적 바이오매스 구성요소, 때로 비상업적 임목들을 고려한 축적량 바이오매스의 건중량, 바이오매스 증가와 제거된 임목/제거된 연료재의 바이오매스를 확장하는 곱셈계수. 바이오매스 확장계수는 보통 축적량(BEF_S),연간순증가(BEF_I), 제거된 임목과 제거된 연료재(BEF_R)과는 차이가 있다. 본 가이드라인에서 이용된 바와 같이, 바이오매스 확장계수는 지상부 구성요소만을 고려한다. 자세한 사항은 박스.4.2를 참고하라.

바이오매스 제거량

제거된 임목과 제거된 연료재의 바이오매스(s.b.)와 임목의 가지, 잔가지, 잎 또는 제거된 식생의 완전건조 중량의 합.

수관울폐

임관울폐 참조

탄소(C) 함량

임의의 저장고 또는 저장고의 일부에서 탄소(C)의 절대량.

탄소(C) 분율

바이오매스 건조물 tonne 당 탄소(C)tonne

.. 내의 탄소(C)

위의 표를 보라. tonnes으로 표시된 절대량, 각각의 구성요소의 바이오매스량을 적용 가능한 탄소(C)분율 (보통 50%)로 곱하여 얻음.

탄소(C) 축적량

임의의 저장고의 탄소(C) 량.

탄소(C) 축적량 변화

증가와 손실로 인한 임의의 저장고의 탄소(C) 축적량 변화. 손실이 증가를 초과한 경우, 축적량은 감소하며 저장고은 배출원으로 작용한다. 증가가 손실을 초과한 경우, 저장고은 탄소(C)를 축적하고, sink로서 작용한다.

닫힌 산림

다양한 계층에서 임목과 대지를 높은 비율로(>40%) 피복하는 관목이 있는 곳의 생물군계

전환

어떤 토지이용에서 다른 이용으로의 변화.

전환계수

임의의 카테고리의 측정단위를 그것의 크기 또는 양에 변화를 주지 않고 변화시키는 승수. 예를 들어, 기초산림밀도는 임목의 푸른 잎의 부피를 건중량으로 변화시키는 전환계수이다.

고사목

모든 살아있지 않은 임목 바이오매스를 포함. 잔재물이나 식생에는 포함되어 있지 않은 지표 또는 토양에 존재. 고사목은 표면에 존재하는 임목, 죽은 뿌리와 지름이 10cm 이상인(또는 지름은 국가별로 정해질 수 있다.) 임목밑동을 포함한다.

고사목의 바이오매스

모든 살아있지 않은 임목 바이오매스로 잔재물이나 식생에는 포함되어 있지 않고 지표 또는 토양에 존재. 고사목은 표면에 존재하는 임목, 지름 2mm이하의 죽은 뿌리와 지름이 10cm 이상인 임목밑동을 포함한다.(국가별로 지름이 달리 사용될 수 있다.)

산림벌채[6]

임지의 비 임지로의 직접적이고 인위적인 전환.

교란

교란은 환경적인 변동과 산림의 건강(health), 구조 그리고/또한 변화자원 또는 주어진 어떤 시공간적 단위에서의 물리적인 환경을 어지럽히는 파괴적인 사건으로서 정의된다. 교란은 곤충과 질병과 같은 biotic agents와 화재, 오염과 극심한 날씨조건과 같은 abiotic agents를 포함하며 건강과 지속력에 영향을 미친다. (아래의 사멸률과 다른 교란을 참고하라.)

질병에 의한 교란

박테리아, 곰팡이, 식물의 원형질 또는 바이러스와 같은 병원균으로서 작용할 수 있는 질병에 의해 야기된 교란.

화재에 의한 교란

산림 안팎의 발생에 차이를 두지 않고, 번갯불에 의해 야기된 교란. 번갯불은 계획되지 않고 조작되지 않은 점화 배출원에 관계없이 제지반응을 필요로 하는 번갯불를 말한다.

곤충에 의한 교란

임목 건강에 유해한 곤충 습격에 의하여 야기된 교란.

건조림

아한대와 온대지역에 대한 습도는 연평균강수량(MAP)과 잠재적인 증발산(PET)으로 정의된다. 건조(MAP/PET < 1)와 다습(MAP/PET > 1) 그리고 열대지역에 대하여는 강수량만을 고려한다. 건조(MAP < 1,000mm), 습윤 (MAP: 1,000-2,000mm), 다습(MAP > 2,000mm).

6 In the context of the Kyoto Protocol, as stipulated by the Marrakesh Accords, cf. paragraph 1 of the Annex to draft decision-/CMP.1 (Land Use, Land-use Change and Forestry) contained in document FCCC/CP/2001/13/Add.1, p.58.

건물질

건물질은 보통 70ºC에서 완전건조 상태로 건조된 바이오매스를 의미한다.

벌목량

연간 산림 또는 다른 임지에서 떨어진 가슴높이에서 10 cm이상인 살아있는 또는 죽은 모든 임목의 부피. 이는 제거되었는지 여부와 관계없이 모든 떨어진 임목의 부피를 포함한다. 이는 산림재배(silvicultural) 간벌, 지름 1 0cm 이상의 임목정리, 산림에 남겨진 것들과 회복된 자연적 손실을 포함한다.

주: 본 가이드라인에서는, GFRA 2005와의 일관성을 유지하여, 용어 "임목 제거량"과 "연료재 제거량"만이 사용되었다. 제거는 일반적으로 벌목량의 부분집합이다.

산림[7]

산림은 현지의 성숙단계에서, 최소 높이 2-5m에 잠재적으로 도달할 수 있는 임목으로 10-30%이상의 임목의 임관 (또는 축적수준과 동일)를 가진 최소한의 면적이 0.005-1.0 ha인 토지. 산림은 닫힌 산림계(다양한 식생의 임목이 존재하고 지표의 높은 분율이 관목으로 피복된)또는 열린 산림계로 구성된다. 임관 밀도의 10-30% 또는 임목높이 2-5m에 아직 도달하지 못한, 어린 자연 식생과 모든 플랜테이션은 수확이나 산림에 변형을 줄 것으로 예상되는 자연적 원인과 같은 인위적 방해의 결과로서 일시적으로 저장되지 않은 일반적으로 산림 면적의 부분을 이루는 면적을 포함한다.

산림 인벤토리

산림의 면적, 양, 조건을 측정하는 시스템. 일반적으로 샘플링에 의한다.

1.공간적인 분포와 조성, 측정목적에서 특정 정확도수준 내에서 산림변수의 변화율을 정량화하기 위하여 계획된 객관적인 샘플링 방법의 모음.

2.조사와 같은 자료의 목록. 임목과 다른 식생, 물고기, 곤충과 산불, 가로수와 도시산림임목을 포함하는 모든 산림자원으로부터 만들어 질 수 있다.

임지

본 카테고리는 국가 온실가스 인벤토리의 임지를 정의하기 위해 이용된 임계조건과 일관성있는 임목 식생을 가진 모든 토지를 포함한다. 이는 또한 최근에 아래로 떨어진 식생구조를 가진 시스템을 포함한다. 그러나 현지에서 잠재적으로 임의의 국가가 임지 카테고리를 정의하기 위하여 이용한 임계값에 도달할 수 있다.

---

7 In the context of the Kyoto Protocol, as stipulated by the Marrakesh Accords, cf. paragraph 1 of the Annex to draft decision -/CMP.1 (Land Use, Land-use Change and Forestry) contained in document FCCC/CP/2001/13/Add.1, p.58.

산림관리[8]

관리 실행시스템과 관련된 생태적(생물다양성 포함), 경제적, 지속가능한 방법에서의 산림의 사회 기능의 실행을 목적으로 하는 임지의 이용.

재배형 산림

재배 그리고/또한 조림, 또는 재조림의 과정 중 파종에 의해 성립된 산림입목. 이는 모든 입목들 또는 집약적으로 관리된 토착종의 입목이다. 토착종은 다음의 기준을 만족한다. 재배, 동일연령계층, 일반적인 종에서의 하나 또는 둘의 종

연료재 제거(량)

산업적, 상업적, 내수이용에 관계없이 에너지 생산목적으로 제거된 임목. 연료재는 단지 에너지목적으로 수집된 임목 또는 산림이나 다른 임지에서 직접적으로 제거된 임목을 포함한다. 이는 생산품 또는 round wood의 산업공정의 잔여물로서 생산된 연료재는 제외한다. 이는 또한 지역주민 또는 그들의 이용에 대한 소유자에 의한 제거를 포함한다.

축적량의 증가

바이오매스의 축적량 증가

축적량(s.a)의 완전건조 중량.

수확 손실

산정된 축적량의 상업적 재적과 실제 수확된 목재의 부피사이의 차이. 서 있는 목재와 쓰러져 있는 목재에 대한 측정법이 다르기 때문에, 손실은 톱질, 깨짐, 결함으로부터 기인한다.

바이오매스의 증가

임목, 식생 또는 산림의 연간 순 증가의 완전건조중량

집약적 산림관리

산림재배행위가 입목의 구조와 종조성을 정의하는 곳에서의 산림관리의 체계. 형식적인 또는 비형식적인 산림관리계획이 존재한다. 만약 주로 천연 생태과정이 입목의 구조와 종조성을 정의한다면, 산림은 집약적 관리 하에 있지 않다.

8 산림관리는 제4장에 설명된 바와 같이 관리된 산림의 세분화를 필요로 하는 Marrakesh Accords 하에서 특정 의미를 가진다.

도입종

대개 과거와 현재 분포의 밖으로부터 도입된 종

낙엽

토양 유기물에 대한 한계(2 mm)보다 더 큰 크기를 가진 그리고 고사목 (예,10 cm), 쓰러져 있는 고사목, 무기 또는 유기토양의 위 또는 안에서 다양한 상태의 분해에 대하여 선택된 최소한의 지름보다 작은 살아있지 않은 모든 바이오매스를 포함한다. 이는 일반적으로 정의된 잔재물 층을 포함한다. 무기 또는 유기토양 위 살아있는 양호한 뿌리(지하부바이오매스에 대하여 선택된 최소지름한계보다 작은)들은 경험적으로 구별되지 않는 잔재물을 포함한다.

낮은 활동도 (LAC) 토양

낮은 활동도 점토(LAC)무기를 가진 토양은 1:1점토무기와 무정형의 철과 알루미늄산화물이 지배적인 고도로 풍화딘 토양이다. (FAO 분류에서 Acrisols, Nitosols, Ferrasols으 포함한다.)

관리된 산림

관리된 산림은 관리된 토지에 대하여 정의된 조건에 해당되는 임지이다.

관리된 토지

관리된 토지는 인위적 방해와 행위가 생산과 생태학적 또는 사회적 기능을 변형시키는데 적용된 토지를 말한다.

이용재적

이용재적이란 성장축적량에 이용되는 조건을 이용하여 정의된 모든 나무들의 상층부의 부피를 말한다. 또한 성장 축적량 뿐 아니라 연순성장이나 목재 제거량에도 적용된다.

습윤림

아한대와 온대지역에 대한 습도는 연평균강수량(MAP)과 잠재적인 증발산(PET)으로 정의된다. 건조(MAP/PET < 1)와 다습(MAP/PET > 1) 그리고 열대지역에 대하여는 강수량만을 고려한다. 건조(MAP < 1,000mm), 습윤 (MAP: 1,000-2,000mm), 다습(MAP > 2,000mm).

고사율

입목 또는 산림의 줄기배제단계에서 경쟁에 의해 자연적으로 고사목. 여기서 이용된 바와 같이, 고사율은 교란(s.a)에 의한 손실을 포함하지 않는다.

천연림

토착종인 임목으로 구성되고 산림 플랜테이션으로 분류되지 않은 산림.

자연적 재생

자연적 방법에 의한(즉, 자연적 파종 또는 식생 재성장) 입목의 재 성립. 이는 인위적 방해에 의해 도움을 받을 수도 있다. 예, 토양의 고르기 또는 번갯불 또는 가정에서의 동물 방목에 대응하여 보호하기 위한 울타리에 의함.

연간 순증가

주어진 표준기간 동안 총 증가의 연평균 부피에서 가슴높이의 특정 최소지름의 모든 임목의 사멸률을 뺀 값(s.a). 여기서 이용된 바와 같이, 교란에(s.a.) 의한 순손실은 아니다.

유기토양

만약 다음 요구조건 1그리고2 또는 1그리고3을 만족시킨다면, 그 토양은 유기토양이다.FAO, 1998):

1) 유기토양층의 두께가 10 cm이상. 20 cm보다 작은 층은 20 cm 깊이에서 혼합 될 때, 12% 혹은 그 이상의 유기탄소(C)를 함유해야 한다.
2) 며칠 동안 물로 포화되지 않은 토양은 중량으로 20%이상의 유기탄소(C)를 함유해야 한다. (즉, 약35%유기물)
3) 토양이 물로 포화되는 경우, 다음 중 하나를 충족해야한다.
   1.1. 만약 토양이 점토를 함유하지 않는 경우, 중량으로 적어도 12% 유기탄소(C)를 가져야 한다 (약 20%의 유기물).
   1.2. 만약 토양이 60% 혹은 그 이상의 점토를 함유하는 경우, 중량으로 적어도 18% 유기탄소(C)를 가져야 한다 (약 30%의 유기물).
   1.3. 중간정도로의 점토함유에 대하여 비례하는 유기탄소(C)의 양은 중간정도이다.

기타 교란

화재, 곤충 또는 질병이 아닌 다른 요인에 의하여 야기되는 교란. 가뭄, 홍수, windfalls, 산성비 등에 의하여 영향받는 지역이 포함될 수 있다.

토탄

높은 지하수면과 최소 40cm 두께의 유기물층을 가진 전형적인 습지토양.(배수가 어려운 유기토양)

저장고/탄소(C) 저장고

저장소. 탄소(C)를 축적하거나 방출할수 있는 능력을 가진 시스템. 탄소(C) 저장고의 예는 산림 바이오매스, 임목생산품, 토양, 대기가 있다. 단위는 질량이다.

바이오매스 제거량

제거된 임목의 완전건조 중량.

초목 재생[9]

최소 0.05 ha의 면적을 피복한 식생의 조성을 통한 지역에 대한 탄소(C) 축적량을 증가시키기 위한 직접적이고 인위적인 행위. 여기서 포함된 조림과 재조림의 정의를 충족시키지는 않는다.

뿌리-줄기 비율

지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율. 지상부바이오매스와 지상부바이오매스 증가, 바이오매스 제거에 적용하고 이들 구성요소와는 차이가 있을 수 있다.

원목

모든 원목 또는 수확되고 제거된 원목. 이는 제거로부터 얻어진 모든 임목을 포함한다. 예를 들어, 자연적으로 쓰러진 것과 기간 동안 벌목손실로부터 회복된 임목을 포함하는 산림으로부터와 산림 바깥의 임목에서 제거된 양. 생산통계에서, 원목은 숯, 다른 산업적 용도의 원목을 포함하는 연료재의 합으로 표현된다. 무역통계에서, 원목은 숯을 만들기 위한 임목을 포함하는 연료재와 산업적인 원목의 합으로 표현된다. 이는 표피를 제외한 평방미터로 보고 한다.

사질토

모래> 70%와 점토< 8%를 포함한 모든 토양(분류법 배제)을 포함한다.(표준 조성측정법에 기초(FAO 분류는 다음을 포함한다.

계절림

확실한 건기와 우기를 가지고 연간 강우량이 1,200에서 2,000 mm인 반낙엽림

토양 탄소(C)

국가에 의해 선택된 그리고 시계열에 일관성 있게 적용된 특정 깊이에의 무기와 유기토양(peat 포

9 In the context of the Kyoto Protocol, as stipulated by the Marrakesh Accords, cf. paragraph 1 of the Annex to draft decision-/CMP.1 (Land Use, Land-use Change and Forestry) contained in document FCCC/CP/2001/13/Add.1, p.58.

함) 내의 유기탄소(C). 살아있는 2 mm보다 작은 양호한 뿌리(혹은 다른 값이 지하부바이오매스에 대한 한계지름으로서 국가에 의해 선택도리 수 있다.)는 경험적으로 구분되지 못하는 토양유기물을 포함한다.

토양 유기물

국가에 의해 선택된 그리고 시계열에 일관성 있게 적용된 특정 깊이에의 무기토양에의 유기탄소(C)를 포함한다. 토양 내 살아있는 그리고 죽은 양호한 뿌리와 DOM은, 뿌리와 DOM에 대한 한계지름(2 mm)보다 작다. 이는 경험적으로 구분되지 못하는 토양유기물을 포함한다. 토양깊이 30cm에 대한 기본값과 국가특성별 깊이를 판단하는 지침은 제2장.3.3.1에 제시되어 있다.

스포딕 토양

강한 포드졸화를 보이는 토양

총 바이오매스

임목, 줄기 또는 산림에 대한 바이오매스와 가지, 잔가지, 잎, 임목밑동과 때로 비상업적 임목으로부터의 바이오매스의 합. 지상부바이오매스와 지하부 바이오매스는 구별된다. 만약 오해가 없다면, 동일한 의미로서 “biomass”를 이용할 수 있다

총 바이오매스의 증가

임목, 줄기 또는 산림에 대한 바이오매스의 연간 순증가(s.a)와 가지, 잔가지, 잎, 임목밑동과 때로 비상업적 임목으로 부터의 바이오매스 증가의 합. 지상부바이오매스 증가와 지하부바이오매스증가는(s.a.)는 구별된다. 만약 오해가 없다면, 동일한 의미로서 “바이오매스 증가”를 이용할 수 있다. 용어“성장(growth)”은 여기서 “증가”를 대신하여 사용되었다. 후자의 용어가 상업적 재적에 대한 용어로서 이해가 용이하기 때문이다.

표피의 부피

축적량 또는 표피를 포함한 밖에서 측정된 상업용 목재. 표피는 임목 지름과 종의 표피두께에 의존하여 전체 부피의 5-25%를 더한다. 표피의 평균 중량백분율은 TBFRA 2000로부터 계산되며 외피의 부피로 11%를 차지한다.

내피의 부피

표피를 제외한 축적량 또는 상업용 목재. 위를 보라.

다습림

아한대와 온대지역에 대한 습도는(Moisture regimes) 연평균강수량(MAP)과 잠재적인 증발산(PET)

으로 정의된다. 건조(MAP/PET < 1)와 다습(MAP/PET > 1) 그리고 열대지역에 대하여는 강수량만을 고려한다. 건조(MAP < 1,000mm), 습윤 (MAP: 1,000-2,000mm), 다습(MAP > 2,000mm).

연료재

임목에 기초한 연료, 임목에서 유도된 바이오연료. 임목 바이오매스로부터 직접 또는 간접적으로 기인한 바이오연료의 모든 형태.

목재 재거(량)

상품과 에너지 생산보다(연료재) 서비스의 생산을 위하여 임목 제거량과 용어"제거량"은 산림에 유지되는 쓰러진 임목을 제외하기 때문에 "쓰러지는"과는 차이가 있다. 이는 지역주민 또는 이용의 소유권자에 의하여 제거된 양을 포함한다. 용어 "removal"이 대기로부터의 온실가스 제거를 지시하기 위한 기후변화의 문맥에서 사용되기 때문에, 산림벌채의 문맥에서의 제거량은 오해를 피하기 위하여 "목재 재거량 또는 연료재 제거량"으로서 사용되어야 한다.

참고문헌

Australian Greenhouse Gas Office (AGO) (2002). Greenhouse Gas Emissions from Land Use Change in Australia: An Integrated Application of the National Carbon Accounting System (2002).

Andreae, M.O. and Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. Global Biogeochemical Cycles 15: 955-966.

Armentano, T.V. and Menges, E.S. (1986). Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. Journal of Ecology 74: 755-774.

Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Erwin, T., Higuchi, N., Killeen, T.J., Laurance, S.G., Laurance, W.F., Lewis, S.L., Monteagudo, A., Neill, D.A., Vargas, P.N., Pitman, N.C.A., Silva, J.N.M. and Martínez, R.V. (2004a). Increasing biomass in Amazonian forest plots. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B 359: 353-365.

Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., Di Fiore, A., Erwin, T., Killeen, T.J., Laurance, S.G., Laurance, W.F., Lewis, S.L., Lloyd, J., Monteagudo, A., Neill, D.A., Pati□o, S., Pitman, N.C.A., Silva, J.N.M. and Martínez, R.V. (2004b). Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. Global Change Biology 10: 545-562.

Barbosa, R.I. and Fearnside, P.M. (2004). Wood density of trees in open savannas of the Brazilian Amazon. Forest Ecology and Management 199: 115-123.

Battles, J.J., Armesto, J.J., Vann, D.R., Zarin, D.J., Aravena, J.C., Pérez, C. and Johnson, A.H. (2002). Vegetation composition, structure, and biomass of two unpolluted watersheds in the Cordillera de Piuchué, Chiloé Island, Chile. Plant Ecology 158: 5-19.

Beets, P.N., Gilchrist, K. and Jeffreys, M.P. (2001). Wood density of radiata pine: Effect of nitrogen supply. Forest Ecology and Management 145: 173-180.

Bhatti, J.S., Apps, M.J., and Jiang, H. (2001). Examining the carbon stocks of boreal forest ecosystems at stand and regional scales. In: Lal R. et al. (eds.) Assessment Methods for Soil Carbon, Lewis Publishers, Boca Raton FL, pp. 513-532.

Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. and Baumgardner, G.A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia 111: 1-11.

Cannell, M.G.R. (1982). World forest biomass and primary production data. Academic Press, New York, NY.

Centre Technique Forestier Tropical (CTFT) (1989). Memento du Forestier, 3e Édition. Ministère Français de la Coopération et du Développement, Paris, France.

Chambers, J.Q., Tribuzy, E.S., Toledo, L.C., Crispim, B.F., Higuchi, N., dos Santos, J., Araújo, A.C., Kruijt, B., Nobre, A.D. and Trumbore, S.E. (2004). Respiration from a tropical forest ecosystem: Partitioning of sources and low carbon use efficiency. Ecological Applications 14: S72-S88.

Chambers, J.Q., dos Santos, J., Ribeiro, R.J., and Higuchi, N. (2001a). Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in a tropical forest. Forest

Ecology and Management 152: 73- 84.

Chambers, J.Q., Schimel, J.P. and Nobre, A.D. (2001b). Respiration from coarse wood litter in Central Amazon Forests. Biogeochemistry 52: 115-131.

Clark, D.A., Piper, S.C., Keeling, C.D. and Clark, D.B. (2003). Tropical rain forest tree growth and atmospheric carbon dynamics linked to interannual temperature variation during 1984-2000. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA 100: 5852-5857. de Groot, W.J., Bothwell, P.M., Carlsson, D.H. and Logan, K.A. (2003). Simulating the effects of future fire regimes on western Canadian boreal forests. Journal of Vegetation Science 14: 355-364

DeWalt, S.J. and Chave, J. (2004). Structure and biomass of four lowland Neotropical forests. Biotropica 36: 7- 19.

Dietz, P. (1975). Dichte und Rindengehalt von Industrieholz. Holz Roh- Werkstoff 33: 135-141.

Dixon, R.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C. and Wisniewski, J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science 263(1544): 185-190.

Dong, J., Kaufmann, R.K., Myneni, R.B., Tucker, C.J., Kauppi, P.E., Liski, J., Buermann, W., Alexeyev, V. and Hughes, M.K. (2003). Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass: Carbon pools, sources, and sinks. Remote Sensing of Environment 84: 393-410.

Dub□, S., Plamondon, A.P. and Rothwell, R.L. (1995). Watering up after clear-cutting on forested wetlands of the St. Lawrence lowland. Water Resources Research 31:1741-1750.

Echeverria, C. and Lara, A. (2004). Growth patterns of secondary Nothofagus obliqua-N. alpina forests in southern Chile. Forest Ecology and Management 195: 29-43.

Ellert, B.H., Janzen, H.H. and McConkey, B.G. (2001). Measuring and comparing soil carbon storage. In: R.

Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett and B.A. Stewart (eds.). Soil Management for Enhancing Carbon Sequestration. CRC Press, Boca Raton, FL., pp. 593-610.

Falloon, P. and Smith, P. (2003). Accounting for changes in soil carbon under the Kyoto Protocol: need for improved long-term data sets to reduce uncertainty in model projections. Soil Use and Management, 19, 265-269.

Fearnside, P.M. (1997). Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. Forest Ecology and Management 90: 59-87.

Feldpausch, T.R., Rondon, M.A., Fernandes, E.C.M. and Riha, S.J. (2004). Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia. Ecological Applications 14: S164-S176.

Filipchuk, A.N., Strakhov, V.V., Borisov, B.A. et al. (2000). A Brief National Overview on Forestry Sector and Wood Products: Russian Federation. UN ECE, FAO. New York, Geneva. ECE/TIM/SP/18, p. 94 (In Russian).

Fittkau, E.J. and Klinge, N.H. (1973). On biomass and trophic structure of the central Amazonian rainforest ecosystem. Biotropica 5: 2-14.

Food and Agriculture Organization (FAO) 2001. Global forest resources assessment 2000. FAO, Rome, Italy.

Food and Agriculture Organization (FAO) 2006. Global forest resources assessment 2005. FAO,

Rome, Italy.

Gayoso, J. and Schlegel, B. (2003). Estudio de línea de base de carbono: Carbono en bosques nativos, matorrales y praderas de la Décima Región de Chile. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Gayoso, J., Guerra, J. and Alarcón, D. (2002). Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies natives y exóticas. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Gower, S.T., Krankina, O., Olson, R.J., Apps, M., Linder, S. and Wang, C. (2001). Net primary production and carbon allocation patterns of boreal forest ecosystems. Ecological Applications 11: 1395-1411.

Hall, G.M.J. (2001). Mitigating an organization's future net carbon emissions by native forest restoration. Ecological Applications 11: 1622-1633.

Hall, G.M.J. and Hollinger, D. Y. (1997). Do the indigenous forests affect the net CO2 emission policy of New Zealand? New Zealand Forestry 41: 24-31.

Hall, G.M.J., Wiser, S.K., Allen, R.B., Beets, P.N. and Goulding, C.J. (2001). Strategies to estimate national forest carbon stocks from inventory data: The 1990 New Zealand baseline. Global Change Biology 7: 389-403.

Harmand, J.M., Njiti, C.F., Bernhard-Reversat, F. and Puig, H. (2004). Aboveground and belowground biomass, productivity and nutrient accumulation in tree improved fallows in the dry tropics of Cameroon. Forest Ecology and Management 188: 249-265.

Harmon, M.E. and Marks, B. (2002). Effects of silvicultural practices on carbon stores in Douglas-fir-western hemlock forests in the Pacific Northwest, USA: results from a simulation model. Canadian Journal of Forest Research 32 (5): 863-877.

Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory, S.V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S.P., Aumen, N.G., Sedell, J.R., Lienkaemper, G.W., Cromack, J.R. and Cummins, K.W. (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. Advances in Ecological Research 15: 133 302.

Hessl, A.E., Milesi, C., White, M.A., Peterson, D.L. and Keane, R. (2004). Ecophysiological parameters for Pacific Northwest trees. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Portland, OR.

Hinds, H.V. and Reid, J.S. (1957). Forest trees and timbers of New Zealand. New Zealand Forest Service Bulletin 12: 1-221.

Hughes, R.F., Kauffman, J.B. and Jaramillo, V.J. (1999). Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of México. Ecology 80: 1892-1907.

Hughes, R.F., Kauffman, J.B. and Jaramillo-Luque, V.J. (2000). Ecosystem-scale impacts of deforestation and land use in a humid tropical region of México. Ecological Applications 10: 515-527.

IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tr□anton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara

T., Tanabe K., Wagner F. (Eds).Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.

Jenkins, J.C., Chojnacky, D.C., Heath, L.S. and Birdsey, R.A. (2004). Comprehensive database of diameterbased biomass regressions for North American tree species. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Newtown Square, PA.

Jobbagy, E.G. and Jackson, R.B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecological Applications 19(2):423-436.

Johnson, D.W., and Curtis, P.S. (2001). Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis. Forest Ecology and Management 140: 227-238.

Johnson, D.W., Knoepp, J.D. and Swank, W.T. (2002). Effects of forest management on soil carbon: results of some long-term resampling studies. Environment Pollution 116: 201-208.

Knigge, W. and Schulz, H. (1966). Grundriss der Forstbenutzung. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.

K□ppen, W. (1931). Grundriss der Klimakunde. Walter deGruyter Co., Berlin, Germany.

Kraenzel, M., Castillo, A., Moore, T. and Potvin, C. (2003). Carbon storage of harvest-age teak (Tectona grandis) plantations, Panama. Forest Ecology and Management 173: 213-225.

Kurz, W.A., Apps, M.J., Banfield, E. and Stinson, G. (2002). Forest carbon accounting at the operational scale. The Forestry Chronicle 78: 672-679.

Kurz, W.A. and Apps, M.J. (2006). Developing Canada's national forest carbon monitoring, accounting and reporting system to meet the reporting requirements of the Kyoto Protocol. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11(1): 33-43.

Kurz, W.A., Apps, M.J., Webb, T.M. and McNamee, P.J. (1992). The carbon budget of the Canadian forest sector: phase I. Forestry Canada, Northwest Region. Information Report NOF-X-326, 93 pp.

Kurz, W.A., Beukema, S.J. and Apps, M.J. (1998). Carbon budget implications of the transition from natural to managed disturbance regimes in forest landscapes. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 2:405-421.

Kurz, W.A., Beukema, S.J. and Apps, M.J. (1996). Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian forest sector. Can. J. For. Res. 26:1973-1979.

Lamlom, S.H. and Savidge, R.A. (2003). A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. Biomass and Bioenergy 25: 381-388.

Lasco, R.D. and Pulhin, F.B. (2003). Philippine forest ecosystems and climate change: Carbon stocks, rate of sequestration and the Kyoto Protocol. Annals of Tropical Research 25: 37-51.

Levy, P.E., Hale, S.E. and Nicoll, B.C. (2004). Biomass expansion factors and root:shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain. Forestry 77: 421-430.

Li, C. and Apps, M.J. (2002). Fire Regimes and the Carbon Dynamics of Boreal Forest Ecosystems. In Shaw C. and Apps MJ (Eds). The role of Boreal Forests and Forestry in the Global Carbon Budget, Northern Forestry Centre Report Fo42-334/2000E, 107-118.

Li, C., Kurz, W.A., Apps, M.J. and Beukema, S.J. (2003). Belowground biomass dynamics in the Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector: recent improvements and

implications for the estimation of NPP and NEP. Canadian Journal of Forest Research 33: 126-136.

Liski, J., Pussinen, A., Pingoud, K., Makipaa, R. and Karjalainen, T. (2001). Which rotation length is favourable to carbon sequestration? Canadian Journal of Forest Research 31: 2004-2013.

Loveland, T.R, Reed, B.C., Brown, J.F., Ohlen, D.O., Zhu, Z., Yang, L. and Merchant, J.W. (2000). Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1-km AVHRR data. International Journal of Remote Sensing 21: 1303-1330.

Lugo, A.E., Wang, D. and Bormann, F.H. (1990). A comparative analysis of biomass production in five tropical tree species. Forest Ecology and Management 31: 153-166.

Malhi, Y., Baker, T.R., Phillips, O.L., Almeida, S., Alvarez, E., Arroyo, L., Chave, J., Czimczik, C.I., Di Fiore, A., Higuchi, N., Killeen, T.J., Laurance, S.G., Laurance, W.F., Lewis, S.L., Montoya, L.M.M., Monteagudo, A., Neill, D.A., Vargas, P.N., Patiño, S., Pitman, N.C.A., Quesada, C.A., Salomãos, R., Silva, J.N.M., Lezama, A.T., Martínez, R.V., Terborgh, J., Vinceti, B. and Lloyd, J. (2004). The aboveground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. Global Change Biology 10: 563-591.

Matthews, G.A.R. (1993). The carbon content of trees. UK Forestry Commission, Edinburgh, UK.

McGroddy, M.E., Daufresne, T. and Hedin, L.O. (2004). Scaling of C:N:P stoichiometry in forests worldwide: Implications of terrestrial Redfield-type ratios. Ecology 85: 2390-2401.

McKenzie, N.J., Cresswell, H.P., Ryan, P.J. and Grundy, M. (2000). Opportunities for the 21st century: Expanding the horizons for soil, plant, and water analysis. Communications in Soil Science and Plant Analysis 31: 1553-1569.

Mokany, K., Raison, J.R. and Prokushkin, A.S. (2006). Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. Global Change Biology 12: 84-96.

Monte, L, Hakanson, L., Bergstrom, U., Brittain, J. and Heling, R. (1996). Uncertainty analysis and validation of environmental models: the empirically based uncertainty analysis. Ecological Modelling 91:139-152.

Montès, N., Bertaudière-Montes, V., Badri, W., Zaoui, E.H. and Gauquelin, T. (2002). Biomass and nutrient content of a semi-arid mountain ecosystem: the Juniperus thurifera L. woodland of Azzaden Valley (Morocco). Forest Ecology and Management 166: 35-43.

Nygård, R., Sawadogo, L. and Elfving, B. (2004). Wood-fuel yields in short-rotation coppice growth in the north Sudan savanna in Burkina Faso. Forest Ecology and Management 189: 77-85.

Ogle, S.M., Breidt, F.J., Eve, M.D. and Paustian, K. (2003). Uncertainty in estimating land use and management impacts on soil oranic carbon storage for U.S. agricultural lands between 1982 and 1997. Global Change Biology 9:1521-1542.

Ogle, S.M., Breidt, F.J. and Paustian, K. (2006). Bias and variance in model results associated with spatial scaling of measurements for parameterization in regional assessments. Global Change Biology 12:516- 523.

Post, W.M. and Kwon, K.C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. Global Change Biology 6:317-327.

Poupon, H. (1980). Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe Sahélienne au nord du Sénégal. Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris, France.

Powers, J.S., Read, J.M., Denslow, J.S. and Guzman, S.M. (2004). Estimating soil carbon fluxes following landcover change: a test of some critical assumptions for a region in Costa Rica. Global Change Biology 10:170-181.

Pregitzer, K.S. (2003). Woody plants, carbon allocation and fine roots. New Phytologist 158 (3): 421-424.

Reyes, G., Brown, S., Chapman, J. and Lugo, A.E. (1992). Wood densities of tropical tree species. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, New Orleans, LA.

Rijsdijk, J.F. and Laming, P.B. (1994). Physical and related properties of 145 timbers. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

Saldarriaga, J.G., West, D.C., Tharp, M.L. and Uhl, C. (1988). Long term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. Journal of Ecology 76: 938-958.

Scott, N.A., Tate, K.R., Giltrap, D.J., et al. (2002). Monitoring land-use change effects on soil carbon in New Zealand: quantifying baseline soil carbon stocks. Environmental Pollution 116: 167-186.

Sebei, H., Albouchi, A., Rapp, M. and El Aouni, M.H. (2001). Évaluation de la biomasse arborée et arbustive dans une séquence de dégradation de la suberaie à Cytise de Kroumirie (Tunisie). Annals of Forest Science 58: 175-191.

Siltanen, et al. (1997). A soil profile and organic carbon data base for Canadian forest and tundra mineral soils. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta.

Singh, K. and Misra, R. (1979). Structure and Functioning of Natural, Modified and Silvicultural Ecosystems in Eastern Uttar Pradesh. Banras Hindu University, Varanasi, India.

Singh, S.S., Adhikari, B.S. and Zobel, D.B. (1994). Biomass, productivity, leaf longevity, and forest structure in the central Himalaya. Ecological Monographs 64: 401-421.

Smith, J.E. and Heath, L.S. (2001). Identifying influences on model uncertainty: an application using a forest carbon budget model. Environmental Management 27:253-267.

Smithwick, E.A.H., Harmon, M.E., Remillard, S.M., Acker, S.A. and Franklin, J.F. (2002). Potential upper bounds of carbon stores in forests of the Pacific Northwest. Ecological Applications 12: 1303-1317.Somogyi, Z., Cienciala, E., Mäkipää, R., Muukkonen, P., Lehtonen, A. and Weiss, P. (2006). Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. European Journal of Forest Research. DOI: 10.1007/s10342006- 0125-7.

Stape, J.L., Binkley, D. and Ryan, M.G. (2004). Eucalyptus production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil. Forest Ecology and Management 193: 17-31.

Stephens, P., Trotter, C., Barton, J., Beets, P., Goulding, C., Moore, J., Lane, P. and Payton, I. (2005). Key elements in the development of New Zealand's carbon monitoring, accounting and reporting system to meet Kyoto Protocol LULUCF good practice

guidance, Poster paper presented at IUFRO World Congress, Brisbane Australia, August 2005.

Stocks, B.J., Mason, J.A., Todd, J.B., Bosch, E.M., Wotton, B.M., Amiro, B.D., Flannigan, M.D., Hirsch, K.G., Logan, K.A., Martell, D.L., and Skinner, W.R. (2002). "Large forest fires in Canada, 1959 1997", Journal of Geophysical Research, 107, 8149 [printed 108(D1), 2003].

Trotter, C., Barton, J., Beets, P., Goulding, C., Lane, P., Moore, J., Payton, I., Rys, G., Stephens, P., Tate, K. and Wakelin, S. (2005). New Zealand's approach to forest inventory under the UNFCCC and Kyoto Protocol. Proceedings of the International Workshop of Forest Inventory for the Kyoto Protocol (Eds Matsumoto, M. and Kanomata, H.), pp. 33 43, published by: Division of Policy and Economics, Forestry and Forest Products Research Institute, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687, Japan.

Trotter, C.M. (1991). Remotely sensed data as an information source for Geographical Information Systems in natural resource management. International Journal of Geographical Information Systems 5, No. 2, 225- 240.

Ugalde, L. and Perez, O. (2001). Mean annual volume increment of selected industrial forest planatation species. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

VandenBygaart, A.J., Gregorich, E.G., Angers, D.A., et al. (2004). Uncertainty analysis of soil organic carbon stock change in Canadian cropland from 1991 to 2001. Global Change Biology 10:983-994.

Wulder, M., Kurz, W.A. and Gillis, M. (2004). National level forest monitoring and modeling in Canada, Progress in Planning, Volume 61:365-381.

Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R. and Mencuccini, M. (2005). Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. Silva Fennica, Monographs 4. 63. p.

제5장

농경지

저자

Rodel D. Lasco (필리핀), Stephen Ogle (미국), John Raison (호주), Louus Verchot (ICRAF/미국), Reiner Wassmann (독일), and Kazuyuki Yagi (일본)

Sumana Bhattacharya (인도), John S. Brenner (미국), Julius Partson Daka (잠비아), Sergio P. Ganzález (칠레), Thelma Krug (브라질), Yue Li (중국), Daniel L. Martino (우루과이), Brain G. McConkey (캐나다), Pete Smith (영국), Stanley C. Tyler (미국), and Washington Zhakata (짐바브웨)

부저자(contributing authors)

Ronald L. Sass (미국) and Xiaoyuan Yan (중국)

목 차

5 농경지.....5.7
5.1 서론.....5.7
5.2 농경지로 유지되는 농경지.....5.8
5.2.1 바이오매스.....5.8
5.2.1.1 방법의 선택.....5.8
5.2.1.2 배출계수의 선택.....5.10
5.2.1.3. 활동자료의 선택.....5.13
5.2.1.4 Tier 1과 Tier 2에 대한 계산단계.....5.14
5.2.1.5 불확도 평가.....5.15
5.2.2 고사 유기물 (DOM).....5.16
5.2.2.1 방법의 선택.....5.17
5.2.2.2 배출/흡수 계수들의 선택.....5.17
5.2.2.3 활동자료의 선택.....5.18
5.2.2.4 Tier 1과 2에 대한 계산단계.....5.18
5.2.2.5 불확도 평가.....5.19
5.2.3 토양탄소.....5.19
5.2.3.1 방법의 선택.....5.20
5.2.3.2 축적량 변화와 배출계수의 선택.....5.21
5.2.3.3 활동자료의 선택.....5.25
5.2.3.4 Tier 1에 대한 계산단계.....5.29
5.2.3.5 불확도 평가.....5.30
5.2.4 바이오매스 연소에서 non-CO_2 온실가스 배출.....5.32
5.2.4.1 방법의 선택.....5.32
5.2.4.2 배출계수의 선택.....5.32
5.2.4.3 활동자료의 선택.....5.33
5.2.4.4 불확도 평가.....5.34
5.3 농경지로 전환된 토지.....5.34
5.3.1 바이오매스.....5.34
5.3.1.1 방법의 선택.....5.34
5.3.1.2 배출/흡수 계수들의 선택.....5.37
5.3.1.3 활동자료의 선택.....5.39

5.3.1.4 Tier 1과 2에 대한 계산단계.....5.40
5.3.1.5 불확도 평가.....5.41
5.3.2 고사 유기물.....5.41
5.3.2.1 방법의 선택.....5.42
5.3.2.2 배출/흡수 계수의 선택.....5.44
5.3.2.3 활동자료의 선택.....5.44
5.3.2.4 Tier 1과 2에 대한 계산단계.....5.45
5.3.2.5 불확도 평가.....5.46
5.3.3 토양 탄소.....5.47
5.3.3.1 방법의 선택.....5.48
5.3.3.2 축적량 변화와 배출계수의 선택.....5.49
5.3.3.3 활동자료의 선택.....5.51
5.3.3.4 Tier 1에 대한 계산단계.....5.52
5.3.3.5 불확도 평가.....5.53
5.3.4 바이오매스 연소에 의한 non-CO_2 배출량.....5.53
5.3.4.1. 방법의 선택.....5.54
5.3.4.2 배출계수의 선택.....5.54
5.3.4.3 활동자료의 선택.....5.55
5.3.4.4 불확도 평가.....5.55
5.4 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고.....5.56
5.4.1 완전성.....5.56
5.4.2 일관성 있는 시계열 개발.....5.57
5.4.3 품질보증과 품질관리.....5.58
5.4.4 보고와 기록.....5.59
5.5 벼 재배에 의한 메탄 배출.....5.60
5.5.1 방법의 선택.....5.61
5.5.2 배출과 규모 계수의 선택.....5.65
5.5.3 활동자료의 선택.....5.69
5.5.4 불확도 평가.....5.70
5.5.5 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고.....5.71
별첨 5A.1 농경지에 대한 무기 토양 탄소배출/흡수를 위한 기본 축적량 변화계수 산정 5.73
참고문헌.....5.74

식

식 5.1 농경지로부터 메탄 배출.....5.61
식 5.2 조절된 일 배출계수.....5.65
식 5.3 유기 개량제에 대한 조정된 메탄 배출 규모 계수.....5.68

그 림

그림 5.1 경작 체계를 위한 분류도. 농경지 관리 체계를 분류하기 위해, 조사자는 상단에서 시작하여 질문들에 답변을 하면서 (만약 답변이 '예'이면 가지들을 가로질러 이동)도표의 종착점에 도달할 때까지 도표를 따라서 진행해야 한다. 분류도는 표 5.5.에 기본 축적량 변화계수와 일치한다. 탄소 투입 분류들 (예, 낮음, 중간, 높음, 개량이 있는 높음)은 경작 방식에 따라서 더 하위분류된다.....5.28
그림 5.2 벼 생산에서 메탄 배출에 대한 의사결정도.....5.64

표

표 5.1 영년생 종을 포함하는 경작 체계에서 지상 목본 바이오매스와 수확 주기에 대한 기본계수.....5.11
표 5.2 세계의 다른 생태 지역에서 농림업 체계에 대한 잠재 탄소 축적량.....5.11
표 5.3 영년생 농경지의 다양한 형태에 대한 지상 바이오매스 기본값 (TONNES HA^{-1})...5.12
표 5.4 어떤 국가가 가지고 있을 수 있는 영년생 농경지의 하위 범위의 예.....5.13
표 5.5 농경지에서 다른 관리 이용(20년 동안)에 대한 상대적인 축적량 변화계수들 (F_{LU}, F_{MG}, F_I).....5.23
표 5.6 경작된 유기 토양에 대한 연간 배출계수 (EF).....5.25
표 5.7 탄소 저장고에서 토지 전환 활동의 영향에 대한 단순 교란 행렬 (Tier 2)의 예 5.37
표 5.8 농경지로 토지 전환으로 인하여 제거된 기본 바이오매스 탄소 축적량.....5.38
표 5.9 전환이 이루어진 해에서 농경지로 전환된 토지에 존재하는 기본 바이오매스 탄소 축적량.....5.38

표 5.10 농경지로 토지이용전환에 대하여 토양 축적량 변화계수 (F_{LU}, F_{MG}, F_I).....5.50
표 5.11 180일보다 적은 기간 동안 범람이 없고, 경작기동안에 유기 개량제 없이 범람되는 농경지로 가정한 메탄 기본 배출계수.....5.66
표 5.12 지속적으로 범람된 농경지에 비교하여 경작기 동안 기본 메탄 배출 규모 계수 5.67
표 5.13 경작기 이전의 수문 체계에 대한 기본 메탄 배출 규모 계수.....5.68
표 5.14 유기 개량제의 다른 종류에 대한 기본 전환 계수.....5.69

박 스

박스 5.1 농경지와 관련된 탄소 저장고.....5.8
박스 5.2 논으로부터 메탄 배출에 영향을 주는 조건들.....5.63

5 농경지

5.1 서론

이 절은 농경지에서 온실가스 배출량 산정과 보고에 대한 단계화된 방법론을 제공하는 것이다. 농경지는 경작 적지 (arable)와 경작 가능지 (tillable land), 논, 농림지 (식생 구조가 산림지역 범주에 이용되는 경계지역 아래 부분에 해당하는 지역), 그리고 이후에도 이 경계지역을 넘지 않을 것으로 예상되는 곳이다. 농경지는 가변적인 휴경지 (다시 경작되지 전까지 일년 또는 여러 해 동안 묵혀지는) 뿐만 아니라 모든 일년생과 영년생 농작물을 포함한다. 일년생 농작물은 곡물, 유료 작물(oils seeds), 채소류, 구근 및 사료작물을 포함한다. 영년생 작물은 산림지역을 제외하고 나무와 관목, 초본 농작물에 포함하는 곳 (예, 농림업지역), 또는 과수원, 포도원, 코코아, 커피, 차, 야자유, 코코넛, 고무나무, 그리고 바나나 등의 재배지를 포함한다. 농경지는 일반적으로 일년생 농작물의 경작을 위하여 이용하지만 일시적으로 일년생 작물의 경작과 목초지의 윤작(rotation)형태의 일부로서 방목이나 사료작물에 대해서도 허용된다.

영속적인 농경지로부터 이동 또는 배출과 저장되는 탄소의 양은 작물의 종류, 재배관리, 그리고 토양과 기후 변화에 좌우된다. 예를 들어, 일년생 작물 (곡물, 채소)은 매년 수확되며, 작물의 바이오매스내의 탄소는 장기적으로 축적되어 지지 않는다. 그러나 과수원, 포도원, 농림업지역의 영년생 목본 작물은 그 종의 종류, 품종, 밀도, 성장률, 수확과 가지치기 방법에 따라서 장기적으로 바이오매스에 많은 양의 탄소(C)를 저장할 수 있다. 토양 중 탄소 저장량의 변화는 토양 특성, 재배관리방법, 작물의 종류와 윤작, 경운, 관수, 작물잔사 관리 그리고 유기물 투입량 등이다. 작물잔사 소각은 상당량의 non-CO_2 온실가스를 배출하며 이에 대한 계산 방법은 별도로 계산한다.

본 장(章)은 탄소 행동의 차이로 인한 *농경지로 유지되는 농경*(CC)*지*와 *농경지로 전환된 토지*(LC)를 위한 구분된 안내서이다. 임지, 초지, 습지로부터 농경지로 토지이용 전환은 대게 토양과 바이오매스로부터 탄소의 순 손실과 대기 중으로 N_2O 배출을 초래한다. 그러나 이전에 빈약한 식생이었거나 고도로 교란된 지역들 (예, 광산지)에서 만들어진 농경지는 바이오매스와 토양 탄소 모두에 순 증가를 낳을 수 있다. 특히 토양탄소와 관계되는 일련의 변화는 일년 이상 시간이 걸린다. 박스 5.1에 탄소(C) 저장고를 다루고 있다.

토지이용 전환이란 용어는 다른 형태로 이용된 것을 토지로 전환하는 것을 말한다. 영년생 농작물이 존재하는 경우에 다른 작물이나 같은 작물로 재배하면 토지 이용은 농경지로 간주한다. 그러므로 탄소 저장량 변화는 아래 절 5.2에서 서술된 것처럼 농경지로 유지되는 농경지의 절에서 언급한 방법을 이용하여 산정해야 한다.

박스 5.1
농경지와 관련된 탄소 저장고

바이오매스
- 지상부 바이오매스
- 지하부 바이오매스

DOM (작물잔사 유기물)
- 고사목
- 부엽

*1996 IPCC 가이드라인*에 대한 *2006 IPCC 가이드라인*의 새로운 특징은 다음과 같다:

- 농경지 절 전체가 새롭다.
- 바이오매스 탄소(C)와 토양 탄소(C)가 같은 절에 있다.
- 논에서의 메탄 배출이 농경지 카테고리에 포함된다.
- 바이오매스 소각으로부터 발생하는 non-CO_2 배출 (*농경지로 유지되는 농경지*와 *농경지로 전환된 토지*) 은 농경지 부분에 포함된다. 그리고
- 농경지와 농림업지역의 바이오매스에 대하여 기본값이 주어진다.

5.2 농경지로 유지되는 농경지

이 절은 최소한 기본 기간[1]으로 최소 20년 동안 어떠한 토지 이용 전환도 거치지 않은 농경지에 대한 온실가스 목록에 대한 안내서이다. 절 5.3은 이 보다 최근에 농경지로 전환된 토지에 대한 안내이다. *농경지로 유지되는 농경지*에서 연간 온실가스 배출과 저감은 다음을 포함 한다:

- 모든 탄소(C) 저장고와 배출원로부터 탄소(C) 축적량의 연간 변화량 산정
- 모든 저장고와 배출원으로부터 non-CO_2의 연간 배출량 산정

*농경지로 유지되는 농경지*에서 탄소 축적량의 변화는 식 2.3을 사용하여 산정한다.

5.2.1 바이오매스

5.2.1.1 방법의 선택

탄소(C)는 커피, 야자유, 코코넛, 고무나무, 과일, 그리고 견과류 과수원와 같은 단일 재배와 농림업지역 체계와 같은 다중재배를 포함하는 (하지만 제한되지 않는) 영년생 목본 작물을 포함하는 농경지의 바이오매스에 저장될 수 있다. 목본류의 바이오매스에서 탄소(C) 축적량 변화를 산정하는 기본적인 방법론이 2장 2.2.1절에 제시하고 있다. 이 절은 *농경지로 유지되는 농경지*의 바이오매스의 탄소(C) 축적량에서 변화를 산정하는 방법을 자세히 설명하고 있다.

1 높은 단계 방법을 사용하는 국가들은 토지 이용의 변화 이후에 탄소(C) 축적량이 평형이 잡힐 때까지 걸린 시간에 의존하여 다른 시간 주기를 사용할 수 있다.

바이오매스 변화는 영년생 목본 작물에 대해서만 산정하고 있다. 일년생 작물에 대해서는 당해년에서 바이오매스 축적량의 증가는 당해년의 수확과 고사에서 바이오매스 손실은 같다고 추정한다. 따라서 바이오매스 탄소(C) 축적량은 없다.

농경지 바이오매스에서 탄소(C) 변화($\triangle C_{CB}$)는 (a) 연간 바이오매스 획득과 손실률 (2장 식 2.7) 또는 (b) 시간의 두 지점에서 탄소(C) 축적량 (2장 식 2.8)에서 계산될 수 있다. 첫 번째 접근방법 (획득-손실 방법)은 Tier 1 방법을 사용하고, 그리고 아래 서술된 대로 가공해서 Tier 2 또는 3에서 사용할 수 있다. 두 번째 접근방법은 (저장원-방법차이) Tier 1 방법이 아닌 Tier 2 또는 Tier 3로 적용한다. 주어진 국가 환경에서 가능한 가장 높은 단계를 사용하여 인벤토리를 개선한 것이 *우수실행(good practice)*이다. 만일 *농경지로 유지되는 농경지*에서 탄소 배출과 이동이 주 카테고리이고, 바이오매스의 하위 카테고리가 중요하다고 한다면 Tier 2 또는 Tier 3 방법을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 2장에 그림 2.2의 의사결정도를 사용하여 바이오매스의 탄소 축적량의 변화를 산정하기 위해 적절한 접근방법인지를 확인하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 1

기본 방법은 영년생 목본성 농경지의 면적을 성장과 수확, 수집 또는 교란 (2장 2.7 식에 따른)과 연관하여 손실로부터 축적된 바이오매스의 순 산정값으로 곱하는 것이다. 손실은 영년생 목본 작물이 수확되는 농경지의 면적을 탄소 축적 값으로 곱해서 계산된다.

Tier 1의 기본 가정은: 영년생 목본 바이오매스 이동(예, 잘려지거나 다른 작물로 다시 심겨진)의 모든 탄소는 이동한 그해에 배출된다. 그리고 영년생 목본 작물은 성장/수확 주기에 탄소를 축적한다. 후자의 가정은 영년생 목본 작물이 성장을 통해 얻어진 바이오매스의 증가가 자연적인 고사, 가지치기 또는 다른 손실로 인하여 상쇄되기 때문에 바이오매스의 순 탄소(C) 축적이 없는 고정된 상태에 도달하거나 수확을 통해 바이오매스가 이동 할 때까지 제한된 기간 동안 바이오매스를 축적한다는 것을 암시한다.

아래에서 Tier 1 즉, 표 5.1에 나와 있는 기본계수는 토지를 국가차원으로 이끌어 낸 산정방법을 이용하여 적용했다.

Tier 2

바이오매스의 변화에 대한 Tier 2 산정을 위하여 두 가지 방법이 사용될 수 있다. 방법 1 (증감법)은 보고 연도에 바이오매스 탄소 증가분에 대한 바이오매스 탄소 손실부분을 공제한 것을 필요로 한다 (2장 식 2.7). 방법 2 (축적량 방법 차이라고도 불리는)는 그 시기에 두 지점에서 주어진 토지 이용 면적에 대한 바이오매스 탄소 축적 통계량을 요구 한다 (2장, 식 2.8).

Tier 2 산정은, 반면, 두 시점에서 탄소 저장의 국가-고유 산정이 가능한 곳에 국가-고유 탄소축적률과 저장 손실률을 이용하면서, 기후대에 의해 주요 목본 작물 유형에 대한 산정 방법을 개발하는 것이다. Tier 2에 따른 탄소저장 변화는 영년생 목본 식생에서 지상/지하 바이오매스에 대해 산정한다. Tier 2 방법은 주요한 농경지 종류와 관리 체계 (예, 우점 작물, 생산성 관리)의 기능으로서 탄소 저장 변화의 산정과 주요 작물 형태와 관리체계에 의한 바이오매스저장의 국가-고유 또는 지역-고유 산정을 포함한다. 가능한 범위에서, 국가들은 국가-고유 또는 지역-고유 자료를 사용하면서 영년생 작물 또는 목본 바이오매스의 변화를 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 자료가 없는 곳에서는 기본값이 사용될 수 있다.

Tier 3

Tier 3 산정은 고도로 구분된 Tier 2 접근방법 또는 경과 모델과 세밀한 측정을 포함하는 국가-고

유 방법이다. Tier 3은 통계적 근거로 시간에 따른 탄소 축적량 조사와 경과 모델, 기후 등급, 농경지 형태와 관리 영역을 이용하는 통계량 시스템을 포함한다. 예를 들어, 수확과 비료 시용과 같은 관리 효과들을 포함하는 유용한 작물 종(種)의 고유 성장 모델은 시간에 따른 농경지 바이오매스 탄소 축적량의 순 변화를 산정하는데 사용될 수 있다. 산림의 통계량과 같은 측정에 의해서 수반되는 모델들은 탄소저장 변화를 산정하고 전체 농경지 지역에 외삽 하는데 사용될 수도 있다.

적절한 모델을 선택하는 중요한 기준은 활동 자료에서 기술되어진 관리 방법 중 모든 표현이 가능해해야 한다. 모델은 국가의 기후, 토양, 농경지 관리 체계를 대표할 수 있는 국가-고유 포장 또는 지역-고유 현지 포장에서 독립적인 관측과 더불어 타당성이 있는 것이어야 한다.

5.2.1.2 배출계수의 선택

배출과 이동 계수들은 (a) 연간 바이오매스 축적 또는 성장률과 (b) 이동 (수확), 연료 수집과 교란과 같은 활동에 의하여 영향을 받는 바이오매스 손실 계수를 포함하는 탄소 축적량의 변화를 산정하는데 요구된다.

지상부 목본 바이오매스 성장률

Tier 1

표 5.1에서 5.3은 주요한 기후대와 농업 체계에 대한 바이오매스 축적량, 바이오매스 성장률 그리고 손실에 대한 산정을 나타낸 것이다. 하지만 목본 작물이나 목재류를 포함하는 작부체계에서 큰 변이가 있다. 지상부 목본 바이오매스 성장률에 대한 국가적인 자료를 찾는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2

연간 목본 바이오매스 성장률 자료는, 보다 자세하거나 구분된 규모에서, 경작과 농-산림체계에 대한 국가자료에 근거할 수 있다. 연간 목본 바이오매스 성장률의 변화율은 특징적인 관리/토지이용 활동 (예, 비료주기, 수확, 솎아내기)에서 변화에 반응하여 산정되어야 한다. 포장 연구의 결과는 그들이 기록된 범위 내에 있다는 것을 검증하기 위하여 다른 배출원의 바이오매스 성장에 대한 산정과 비교되어야 한다. 바이오매스 축적률에 대한 산정을 이끌어내는데 바이오매스 성장률은 관리 변화가 일어나는 그 후부터 20년 동안 일어날 것이라는 것을 인식하는 것이 중요하며, 이 시기 이후 그 속도는 관리 조건의 변화가 더 이상 일어나지 않는 한, 새로운 안정된 수준으로 향할 것이다.

Tier 3

Tier 3에서, 바이오매스 축적에 대한 구분된 계수가 필요하다. 이들은 수확과 비료와 같은 관리 효과들을 통합하는 성장 모델에 대한 특성과 품종들의 카테고리화를 포함 할 수 있다. 지상부 바이오매스의 측정은, 지상부 바이오매스 축적의 주기적인 측정으로 산림 통계량과 유사하다.

표 5.1
영년생 종을 포함하는 작부 체계에서 지상부 목본 바이오매스와 수확 주기에 대한 기본 계수

기후형	수확에서 지상부 바이오매스 탄소(C) 축적량 (tonnes C ha^{-1})	수확 /성숙 주기 (yr)	바이오매스 축적률 (G) (tonnes C ha^{-1} yr^{-1})	바이오매스 탄소(C) 손실 (L) (tonnes C ha^{-1} yr^{-1})	오차 범위[1]
온대 (모두 습윤 체계)	63	30	2.1	63	±75%
열대 건조	9	5	1.8	9	±75%
열대 습윤	21	8	2.6	21	±75%
열대 강우	50	5	10.0	50	±75%

주: Schroeder (1994)에서 출판된 문헌 조사와 종합에서 수치가 유도되었다. [1]평균에 대한 퍼센트로서 오차의 명목 산정을 나타내며, 표준편차의 두 배와 같다.

표 5.2
세계의 다른 생태 지역에서 농림업 체계에 대한 잠재 탄소 축적량

지역	생태 영역	체계	지상 바이오매스 (tonnes ha^{-1})	범위 (tonnes ha^{-1})
Africa	Humid tropical high	Agrosilvicultural 농업+임업	41.0	29 - 53
S America	Humid tropical low	Agrosilvicultural 농업+임업	70.5	39 - 102
S America	Dry lowlands	Agrosilvicultural 농업+임업	117.0	39 - 195
SE Asia	Humid tropical	Agrosilvicultural 농업+임업	120.0	12 - 228
SE Asia	Dry lowlands	Agrosilvicultural 농업+임업	75.0	68 - 81
Australia	Humid topical	Silvopastoral 임업+축산	39.5	28 - 51
N America	Humid tropical high	Silvopastoral 임업+축산	143.5	133 - 154
N America	Humid tropical low	Silvopastoral 임업+축산	151.0	104 - 198
N America	Dry lowlands	Silvopastoral 임업+축산	132.5	90 - 175
N Asia	Humid tropical low	Silvopastoral 임업+축산	16.5	15 - 18

출처: Albrecht and Kandji, 2003

표 5.3
영년생 농경지의 다양한 형태에 대한 지상 바이오매스 기본값 (TONNES HA^{-1})

경작 형태	지역	지상 바이오매스	범위	오차	참고문헌
야자유	SE Asia	136.0	62 - 202	78	
성숙한 고무나무	SE Asia	178.0		90	Palm *et al.*, 1999
어린 고무나무	SE Asia	48.0	16 - 80		Wasrin *et al.*, 2000
어린 육계나무 (7년)	SE Asia	68.0		47	Siregar & Gintings, 2000
코코넛	SE Asia	196.0			Lasco *et al.*, 2002
개선된 휴경지					
2년 휴경지	E Africa	35.0	27 - 44	40	Albrecht and Kandji, 2003
1년 휴경지	E Africa	12.0	7 - 21	89	Albrecht and Kandji, 2003
6년 휴경지 (평균)	SE Asia	16.0	4 - 64		Lasco and Suson, 1999
Alley cropping	SE Asia	2.9	1.5 - 4.5	105	Lasco *et al.*, 2001
Multistorey system					
Jungle rubber	SE Asia	304.0		17	Tomich *et al*., 1998
Gmelina-cacao	SE Asia	116.0		53	Lasco et al., 2001

지하-지상 바이오매스 축적

Tier 1

기본 가정은 농업 체계에 영년생 나무의 지하 바이오매스의 변화가 없다는 것이다. 농업 체계에 대한 지하 바이오매스의 기본 값은 없다.

Tier 2

이것은 영년생 목본성 식생으로부터 실제로 측정된 지하 바이오매스의 사용을 포함한다. 산정되는 지하 바이오매스 축적은 단계2 계수를 위하여 추천된다. 뿌리-줄기 비율은 개별 종(e.g., Anderson et al., 1972)과 군집(e.g., Jackson et al., 1996; Cairns et al., 1997) 규모에서 넓은 범위의 값을 보인다. 제한된 자료가 지하 바이오매스에 유용하고 가능한 그 지역 또는 식생형에 구체적인 경험적으로 얻어진 뿌리-줄기 비율을 사용해야 한다.

Tier 3

이것은 만일 축적량 차이 방법이 채용된다면, 임지 조사와 똑같은 야외 연구와 모형화 연구로부터 얻어진 자료의 사용을 포함한다.

제거, 원료목재, 교란으로부터 바이오매스 손실

Tier 1

기본 가정은 손실된 모든 바이오매스가 같은 해에 배출된다는 가정이다. 농경지로부터 바이오매스 제거, 연료목재 채취, 교란 손실 자료가 없다. FAO는 전체 임목 또는 연료재 소비 자료를 제공하지만, 배출원(예, 농경지, 임지 등)에 따라서 구분되지 않는다. 원료 목재에 대한 통계는 전 세계적으로 매우 빈약하고 불확실하다. 기본 제거와 연료 목제 수집 통계 (4장 4.2절에서 논의되었던)는 가정 정원에서 수확된 목제 원료와 같은 농경지로부터의 바이오매스를 포함할 수 있다. 이처럼 손실에 대한 이중 계산이 일어나지 않도록 하는 확인하는 필요하다. 농경지로부터 임목 또는 연료재의 배출원이 가능하지 않다면, 기본 접근은 수(절4.2)에서 손실을 포함하고 농경지로부터 손실을 배제할 것이다.

Tier 2와 3

조사 연구 또는 생산과 소비 연구에 바탕을 둔 국가적인 수준의 보다 정교한 자료 (농경지를 포함하는 다른 배출원들에 따른)는 바이오매스 손실을 산정하는데 사용될 수 있다. 이것은 항공사진들(또는 높은 해상도 인공위성 영상)과 지상 관측 방형구를 통한 목본성 식생의 임관표피의 산정을 포함하는 다양한 방법으로 통해 얻어질 수 있다. 종 구성, 밀도, 지상 대 지하 바이오매스는 다른 농경지 종류와 조건에 따라서 많이 다를 수 있고 이것은 농경지 종류에 따른 표본 조사와 조사 방형구를 분류하는 것이 가장 효율적일 수 있다. 3장, 별첨 3A.3에 바이오매스 조사를 위한 설문과 표본 조사 기법에 대한 일반적인 안내가 주어져 있다.

5.2.1.3. 활동자료의 선택

이 절의 활동자료는 영년생 목본 작물을 가진 성장하는 축적량과 수확된 토지 면적의 산정을 설명한다. 면적 자료는 3장에 서술된 접근을 사용하여 산정된다. 그것들은 전체 농경지 면적 내에 한 구성 요소로 여겨져야만 한다. 그리고 성장과 손실 요소의 유용성과 사용된 단계에 따라서 구분되어야 한다. 농경지 하위 카테고리에 대한 예는 표 5.4에 나와 있다.

표 5.4
어떤 국가가 가지고 있을 수 있는 영년생 농경지의 하위 범위의 예

넓은 하위 카테고리	구체적인 하위 카테고리
과일 과수원	망고, 감귤류, 사과
플랜테이션 경작	고무나무, 코코넛, 야자유, 커피, 카카오
농임업 체계	생울타리 경작 Hedgerow cropping (alley cropping), 개선된 휴경지Improved fallow, Multi-storey systems, 가정집 정원Home gardens, 경계 식재Boundary planting, 방풍림

Tier 1

Tier 1에서 연간 또는 주기적인 조사들이 산정된 영년생 목본 작물들의 평균 연간 면적과 수확되거나 제거된 영년생 목본 작물의 평균 연간 면적을 산정하는데 3장에 약술된 접근들과 연합에서 사용된다. 산정된 면적은 일반적인 기후 지역 또는 토양 종류로 기본 바이오매스 증가와 손실 값을 일치하기 위하여 더 분류된다. Tier 1 계산에서 FAO 자료와 같은 국제적인 통계와 다른 배출원들은 영년생 목본 경작아래 토지의 면적을 산정하기 위해 사용될 수 있다.

Tier 2

Tier 2에서 보다 자세한 해마다 또는 주기적인 조사가 영년생 목본 바이오매스 작물의 다른 종류에서 토지 면적을 산정하는데 사용된다. 면적들은 모든 주요 영년생 목본 작물 종류와 각 면적 산정에 재현되는 기후형의 조합과 같은 하위 카테고리로 더 분류된다. 이들 면적 산정은 Tier 2 방법을 위하여 개발된 국가 특이적인 바이오매스 탄소(C) 증가와 손실 값과 일치해야만 한다. 만일 국가 특이적인 더 자세한 해상도 자료가 단지 부분적으로 존재한다면, 국가는 가장 유용한 지식으로부터 올바른 가정을 사용하여 영년생 목재 작물을 기반으로 하는 전체 지역으로 외삽 하도록 권장된다.

Tier 3

Tier 3은 하위 국가적 규모에서 가는 격자 규모로 구분된 높은 해상도 활동자료를 요구한다. Tier 2와 유사하게, 토지 면적은 주요한 기후와 토양 카테고리 그리고 다른 잠재적으로 중요한 지역 변수들 (예, 지역적 관리 체계의 형태)으로 구체적인 영년생 목본 작물의 종류로 분류된다. 더욱이, 산정 정확성을 향상시키기 위해 공간적으로 표현 가능한 면적 산정을 지역 바이오매스 증가, 손실률, 그리고 관리 체계와 관계 짓는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

5.2.1.4 Tier 1과 Tier 2에 대한 계산단계

농경지로 유지되는 농경지에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 변화(ΔC_B)를 Tier 1과 2 방법을 사용하여 산정하는 단계 요약

농경지를 위한 워크시트(별첨 1 - AFOULU 워크시트)를 사용하여, 농경지로 유지되는 농경지의 바이오매스 탄소(C)량 변화를 계산하라.

단계 1: 보고하는 해에 대한 농경지의 하위 카테고리를 입력하라.

일반적으로, 바이오매스 축적량과 증가가 변화하는 국가에서 영년생 목본으로 덮여진 다양한 종류의 농경지가 있다. 이것들의 예는: 과일 과수원 (예, 망고, 감귤류), 농업적 플렌테이션 (예, 코코넛, 고무나무) 그리고 농임업 농장 등이다.

단계 2: 각 하위 카테고리에 대하여 영년생 목본 바이오매스를 가진 농경지의 연간 면적을 입력하라.

농경지의 각 하위 카테고리의 헥타르 면적 (A)은 국가 토지이용 기관, 농업국, 자연 자원국으로부터 일반적으로 얻을 수 있다. 가능한 자료 배출원은 위성 영상, 항공사진, 토지 기반 조사, FAO 자료를 포함한다.

단계 3: 각 하위 범위에 대하여 바이오매스 축적에서 평균 연간 탄소(C) 축적량(단위: tonnes C ha yr $^{-1}$)을 입력하라.

표 5.1에 바이오매스 축적률로부터 농경지의 각 하위 카테고리에 대한 연간 성장률 ($\triangle C_G$)이 적절한 워크시트의 열에 입력된다.

단계 4: 각 하위 카테고리에 대하여 생물량 손실에서 연간 탄소(C) 축적량(단위 C ha yr $^{-1}$)을 입력하라.

수확이 있다면, 수확된 바이오매스로부터 탄소(C) 축적량의 양이 적절한 열에 입력된다. 이것은 표 5.3에 다양한 농경지에 대한 지상 목본 바이오매스의 기본값에 기본 탄소(C) 밀도 (0.5 tonne C/tone biomass)를 곱해서 계산될 수 있다.

단계 5: 각 하위 카테고리에 대해 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 연간 변화를 계산하라.

바이오매스 ($\triangle C_B$)의 탄소(C) 축적량의 연간 변화가 2장의 식 2.7를 사용하여 계산된다.

단계 6: 탄소(C) 축적량 ($\triangle C_B$)에서 전체 변화를 하위 카테고리의 모든 산정 값을 더함으로서 계산하라.

예시 1: 조사 해에, 90,000 ha의 영년생 목본 작물이 열대 다습 환경에서 경작되지만, 10,000ha는 수확되었다. 미성숙한 영년생 목본 작물 지역은 지상 C $ha^{-1}yr^{-1}$당 거의 2.6 t톤의 속도로 탄소(C)를 축적한다. 수확된 토지는 제거의 해에 바이오매스 축적량의 모든 탄소(C)를 배출한다. 열대 다습 목본 작물에 대한 기본 탄소(C) 축적량 손실은 21 톤 C $ha^{-1}yr^{-1}$이다. 이러한 수치로부터, 연간 234,000 톤의 탄소(C)가 축적되고 210,000 탄소(C)가 손실된다. 2장 2.7 식을 사용하여 열대 다습 환경의 탄소(C) 축적량 (지상)의 순변화는 24,000 톤 C yr^{-1}이다.

5.2.1.5 불확도 평가

이어지는 논의는 각 단계 방법에 대한 바이오매스 탄소(C) 산정과 연관된 불확도를 평가하기 위한 접근들을 제공한다.

Tier 1

단계1 방법을 사용할 때 불확도의 배출원은 토지 면적과 기본 바이오매스 탄소(C)량 증가와 감소율 산정에서 정확성의 정도를 포함한다(3장 참조). 불확도는 다른 경작 체계의 면적 산정에 대하여 10% 아래로 되는 경향이 있다. 왜냐하면 대부분의 국가들은 신뢰할 수 있는 방법을 사용하여 농경지를 해마다 산정하기 때문이다. 농임업 체계에서 탄소(C) 축적량에 대한 출간된 연구의 편집은 표 5.1 (Schroeder, 1994)에 제공된 기본값을 유도하기 위하여 사용되었다. 기본 값이 다중 연구에서 유도되었지만, 그 연관된 불확도 범위는 출간에 포함되지 않았다. 그러므로 변수 값에 대한 75% 전후로 기본 불확도 수준이 전문가의 판단에 근거하여 할당되었다. 이 정보는 이 보고서의 3장으로부터 면적 산정의 불확도 측정을 지니고 Tier 1 방법을 사용하는 농경지 바이오매스의 탄소(C) 배출과 저감을 산정하는데 불확도를 평가하기 위해 사용될 수 있다. 불확도 분석에 대한 안내는 1권 3장에 주어져 있다.

Tier 2

Tier 2 방법은 전체 불확도를 줄일 것이다. 왜냐하면 국가 특이적인 배출-제거 계수는 국가 경계 이내 경작 체계와 기후형에 대한 탄소(C) 증감에 대한 보다 정확한 산정을 제공해야만 하기 때문이다. 국가 특이적인 탄소(C) 증가율에 대한 오차 산정(예, 표준편차, 표준 오차, 또는 범위)을 계산하고 국가특이적인 계수의 오차 범위를 평가하고 그것들을 기본 탄소(C) 축적 계수들과 비교하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 만일 국가 특이적인 계수가 기본 계수보다 같거나 큰 오차 범위를 가질 때, Tier 1 접근을 사용하고 보다 많은 현장 측정을 가지고 더 좋은 국가 특이적인 계수를 사용하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 접근들은 국가적인 경계 내 다른 기후형 면적 산정 또는 특이한 경작 체계와 같은 보다 자세한 해상도 활동자료를 사용할 수 있다. 보다 자세한 해상도 자료는 그것들이 자세한 토지 기반에 정의된 바이오매스 탄소(C) 증가 계수와 연결될 때 (예, 커피 플렌테이션의 면적이 일반적인 농임업 기본값 보다는 커피 플랜테이션 계수로 곱해질 때) 불확도의 수준을 줄일 것이다.

Tier 3

Tier 3 접근들은 Tier 1과 2 접근에 비하여 상대적으로 가장 높은 확실성을 제공한다. 모든 국가적으로 정의된 바이오매스 증가와 손실률에 대한 표준편차, 표준 오차 또는 범위를 계산하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 국가들이 Monte Carlo 모형의 모형 변수를 사용하기 위하여 확률 밀도 함수를 개발하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 불확도는, 특히 면적 산정과 관련해서, 경작 체계에 대하여 적거나 없는 경향이 있다.

5.2.2 고사 유기물 (DOM)

농경지로 유지되는 농경지 (CC)에 대한 탄소(C) 축적량 변화를 산정하는 방법들은 이 절에 제공되어 있다. 방법들은 두 가지 종류(죽은 나무와 리터)의 DOM 저장고에 대하여 제공 된다. 이 보고서의 1장은 이러한 저장고에 대한 자세한 정의를 제공한다.

죽은 나무는 현장에서 측정하는데 많은 실제적인 문제와 연관된 리터, 토양 또는 대기로 배출율과 관련된 불확도를 가진 다양한 저장고이다. 죽은 나무의 탄소(C)는 경관을 가로지르는 나무 (stand)들 사이에서 고도로 다양하다. 죽은 나무의 양은 지난 교란의 시간, 교란에서 투입(고사)의 양, 자연 고사율, 분해율, 관리 방식에 따라 달라진다.

리터 축적은 모든 잎, 어린 가지, 그리고 작은 가지, 건초, 과일, 꽃, 표피를 포함하는 연간 떨어지는 리터의 양에서 연간 분해율을 뺀 함수이다. 리터 양은 또한 지난 교란이후의 시간과 교란의 종류에 의하여 영향을 받는다. 나무와 초본 수확, 태우기, 초식은 극적으로 리터의 속성을 변화시킨다. 하지만 리터 탄소(C)에 대한 관리의 영향에 대한 명확하게 기록하고 있는 연구는 드물다.

일반적으로 농경지들은 보고를 위해 국가에서 채용하고 있는 정의에 따라서 농경지 또는 임지 둘 다로 여겨질 수 있는 농임업 체계를 제외하고는 죽은 나무, 작물 잔류물 또는 리터를 가지지 않을 것이다.

5.2.2.1 방법의 선택

제2장 그림 2.3에서 의사결정도는 산정 기법의 이용에 대한 적절한 단계 수준을 선택하는데 도움을 제공한다. DOM (죽은 유기물질)에서 탄소(C) 축적량의 변화 산정은 죽은 나무와 리터 축적량의 변화에 대한 산정을 요구 한다 (2장 식 2.17을 참조).

DOM 저장고들 (죽은 나무와 리터)의 각각은 개별적으로 다루어지지만 각 저장고의 변화를 결정하는 방법은 같다.

Tier 1

Tier 1 방법은 죽은 나무와 리터 축적량이 농경지에 존재하지 않거나 농임업 체계와 과수원에서와 같이 평형상태에 있다고 가정한다. 이처럼, 이러한 저장고들에 대한 탄소(C) 축적량 변화를 산정할 필요가 없다.

Tier 2

Tier 2와 3는 관리 방법에 따른 죽은 나무와 리터 탄소(C)의 변화를 계산하도록 허용한다. DOM에서의 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위하여 두 가지 방법이 제시되었다.

방법 1 (**획득-손실 방법**이라고도 불리는, 2장 식 2.18): 방법1은 경작 관리 카테고리의 면적과 죽은 나무와 리터 축적량으로의 평균 연중 전환 또는 방출을 산정하는 것이다. 이것은 농경지*로 유지되는 농경지*에서 다음에 따라서 면적을 산정하는 것을 필요로 한다: 1) 다른 기후 또는 경작 형태 2) 관리 영역, 또는 죽은 나무와 리터 탄소(C) 저장고에 심대하게 영향을 주는 다른 요소, 3) 다른 경작 형태에 근거하여 단위면적당(ha) 죽은 나무와 리터 축적량으로 전환된 바이오매스 뿐만 아니라 죽은 나무와 리터 밖으로 나온 바이오매스.

방법 2 (**비축차 방법**이라도 불리는, 제2장 식 2.19): 방법 2는 t_1과 t_2의 두 시점에서 농경지의 면적과 죽은 목재와 리터 축적량을 측정하는 것이다. 조사해 동안 죽은 나무와 리터 변화는 축적량 변화를 두 측정 사이의 기간 (연도)로 나누어서 얻어진다. 방법 2는 주기적인 조사 목록을 가지고 있는 국가들에게 가능하다. 이 방법은 Tier 3 방법을 채용하고 있는 국가들에게 보다 적합하다. Tier 3 방법은 국가 특이적인 배출계수와 국가적인 자료를 가진 곳에서 사용된다. 국가 특이적인 방법은 그들의 농경지와 모형에 대한 영구 표본 방형구에 대한 자세한 조사 목록에 근거할 수 있다.

5.2.2.2 배출/흡수 계수들의 선택

탄소(C) 비율: 죽은 나무와 리터의 탄소(C) 비율은 다양하고 분해 단계에 좌우된다. 나무는 리터보다 탄소(C) 비율에 사용될 수 있는 값인 0.5 tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$에 대한 변이가 훨씬 작은 편이다.

Tier 1

Tier 1의 가정은 농경지*로 유지되는 농경지*에서 DOM 탄소(C) 축적량이 거의 없거나 변화하지 않으므로 배출/저감 계수와 활동자료가 필요하지 않다는 것이다. 농경지 관리의 주요한 변화나 교란 (DOM 저장고에 영향을 주기 쉬운)을 경험하고 있는 국가들은 Tier 2 또는 3 방법에서 이들의 영향을 정량화하고 보고할 수 있는 국내 자료를 개발하도록 장려된다.

Tier 2

만약 국가 특이적인 도는 지역적인 값이 어떤 농경지 카테고리에 대하여 활용 가능하지 않다면 DOM에서 다른 농경지 카테고리에 대하여 기본 값과 조합하여 국가 수준의 자료를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 수확된 살아있는 나무에서 수확 잔류물로 탄소(C) 전환, 분해율 (방법 1의 경우) 또는 DOM의 저장고에서 순 변화 (방법 2의 경우)에 대한 국가 특이적인 값은 농경지의 종류, 바이오매스 이용률, 수확 방법, 수확 작업 동안 파괴된 식생의 양을 고려한 국가특이적인 자료로부터 얻어질 수 있다.

Tier 3

Tier 3에서 국가들은 DOM에서 변화를 산정하기 위한 그들 고유의 방법과 변수들을 개발해야 한다. 이러한 방법들은 위에서 구체화된 방법 1 또는 2로부터 또는 다른 접근들에 기반 하여 얻어질 수 있다. 사용된 방법들은 명쾌하게 기록될 필요가 있다.

국가적인 수준으로 구분된 DOM 탄소(C) 산정은 3장 별첨 3A.3에 설정된 원리들에 따라서 국가적인 농경지 목록, 국가적인 모형 또는 온실가스 조사 목록 프로그램의 부분으로서 결정되어야 한다. 조사 자료들은 모든 농경지 탄소(C) 저장고의 역동성을 포착하기 위하여 모형화 연구와 병행될 수 있다.

5.2.2.3 활동자료의 선택

활동자료는 주요한 경작 형태와 관리 방법에 따라서 요약된 농경지*로 유지되는 농경지*의 면적으로 구성되어있다. 전체 경작 면적은 이 장의 다른 절에 (특히 농경지로 유지되는 농경지의 바이오매스 절에서) 보고된 것과 일치해야 한다. 이러한 정보를 국가적인 토양, 기후, 식생, 그리고 다른 지질학적 자료와 연결시키는 것은 DOM의 변화를 평가하는 것을 쉽게 한다.

5.2.2.4 Tier 1과 2에 대한 계산단계

다음은 DOM 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위한 단계들을 요약한다.

Tier 1

DOM 저장고로서 필요하지 않는 활동자료는 안정된 것으로 가정한다.

Tier 2 (획득-손실방법) - 제2장 식 2.18

각 DOM 저장고 (죽은 나무와 리터)는 개별적으로 취급되지만 각 저장고의 방법은 동일하다.

단계 1: 이 평가와 대표적인 지역에서 사용된 농경지 종류와 관리 체계를 결정하라. 활동자료는 3장에서 서술된 방법을 사용할 때 얻어져야 한다.

단계 2: 국가들은 이러한 저장고에서 투입과 산출에 대한 지역적으로 활용 가능한 자료를 사용해야 한다. 투입에서 산출을 빼서 DOM 저장고에서 순변화를 계산하라. 음의 값은 축적량에서 순 감소를 나타낸다.

단계 3: 둘째 단계에 근거한 각 카테고리에 대한 DOM 축적량에 대한 순 변화를 결정하라. DOM 축적량에 변화에 죽은 나무와 리터의 탄소(C) 비율을 곱하여 죽은 나무 탄소(C) 저장양의 순 변화

량을 결정하라. 기본 값은 죽은 나무에 대해 0.50 tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$ 와 리터에 대해 0.40 tone (tonne d.m.)$^{-1}$이다.

단계 4: 각 카테고리의 대표적인 지역에 각 카테고리에 대한 DOM 탄소(C) 축적량의 순변화를 곱하여 각 카테고리에 대한 DOM 탄소(C) 저장고에서 전체 변화를 결정하라.

단계 5: 모든 카테고리에 걸쳐서 DOM 탄소(C)의 전체 변화의 합계를 얻어서 DOM에서 탄소(C) 축적량을 전체 변화를 결정하라.

Tier 2 (비축차 방법) - 제2장 식 2.19

각 DOM 저장고 (죽은 나무와 리터)는 개별적으로 취급되지만 각 저장고의 방법은 동일하다.

단계 1: 방법 1에서 서술할 대로 이 평가와 대표적인 지역에서 사용된 농경지 종류와 관리 체계를 결정하라.

단계 2: 각 카테고리에 대한 DOM 축적량의 순변화를 결정하라. 조사 자료로부터 조사 기간의 간격, 초기 조사 (t_1)에서 DOM의 평균 축적량, 나중 조사 (t_2)에서 평균 DOM 축적량을 확인하라. 이러한 수치들을 DOM 축적량의 연간 순 변화량을 계산하는데 사용하라. t_2에서의 DOM 축적량에서 t_2에서의 DOM 축적량을 뺀 후 이럴 시간 간격의 차이로 나눠서 구해라. 음의 값은 DOM 축적량의 감소를 나타낸다.

단계 3: 각 카테고리에 대한 DOM 탄소(C) 축적량의 순변화를 결정하라. DOM의 탄소(C) 비율을 각 카테고리에 대한 DOM 축적량의 순변화에 곱해서 DOM 탄소(C) 축적량의 순변화를 결정하라. 기본 값은 죽은 나무에 대해 0.50 tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$ 와 리터에 대해 0.40 tone (tonne d.m.)$^{-1}$ 이다. Tier 3 접근은 국가 특이적인 또는 생태계 특이적인 확장 계수를 필요로 한다. Tier 2 접근은 국가적인 수준의 기본 확장 계수를 사용할 수 있다.

단계 4: 각 이용 카테고리에 대해서 각 이용 카테고리의 대표적인 지역을 그 카테고리의 DOM 탄소(C) 저장f량의 순변화로 곱함으로서 DOM 탄소(C) 저장고에서 전체 변화를 결정하라.

단계 5: 모든 이용 카테고리에 걸쳐서 DOM 탄소(C)의 전체 변화의 합계를 얻어서 DOM에서 탄소(C) 축적량으로 전체 변화를 결정하라.

5.2.2.5 불확도 평가

불확도 산정은 Tier 1에서는 필요로 하지 않는다. 왜냐하면 DOM 축적량은 안정하다고 가정되기 때문이다. Tier 2과 3에 대해서 면적 자료와 불확도 산정은 3장 방법을 사용하여 얻어져야 한다. 탄소(C) 축적과 손실 계수는 지역적으로 평가되어야 한다.

5.2.3 토양탄소

농경지 관리는 어떻게 구체저인 방식이 토양에서의 탄수 투입과 산출에 영향을 미치는 지에 따라서 다른 수준으로 토양 탄소(C) 축적량을 변화 시킨다 (Paustian *et al.*, 1997; Bruce *et al.*, 1999; Ogle *et al.*, 2005). 농경지의 토양 탄소(C) 저장고에 영향을 주는 주요한 관리 방법은 잔류물 관리,

경작 관리, 비료 관리 (유기 비료와 무기 비료 둘 다), 작물의 선택, 경작 관리의 세기 (예, 지속 경작 대 휴기 기간을 포함한 윤작), 관개 관리, 그리고 윤작 과정에서 경작, 목초지와 혼합된 체계 등이다. 추가하여 배수와 유기 토양의 경작은 토양의 탄소(C) 축적량을 감소시킨다(Armentano and Menges, 1986).

토양 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위한 일반적인 정보와 조언들은 2장의 절 2.3.3 (식을 포함하여)에서 발견된다. 그 절은 농경지 토양 탄소(C) 축적량을 다루는 구체적인 안내와 함께 진행하기 이전에 읽어야 한다. 농경지에 대한 토양 탄소(C) 축적량의 전체 변화는 무기 토양과 유기 토양에 대한 토양 유기 탄소(C) 축적량의 변화와 토양 무기 탄소(C) 저장고 (Tier 3만 해당)와 연관된 축적량 변화를 결합하는 식 2.24를 사용하여 산정 된다 (제2장). 이 절은 토양 유기 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위한 구체적인 안내를 제공한다. 토양 무기 탄소(C)는 2.3.3.1절에서 전체적으로 다뤄진다.

*농경지로 유지되는 농경지*와 연관된 토양 탄소(C) 축적량 변화를 다루기 위하여, 국가들은 최소한 조사년도의 처음과 끝에서 농경지 면적에 대한 산정이 필요하다. 만일 토지이용과 관리 자료가 제한적이라면 농경지에 대한 FAO 통계자료와 같은 종합적인 자료가 토지 관리 체계 (예, 중간, 낮은 그리고 높은 투입 경작 체계, 기타)의 근접한 분포에 대한 전문가의 판단과 함께 출발점으로 사용될 수 있다. 경작 관리 분류는 기본값 또는 국가특이적인 분류체계에 근거할 수 있는 기후형과 중요한 토양형에 따라서 분류되어야 한다. 이것은 적절한 기후 및 토양 지도 위에 토지 이용을 중첩함으로서 이루어질 수 있다.

5.2.3.1 방법의 선택

Tier 1, 2 또는 3 접근을 사용하면서 전보다 자세한 자원을 필요로 하는 각 이어지는 단계와 더불어 조사 목록이 개발 될 수 있다. 또한 국가는 토양 탄소(C) (예, 무기 토양과 유기 토양에서 토양 유기 탄소(C) 축적량의 변화와 토양 무기 탄소(C) 저장고와 연관된 축적량 변화) 의 개별적인 하위 카테고리에 대하여 산정을 준비하기 위하여 다른 단계를 사용하는 것이 가능하다. 조사자들의 토양 탄소(C) 조사 목록에 대한 적절한 단계의 선택에 도움을 주기 위하여 절 2.3.3.2 (2장) 무기 토양(그림 2.4)과 유기 토양(그림 2.5)에 의사결정도가 제공된다.

무기 토양

Tier 1

무기 토양에 대해서 산정 방법은 토양 유기 탄소(C)에 영향을 주는 관리의 변화의 유한한 기간 동안 토양 유기 탄소(C) 축적량의 변화에 근거한다. 식 2.25 (2장)은 조사 기간의 마지막 해(SOC_0)의 탄소(C) 축적량을 조사 기간($SOC_{(0-T)}$)의 초기의 탄소(C) 축적량으로 빼고 축적량 변화계수 (D)에 의존하는 시간으로 나눔으로서 무기 토양의 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하는 데 사용된다. 실제에서, 토양 이용과 관리에 대한 국가 특이적인 자료는 획득되어야 하고 적절한 토지 관리 체계(예, 높은 중간의, 낮은 투입 경작 관리를 포함하여) 로 분류되어야 하고 IPCC의 기후형과 토양형으로 계층화되어야 한다. 토양 유기 탄소(C) 축적량 (SOC)은 기본 참조 탄소(C) 축적량 (SOC_{ref})과 기본 축적량 변화 요소들 (F_{LU}, F_{MG}, F_I)을 사용하면서 조사 시간의 처음과 끝에 조사된다.

Tier 2

Tier 2에서, 식1에서 사용했던 같은 기초 식(식 2.25)이 사용된다. 하지만 보다 나은 축적량 변화계수, 참조 탄소(C) 축적량, 기후형, 토양 형, 그리고 토양 관리 분류 체계를 구체화하기 위하여 국가 특이적인 정보가 통합된다.

Tier 3

Tier 3 접근은 연간 축적량 변화를 측정하는 기본으로 역동적인 모형과 자세한 토양 탄소(C) 조사 측정을 사용할 수 있다. 모형에서 산정은 토양 탄소(C)의 순변화를 산정하는 상응하는 식을 사용하여 계산된다. 다양한 모형(예, McGill *et al.*, 1996; 과 Smith *et al.*, 1997의 개관을 참조)이 존재하다. 적절한 모형을 선택하는데 주요한 기준은 농경지에 대한 모든 관리 방법을 재현할 수 있는지; 모형 입력 (예, 추진 변수들)이 국가의 입력 자료의 유용성과 일치하는지; 실험적인 자료에 대하여 검증이 가능하지에 대한 능력을 포함한다.

Tier 3 접근은 토양 유기 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위하여 감시 네트워크가 주기적으로 표본 조사되는 측정 기반의 접근을 사용하여 개발될 수도 있다. 비교 검토되는 지역의 높은 밀도는 토양이용과 관리체계, 기후 토양형에 대한 적절한 조합을 재현하기 위하여 모형으로 하는 것보다 더 필요할 것이다.

유기 토양

Tier 1

식 2.26 (2장)은 탄소(C) 축적량 변화(e.g. peat-derived, Histosols)를 산정하기 위해 사용된다. 기본 방법은 경작되는 유기 토양을 기후형에 따라서 구분하고 기후 특이적인 연간 탄소(C) 손실률을 할당하는 것이다. 지역 면적은 배출계수로 곱해지고 연간 탄소(C) 배출을 산정하기 위하여 더해진다.

Tier 2

Tier 2는 Tier 1과 마찬가지 같은 기본 식(식 2.26)이 사용된다. 하지만 보다 나은 축적량 변화계수, 참조 탄소(C) 축적량, 기후형, 토양 형, 그리고 토양 관리 분류 체계를 구체화하기 위하여 국가 특이적인 정보가 통합된다.

Tier 3

Tier 2 접근은 위의 무기 토양에 대하여 기술된 역동적 모형과 관리 네트워크를 사용한다.

5.2.3.2 축적량 변화와 배출계수의 선택

무기 토양

Tier 1

표 5.5는 토지 이용 (F_{LU}), 유입 (F_I), 그리고 관리(F_{MG})에 대한 단계1 접근의 기본 축적량 변화계수를 제공한다. 기본 축적량 변화계수를 유도하기 위하여 사용된 방법과 연구들이

별첨 5A.1과 참고문헌에 제공된다. 축적량 변화(D)에 대한 기본 시간 주기는 20년이고 관리 방법은 표 2.3 (2장)의 기준 토양 탄소(C) 축적량에 대한 깊이이기도 한 깊이 30cm까지 축적량에 영향을 준다고 가정된다.

Tier 2

Tier 2는 국가특이적인 축적량 변화계수들에 대한 산정을 수반한다. 유입 (F_I)과 관리 계수 (F_{MG})의 유도는 중간 수준의 유입(medium input)과 집약적인 경작 각각과의 대조에 기반 한다. 왜냐하면 그들은 IPCC 기본 관리 분류체계에서 일반적인 실행으로 고려되기 때문이다 (활동자료 선택을 보라). 만일 경험적인 분석에 근거한 보다 구분된 카테고리사이에서 축적량 변화계수의 중요한 차이가 있다면, 관리의 높은 해상력을 가진 분류 체계, 기후, 토양형에 대한 값을 추출하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 참조 탄소(C) 축적량은 Tier 2에서 국가 특이적인 자료로부터 이끌어질 수 있다. 추가적인 안내는 2장 절 2.3.3.1에 제공된다.

Tier 3

se 당 (per se) 지속적인 축적량 변화율은 보다 정교하게 토지 이용과 관리 영향을 포착하는 변수율이 선호되면서 측정되지 않는 경향이 있다.

표 5.5
농경지에서 다른 관리 이용(20년 동안)에 대한 상대적인 축적량 변화계수들 (F_{LU}, F_{MG}, F_I)

계수 값 종류	수준	온도 영역	수분 영역[1]	IPCC 기본값	오차[2,3]	참조
토지이용 (F_{LU})	장기 경작된	온대 / 아한대	건조	0.80	± 9%	20년 이상 동안 지속적으로 관리되었던, 일년생 작물로 우점 되는, 지역을 대표한다. 유입과 경작 계수들은 또한 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위하여 적용되었다. 토지이용 계수들은 최대한의 경작과 보통의 (중간 규모의) 탄소(C) 유입 수준에 대하여 계산되었다.
			Moist	0.69	± 12%	
		열대	Dry	0.58	± 61%	
			Moist/ Wet	0.48	± 46%	
		열대 montane[4]	n/a	0.64	± 50%	
토지이용 (F_{LU})	논	모두	Dry and Moist/ Wet	1.10	± 50%	장기간 (20년 이상) 일년생 습지 경작 (논경지). 비범람지 경작과 이중 계산을 포함할 수 있다. 논경지에 대해 경작과 유입 계수가 사용될 수 없다.
토지이용 (F_{LU})	영년생/ 나무 경작	모두	Dry and Moist/ Wet	1.00	± 50%	열매와 견과류 나무, 커피, 카카오와 같은 장기간 영년생 나무
토지이용 (F_{LU})	20년 이내로 휴경된	온대 / 아한대와 열대	Dry	0.93	± 11%	일시적으로 해별로 휴경된 농경지 (예, 보전 지conservation reserves)또는 영년생 풀이 다시 자라는 다른 휴경 농경지를 대표한다.
			Moist/ Wet	0.82	± 17%	
		열대 montane[4]	n/a	0.88	± 50%	
경작 (F_{MG})	최대한	모두	Dry and Moist/ Wet	1.00	NA	최대한의 전환과 관련된 실질적인 토양 교란과 빈번한 (해 안의) 경작 작업들. 식재시기에는 표면의 일부 (예, <30%) 만이 잔류물로 덥힌다.
경작 (F_{MG})	저감된	온대 / 아한대	Dry	1.02	± 6%	주요한 그리고 이차적인 경작. 하지만 저감된 토양 교란 (대게 얕고 최대한의 토양 자리 바꿈 없이). 일반적으로 식재 때 30% 이상의 잔류물을 가진 표면을 남긴다.
			Moist	1.08	± 5%	
		열대	Dry	1.09	± 9%	
			Moist/ Wet	1.15	± 8%	
		열대 montane[4]	n/a	1.09	± 50%	
경작 (F_{MG})	경작없음	온대 / 아한대	Dry	1.10	± 5%	주요 경작 없이 직접 씨앗 뿌리기, 씨뿌리기는 지역에 단지 최소한의 토양 교란, 제초제가 일반적으로 잡초 제거를 위해 사용된다.
			Moist	1.15	± 4%	
		열대	Dry	1.17	± 8%	
			Moist/ Wet	1.22	± 7%	
		열대 montane[4]	n/a	1.16	± 50%	

표 5.5 (계속)
농경지에서 다른 관리 이용(20년 동안)에 대한
상대적인 축적량 변화계수들 (F_{LU}, F_{MG}, F_I)

계수 값 종류	수준	온도 영역	수분 영역[1]	IPCC 기본값	오차[2,3]	참조
유입 (F_I)	낮음	온대 / 아한대	Dry	0.95	±13%	잔류물의 제거(수집 또는 태우기)로 인하여 낮은 잔류물 복구가 일어날 때 빈번한 bare-fallowing (나지), 낮은 잔류물을 낳는 작물 생산 (예 야채, 담배, 면화), 무기 비료 또는 질소 고정 작물이 없음.
			Moist	0.92	±14%	
		열대	Dry	0.95	±13%	
			Moist/ Wet	0.92	±14%	
		열대 montane[4]	n/a	0.94	±50%	
유입 (F_I)	중간	모든	Dry and Moist/ Wet	1.00	NA	모든 경작 잔류물이 농경지로 돌아가는 곡물류로 연간 경작되는 곳을 대표한다. 만일 잔류물이 제거된다면, 보충적인 유기 물질 (예, 거름)이 추가된다. 또한 무기 비료 또는 윤간에서 질소 고정 작물을 필요로 한다.
유입 (F_I)	거름 없이 높음	온대 / 아한대와 열대	Dry	1.04	±13%	높은 잔류물을 낳는 작물의 생산, 유기 비료의 사용, cover crops, 향상된 식생이 자라는 휴경지, 관개, 영년생 경작 윤작에서 빈번한 영년생 풀의 사용과 같은 부가적인 작업으로 인하여 중간 규모 이상의 탄소(C) 유입보다 상당히 더 큰 경작 잔류물 유입 경작 체계를 대표한다. 하지만 적용되는 거름은 없음 (아래를 보라)
			Moist/ Wet	1.11	±10%	
		열대 montane[4]	n/a	1.08	±50%	
유입 (F_I)	거름과 같이 높은	온대 / 아한대와 열대	Dry	1.37	±12%	동물 거름의 규칙적인 추가 방식으로 인하여 중간 규모의 탄소(C) 유입 보다 상당히 더 높은 탄소(C) 유입을 대표하는 경작 체계
			Moist/ Wet	1.44	±13%	
		열대 montane[4]	n/a	1.41	±50%	

[1] 자료가 충분한 곳에서 온대와 열대온대 지역에 대한 개별적인 값은 결정되었다; 건조, 습지, 과습 지역들. 온대와 열대 지역은 3장에 정의된 것과 대응한다.; 습지 지역은 열대의 습지와 과습 지역의 통합 영역과 온대의 습지 지역을 포함한다.

[2] ±두 표준편차, 평균의 %로 표현된; 기본값을 유도하기 위한 통계적인 분석에 대하여 충분한 연구가 없을 때 불확도는 전문가의 의견에 따라서 ±50%로 가정된다. NA는 계수 값이 정의된 참조 값으로 구성되고 불확도가 토지 사용을 위한 참조 탄소(C) 축적량과 축적량 변화계수에 반영되어있는 '적용 안됨'을 의미하다.

[3] 이 오차 범위는 세계의 모든 지역에 대하여 진짜 영향을 대표할 수 없는 작은 표본 개수로 인한 잠재적인 계통적 오차는 포함하지 않는다.

[4] 열대 montane 기후 지역에서 무기 토양에 대한 축적량 변화계수를 산정하기 위하여 연구가 충분하지 않다. 근사 값으로 온대와 열대 지역의 사이의 평균 축적량 변화가 열대 montane 기후 지역에 사용되었다. 주의:
농경지에 대한 무기 토양 탄소(C) 배출/제거에 대하여 무기 토양 탄수 배출 / 저감에 대한 기본 축적량 변화계수 산정을 위하여 별첨 5A.1 참조하라.

표 5.6 경작된 유기 토양에 대한 연간 배출계수 (EF)		
기후적 온도 영역[1]	IPCC 기본값 (tonnes C ha^{-1} yr^{-1})	오차[2]
아한대/추운 온대	5.0	±90%
따뜻한 온대	10.0	±90%
열대 / 아열대	20.0	±90%
[1] 3장에 기후 분류 체계가 제공된다. [2] 평균의 %로서 표준 편자의 2배와 같은 평균적인 오차의 산정을 나타낸다. 산정들은 다음에 기초한다: Glenn *et al.*, 1993; Kasimir-Klemedtsson *et al.*, 1997; Freibauer and Kaltschmitt, 2001; Leifeld *et al.*, 2005; Augustin *et al.*, 1996; Nykänen *et al.*, 1995; Maljanen *et al.*, 2001, 2004; Lohila *et al.*, 2004; Ogle *et al.*, 2003; Armentano and Menges, 1986.		

5.2.3.3 활동자료의 선택

무기 토양

Tier 1

경작 체계는 토양 탄소(C)의 축적량에 영향을 주는 관리에 따라서 구분된다. 기본 관리 분류 체계는 그림 5.1에 제공된다. 조사자는 기본 Tier 1에서 축적량 변화계수들과 일치하는 방식으로 관리 체계를 카테고리화하는 데 이 분류체계를 사용하야 한다. 이 분류체계는 Tier 2와 3 접근을 위하여 더 개발될 수 있다. 일반적으로 관개, 무기질 비료, organic amendment, cover crops, 높은 잔류물 생산 작물, 보다 높은 유입과 같은 방법들이 탄소(C) 축적량을 증가시킨다고 알려져 있다. 반면 작물잔사 태우기 / 제거, 나휴경지, 낮은 작물잔사 생산 작물들, 낮은 유입과 같은 방법들은 토양 축적량을 감소시킨다. 토양 탄소(C) 축적량을 증가시키는 방법들은 주어진 경작 순서 (예, 윤작)에서 1/3보다 작게 사용되도록 고려되어서 안 된다. 이 1/3란 값은 기본 축적량 변화계수들을 산정하기 위하여 사용된 실험 자료의 분류체계와 일치한다. 벼 생산, 영년생 농경지, 휴경지 (예, 생산에서 제거된 토지)가 유일한 관리 체계 (아래를 보라)로 고려된다.

연간 경작되는 체계 각각은 (낮은 유입, 중간 유입, 높은 유입, 유기 개량제를 가진 높은 유입)은 경작 관리에 근거하여 더 하위-분류된다. 경작 방식은 경작 없음(주요 경작 없이 직접 씨앗 뿌리기, 씨뿌리는 지역에 단지 최소한의 토양 교란, 제초제가 일반적으로 잡초 제거를 위해 사용된다), 저감된 경작(주요한 그리고 이차적인 경작. 하지만 저감된 토양 교란 (대게 얕고 최대한의 토양 자리바꿈 없이). 일반적으로 식재 때 30% 이상의 작물잔사를 가진 표면을 남긴다.), 최대한의 경작 (최대한의 전환과 관련된 실질적인 토양 교란과 빈번한 (해 안의) 경작 작업들. 식재시기에는 표면의 일부 (예, <30%) 만이 작물잔사로 덥힌다.)으로 구분된다. 만일 그들이 매해 지속적으로 사용된다면, 저감된 또는 경작 없음만을 고려하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 왜냐하면 심지어 가끔씩 최대한의 경작은 저감된 또는 경작 없음의 방식에서 예상되는 수준 보다 토양 유기 탄소(C) 축적량을 상당히 줄일 것이기 때문이다(Pierce *et al.*, 1994; Smith *et al.*, 1998). 순환적 경작 체계 (예, 저감된, 경작 없음과 최대한의 경작 방식을 혼합하는 것)가 토양에 미치는 영향을 분석하는 것은 2단계 방식을 요구할 것이다.

토지 이용 활동자료의 주요한 종류는 1) 집적된 통계치 (접근 1), 2) 토지이용 전환에 대한 명백한

정보를 가졌지만, 구체적인 지리 기준(geo-referencing)이 없는 자료 (접근 2), 또는 3) 어떤 국가의 토지 면적의 통계적인 자료를 구성하는 토지 이용과 관리 목록과 같은 토지이용 전환에 대한 명백한 정보와 지리 기준을 가진 자료 (접근에 논의를 위하여 3장 참조). 최소한 FAO 자료 묶음 (http://faostat.fao.org)와 같은 전지구적으로 유용한 토지 이용과 경작 생산 통계는 주요한 토지이용별 연중 전체 토지 면적 편찬 자료를 제공하고, 관리 자료 (예, 관개되는 농경지 대 관개되지 않는 농경지), 영년생 농경지(포도원, 영년생 초본 경작들, 과수원과 같은 나무 기반 농경지)들의 토지 면적, 일년생 농경지(밀, 벼, 옥수수, 수수, 그리고 기타)의 토지 면적을 선택하고 FAO 자료 묶음은 합쳐진 자료의 예가 될 것이다 (접근 1).

관리 활동자료는 관리체계 (작물 종류, 윤작, 경작 방법, 관개, 비료 적용, 작물잔사 관리 기타)를 분류할 수 있는 정보를 제공함으로서 토지활동자료를 보충한다. 이러한 자료는 또한 집적된 통계 (접근 1) 또는 명백한 관리 변화에 대한 정보 (접근 2 또는 3)일 수 있다. 가능한 곳에서, 단순히 작물에 대한 면적 보다는 경작 체계와 연관된 토지에 대한 구체적인 관리 방법(예, 윤작과 경작 방법)을 결정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 원격 탐사 자료는 토지 이용과 관리 활용을 위한 가치 있는 자료이다. 잠재적으로, 전문 지식은 경작 체계를 위한 또 다른 정보의 배출원이다. 1권 2장 (전문 지식에서 알아내기)에 제공된 방법을 사용하여 전문 지식에서 필요한 정보를 끌어내는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

같은 지역에 대한 반복적인 조사에 근거한 국가적인 토지 이용과 자원 목록은 접근 2 또는 3을 사용하여 얻어진 활동자료를 구성하며 집적된 토지이용 과 농경지 관리 자료 (접근 1)보다 어떤 장점을 가지고 있다. 시계열 자료는 특정한 경작 체계와 보다 쉽게 연관될 수 있다 (예, 몇 해에 걸친 작물의 종류와 관리의 조합). 그리고 토양 종류는 표본 조사 또는 그 지역을 적합한 토양 지도에 참조를 달면서 결정될 수 있다. 적합한 통계적 설계에 근거하여 선택된 조사 목록 지점은 공식적인 불확도 분석의 부분으로 사용될 수 있다. 접근 3을 사용하는 조사의 예는 미국의 National Resource Inventory (Nusser and Goebel, 1997) 이다.

활동자료는 기후와 토양 종류별로 지역을 계층화하기 위하여 국가내의 추가적 정보를 요구한다. 만일 그러한 정보가 이미 축적이 되어 있지 않다면, 초기 접근은 아마도 유용한 토지 피복 / 토지이용 지도(국가 기원 또는 IGBP-DIS와 같은 전지구적 자료 묶음으로부터)를 (국가 또는 FAO Soil Map of the World와 United Nations Environmental Program으로부터 기후 자료와 같은 전지구적 배출원 기원의) 토양과 기후지도와 중첩하는 것이다. 기본 기후와 토양 분류 체계에 대한 자세한 기술은 3장 별첨 3A.5에 제공된다. 토양 분류는 토양 분류 기술과 조식상의 자료에 근거한다. 하지만 기후형은 연평균 기온과 강수량, 고도, 서리의 발생, 그리고 잠재 증발산량에 근거한다.

Tier 2

Tier 2 접근들은 만일 충분한 자료가 있다면 Tier 1보다 관리 체계의 보다 구체적인 계층화를 가지는 경향이 있다 (그림 5.1 참조). 이것은 더 나아가 일년생 경작 투입 카테고리의 하위 카테고리 (예, 낮은, 중간, 높은, 높은 with amendment), 벼농사, 영년생 경작 체계, 휴경을 포함할 수 있다. 제공된 카테고리들에서 토양 유기 탄수 축적량에서 유효한 차이들을 증명하는 실증적인 자료에 근거하여 기본 분류를 더 하위 카테고리화는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 추가하여 Tier 2 접근은 기후형과 토양형에 대한 보다 자세한 계층화를 포함할 수 있다.

Tier 3

Tier 3에서 역동 모형의 적용과 직접 측정한 조사의 적용을 위하여, Tier 1과 2에 비하여 기후 토

양, 지형, 그리고 관리 자료의 조합에 대한 유사한 또는 보다 자세한 자료가 필요하다. 하지만 정확한 요구 사항들은 모형 또는 측정 계획에 의존할 것이다.

유기 토양들

Tier 1

모든 종류의 작물을 위한 관리와 연관된 배수는 주로 혐기적 환경에서 이전에 축적된 유기물질의 산화를 자극한다는 가정 하에서 무기 토양 방법과 대조적으로, 유기 토양의 농경지는 관리 체계로 분류되지 않는다. 하지만 절 23.3.1 (2장)에 기술된 방법을 적용하기 위하여, 농경지는 기후형과 토양형에 따라서 계층화될 필요가 있다 (토양과 기후 분류를 위해 3장 별첨 3A.5 참조).

Tier 1 논의에서 *무기 토양*들을 위하여 약술된 것들과 유사한 자료 묶음과 접근들이 면적 산정을 이끌어 내기 위하여 사용될 수 있다. 농경지를 위하여 관리되는 유기 토양을 가진 토지 면적은 토지이용 지도를 기후와 토양 지도를 중첩을 사용하여 결정될 수 있다. 토지이용 조사와 결합된 배수 계획은 국가특이적인 자료가 보다 정제된 적절한 면적 산정을 얻기 위하여 사용될 수 있다.

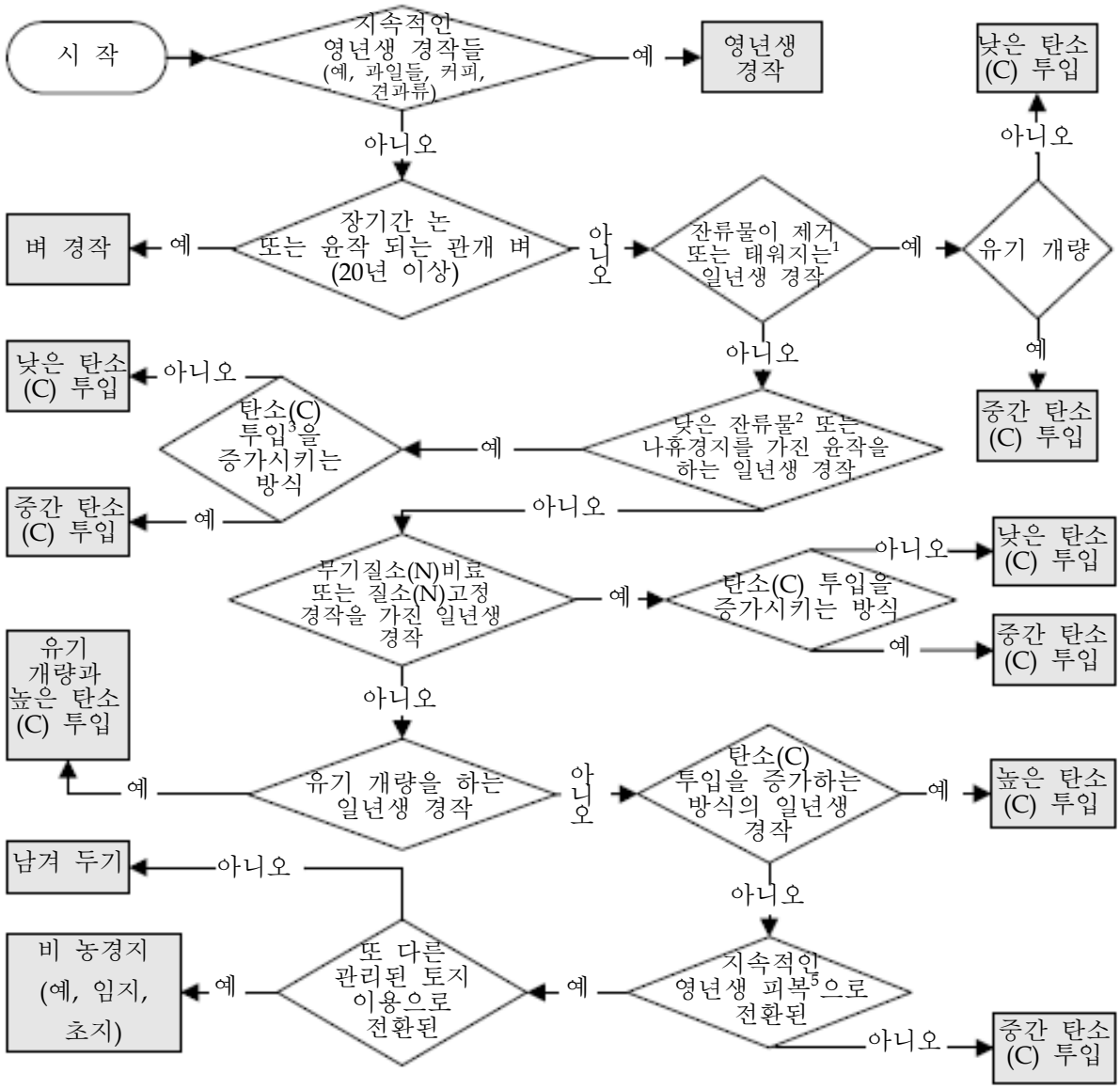
Tier 2

Tier 2 접근들은 만일 충분한 자료가 있다면, 관리 체계에 대한 계층화를 포함할 수 있다. 이것은 일년생 경작 체계를 배수, 작물 종류 (Freibauer, 2003) 또는 경작 교란에 따라서 하위 카테고리화 할 수 있다. 추가하여 Tier 2 접근들은 기후형의 보다 자세한 계층화를 포함할 수 있다.

Tier 3

유기 토양들을 위한 Tier 3 접근들은 Tier 1과 2에 비하여 기후, 토양, 지형적 그리고 관리 자료에 대한 보다 자세한 자료를 포함하는 경향이 있다. 하지만 정확한 요구 사항들은 모형 또는 측정 계획에 의존할 것이다.

그림 5.1 경작 체계를 위한 분류도. 농경지 관리 체계를 분류하기 위해, 조사자는 상단에서 시작하여 질문들에 답변을 하면서 (만약 답변이 '예'이면 가지들을 가로질러 이동)도표의 종착점에 도달할 때까지 도표를 따라서 진행해야 한다. 분류도는 표 5.5.에 기본 축적량 변화계수와 일치한다. 탄소 투입 분류들 (예, 낮음, 중간, 높음, 개량이 있는 높음)은 경작 방식에 따라서 더 하위분류된다.



주:

1. 일반적으로 경작에서 작물잔사의 초식은 포함하지 않는다.
2. 예, 목화, 야채, 담배
3. 일반적으로 유기 개량제 사용, 표면 작물, 비료, 그리고 혼합된 경작 초지 체계와 같은 여러 가지를 야기하는 낮은 작물잔사에 의하여 생산된 양 이상의탄소(C)투입을 증가시키는 방식.
4. 관개 사용, 표면 작물, 퇴비, 식생화된 휴경지, 높은 잔류물 내는 작물, 홉한된 경작/초지 체계와 같은 작물잔사 생산을 강화하여 탄소(C)투입을 증가시키는 방식
5. 빈번한 수확 없는 영년생 피복

주의: 만일 경작 윤작 순서의 최소 1/3에서 사용된다면, 관개, 잔류물 태움/제거, 무기질 비료, 질소 고정 작물, 유기 개량, 표면 경작/ 퇴비, 낮은 잔류물 경작 또는 휴경지와 같은 방식만을 고려하라.

5.2.3.4 Tier 1에 대한 계산단계

무기 토양들

무기 토양에서 농경지*로 유지되는 농경지*를 위하여 SOC_0와 $SOC_{(0-t)}$ 그리고 ha 당 순 토양 탄소 (C) 축적량 변화 계산을 위한 단계들은 다음과 같다:

단계 1: 활동자료가 수집된 해에 근거하여 자료를 조사 기간으로 조직한다(예, 1990년에서 1995년, 1995년에서 2000년, 등).

단계 2: 첫 조사 기간의 시작에서 국가의 무기 토양형과 기후형에 따라서 농경지*로 유지되는 농경지*의 양을 결정하라. 조사 기간의 첫해는 활동자료의 시간 단계에 의존할 것이다 (0-T; 예, 5, 10 또는 20년 전).

단계 3: 그림 5.1을 사용하여 각 농경지를 적절한 관리 체계로 분류하라.

단계 4: 기후와 토양형에 근거하여 표 2.3으로부터 자연 기준 C 축적량 값(SOC_{REF})을 할당하라.

단계 5: 토지이용 계수(F_{LU}), 관리 계수(F_{MG}), C 투입 수준(F_I)을 관리 분류 체계에 따라 (Tier 2) 각 농경지에 할당하라. 표 5.5에 F_{LU}, F_{MG}, F_I에 대한 값이 주어져 있다.

단계 6: 조사 기간 동안 초기 토양 유기 탄소(C) 축적량 ($SOC_{(0-t)}$)을 산정하기 위하여 계수들(F_{LU}, F_{MG}, F_I)를 준거 토양 C 축적량 (SOC_{REF})으로 곱하라.

단계 7: 같은 자연 준거 C 축적량 (SOC_{REF})을 사용하여 Tier 1부터 5까지를 반복하여 최종 조사 해의 각 농경지를 대표하는 토양 이용, 관리, 투입 계수를 가지고 최종 토양 유기 탄소(C) 축적량 (SOC_0)을 계산하라.

단계 8: 최종 토양 유기 탄소(C) 축적량(SOC_0)에서 초기 토양 유기 탄소(C) 축적량 ($SOC_{(0-t)}$)을 빼서 유기 토양에서 농경지*로 유지되는 농경지*에 대한 탄소(C) 축적량의 평균 연간 변화($C_{MINERAL}$)를 산정하라. 그리고 축적량 변화계수에 의존하는 시간으로 나누어라 (예, 20년을 기본 값으로 사용하여). 만일 조사 시간이 20년보다 클 경우 그 기간의 첫해와 마지막 해의 차이로 나눈다.

단계 9: 만약 추가적인 조사 시간이 있다면 (예, 1990에서 2000년, 2001에서 2010 등) Tier 2에서 8까지 반복한다.

농경지로 유지되는 농경지의 무기 토양에 대한 식 2.25과 기본 준거 탄소(C) 축적량 (표 2.3) 그리고 축적량 변화계수 (표 5.5)를 사용하는 수적인 예가 아래 주어져있다.

예: 다음의 예는 경작 토양 탄소(C) 축적량 변화의 집적된 면적을 위한 계산을 보여준다. Mollisol 토양에서 온화한 온대 wet 기후에서, 영구적인 1Mha의 일년생 농경지가 있다.그 지역에 대한 자연 준거 C 축적량 (SOC_{REF})은 88 tonnes C ha^{-1}이다. 조사 계산 기간의 초기 (이 예에서는 10년 이전인 1990년)에서, 경작 체계의 분포는 낮은 탄수 투입 수준과 최대수준의 경작을 가진 400,000ha의 일년생 농경지와 중간 수준의 투입 수준과 최대한의 경작 방식을 가진 600,000ha의 일년생 농경지였다. 이처럼, 그 지역의 초기 토양 탄소(C) 축적량은 400,000 ha • (88 tonnes C ha^{-1} • 0.69 • 1 • 0.92) + 600,000 ha • (88 tonnes C ha^{-1} • 0.69 • 1 • 1) = 58.78 million

tonnes C이다. 조사 기간의 마지막 해에서 (이 예에서는 최종 해는 2000년), 최대한의 경작과 낮은 C 투입을 가진 200,000 ha 의 일년생 경작과 저감된 경작과 중간 수준의 탄소 투입을 가진 700,000 ha 의 일년생 경작 그리고 경작이 없고, 중간 수준의 탄소 투입이 있는 100,000 ha 일년생 농경지가 있다. 이처럼 조사해의 전체 토양 탄소(C) 축적량은 : 200,000 ha • (88 tonnes C ha-1 • 0.69 • 1 • 0.92) + 700,000 ha • (88 tonnes C ha^{-1} • 0.69 • 1.08 • 1) + 100,000 ha • (88 tonnes C ha^{-1} • 0.69 • 1.15 • 1) = 64.06 million tonnes C 이다. 이처럼 전체 지역에 대한 기간동안 평균 연중 축적량 변화는 연간 64.06 − 58.78 = 5.28 million tonnes/20 yr = 264,000 tonnes의 토양 탄소(C)가 증가하였다. (주의: 20년은 축적량 변화계수의 의존하는 시간이다. 예를 들어 계수들은 20년간 변화의 연간 변화율을 나타낸다.

유기 토양들

배수된 유기 토양에서 토양 탄소(C)의 손실을 산정하기 위한 단계들은 다음과 같다.

단계 1: 활동자료가 수집된 해에 근거하여 자료를 조사 시간으로 조직한다(예, 1990년에서 1995년, 1995년에서 2000년, 등).

단계 2: 각 조사 기간의 마지막 해에 대한 농경지*로 유지되는 농경지*에 대한 유기 토양 탄소(C) 축적량을 결정하라.

단계 3: (표 5.6으로부터) 기후에 따른 연간 이산화탄소(CO_2) 손실에 대한 적합한 배출계수(EF)를 배정하라.

단계 4: 각 기후형에 대한 배출계수(EF)로 면적(A)을 곱한 결과를 합하여 전체 배출을 계산하라.

단계 5: 추가적인 조사 기간에 대하여 반복하라.

배수된 유기 토양에 대한 농경지*로 유지되는 농경지*에 대하여 식 2.26과 기본 배출계수 (표 5.6)을 사용하여 수적 계산의 예가 주어져있다.

예: 다음 예는 경작 토양 탄소(C) 축적량 변화의 집적된 면적을 위한 계산을 보여준다. 온화한 온대 wet 기후에서 Mollisol 토양에서, 배수된 유기 토양에서의 영구적인 0.4Mha의 일년생 농경지가 있다. 이 기후에 대한 배출계수는 10.0 tonnes C ha^{-1} yr^{-1} 이다. 이처럼 조사 기간 동안 유기 토양에 대한 연간 토양 탄소(C) 축적량 변화는 400,000 ha • 10.0 tonnes C ha^{-1} = 4.0 million tonnes C yr^{-1} 이다.

5.2.3.5 불확도 평가

토양 C 조사 목록에서 세 가지 넓은 불확도의 원인이 있다: 1) 토양 이용과 관리 이용에서 불확도 2) 만일 Tier 1 또는 2 접근 을 사용할 때, 준거 토양 탄소(C) 축적량의 불확도(무기 토양만) 3) Tier 1 또는 2 접근을 위한 축적량 변화, 배출계수, Tier 3의 모형 기본 한 접근에서 모형 구조 / 변수 오차, 측정 오차 / 3단계 측정-기반한 목록과 연관된 표본 조사 변이에서의 불확도. 일반적으로, 세 가지 넓은 카테고리에 대한 값을 산정하기 위하여 보다 많은 표본 조사를 할수록 조사 목록의 자세함은 증가하고 신뢰 구간은 작아진다. 하지만 국가특이적인 정보를 활용하는 보다 높

은 단계 조사의 개발을 통하여 편중 제거(예, 정확성을 개선)가 일어 날 수 있다.

Tier 1에서, 표 2.3에의 첫 각주에 준거 C 축적량, 표 5.5의 축적량 변화계수, 표 5.6의 유기 토양을 위한 배출계수에 불확도가 제공된다. 토양 이용과 관리 자료에서 불확도는 조사자에 의하여 다루어질 필요가 있을 것이다. 그리고 단순 오차 전개 식 (simple error propagaton equations)과 같은 적절한 방법을 사용하여, 기본 계수와 준거 탄소(C) 축적량 (무기 토양만 해당)에 대한 불확도와 결합된다. 만일 활동자료에 대하여 집적된 토지이용 면적 통계 자료를 사용한다면(예, FAO), 조사 기간은 토지 면적 산정에 기본 값을 적용해야만 할지 모른다(0%). 조사자가 기본 값 대신에 국가 특이적인 활동자료로부터 불확도를 유도하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

무기 토양에 대한 기본 준거 탄소(C) 축적량과 축적량 변화계수, 유기 토양의 배출계수는 특정 국가에 적용할 때 본질적으로 높은 불확도, 부분적인 편중을 가질 수 있다. 기본값은 전 지구적 토지 이용, 관리 영향에 대한 평균적인 값을 나타내고 준거 탄소(C) 축적량은 지역 특이적 값에 따라서 변할 수 있다(Powers *et al.*, 2004; Ogle *et al.*, 2006). Tier 2 방법을 사용하여 국가 특이적인 계수를 유도하거나 단계 국가 특이적 산정 체계를 개발함으로서 편중을 줄일 수 있다. 보다 높은 단계 접근에 대한 기본 토대는 토양 이용과 관리가 토양 탄소(C)에 미치는 영향을 다루는 국가 또는 인접한 지역에서의 실험이 될 것이다. 추가적으로, 기후형과 토양형 사이의 변이와 같은 국가 내 상당한 차이에 대한 원인을 제시하여 편중을 최소화하는 것은 계수 산정에서 정확성이 감소될지라도 *우수실행(good practice)*이다. 편중은 축적량 변화를 보고하는 데 보다 문제라고 생각될 수 있다. 왜냐하면 그것은 불확도 범위에서 반드시 포착되지 않기 때문이다(예, 축적량의 진짜 변화는 만일 계수에 상당한 편중이 있다면, 보고 된 불확도의 범위 밖에 있을 수 있다).

토지이용 통계에서의 불확도는 보다 더 좋은 국가적인 체계를 통하여 감소할 수 있다. 더 좋은 국가 체계란 추가적인 표본 지역과 추가적인 피복을 제공하기 위한 원격 탐사를 서론하여 지상 기준의 조사를 개발하거나 확장하는 것과 같은 것이다. 국가적인 수준에서 불확도를 최소화하기 위해 충분한 표본 수를 가지고 토지 이용과 관리 이용의 우점을 채택하는 분류 체계를 설계하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법에 대하여 국가 특이적인 정보는 편중을 줄이기 위한 목적으로 목록 분석에 도움이 된다. 예를 들어, Ogle *et al.* (2003)은 농업 토양에 대한 미국 특이적인 계수, 활동자료, 준거 탄소(C) 축적량에 대한 확률 분포 함수를 만들기 위하여 국가 특이적인 자료를 활용하였다. 계수, 준거 탄소(C) 축적량 또는 토지이용 관리 활동자료 사이 의존성을 평가하는 것은 *우수실행(good practice)* 이다. 특히, 토지 이용과 관리 활동자료에서 강한 의존성이 있는 것은 흔하다. 왜냐하면 관리 방식은 시공간으로 연관되는 경향이 있기 때문이다. 축적량 변화 / 배출계수, 준거 탄소(C) 축적량과 활동자료에서의 불확도를 결합하는 것은 토양 탄소(C) 축적량에서 변화를 위한 평균과 표준 편자를 측정하기 위하여 단수 오차 전개 식 (simple error propagation equation)이나 Monte-Carlo procedures와 같은 방법을 사용하여 행해질 수 있다 (Ogle *et al.*, 2003; Vanden Bygaart *et al.*, 2004).

Tier 3 모형은 보다 복잡하다. 단수 오차 전개 식 (simple error propagation equation)은 산정을 낳는데 연관된 불확도를 효과적으로 정량화하지 못할 수 있다. Monte-Carlo 분석은 가능하다 (Smith and Heath, 2001), 하지만 그 모형이 많은 변수(어떤 모형은 수백 개의 변수를 가질 수 있음)를 가지고 있다면 이용하기 어려울 수 있다. 왜냐하면 인접 확률 분포 함수 (joint probability

distribution functions)는 변수들 사이에서 공분산뿐만 아니라 분산을 정량화하면서 만들어져야 한다. 경험에 근거한 접근과 같은 다른 방법은 또한 가능하다 (Monte *et al.*, 1996). 이는 측정된 결과와 모형화된 결과 사이에서 관계를 통계적으로 평가하는 감시 네트워크에서 측정을 사용한다 (Falloon and Smith, 2003). 모형작업과 대조적으로 측정에 근거한 Tier 3 목록에서의 불확도는 표본 분선, 측정 오차, 그리고 다른 적절한 불확도의 배출원으로부터 계산될 수 있다.

5.2.4 바이오매스 연소에서 non-CO_2 온실가스 배출

*농경지로 유지되는 농경지*에서 non-CO_2 배출 (특히, 메탄(CH_4), 일산화질소(CO), 질소산화물(NO_X), 아산화질소(N_2O))은 보통 국가, 작물, 관리 체계에 따라서 다른 농업 잔류물을 태우는 것과 연관이 된다. 바이오매스 태우기에서 이산화탄소(CO_2) 배출은 보고 될 필요는 없다. 왜냐하면 연소 과정에서 배출된 탄소(C)는 다음 성장기 동안에 식생에 의하여 재 흡수된다고 가정된다.

현장에서 태워진 농업적 경작 잔류물의 비율, 연소에 적합한 연료의 무게는 태우기 전에 동물 섭취, 분해, 다른 영역(생물연료, 가축 먹이, 건설 재료 등)의 사용으로 인한 제거된 비율을 고려하면서 계산되어야 한다. 이중 계산의 가능성을 줄이는 것이 중요하다.

*농경지로 유지되는 농경지*에서 바이오매스 연소에서 non-CO_2 배출을 계산하는 방법은 2장의 일반식 2.27을 따른다. 이 계산은 연중 자료에 근거해야 한다.

5.2.4.1 방법의 선택

2장의 그림 2.6에서 의사결정도는 사용될 적절한 단계를 선택하는 데 일반적인 안내를 제공한다. 바이오매스 연소에서 온실가스 배출의 산정 방법은 2장 식 2.27을 사용을 포함한다. Tier 1 접근에서 활동자료는 일반적으로 고도록 집적되고, 연소와 배출계수는 2장에 기본 값으로 주어진다. 2단계에서 산정은 일반적으로 국가 특이적인 작물잔사 축적률과 국가 특이적인 연소 및 배출계수를 사용하여 주요 작물 종류에 대하여 기후형에 따라서 개발된다. Tier 3은 모형화과 자세한 측정 과정을 포함하는 매우 국가 특이적인 방법이다.

모든 국가들은 주어진 국가적 환경에서 조사 목록을 개선하고 가능한 가장 높은 단계를 응용하는 접근들을 보고하기 위하여 애써야 한다. *농경지에 유지되는 농경지*에서 연소가 가장 중요한 카테고리라면, 국가들은 Tier 2 또는 Tier 3 방법을 사용해야 한다.

5.2.4.2 배출계수의 선택

Tier 1

Tier 1 방법을 적용하는 국가들은 식 2.27에서 M_B와 C_f를 적절한 기본 연료 연소 값 (M_B와 C_f)으로 바꿔야 한다. 각 관심 있는 온실가스에 대하여 사용되는 기본 배출계수가표 2.5에 제공된다.

Tier 2

이 방법은 Tier 1을 국가특이적인 연료, 연소, 그리고 배출계수의 사용을 포함하도록 확장한다. 국

가들은 작물 생산 통계와 작물 생산과 생산된 잔류물의 비율로부터 유용한 연료의 양을 계산할 수 있다. 현장 연구들은 현지에서 (연료 또는 사료로서)제거된 작물 잔류물과 다른 경작 체계에서 연소를 위한 작물잔사로서 남겨진 것과의 비율을 계산하는데 필요하다. 국가들은 연소되는 가장 대표적인 작물, 상대적으로 단위 면적당 높은 바이오매스와 기준 면적당 배출의 수준을 가진 체계 (예, 목화, 사탕수수)에 초점을 맞추어야 한다.

Tier 3

이 단계는 국가 목록 자료를 작물 작물잔사의 연소가 생략되지 않도록 하기 위하여 국가 특이적인 변수들에 근거한 모형을 사용한다. Tier 3은 다른 기후형과 관리 체계를 가진 다른 경작 체계에 대하여 3장 (별첨 3A.3)에 기술된 표본 조사 방법에 근거하여 현지에서 태워진 작물잔사의 양에 대한 현지 측정에 의존한다. 국가들은 가장 많은 태워진 작물 잔사에 초점을 맞추면서 국가 특이적인 연소와 배출계수를 개발을 우선시해야 한다.

5.2.4.3 활동자료의 선택

Tier 1

활동자료는 농업에서 작물잔사가 일반적으로 태워지는 작물을 기르는 토양 면적의 산정을 포함한다. 위성 영상에서 객관적인 자료가 부족할 때, 예를 들어, 이것은 국가적인 농업 정부 영역와의 협의를 통하여 얻어질 수 있다. 국가들은 또한 연간 곡물 생산량과 헥타르당 평균 생산량 계산을 통하여 경작 면적을 산정할 수도 있다. 만약 국가적인 계산이 가능하지 않다면, FAO 통계치가 사용될 수 있다. FAO 자료를 국가적인 배출원을 가진 자료와 교차 검증을 하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2

Tier 2 방법에서, 국가들은 국가 특이적이고 경작 관리 체계 특이적인 작물잔사 축적률을 가지고 보다 집적되지 않은 면적 산정(예, 기후형에 따른 주요 경작 종류)을 사용해야 한다. 이것은 다른 작물 종류를 기르는 토지의 면적을 계산하기 위하여 보다 자세한 연간 또는 주기적인 조사를 사용하여 이루어질 수 있다. 면적들은 모든 주요한 경작 종류와 기후형에 조합이 재현될 수 있고 개별적인 면적 산정이 제공되도록 적절한 카테고리로 더 분류되어야 한다.

Tier 3

Tier 3은 국가 하위 단계에서 자세한 격자 수준으로 구분된 높은 해상도를 가진 활동자료를 요구한다. Tier 2와 유사하게 토지는 주요 기후와 토양 카테고리 따른 작물의 구체적인 종류 그리고 다른 잠재적인 중요한 모형에 사용된 지역 변수들 (예, 관리 방식의 지역적 패턴) 에 따라서 분류된다. 국가들은 농경지를 완전하게 다루면서 면적들이 평가 절하 또는 절상되지 않도록 하기 위하여 공간적으로 표현 가능한 면적 산정 값를 얻도록 노력해야 한다. 또한, 공간적으로 표현 가능한 면적 산정은 산정의 정확성을 높이면서 지역적으로 적절한 배출 속도와 관리 영향과 관련될 수 있다. 사용된 다른 경작 체계에 대한 면적 자료는 작물잔사들이 전체 면적의 오직 일부에서만 연소될 지라도, 이전 절에 사용된 면적과 일치해야만 한다 (바이오매스, 고사 유기물).

5.2.4.4 불확도 평가

잔류물이 일반적으로 연소되는 작물의 각 종류가 심겨진 면적의 산정은 매우 불확실하다. 작물 생산의 통계는, 심겨진 면적을 산정하는데 간접적인 방법이며, 매년 자료 갱신이 되지 않는다면, 아마도 매우 불확실하다. 현지에서 태워지는 농업적 잔류물의 비율은 아마도 가장 불확실한 변수이다. 국가특이적인 변수들에 바탕 하는 Tier 2 산정은 보다 자세하다. 국가특이적인 연소와 배출계수 그리고 연소된 면적을 위하여 오차 산정 (예, 표준편차, 표준 오차, 범위들)을 제공하기 위하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

5.3 농경지로 전환된 토지

전 지구적으로, 전체 토지 표면의 약 50%가 직접적인 인간 활동에 의하여 변형되어왔고, 20%의 생태계가 영구적인 농경지로, 그리고 25%의 숲이 작물 경작과 방목지와 같은 다양한 사용을 위하여 벌채되었다 (Moore, 2002). 농경지의 면적은 세계의 일부 지역에서 식품과 섬유 수요를 충족시키기 위하여 증가하고 있다. 지난 20여 년간 경작의 확장의 대부분은 남동 아시아와 남 아시아 일부, 동 아프리카의 Great Lake 지역, 그리고 아마존 유역에서 발생했다 (Millennium Ecosystems Assessment, 2005). 같은 기간 동안에, 열대의 숲 파괴는 Environmental Group Limited (http://www.environmental.com.au/)에 따르면 해마다 평균 12 백만 헥타르에 달한다. 1990년의 산림의 황폐화 속도는 해마다 14.6 백만 헥타르이다. 농경지로 전환은 열대 산림 파괴 다음으로 앞서는 토지 이용 변화이다. 농경지*로 전환된 토지*에서 온실가스 배출과 제거는 많은 국가들에서 가장 중요한 배출원이다.

*농경지로 전환된 토지*에서 온실가스 배출과 제거에 대한 산정은 다음을 포함한다.

- 모든 탄소(C) 저장고와 배출원에서 탄소(C) 축적량의 연중 변화 산정
  - 바이오매스 (지상과 지하의 바이오매스)
  - 고사 유기물 (죽은 나무와 리터)
  - 토양 (토양 유기 물질)
- 지상 바이오매스와 DOM의 연소에서 non-CO_2 메탄(CH_4), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_X), 아산화질소(N_2O))의 산정

5.3.1 바이오매스

5.3.1.1 방법의 선택

이 절에서는 자연 조건 또는 다른 이용의 토지가 농경지로 전환됨으로 인한 (숲 황폐화, 목초지 및 초식지의 농경지 전환 포함) 바이오매스에서의 탄소(C) 축적량 변화를 계산하는 방법에 대한 안내를 제공한다. 이 방법은 토지이용 조사 사이의 기간 동안 전환된 토지의 면적 산정에 근거하여 전환 전과 전환후의 바이오매스의 탄소(C) 계산을 필요로 한다. 농경지로 전환되어서, Tier 1에서 우점식생이 전부 제거되어 바이오매스에 남겨진 탄소(C)의 양은 거의 0이 되어 온실가스 배출을 낳는다고 가정한다. 경작 체계의 어떤 종류는 그 이후에 곧 식재되어, 바이오매스에 저장된 탄소(C)를 증가시킨다. 초기와 마지막 바이오매스 탄소(C) 저장고의 차이는 토지 이용 전환으로부터

탄소(C) 축적량 변화를 계산하기 위하여 사용된다. 이어지는 해에 농경지의 영년생 목본 바이오매스의 축적과 손실은 절 5.2.1 (농경지*로 유지되는 농경지*)에 방법을 사용하여 계산된다.

*농경지로 전환된 토지*에서 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하는데 모든 탄소(C) 저장고 (예, 지상과 지하 바이오매스, 고사 유기물, 토양)들을 고려하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 현재 DOM 저장고[2]에서 탄소(C) 축적량 변화를 산정하는 기본 접근을 제공하기 위한 충분한 정보가 없다. DOM은 전환하는 년도를 제외하고 중요하지 않는 경향이 있다. 농경지에서 DOM이 없을 것으로 추정된다. 추가하여, 아래 방법론은 지상에서의 탄소(C) 축적량 변화만을 고려한다. 왜냐하면 영년생 농경지에서는 지하 탄소(C) 축적량에 대한 자료가 제한되어 있기 때문이다.

*IPCC 가이드라인*은 전환된 토지의 면적, 토지의 탄소(C) 축적량, 토지 전환으로 인한 탄소(C)의 손실에 대한 세부사항을 받아들이는 아주 세련된 대안들을 기술한다. 주요한 공급원 분석에 따른 적절한 단계를 채택하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 모든 국가들은 주어진 국가적 환경에서 가능한 가장 높은 단계로 나아가면서 목록을 개선하고 접근들을 보고하기 위하여 노력해야 한다. 만일 농경지*로 전환된 토지*에서 탄소(C) 배출과 제감이 중요함 카테고리라면, 그리고 바이오매스의 하위 카테고리가 1권 4장에 약술된 원칙들에 근거하여 상당하다면, 국가들은 Tier 2 또는 3 접근을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 국가들은 방법의 선택을 돕기 위하여 그림 1.3의 의사결정도를 사용해야 한다. 농경지*로 전환된 토지*는 많은 국가들에게 아마도 중요한 카테고리이고 더 나아가 바이오매스가 중요한 배출원일 수 있다.

Tier 1

Tier 1 방법은 4장 (임지)의 접근들을 따른다. 4장에는 농경지에서 제거된 바이오매스는 한 해에 전환된 면적에 전환 이전의 임지 또는 농경지에서 바이오매스에서의 평균 탄소(C) 축적량을 곱해서 계산된다. 농경지로 모든 토지 전환에 대하여 완전히 설명하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이처럼 이 절은 방법에 대하여 이것이 임지에만 제한되지 않고 다른 초기 사용을 포함할 수 있도록 자세히 설명한다.

2장의 식 2.15는 농경지로 전환된 토지 이용에서 탄소(C) 축적량 변화의 일차적 산정의 중요한 요소들을 요약한다. 헥타르당 평균 탄소(C) 축적량 변화는 각각의 전환 종류에 대하여 계산된다. 평균 탄소(C) 축적량 변화는 초기 토지 이용 에서 바이오매스 제거로 인하여 (예, 전환된 직후 바이오매스의 탄소(C) - 전환 이전의 바이오매스의 탄소(C)량) 탄소(C) 축적량 변화와 동일하다. 이어지는 전환에서 농경지에서 일년 동안 성장에서 탄소(C) 축적량을 더한다. 토지 전환 동안에 제거된 식생을 대체하는 어떠한 목본 식생을 설명하는 것이 필요하다. *GPG-LULUCF*는 전환 이후에 바이오매스에서 탄소(C)와 전환에 따라서 현지에서 자라는 바이오매스에서 탄소(C)를 결합한다. 이러한 방법에서, 투명성을 높이기 위하여 그들은 두 가지 다른 용어(B_{AFTER}와 $\triangle C_G$)로 나눠진다.

전환 (B_{AFTER}) 직후에 Tier 1에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량은 0으로 가정된다. 왜냐하면 토지는 작물을 심기 이전에 모든 식생이 되기 때문이다. 주어진 토지이용 전환에 대한 헥타르당 평균 탄소(C) 축적량 변화에다가 주어진 해에 전환을 겪는 지역의 산정된 면적이 곱해진다. 이어지는 해에, 일년생 작물의 바이오매스에서의 변화는 0으로 간주된다. 왜냐하면 수확에서의 손실이 일년생 성장에서의 바이오매스 증가를 상쇄하기 때문이다. 영년생 목본성 경작에 바이오매스의 변화는 절 2.3.1.1 (토지이용카테고리에 유지되는 토지에서 바이오매스 탄소(C) 축적량의 변화)의 방법론에 따

2 어떤 리터와 죽은 목재 저장고는 (2장 절 2.3.2에 기술된 방법을 사용하여 계산된) 토지 전환에 이어 산화된다고 가정되어야 한다.

라서 계산된다.

Tier 1에 대한 기본 가정은 바이오매스의 모든 탄소(C)는 연소 또는 분해 과정을 통하여 현지에서 또는 현지 밖에서 대기 중으로 손실된다는 것이다. Tier 1 계산은 연소에서 즉시 배출과 다른 전환과 관련된 손실을 구별하지 않는다.

Tier 2

Tier 2 계산은 이어지는 구분을 가지고 Tier 1과 구조적으로 유사하다. 첫째, Tier 2는 초기와 마지막 토지 이용에서 기본값 보다는 국가 특이적인 탄소(C) 축적량의 산정에 주로 의존한다. 농경지로 전환된 토지에 대한 면적 산정은 국가 특이적인 탄소(C) 축적량 값에서 보다 자세한 규모에서 지역과 경작 체계의 차이들을 포착하기 위해서 원 식생에 따라서 구별 된다 (예, 임지 또는 초지로부터).

둘째, Tier 2는 전환 직후 탄소(C) 축적량이 0이라는 가정을 수정한다. 이것은 국가로 하여금 토지 이용 전환 (전부는 아니지만 일부 원래 토지 이용에서의 식생이 제거될 때)을 고려할 수 있게 해 준다.

셋째, Tier 2에서 적용가능하다면, 연소와 분해 과정에서 탄소(C) 손실을 할당하는 것이 *우수실행 (good practice)*이다. 더 나아가 non-CO_2 추적 가스 배출은 연소의 결과로서 발생한다. 연소와 분해에 손실을 할당함으로서, 국가들은 태우기에서 non-CO_2 추적 가스 배출을 계산할 수도 있다.

5가지 탄소(C) 축적량에서 토지 전환 이용의 즉각적인 영향은 교란 행렬로 요약될 수 있다. 이 행렬은 농경지로 전환을 따르는 원래 생태계에서 저장고들에서 탄소(C)의 유지, 전환, 그리고 배출을 기술한다. 교란 행렬은 각 저장고에 대하여 저장고에 유지되는 부분과 다른 저장고로 전화된 부분을 규정한다. 작은 수의 전환들이 가능하고 표 5.7에 교란 행렬에 약술되어 있다. 교란 행렬은 모든 탄소(C) 저장고의 일관성 있는 설명을 가능하게 한다.

식 2.20을 사용하여 죽은 나무와 리터로의 바이오매스 전환이 계산될 수 있다.

Tier 3

Tier 3 방법은 Tier 2와 유사하다. 다음의 차이점을 가진다. 1) 평균 연 전환율에 의지하기 보다는 국가들은 각 초기와 나중 토지 이용에 대하여 공간적으로 구분된 지역을 직접 산정을 사용할 수 있다. 2) 탄소(C) 밀도와 토양 탄소(C) 축적량은 지역적으로 구체화된 정보에 의존한다. (그 정보는 바이오매스와 토양 사이의 역동적인 연결 짓기를 가능하게 만든다.) 3) 바이오매스 부피는 실제 조사 목록에 근거한다. 토지이용전환 이후에 죽은 나무와 리터로의 바이오매스의 전환은 식 2.20을 사용하여 계산될 수 있다.

표 5.7
탄소(C) 저장고에서 토지 전환 활동의 영향에 대한 단순 교란 행렬 (Tier 2)의 예

으로 / 에서	지상 바이오매스	지하 바이오매스	죽은 나무	리터	토양 유기물질	수확된 목재	대기	행의 합 (1과 반드시 같음)
지상 바이오매스		■						
지하 바이오매스	■	■	■	■		■		
죽은 나무	■	■				■		
리터	■	■	■			■		
토양 유기물질	■	■	■	■		■		

행렬의 왼쪽 면에서 각 열의 상단에 저장고로 전환된 각 저장고의 비율을 입력하라. 행렬의 왼쪽에 있는 모든 저장고들은 각 행의 값이 합이 1이 되도록 반드시 충분히 설명되어야 한다.

5.3.1.2 배출/저감 계수들의 선택

기본 방법에 필요한 배출/ 저감 계수들은 : 초기 토지 이용에서 전환 이전과 이후의 탄소(C) 축적량, 농경지 성장의 일년에서 바이오매스 탄소(C) 축적량의 성장이다.

Tier 1

초기 토지 이용 카테고리 (B_{BEFORE}), 주로 임지와 초지, 에서 기본 바이오매스 탄소(C) 축적량은 표 5.8에 제공된다. 초기 토지이용에 근거한 탄소(C) 축적량은 다른 생물군계, 기후, 토양 관리 체계, 기타에 근거한 임지 또는 초지 카테고리를 위하여 얻어져야 한다. 농경지 사용을 위하여 지역을 준비할 때 모든 바이오매스는 제거된다고 가정된다. 이처럼 B_{AFTER} 기본 값은 0 tonne C ha^{-1}이다.

추가하여, 전환 이후에 심어진 작물의 일년 성장 이후 탄소(C) 축적량($\triangle C_G$)이 필요하다. 표 5.9은 $\triangle C_G$에 대한 기본 값을 제공한다. 구분된 기본값들은 일년생 비목본 작물들과 영년생 목본 작물들에 대하여 제공된다. 일년생 작물이 심어진 지역에 대해서, $\triangle C_G$에 대한 기본 값은 5 tonne C ha^{-1}이다. 이 값은 기존 *IPCC 가이드라인* 헥타르당 10 tonnes 건중량 (표 5.9에 건중량이 톤으로 전환되었다)을 추천한 것에 근거한다. 영년생 목본 바이오매스 탄소(C)의 전체 축적량은 일년생 농경지에서 기본 탄소(C) 축적량을 초과할 것이다. 하지만, 이절에 제공된 기본 값은 일년생 작물에 비교하여 영년생 목본 작물들에 대하여 낮은 탄소(C) 축적량을 보통 주는 전환의 즉후에 일년간의 성장을 위한 것이다.

표 5.8
농경지로 토지 전환으로 인하여 제거된 기본 바이오매스 탄소 축적량

토지 이용 카테고리	전환 이전의 탄소(C) 축적량 (B_{Before}) (tonnes C ha^{-1})	오차 범위 #
임지	기후형에 따른 임지 종류의 범위에서 탄소(C) 축적량에 대하여 4장 표 4.7에서 4.12을 참조 축적량은 건중량의 관점이다. *건중량에서 탄소(C)를 전환하기 위하여 탄소(C) 비율 (CF) 0.5을 값에다가 곱하라*.	4.3절 임지로 전환된 토지 참조
초지	기후형에 따른 초지 종류의 범위에서 탄소(C) 축적량에 대하여	±75%
# 오차의 일반적 산정, 평균의 %로서 표준편차의 두 배와 같다.		

표 5.9
전환이 이루어진 해에서 농경지로 전환된 토지에 존재하는 기본 바이오매스 탄소 축적량

기후형에 따른 작물	일년 이후 바이오매스의 탄소(C) 축적량 (ΔC_G) (tonnes C ha^{-1})	오차 범위#
일년생 농경지	5.0	±75%
영년생 농경지		
온대 (모든 습윤 지역)	2.1	±75%
열대, 건조	1.8	±75%
열대, moist	2.6	±75%
열대 습윤	10.0	±75%
# 오차의 일반적 산정, 평균의 %로서 표준편차의 두 배와 같다.		

Tier 2

Tier 2 방법은 바이오매스와 토지 전환으로 인한 제거에 대한 국가 특이적인 산정을 포함해야만 한다. 또한 연소와 분해로 인한 현지와 현지 밖에서 손실을 포함한다. 이러한 개선은 국가 내에서 토지 이용과 토지이용 전환과 연관된 탄소(C)량, 배출과 저감에 대한 종합적인 연구와 국가적인 조건에서 기본 가정의 제 검증의 형태를 취할 수 있다. 연소와 분해로 인한 배출을 위한 기본 변수들이 제공된다. 하지만 국가들은 산정의 정확성을 증진시키기 위하여 국가특이적인 계수들을 개발하도록 장려된다. *IPCC Guideline*은 임지와 초지 전환 모드에 대하여 현지에서 태워진 바이오매스의 비율에 대한 일반적인 기본 0.5 값을 사용한다. 연구들은 이 비율이 매우 변이가 많고 0.2까지 낮아질 수 있다고 제안 한다 (Fearnside, 2000; Barbosa and Fearnside, 1996; and Fearnside, 1990). 현지에서 태워진 바이오매스의 갱신된 기본 비율은 임지 식생 분류의 범위에 대하여 4장에 제공된다. 기본값들은 임지에서 농경지로의 전환에 사용되어야 한다. 임지가 아닌 초기 토지 이

용에서, 현지에 남겨진 바이오매스 대 태워진 것의 기본 비율은 0.35이다. 이 기본값은 그 비율이 0.2에서 0.5 사이에 위치해야한다는 연구들을 고려한다(예, Fearnside, 2000; Barbosa and Fearnside, 1996; and Fearnside, 1990). 선택을 위한 비율이 기록되어 있다면, 0.35 또는 이 범위 내에 다른 값을 사용하는 것이 국가에게 *우수실행(good practice)*이다. 현지 밖으로 가져가거나 태워진 바이오매스에 대한 기본 값은 없다; 국가들은 국가적인 자료 배출원에 근거하여 비율을 개발할 필요가 있다. 4장 (임지)에서 산화된 바이오매스의 기본 비율은 *GPG-LULUCF*에 원래 기재되었듯이 0.9이다.

분해에서 배출을 산정하는 방법은 모든 바이오매스가 10년에 걸쳐 분해된다고 가정한다. 목적들을 보고하기 위하여 국가들은 두 가지 선택 사항을 가진다. 1) 10년에 걸쳐 실제 그들이 발생한다고 인지하면서 일년 간의 분해로부터 모든 배출을 보고한다, 2) 비율을 전체의 1/10으로 계산하면서 연간 분해에서의 모든 배출을 보고한다. 만일 국가들인 후자를 선택한다면, 0.10의 곱셈 계수를 식에 더해야 한다.

Tier 3

Tier 3에서, 모든 변수들은 기본값 보다 정교한 값들을 위하여 측정과 모니터링을 사용하여 국가 특이적이어야 한다. 모형에 근거하는 처리와 분해 함수들은 사용될 수 있다.

5.3.1.3 활동자료의 선택

모든 단계는 농경지로 전환된 토지의 면적을 필요로 한다. 농경지*로 전환된 토지*에 대한 같은 면적 산정치가 바이오매스와 토양 탄소(C) 계산 둘 모두에 사용되어야 한다. 높은 단계는 면적에 대한 보다 큰 구체성을 요구한다. 최소한, 농경지로 전환된 임지와 국가적인 초지의 면적은 모든 단계에 대하여 개별적으로 확인되어야 한다. 이것은 최소한 전환 이전의 토양 이용에 대한 지역을 암시한다. 이것은 또한 만일 3장 접근 1이 토지 면적 확인에 사용된다면 전문가의 판단을 필요로 한다.

Tier 1

개별적인 산정 값들은 초기 토지 이용(임지, 초지, 주거지, 기타)에서 최종 경작 토지 형태(예, 일년생, 영년생)로 전환된 면적(A_{TO_OTHERS})을 필요로 한다. 예를 들어, 국가들은 일년생 농경지로 전환된 열대 moist 임지의 면적과, 영년생 농경지로 전환된 열대 moist 임지, 그리고 영년생 농경지로 전환된 열대 moist 초지를 각각 계산해야 한다. 그러함에도, 다른 저장고가 평형을 이루도록 허락하기 위하여, 토지 면적들은 전환 카테고리에 20년간 (또는 국가적인 환경을 반영하는 다른 기간동안) 전환 이후에 남아있어야 한다. 방법론은 면적 산정이 일년 시간 틀에 기초한다고 가정한다. 이것은 보다 긴 기간에 이루어진 산정 측정에 의하여 결정된, 토지 이용 전환의 평균적인 속도에 근거하여 산정을 요구하기 쉽다. 만일 국가들이 이러한 자료를 가지고 있지 않다면, 국가 전문가들의 판단에 기초하여 부분적인 표본들이 전체 토지에 외간 되거나, 전환의 역사적인 산정이 시간에 대해 외간될 수 있다. 1단계 계산에서 FAO 자료 묶음과 같은 국제적인 통계들은(*IPCC GPG Reports*와 다른 배출원들, 온전한 가정으로 보충된) 각각의 초기 토지 이용으로부터 농경지*로 전환된 토지*의 면적을 산정하는데 사용될 수 있다. 보다 높은 단계의 계산에 대하여 국가 특이적인 자료 배출원들이 초기 토지 이용에서 최종 경작 종류로 가능한 모든 전환들을 산정하는데 사용된다.

Tier 2

국가들이 초기 토지 이용에서 최종 경작 종류로 가능한 모든 전환들에 대하여 실제 면적 계산을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 토지 지역의 전체 피복도는 토지 이용에 대한 주기적인 원격 탐사를 통하거나 토지이용 패턴에 대한 주기적인 지상 기준 표본 조사를 통하여, 또는 혼합된 조사 체계를 통하여 이루어질 수 있다. 만일 자세한 해상도의 국가 특이적인 자료가 부분적으로 활용가능하면, 국가들은 가장 활용 가능한 지식으로부터 전체 토지 영역으로 국가 전문가들의 판단에 근거하여 시간에 따라 외삽하는 온전한 가정을 사용하도록 권장된다.

Tier 3

Tier 3 계산에서 사용되는 활동자료들은 농경지로 모든 토지이용 전환을 충분히 설명할 수 있어야 한다. 또한 국가 내에서 다른 조건에 대한 설명을 위하여 구분되어야 한다. 정치적, 생물군계, 기후 또는 그러한 변수들의 조합에서 구분이 일어날 수 있다. 많은 경우, 국가들은 토지 전환에서 다년간의 경향(주기적인 표본 조사 또는 토지 이용과 토지 피복에 대한 원격 탐사 조사 목록)에 대한 정보를 가질 수 있다. 주어진 원격 탐사와 현장 조사에 근거한 구분된 수준에서 초기와 최종 토지이용 면적에 대하여 주기적인 토지 이용 변화 행렬이 개발될 필요가 있다.

5.3.1.4 Tier 1과 2에 대한 계산단계

다음은 기본 방법을 사용하여 바이오매스의 탄소(C) 축적량 변화(ΔC_B)를 산정하기 위한 단계들을 요약한 것이다.

*농경지로 전환된 토지*에 대하여 주어진 워크시트(별첨 1, AFOLU 워크시트 참조)를 사용하여 농경지*로 전환된 토지*에서 바이오매스 탄소(C) 축적량의 변화를 다음과 같이 계산하라:

단계 1: 보고하는 해에 대한 농경지의 하위 카테고리를 입력하라. 절 5.2에 사용된 농경지의 하위 카테고리는 위크시트에 적절한 열을 채우기 위하여 또한 필요할 수 있다.

단계 2: 각 하위 카테고리에 대하여, 농경지로 전환된 토지의 연간 면적을 입력하라 (A_{TO_OTHERS}). 연간 면적에 대한 자료는 국가내의 Ministry of Forestry, Ministry of Agriculture, Ministry of Planning, 또는 Mapping Office 등과 같은 다양한 배출원으로부터 얻어질 수 있다.

단계 3: 각 하위 카테고리에 대하여, 농경지로 전환 직후에 바이오매스의 탄소(C) 축적량(B_{AFTER}, tonnes C ha^{-1})을 입력하라. 바이오매스와 탄소(C) 자료는 기본 값 또는 국가특이적인 값일 수 있다.

단계 4: 각 하위 카테고리에 대하여, 농경지로 전환 직전에 바이오매스의 탄소(C) 축적량(B_{BEFORE}, tonnes C ha^{-1})을 입력하라. 바이오매스와 탄소(C) 자료는 기본 값 또는 국가특이적인 값일 수 있다.

단계 5: 토지가 농경지로 전환될 때 전환의 종류에 대한 면적당 탄소(C) 축적량 변화($C_{CONVERSION}$)를 계산하라 (식 2.16).

단계 6: 표 5.1을 사용하여 일년의 농경지 성장(ΔC_G)과 손실로 인한 바이오매스 탄소(C)의 감소(ΔC_L)에서 탄소(C) 축적량의 변화에 대한 값을 얻어라. 적절한 열에 값을 입력하라.

단계 7: 식 2.15을 사용하여 농경지로 전환된 토지에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량 변화의 연중 변화($\triangle C_B$)를 계산하라.

단계 8: 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 연중 변화를 모두 합쳐라

5.3.1.5 불확도 평가

Tier 1

이 방법에서 불확도의 배출원은 전 지구적인 또는 국가적인 전환의 평균 속도의 사용과 농경지로 전환된 지역 면적의 산정에 근거한다. 추가하여, 초기와 최종 조건에서 탄소(C) 축적량을 위한 기본 변수들에 의존은 상대적으로 높은 불확도의 단계에 기여한다. 이 방법에서의 기본 값은 그것들과 연관된 오차 범위를 가진다. 농임업 체계에서 탄소(C) 축적량에 대한 출판된 연구 편찬은 절 5.2에 제공된 기본 자료를 유도하기 위하여 사용되었다 (Schroeder, 1994). 다중 연구로부터 기본 값이 유도 되었지만, 그들과 연관된 불확도의 범위는 출판에 포함되지 않았다. 그러므로 전문가의 판단에 따라서 탄소(C) 축적량의 75% 전후의 불확도 단계가 가정되었다. 농경지*로 전환된 토지*는 많은 국가들에 있어서 중요한 배출원 카테고리가 되는 경향이 있다. 모든 노력들은 불확도를 줄이기 위하여 만들어져야 한다.

Tier 2

Tier 2 방법은 최소한 어떤 국가 특이적인 기본값 (산정의 정확성을 향상시킬 것인)을 사용한다. 왜냐하면 그들은 그 국가에 적절한 조건을 보다 잘 재현하기 때문이다. 국가 특이적인 값의 사용은 충분한 표본 크기와 전문가의 판단의 사용을 수반해야 한다. 이것은, 3장에서 조언들을 사용하여 유도된 활동자료에 대한 불확도 산정과 더불어, 이 보고서의 1권 3장에서 묘사된 불확도 분석으로의 접근에 사용되어야 한다.

Tier 3

토지 이용과 관리 조사목록 체계로부터의 활동자료는 불확도의 산정을 토지이용 변화와 연관된 지역에 할당하는 기준을 제공해야 한다. 배출과 활동자료와 그들과 연관된 불확도를 통합하는 것은 전체 목록에 대한 평균과 신뢰 구간을 산정하는 Monte-Carlo 계산 절차를 사용하여 행하여 질 수 있다. 탄소(C) 축적량 변화의 산정이 보다 측정과 정제된 모형에 근거하기 때문에 불확도는 다른 단계에서보다 덜 산정될 가능성이 있다.

5.3.2 고사 유기물

임지, 초지, 주거지, 그리고 다른 토지이용 카테고리들은 잠재적으로 농경지로 전환될 수 있다. 이것은 일반적으로 , 농임업 체계를 제외하고, 죽은 나무 또는 리터를 거의 혹은 전혀 가지지 않는다. 고사 유기물 저장고들을 위하여 방법들이 제공된다. 1) 죽은 나무, 2) 리터. 이 보고서의 1장은 이들 저장고에 대한 자세한 정의를 제공한다.

죽은 나무는 리터로 전환, 토양, 또는 대기로 배출에 대한 연관된 불확도를 가지는 측정하기 어려운 다양한 저장고이다.

리터 축적은 떨어지는 모든 잎, 어린 가지, 작은 가지, 열매, 꽃, 그리고 나무껍질 등을 포함하는

낙엽층에 좌우된다. 이 리터 양은 또한 지난 교란 이래 시간과 교란 종류에 의하여 영향을 받는다. 농경지 발달의 초기 단계 동안, 리터는 급격히 증가한다. 식생 수확과 연소와 같은 관리 방식은 리터 축적량을 급격하게 변화시키지만 탄소(C)에 대한 관리의 영향을 명쾌하게 기록하는 연구는 거의 없다.

일반적으로, 농경지는 죽은 나무 또는 리터를 거의 혹은 전혀 가지지 않으므로, 이러한 저장고들은 전환 이후에 종종 0에 근접한 것으로 가정된다. 이 가정은 보고를 위해 국가에 의하여 채택된 정의에 의존하여 농경지 또는 임지에서 다루어질 수 있는 농임업 체계를 예외로 한다. 전환 이전의 많은 토지 이용에 대하여 같은 것이 맞을 것이므로 상응하는 전환 이전의 탄소(C) 저장고은 0으로 가정될 수 있다. 예외들은 토지 피복보다는 인근 사용에 근거하여 주거지로 정의되었을 수 있는 주거지 근처의 임지뿐 만아니라 DOM 저장고에서 상당한 탄소(C)를 가질 수 있는 농경지로 전환된 임지, 농임업장, 습지들이다.

높은 단계에서 농경지로 전환된 토지에 대하여 DOM에서 탄소(C) 축적량의 변화 산정은 두 가지 단계 접근을 요구한다. 첫째 단계 동안, 토지 이용 변화와 연관된 DOM의 갑작스런 변화가 종종 있다. 특히 그런 변화는 의도적이고 토지 준비 작업들과 연관 된다 (예, 제거 또는 태우기). 두 번째 단계는 새로운 정적 평형 체계를 향한 전이 기간 동안 분해와 축적 과정을 설명한다. 어떤 시점에서, 경작 생태계는 농경지*로 유지되는 농경지*로 고려될 수 있는 시점에서 평형에 도달해야 하여 그 카테고리에서 설명되어야 한다. 전이 기간은 20년이어야 한다. 하지만 어떤 국가들은 높은 단계서 보다 정확하게 적절한 전이 기간을 결정할 수 있다.

전이 기간을 설명하기 위하여 농경지로 전환된 토지들은 연간 집합으로서 다루어져야 한다. 그것은 주어진 해에서 전환된 토지가 전환의 해에서 1단계 방법을 가지고 설명되고, 이어지는 19년 동안 2 단계 방법으로 가지고 설명되어야 한다. 20년 기간의 끝에서, 주어진 해에 대한 토지 면적은 농경지*로 유지되는 농경지*로서 설명되는 지역 면적으로 추가되어야 한다.

5.3.2.1 방법의 선택

2장의 그림 2.3에서의 결정 분지들은 산정 절치의 응용을 위하여 적절한 단계 수준의 절에서 도움을 제공한다. DOM에서 탄소(C) 축적량의 변화 산정은 죽은 나무와 리터에서의 축적량 변화 산정을 요구 한다 (2장 식 2.17 참조).

각 DOM 저장고 (죽은 나무와 리터)는 개별적으로 다루어지며, 하지만 각 저장고에 대한 방법은 같다.

Tier 1

Tier 1 접근은 주요 전환 카테고리(예, 임지에서 농경지로)만을 사용하면서 토지 전환의 각 종류의 면적을 측정하는 것을 포함한다. 1단계에서 다른 토지가 농경지로 전환으로 인하여 죽은 나무와 리터 일시적이고 갑작스런 탄소(C) 축적량의 변화 (1단계)는 2장의 식 2.23을 사용하여 계산될 것이다. 식 2.23의 C_0은 0이 되는 경향이 있다. 그리고 T_{on}으로 나눌 필요는 없다. 1단계 기본 값은 전환 동안 모든 죽은 나무와 리터의 제거를 가정한다. 그리고 농경지*로 전환된 토지*에 남아있거나 축적되는 죽은 나무나 리터는 없다. 이러한 가정이 잘못된 것으로 알려진 국가들은 (예, 베어진 잔가지들이 흩어져있는 빈터와 불탄 농경지가 널리 이용되는) 농경지로 전환된 토지를 다루기 위하여 높은 단계를 사용하도록 권장된다. 추가적으로, 농경지가 그들의 정적인 상태의 바이오매스 전환 이후 일년 동안 얻는다고 가정된다. 이처럼 1 단계에 대하여, 2 시기는 전환기가 없고, 농경지

로 전환된 토지는 전환 이후 2년에 농경지로 유지되는 농경지로 바뀐다.

대부분의 체계에서 죽은 나무 또는 리터에 대한 활용 가능한 값이 없다. 임지에 대해서, 죽은 나무에 대한 기본 값은 없지만, 리터에 대한 값은 있다(2장 표 2.2). 이러한 수치들은 tonnes C ha^{-1} 단위이고 리터 축적량의 단위는 아니다. 전환 이전의 초기 생태계에서의 죽은 나무와 리터에 대한 가장 좋은 산정을 제공하기 위하여 국가들은 가장 좋은 산정을 하고 임지와 농업 연구 기관으로부터 얻은 지역 자료를 사용해야 한다.

Tier 2

Tier 2 접근은 Tier 1에서 사용하던 것 보다 더 많은 구분을 요구한다. 활동자료는 관리 영역에 따라서 보고 되어야 한다. Tier 2는 또한 위에서 서술한 두 시기 접근을 사용한다.

바이오매스 절에서 위에 추천된 것처럼, 토지 전환 이용이 다섯 개의 탄소(C) 축적량에 미치는 즉각적인 영향은 교란 행렬로 요약될 수 있다. 교란 행렬은 경작으로 전환이 이어지는 초기 생태계에서의 탄소(C) 저장고의 지연, 전환, 그리고 방출을 서술한다. 교란 행렬은 그 저장고에 유지되는 탄소(C) 축적량의 비율과 다른 저장고로 전환된 비율을 정의한다. 작은 수의 전환이 가능하고 표 5.7 교란 행렬에서 약술된다. 교란 행렬의 사용은 모든 탄소(C) 저장고를 다루는 것을 보증한다.

Tier 2와 3에서는, 다른 토지가 농경지로 전환됨으로 인하여 즉시 그리고 갑작스런 죽은 나무에서 탄소(C) 축적량의 변화는 단계1에서 제안된 것처럼 2장 식 2.23을 사용하여 산정될 것이다. 전환기 동안에 탄소(C)를 얻거나 잃는 저장고들은 종종 연속적인 행렬들을 통하여 재현될 수 있는 전이 비 일차 손실 또는 가중 곡선을 가진다. 2단계에 대해서 직선 변화 함수는 평가될 수 있다; 이 방법에 기초한 3단계 접근은 곡선의 진짜 형태를 사용해야 한다. 이들 곡선들은 죽은 나무와 리터 탄소(C) 저장고의 연중 변화를 산정하기 위하여 보고하는 해 동안 각 그룹에 적용되어야 한다.

전환기 동안 죽은 나무와 리터 탄소(C)에서의 변화를 계산하기 위하여, 두 가지 방법이 제안된다.

방법 1 (**획득-손실 방법** 이라고도 불리는, 제2장 식 2.18): 방법1은 토지 전환의 각 종유별 면적과 죽은 나무와 리터 쪽으로 (또는 밖으로) 평균 연중 전이를 산정하는 것이다. 이것은 다른 농경지 종류에 따라 헥타르 당 죽은 나무와 리터 축적량 밖으로 전이되는 바이오매스 량 뿐만 아니라, 다른 기후나 농경지 종류, 관리 영역, 또는 죽은 나무와 리터 탄소(C) 저장고와 죽은 나무와 리터 축적량으로 전환되는 바이오매스에 영향을 주는 다른 요소들에 따라서 *농경지로 전환된 농경지*의 면적을 산정하는 것을 필요로 한다.

방법 2 (**비축차 방법**이라도 불리는, 2장 식 2.19): 방법 2는 농경지로 전환된 토지의 면적과 t_1과 t_2의 두 시점에서 죽은 나무와 리터 축적량을 산정하는 것을 다룬다. 조사 년도에 죽은 나무와 리터 축적량 변화는 축적량 변화를 두 측정 사이의 기간으로 나누어 구할 수 있다. 축적량 차이법은 주기적인 조사를 가지고 있는 국가에서 가능하다. 이 방법은 Tier 3 방법을 채용하는 국가에게 보다 적합하다. Tier 3 방법은 국가특이적인 배출계수들, 실제적인 국가 자료를 가지고 있는 국가들에서 사용된다. 국가 정의된 방법들은 그들의 농경지에 대한 영구 방형구 표본 조사와 모형의 자세한 조사에 근거할 수 있다.

Tier 3

Tier 3에서 국가들은 DOM에서 변화를 산정하기 위하여 그들 고유의 방법과 변수들을 개발해야 한다. 이러한 방법론들은 위에 구체화된 방법과 다른 접근에 바탕을 통 방법 모두에서 유도될 수 있다. 이 방법은 명쾌하게 기록될 필요가 있다.

Tier 2는 Tier 3 방법을 채용하고 있는 국가들에게 적합할 수 있다. Tier 3 방법들은 국가가 국가 특이적인 배출계수, 실질적인 국가 자료를 가지고 있는 곳에서 사용된다. 국가 정의된 방법들은 그들의 초지에 대한 영구 방형구 표본 조사와 모형의 자세한 조사에 근거할 수 있다.

5.3.2.2 배출/흡수 계수의 선택

Tier 1

Tier 1에서, 농경지로 전환된 토지에서 죽은 나무와 리터의 탄소(C) 축적량은 전환 동안에 모두 없어진다고 가장된다. 그리고 전환 이후의 농경지에 새로운 DOM의 축적이 없다고 가정된다. 죽은 나무 또는 리터의 상당히 구성 요소로 가지는 농경지로 다른 생태계의 상당한 전환(예, 토지를 정리하거나 농임업 체계 등에서 가지치기 또는 연소 체계)을 경험하는 국가들은 Tier 2나 3방법에서 이들의 영향을 정량화하는 국내 자료를 개발하고 보고하도록 장려된다.

Tier 2

만일 국가 또는 지역의 수치들이 어떤 전환 카테고리에 대하여 활용가능하지 않다면, 다른 농경지 카테고리에 대하여 죽은 나무와 리터에 대한 국가적인 수준의 자료를 사용하는 것이 *우수실행 (good practice)*이다. 방법 1(증감법)의 경우에 살아있는 나무와 다른 수확되는 작물들에서 수확 잔류물과 분해율로의 탄소(C)의 전환 또는 방법 2 (축적량 차이법)에서 DOM 저장고의 순 변화에 대한 국가 특이적인 값은 농경지의 종류, 바이오매스 이용률, 수확 방식, 수확동안 손상된 식생의 양에 따라서 국내의 확장 계수로부터 유도될 수 있다. 교란 영역에 대한 국가 특이적인 값은 과학적인 연구들로부터 유도되어야 한다.

Tier 3

국가적인 수준의 집적된 DOM 탄소(C) 산정은 3장 별첨 3A.3에서 설정된 원리에 따라서 주기적인 표본 조사를 가지고 국가적인 토지이용 조사 목록, 국가 수준의 모형, 또는 헌신적인 온실가스 조사 프로그램의 한 부분으로 결정되어야 한다. 조사 자료는 모든 농경지 탄소(C) 저장고의 역동성을 포착할 수 있는 모형 연구와 병행될 수 있다.

Tier 3 방법은 낮은 단계 보다 개별적인 탄소(C) 저장고들 사이의 더 많은 연결을 가지고 더 높은 확실성의 산정을 제공한다. 어떤 국가들은 각 교란의 종류별로 다른 저장고들 사이의 탄소(C)의 전환 형태를 제공하는 교란 행렬을 개발하였다. 모형화된 DOM 탄소(C) 수지에서의 다른 중요한 변수는 미기후 조건, 그리고 현지 준비 절차들(예, 조절된 흩뿌려진 태우기 controlled broadcast burning, 또는 더미 태우기) 에 따라서 변할 수 있는 분해율이다.

5.3.2.3 활동자료의 선택

활동자료들은 농경지로 전환된 토지에 바이오매스의 변화를 산정하기 위하여 사용된다. 이것은 3장에서 설정되고, 임지 서비스, 보전 기관, 지방 자체 단체, 조사와 지도 기관들로부터 국가적인 통계를 통하여 이전에 기술된, 일반적인 원리들에 일치하게 얻어질 수 있다. 이중 계산 또는 가능한 누락을 방지하기 위하여 완전하고 일관성 있는 연중 전환된 토지의 재현을 보증하기 위하여 교차 검증이 이루어져야 한다. 자료들은 일반적인 기후 카테고리와 농경지 종류에 따라서 구분되어야 한다. Tier 3 조사들은 정제된 토양 분류, 기후, 그리고 시공간적 해상도를 가지고 새로운 농

경지의 성립에 대한 보다 종합적인 정보를 요구할 것이다. 전환기로서 선택되었던 수년간에 걸쳐서 일어난 모든 변화들은 농경지*로 유지되는 농경지*의 하위 카테고리로 보고 된 전환기 (기본 20년)보다 더 오래된 전환기에 포함되어야 한다.

5.3.2.4 Tier 1과 2에 대한 계산단계

Tier 1

단계 1: 이 평가에 사용된 토지 전환의 카테고리와 해별 전환의 대표적인 면적(A_{on})을 결정하라. 면적 자료는 3장에 기술된 방법을 사용하여 얻어져야 한다. 높은 단계는 보다 자세한 세부사항을 요구하다. Tier 1 사용으로 농경지로 전환되는 임지의 면적이 개별적으로 확인될 수 있을 때하지만 조사를 위한 최소한의 요구사항은 *IPCC Guidelines*와 일치해야 한다.

단계 2: 각 이용 카테고리에 대하여, 전환 이전의 헥타르 당 죽은 나무와 리터 (각각의)축적량 ($\triangle C_0$) 을 결정하라.

단계 3: 각 활동 카테고리에 대하여, 전환이후의 농경지의 특정한 종류에 대하여 헥타르 당 죽은 나무와 리터 (각각의)축적량 ($\triangle C_n$) 을 결정하라. 단계1 에 대하여, 전환 이후의 죽은 나무와 리터 축적량은 0과 같은 것으로 간주된다.

단계 4: 최종 축적량에서 초기 축적량을 빼서 각 전환 종류에 대한 헥타르당 죽은 나무와 리터 축적량의 순 변화를 계산하라.

단계 5: 순 축적량 변화를 그 축적량의 탄소(C) 비율(리터에 대해서는 0.40 tonnes C ha^{-1} 죽은 나무에 대해서 0.50 tonnes C ha^{-1})을 곱해서 개별 축적량의 순 축적량을 tonnes C ha^{-1}단위로 전환하라.

단계 6: 각 탄소(C) 축적량의 순 변화를 보고하는 해 동안에 전환된 면적으로 곱해서 죽은 나무와 리터에서 탄소(C) 축적량의 연간 변화를 구하여라 ($\triangle C_{DOM}$).

Tier 1

단계 1: 이 평가에 사용된 이용 카테고리와 해별 전환의 대표 면적을 결정하라. 전환기에 토지를 계산할 때, 전환의 다른 시기에 각 카테고리에 대한 해당 면적이 요구된다.

단계 2: 급작스런 변화들

- 이 평가에 사용된 이용 카테고리와 대표 면적을 결정하라. 카테고리는 전환의 종류의 정의로 이루어져있다. 해당한다면, 이전 토지 피복의 관리 속성과 농경지 관리로 구성된다. 예로 들면 '벌목된 열대 계절 임지에서 곡물 작물로 전환'
- 각 이용 카테고리에 대하여, 전환 이전에 헥타르당 죽은 나무와 리터 축적량 (개별적으로)을 결정하라.
- 각 이용 카테고리에 대하여, 농경지로 전환하는 일년에 헥타르당 죽은 나무와 리터 축적량 (개별적으로)을 결정하라.

- 최종 축적량에서 초기 축적량을 빼서 각 전환 종류에 대한 헥타르당 죽은 나무와 리터 축적량의 순 변화를 계산하라. 음의 값은 축적량의 손실을 나타낸다.
- Tier 1에서 언급한대로, 개별 축적량의 순 변화를 tonnes C ha $^{-1}$ 단위로 전환하라.
- 보고하는 해 동안에 전환된 면적을 각 C 축적량의 순 변화로 곱하라

단계 3: 과도기의 변화들

- 이 평가와 대표 면적에 사용된 이용 카테고리들과 집단들을 결정하라. 카테고리는 전환의 종류의 정의로 이루어져있다. 해당한다면, 이전 토지 피복의 관리 속성과 농경지 관리로 구성된다. 예로 들면 '벌목된 열대 계절 임지에서 외래 식물을 사용하는 가축 방목지로 전환'.
- 방법 1 전환과 새로운 정적 상태 경작 체계 사이의 과도기에 있는 각 토지의 집단 별로 (증감법) 또는 방법 2 (축적량 차이 방법) (아래를 보라)를 사용하여 이용 종류 별로 죽은 나무와 리터 축적량 (개별적으로)에 대한 연간 변화율을 결정하라.
- 이전 해 동안 (보통은 이전 조사 목록에서 얻어진다.) 집단에서 죽은 나무와 리터 축적량을 결정하라.
- 각 집단별로 이전 해의 축적량에 순변화율을 추가하여 죽은 나무와 리터 축적량의 변화를 계산하라.
- Tier 1에서 언급한대로, 개별 축적량의 순 변화를 tonnes C ha $^{-1}$ 단위로 전환하라.
- 보고하는 해 동안에 전환된 면적을 각 C 축적량의 순 변화로 곱하라.

방법 1 (**획득-손실 방법**, 제2장 식 2.18)

- 죽은 나무와 리터의 평균 연간 투입을 결정하라 (각각)
- 죽은 나무와 리터의 평균 연간 손실을 결정하라 (각각)
- 투입에서 손실을 빼서 죽은 나무와 리터의 순 변화율을 결정하라.
- 2 단계 접근은 국가 특이적이고 경작체계 특이적인 축적량 변화계수를 필요로 한다. 그리고 가장 활용 가능한 지역 자료가 사용되어야만 (그리고 기록되어야)한다.

방법 2 (**비축차 방법**, 제2장 식 2.19)

- 조사 기간 간격, 초기 조사에서 죽은 나무와 리터의 평균 축적량, 마지막 조사에서 죽은 나무와 리터의 평균 축적량을 결정하라.
- 초기 축적량을 최종 축적량으로 빼서 조사 기간 사이의 년도로 차이를 나눠서 죽은 나무와 리터 축적량의 순 변화량을 계산하기 하기 위하여 이 식들을 사용하라. 음의 값은 축적량의 감소를 나타낸다.
- Tier 2 접근은 국가 특이적이고 경작체계 특이적인 축적량 변화계수를 필요로 한다. 그리고 가장 활용 가능한 지역 자료가 사용되어야만 (그리고 기록되어야)한다.

5.3.2.5 불확도 평가

이절은 농경지로 전환된 토지에 대한 산정에 적절한 배출원 특이적인 불확도를 고려한다. 불확도의 근원은 토지 면적 산정에서 정확성의 정도, 탄소(C) 증감, 탄소(C) 축적량, 태워진 토지의 비율, 확장 계수 단위를 포함한다. 기초 불확도 분석에서 오차 산정 (예, 표준편차, 표준 오차, 또는 범위)은 각 국가에서 정의한 용어에 대하여 계산되어야 한다.

배출계수 불확도

이것들은 이전 토지 이용에서 단위 면적당 리터와 고사 유기물 축적량의 산정과 연관된 불확도와 같을 것이다. 농경지에 대하여 리터와 고사 유기물 저장고에서 탄소(C) 밀도가 0인 것으로 가정되는 곳에서 불확도는 산정될 필요가 없다. 이 경우가 아닐 때, 불확도는 지역 자료의 분석을 통하여 평가되어야 하고 2에 대한 계수를 넘어야 한다.

활동자료 불확도

면적 자료와 불확도 산정은 3장의 방법을 사용하여 얻어져야만 한다. Tier 2와 3 접근들은 국가 반경 내에서 다른 기후 또는 경작 관리 체계에 대한 면적 산정과 같은 높은 해상도 활동자료를 또한 사용할 수 있다. 이것은 같은 해상도에서 정의된 탄소(C) 축적 계수와 연관될 때 불확도의 수준을 감소시킬 것이다.

5.3.3 토양 탄소

토지는 일반적으로 자연 지역, 관리된 임지, 초지에서 농경지로 전환된다. 하지만 가끔식 전환은 습지나 주거지에서 일어날 수 있다. 토양 종류(예, 무기 또는 유기)와 상관없이 농경지로 토지 전환은, 많은 경우에서, 전환 이후의 어떤 해에서 토양 탄소(C)의 손실을 낳는다 (Mann, 1986; Armentano and Menges, 1986; Davidson and Ackerman, 1993). 가능한 예외는 이전에 건조지의 관개와 degraded land쇠퇴지에서 농경지로 전환이다.

토양 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위한 일반적인 정보와 안내는 2장의 절 2.3.3에 (식을 포함하여) 제공된다. 그 절은 농경지 토양 탄소(C) 축적량을 다루는 구체적인 가이드라인를 고려하면서 진행하기 이전에 읽어질 필요가 있다. 농경지로 전환된 토지를 위한 토양 탄소(C) 축적량의 전체 변화는 식 2.24 (2장)을 사용하여 산정된다. 이 식은 무기 토양과 유기 토양에 대한 토양 유기 탄소(C) 축적량 (SOC 축적량)의 변화를 결합한다. 축적량 변화는 토양 무기 탄소(C) 저장고들과 연관 된다 (Tier 3만). 이 절은 토양 유기 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하기 위한 구체적인 안내를 제공한다. 토양 무기 탄소(C)에 대한 논의를 위해서 절 2.3.3.1 참조 (농경지에서 추가적인 안내는 주어지지 않는다.)

*농경지로 전환된 토지*와 연관된 토양 탄소(C) 축적량의 변화를 다루기 위해서, 국가들은 최소한 조사 기간 동안 농경지*로 전환된 토지*의 면적 산정치를 가질 필요가 있다. 만약 토지이용과 관리 자료가 부족하다면, FAO 통계치와 같은 집적 자료가 전환되고 있는 토지이용 종류의 대략적인 분포와 그와 연관된 관리에 대한 국가 전문가의 지식과 더불어 시작점으로 사용될 수 있다. 만약 이전의 토지 이용과 전환이 알려지지 않았다면, SOC 축적량 변화들은 농경지*로 유지되는 농경지*에서 제공된 방법을 사용하여 여전히 계산될 수 있다. 하지만 토지의 기본 면적은 조사 초기에 비하여 현재 연도에서 농경지와 다를 수 있다. 하지만, 모든 토지이용 영역들에 걸친 전체 토지 면적은 조사 기간 동안 동일한 것이 중요하다(예, 조사 기간 동안 7백만 ha가 임지와 초지에서 농경지로 전환되었다면, 농경지는 조사의 마지막 해에 추가적인 7백만 ha을 가질 것이다. 농경지로 전환된 토지는 기후형과 주요 토양 종류에 따라서 구체화된다. 이러한 종류들은 기본 값 또는 국가 특이적인 분류 체계에 기초할 수 있다. 공간적으로 표현 가능한 토지 전환의 위치에 대한 자료를 기후와 토양 지도와 중첩을 통하여 이루어질 수 있다.

5.3.3.1 방법의 선택

Tier 1,2,3 접근을 사용하여 조사 목록이 개발될 수 있다. 각 이어지는 단계들은 이전 단계 보다 자세한 자원을 필요로 한다. 국가들이 개별적인 토양 탄소(C)의 하위 카테고리(예, 무기토양과 유기 토양에서 토양 유기 탄소(C) 축적량 변화, 토양 무기 탄소(C) 저장고와 연관된 축적량 변화) 에 대한 산정을 준비하기 위하여 다른 단계를 사용할 수 있다. 조사자에게 적절한 단계를 선택에 도움을 주기 위해서 2장의 절 2.3.3.1에 무기 토양 (그림 2.4)과 유기 토양 (그림 2.5) 결정 분지가 제공된다.

무기 토양들

Tier 1

무기 토양에 대한 토양 유기 탄소(C) 축적량 변화들은 농경지로 토지 이용 전환에 대하여 2장의 식 2.25을 사용하여 측정될 수 있다. 단계에서, 초기 (전환전) 토양 유기 탄소(C) 축적량 ($SOC_{(0-t)}$) 와 조사 기간의 최종 년도에서 토양 유기탄소 축적량 (SOC_{0})dms 기본 준거 토양 유기탄소축적량 (SOC_{REF})과 기본 축적량 변화계수 (F_{LU}, F_{MG}, F_{I})로부터 계산된다. 축적량 연간 변화율은 축적량의 차이 (시간에 따른)를 농경지 축적량 변화계수의 시간 (D, 기본은 20년)으로 나눠서 계산할 수 있다.

Tier 2

무기 토양에 대한 Tier 2 방법은 2장의 식 2.25을 사용한다. 하지만 국가 특이적인 준거 탄소(C) 축적량과 축적량 변화계수, 그리고 가능하면 보다 구분된 토지 이용 이용들과 환경 자료를 포함한다.

Tier 3

Tier 3 방법들은 보다 자세한 그리고 국가 특이적인 모형, 고도로 구분된 토지이용과 관리 자료와 더불어 측정 기반의 접근들 을 포함할 것이다. Tier 3 접근은 농경지로 토지이용 전환에서 토양 탄소(C) 변화를 산정한다. Tier 3 접근들은 농경지로 토지이용 전환에서 토양 탄소(C) 변화를 산정한다. 그리고 모형, 자료 묶음, 감사 네트워크를 채용한다. 가능하다면, Tier 3 방법이 바이오매스 제감 산정과 제거 이후 식물 잔류물의 처리 (목본 파편과 리터를 포함하는)와 통합되도록 추천된다. 왜냐하면 잔류물 제거와 처리(예, 태우기, 부지 준비)에서의 변이는 토양 유기 물질 형성에 탄수 투입과 분해와 연소를 통하여 탄소(C) 손실에 영향을 줄 것이기 때문이다. 모형들이 전환 이후의 토양 탄소(C) 축적량의 변화에 대한 기후, 토양, 농경지 관리의 상호 작용을 대표하는 국가 특이적인 또는 지역 특이적인 현장 지점에서 독립적인 관측 자료로 검증되는 것이 중요하다.

유기 토양들

Tier 1과 2

조사 기간 내 유기 토양에서 농경지*로 전환된 토지*는 장기간 경작된 유기 토양과 같은 것으로 다루어진다. 탄소(C) 손실은 식 2.26을 사용하여 계산된다. Tier 1과 2 접근에 대한 추가적인 안내는 농경지*로 유지되는 농경지* (5.2.3절)에 주어져있다.

Tier 3

Tier 3 방법은 보다 자세하고 국가특이적인 모형과 고도로 구분된 토지 이용과 관리 자료와 더불어 측정 기반의 접근들을 포함할 것이다(더 논의를 위하여 위의 무기 토양을 참조).

5.3.3.2 축적량 변화와 배출계수의 선택

무기 토양들

Tier 1

임지로 관리되는 지역 뿐 만아니라 자연적인 관리되지 않는 지역에 대하여 주거지와 교란이 적은 일반적으로 관리되는 초지에서, 토양 탄소(C) 축적량은 준거 값(예, 토지 이용, 교란 (임지에서만), 관리와 입력 계수는 1과 같다)과 동일하다고 가정된다. 하지만 향상된, 그리고 쇠퇴한 초지와 같이 준거 상태가 아닌 이전의 토지이용 체계를 대표하는 적합한 축적량 변화계수를 적용하는 것이 필수적일 것이다. 또한 투입과 새로운 경작 체계에서 토양 탄소(C) 축적량에 미치는 관리 영향을 재현하는 적합한 축적량 변화계수를 적용하는 것이 필수적일 것이다. 기본 준거 탄소(C) 축적량은 표 2.3 (2장)에서 발견된다. 기본 축적량 변화계수에 대하여 적합한 토지 이용 장을 보라.

일시적인 농경지로 토지이용 전환의 경우에, 축적량 변화계수가 표 5.10에 주어진다. 이 계수들은 변화하는 경작 체계에서 휴경 (식생 회복) 주기의 길이에 의존한다. 그리고 경작-휴경 주기에 걸친 토지 탄소(C) 축적량의 평균을 대표한다. 성숙한 휴경지는 작물이 아닌 식생 (예, 임지)이 농경지로 다시 사용되기 위하여 제거 이전의 성숙 또는 성숙에 근접하게 회복되는 곳의 상황을 나타낸다. 반면에 줄어든 휴경은, 식생 회복은 다시 제거하기 전에 얻어지지 않는다. 만일 이미 경작 - 전환기에 있는 토지가 영구 농경지(또는 다른 토지 이용)로 전환된다면, 이동하는 경작을 대표하는 축적량 변화계수들은 식 2.25를 사용하는 계산에서 '초기의' 토양 유기탄소 축적량 ($SOC_{(0-t)}$)을 제공할 것이다.

표 5.10
농경지로 토지이용전환에 대하여 토양 축적량 변화계수 (F_{LU}, F_{MG}, F_I)

계수 값 유흉	수준	기후형	IPCC 기본값	오차 #	정의
토지 이용	자연 임지 또는 초지 (쇠퇴 안함)	All	1	NA	자연적이거나, 장기간, 쇠퇴하지 않고, 지속적으로 관리되는 임지와 초지를 타나낸다.
		열대	1	NA	
토지 이용	전환되는 경작 - 짧아진 휴경	열대	0.64	±50%	짧은 시간 (3-5년)일년생 작물을 심고 재성장을 위하여 버려지는 열대 임지 또는 산림지가 제거된 영구적으로 전환되는 농경지,
	전환되는 경작 - 성숙한 휴경	열대	0.8	±50%	
토지 이용, 관리, 투입	관리되는 임지	기본 값은 1			
토지 이용, 관리, 투입	관리되는 초지	(표 6.2 기본 값 참조)			
토지 이용, 관리, 투입	농경지	(표 5.5 기본 값 참조)			

오차의 일반적 산정, 평균의 %로서 표준편차의 두 배와 같다.
NA은 정의된 준거 값을 구성하는 계수 값으로 적용 안됨을 뜻한다.

Tier 2

국가특이적인 축적량 변화계수에 대한 측정은 아마도 Tier 2와 연관된 가장 중요한 발전이다. 토지 이용들 사이의 토양 유기 탄소(C) 축적량 차이는 기준 조건에 비교하여 토지이용 계수 (F_{LU})를 사용하여 계산된다. 투입 계수들(F_I)과 관리 계수(F_{MG})들은 새로운 경작 체계의 탄소(C) 축적량을 개량하는데 사용된다. 이러한 축적량 변화계수를 어떻게 유도하는지에 대한 추가적인 안내는 절 5.2.3.2에 *농경지로 유지되는 농경지*에 주어진다. 다른 토지이용 카테고리에 대한 축적량 변화계수의 유도에 대한 구체적인 정보를 위한 적절한 장을 보라(절 4.2.3.2의 임지지, 6.2.3.2의 초지, 8.2.3.2의 주거지, 9.3.3.2의 기타지).

단계2에서 준거 탄소(C) 축적량은 국가 특이적인 자료에서도 유도될 수 있다. 하지만, 준거 값은 토지 이용들에 걸쳐서 일관성이 있어야 한다 (예, 임지, 농경지, 초지, 주거지, 기타 지), 그리고 AFOLU에 대한 토양 탄소(C) 조사 모록을 수행하는 다양한 용어들 사이에서 조화를 이뤄야 한다.

Tier 3

일반적으로 일정한 축적량 변화율 계수는 토지이용과 관리 영향을 보다 정확하게 포착하는 변화율을 위하여 측정되지 않는 경향이 있다.

5.3.3.3 활동자료의 선택

무기 토양

Tier 1과 Tier 2

토양 탄소(C) 축적량 변화를 산정하는 목적을 위해, 농경지로 전환된 토지의 면적 측정이 주요 기후형과 토양형에 따라서 구조화 되어야 한다. 이것은 적합한 기후와 토양 지도와 공간적으로 표현 가능한 토지 전환 위치 자료를 중첩해서 얻을 수 있다. 기본 기후와 토양 분류 체계에 대한 자세한 기술은 3장 별첨 3A.5에 제공된다. 각 토지 이용 장에서 토지 이용 관리 활동자료의 처리에 대한 구체적인 정보가 주어진다(절 4.2.3.3의 임지, 6.2.3.3의 초지, 8.2.3.3의 주거지, 9.3.3.3의 기타지).

토양 유기 탄소(C) 축적량에서 농경지*로 전환된 토지*의 영향을 검증하는데 중요한 문제는 토지 이용과 관리 활동자료의 종류이다. 접근 2 또는 3을 사용하여 얻어진 활동자료는 (접근들에 대한 논의를 위하여 3장을 보라) 농경지*로 전환된 토지*에 대한 이전 토지 이용을 결정하기 위한 기초를 제공한다. 대조적으로, 집적된 자료 (접근 1, 3장)는 조사 기간의 처음과 끝에서 (예, 1985년과 2005년) 각 토지에서 전체 면적만을 제공한다. 접근 1 자료는 구체적인 전이들을 경정하는데 충분하지 않다. 이 경우, 모든 농경지는 농경지*로 유지되는 농경지* 카테고리로 보고되고 영향 전환들은 경관들 사이의 단계 변화가 된다. (in effect transitions become step changes across the landscape). 토지 이용 변화로 인하여 각 조사 해 동안 개별적인 영역 내에서 어떤 토지 면적을 읽을 것이고 얻는 다고 가정한다면, 전체 토지 영역이 시간에 따라 일정하게 남아있게 하기 위하여 모든 토지 영역들 사이에서 협력을 얻는 것을 중요하게 만든다.

Tier 3

Tier 3에서 역동적인 모형과 직접적인 관리 기반 조사 목록의 적용을 위하여 Tier 1과 2 방법과 유사하거나 보다 자세한 기후, 토양, 지형, 관리 자료의 조합에 대한 자료가 필요하다. 하지만 정확한 필요사항은 모형 또는 관리 계획에 의존할 것이다.

유기 토양들

Tier 1과 2

조사 기간 내에 유기 토양에서 농경지로 전환된 토지는 장기간 경작된 유기 토양과 동일하게 취급되고, 활동자료에 대한 안내는 절 5.2.3.3에 논의된다.

Tier 3

무기 토양과 유사하게, Tier 3 접근들은 보다 자세한 기후, 토양, 지형, 관리 자료의 조합에 대한 자료를 요구하는 경향이 있을 것이다. Tier 1 또는 2 방법에 비하여 정확한 필요사항은 모형 또는 관리 계획에 의존할 것이다.

5.3.3.4 Tier 1에 대한 계산단계

무기 토양들

*농경지로 전환된 토지*에서 ha당 SOC_0과 $SOC_{(0-t)}$, 그리고 순 토양 탄소(C) 축적량 변화를 계산하기 위한 단계들은 다음과 같다:

단계 1: 자료는 조사 기간에 따라서 조직화한다. 활동자료가 수집된 해를 기준으로 한다 (예, 1990에서 1995, 1995년에서 2000, 등).

단계 2: 처음 조사 해 기간의 처음에 국가에서 무기 토양형과 기후형에 따라서 농경지*로 전환된 토지*의 면적을 결정한다. 조사 기간의 첫해는 활동자료의 시간 단계에 의존할 것이다.(0-T; 예, 5, 10, 20 년 전)

단계 3: 농경지로 전환된 초지에 대하여, 그림 6.1을 사용하여 이전 초지들을 적절한 관리 체계로 분류하라. Tier 1에서는 다른 토지 이용에 대해서 분류체계가 필요 없다.

단계 4: 표 2.3에서 자연 준거 탄소(C) 축적량 값 (SOC_{REF})을 기후와 토양형에 기초하여 할당하라.

단계 5: 토지 이용 계수 (F_{LU}), 관리 계수 (F_{MG}), 탄소(C) 입력 수준 (F_I)을 각 초지에 관리 분류 체계 (두번째 단계)에 따라서 할당하라. F_{LU}, F_{MG}, F_I에 대한 값은 표 6.2에 초지에 대하여 주어져있다. 다른 모든 토지 이용에 대하여 값은 1로 가정된다.

단계 6: 계수 (F_{LU}, F_{MG}, F_I)를 준거 토양 탄소(C) 축적량으로 곱하여 조시 기간에 대한 초기 토양 유기 탄수 축적량 ($SOC_{(0-T)}$)를 산정하라.

단계 7: 같은 자연 준거 탄소(C) 축적량(SOC_{REF})을 사용하여, 하지만 최근 (0년) 조사 해에서 농경지의 조건을 반영할 수 있는 토지 이용, 관리, 입력 계수를 가지고, 첫 번째에서 다섯 번째 단계를 반복하여 최종 토양 유기 탄소(C) 축적량 (SOC_0)을 구하라.

단계 8: 농경지로 전환된 토지에 대한 토양 유기 탄소(C) 축적량의 평균 연간 변화($\triangle C_{Mineral}$)를 초기 토양 유기 탄소(C) 축적량($SOC_{(0-T)}$)을 최종 토양 유기 탄소(C) 축적량으로 뺀 후에 축적량 변화계수의 시간으로 나눠서 산정하라 (예, 20년을 기본 값으로 사용). 주의: 만일 조시 시간이 20년보다 크다면 초기와 최종 해의 시간 차이로 나눈다.

단계 9: Tier 2에서 8을 반복 한다 만일 추가적인 조사 시간이 있다면 (1990에서 2000, 2001에서 2010 등) 주의: 농경지로 전환된 토지는 20년 동안 남아있다. 그러므로, 20년 보다 작은 조사 시간은 토지가 농경지*로 전환된 토지* 또는 농경지*로 유지되는 농경지*로 고려되는지 검증하기 위하여 이전 조사 시간을 언급할 필요가 있을지 모른다.

식 2.25와 기본 준거 탄소(C) 축적량 (표 2.3), 축적량 변화계수 (표 5.5)을 사용하여 무기 토양에서 농경지로 전환된 임지에 대한 수식이 아래에 주어져있다.

예: 열대 습윤 환경에서 화산성 토양에서 임지에 대하여, SOCRef = 70 tonnes C ha^{-1}. 모든 숲 토양 (그리고 자연 초지에 대하여) 축적량 변화계수(FLU , FMG , FI)의 기본 값은 모두 1이다. 이처럼 SOC(0-T) 은 70 tonnes C ha^{-1}. 만약 토지가 집중적인 경작과 낮은 잔류물 탄소(C) 투입과 함께 일년생 농경지로 전환되면 SOC0 = 70 tonnes C ha^{-1} · 0.48 · 1 · 0.92 = 30.9 tonnes C ha^{-1}. 이처럼 조사기간 동안 그 지역에 대한 토양 탄소(C) 축적량의 평균 연간 변화는 다음과 같이 계산된다. (30.9 tonnes C ha^{-1} – 70 tonnes C ha^{-1}) / 20 yrs = -2.0 tonnes C ha^{-1} yr^{-1}.

유기 토양

계산 단계와 예는 위 절 5.2.3.4.에 서술된 바와 같다.

5.3.3.5 불확도 평가

*농경지로 전환된 토지*에 대한 불확도 분석은 근본적으로 농경지*로 유지되는 농경지*와 같다. 세 가지 넓은 불확도의 근원이 존재하다 1) 토지 이용과 관리 이용, 그리고 환경 자료에서의 불확도 2) 만일 Tier 1 또는 2 접근 (무기 토양 만)을 사용한다면 준거 토양 탄소(C) 축적량에서의 불확도 3) Tier 1 또는 2접근에 대해 축적량 변화/ 배출계수에서의 불확도, Tier 3 모형 기반 접근에 대한 모형 구조/변수 오차 또는 Tier 3 측정 기반 조사와 연관된 측정 오차, 표본 변이. 추가적인 논의를 위해서 농경지*로 유지되는 경작*에서 불확도 절을 참조하라.

5.3.4 바이오매스 연소에 의한 non-CO_2 배출량

비농경지, 특히 임지, 초지에서 농경지로 전환에서 온실가스 배출은 많은 국가들에서 중요한 공급원이 되기 쉽다. 농경지로 전환된 토지에서 온실가스 배출은 전환 이전의 초기 토지 이용 카테고리에서 바이오매스와 고사 유기물 (DOM)의 불완전 연소에서 발생한다. 이산화탄소(CO_2) 배출은 새로운 토지이용 카테고리(농경지*로 전환된 토지*)에서 계산된다. 이 절에서 가장 중요한 non-CO_2 배출은 임지의 농경지로의 전환에서 비롯되지만, 초지에서 농경지로 전환의 결과로서도 일어날 수 있다. 다른 토지이용 카테고리에서 농경지로 전환되는 경향은 거의 드물다.

열대에서, 대부분 (또는 모든) 숲 잔류물과 DOM은 제거되고 농업이 시작될 수 있기 까지 숲 잔류물을 계속해서 태우는 방식은 흔하다. 어떤 장소에서 세 네 번까지 태움이 필요 한다. 이 임지에서 농경지로 전환의 과정에서 제거된 지상 임지 바이오매스의 일부는 수확된 숲 생산품으로 전환될 수 있고, 일부는 지역에서 연료 (이처럼, 현지 밖에서 태워짐)로 사용될지 모른다. 유지되는 것은 무엇이든지 현지에서 일반적으로 태워진다.

농경지로 전환된 토지에 연소에서 배출되는 이산화탄소(CO_2)를 산정하는 방법은 2장에 절 2.4에 서술되어 있다.

만일 토지이용 전환에 따른다면, 전환된 토지는 관리된 지역으로 간주되기 때문에 관리되지 않는 임지에서 바이오매스 태우기에서 non-CO_2 배출은 보고 될 것이다.

*농경지로 전환된 토지*에서 non-CO_2 배출을 측정하기 위하여 사용되는 접근은 본질적으로 농경지*로 유지되는 농경지*에 대한 것과 같다.

5.3.4.1. 방법의 선택

제2장의 그림 2.6의 의사결정도는 농경지로 전환된 토지에서 non-CO_2 배출을 보고할 때 국가들에 적용될 수 있는 단계 수준 선택에 대한 조언을 제공한다. 비 농경지의 중요한 규모 전환을 겪는 국가들은 특히 임지에서, Tier 2 또는 3 방법을 채택해야 한다.

방법의 선택은 전환된 토지의 면적, 활용 가능한 연료의 양, 그리고 연소와 배출계수에 대한 국가 자료의 활용 가능성에 직접적으로 관계되어 있다. 단계가 높아질수록, 전환을 위하여 제거된 바이오매스를 나타내고 수확된 나무 제품 (만일 해당한다면), 연료 사용과 현지 밖 연소를 위하여 제거되는 데 활용 가능한 연료의 양에 대한 국가 특이적인 자료가 사용된다.

농경지로 전환된 토지에서 바이오매스 태우기로부터 온실가스 배출이 중요한 요소일 때 국가들은 Tier 2 또는 Tier 3 방법을 사용하면서 보고하기 위하여 노력해야 한다. 만약 모형이 개발되고 검증된다면, 국가들은 농경지로 전환된 토지가 중요한 카테고리가 심지어 아닌 곳에서도 Tier 3 방법을 적용해야만 한다.

5.3.4.2 배출계수의 선택

Tier 1

연소된 연료의 양은 온실가스 배출 산정에 결정적이다. Tier 1에서 배출 산정을 지지하는 기본 값은 제2장의 표 2.4-2.6에 주어져있다. 국가들은 어떻게 그들의 식생형을 기본 표에 서술된 넓은 식생 카테고리로 관계 지을지에 대하여 판단할 필요가 있다. Tier 1에 대하여 지상 바이오매스와 DOM에 있는 모든 탄소(C)가 전환 이후에 이전 토지 카테고리에서 즉시 소실된다고 가정되어야 한다. 전환 이전의 바이오매스에 대한 기본 값은 해당 토지 이용과 관련 있는 장에서 찾을 수 있다(예, 임지의 기본 계수는 임지의 바이오매스를 다루는 장에서 발견할 수 있다). non-CO_2 배출의 계산을 위하여, 실제로 태워진 연료의 양 계산(표 2.4)이 사용되어야 한다.

Tier 2

Tier 2 방법에서, 국가 특이적인 연료의 양 산정은 사용되어야만 한다. 농경지로 전환된 임지의 경우에 임지 종류에 따라서 자료는 구분되어야 한다. 더 좋은 국가적인 조건들 (기후형, 바이오매스, 연소 조건)을 반영하는 연소와 배출계수들이 개발되어야 하고, 불확도의 범위가 제공되어야 한다. 또한 지상과 DOM의 모든 탄소(C)가 전환 이후에 즉시 없어진다고 가정하는 Tier 1과 다르게, Tier 2 방법에서는 수확된 목재와 땔감 (현지 밖 연소)으로 전환되는 바이오매스는 연소를 위한 활용 가능한 연료의 양에 대하여 보다 신뢰할만한 산정을 하기 위하여 계산되어야 한다.

Tier 3

Tier 3에서, 이산화탄소(CO_2)와 non-CO_2 배출을 산정하기 위하여 필요한 모든 변수들은 농경지로 전환에 취약한 국가적으로 다른 토지 형에 대하여 개발되어야 한다.

5.3.4.3 활동자료의 선택

활동자료는 활용으로부터 영향을 받는 지역에서 바이오매스 태우기로부터 non-CO_2 배출을 산정하기 위하여 필요하다. 국가들은 농경지 전환된 토지를 초지와 임지에서 전환되었는지에 따라서 구분해야만 한다. 왜냐하면 연소를 위해 활용 가능한 연료의 양이 한 토지 이용 카테고리에서 다른 카테고리에서 큰 변화를 보일 수 있기 때문이다. 임지에서 농경지로의 전환이 ha당 많은 양의 바이오매스가 연관되어 있기 때문에 가장 결정적인 전환이다. 바이오매스와 DOM 영역에서 사용되는 것과 일치하는 non-CO_2 배출에 사용되는 면적 자료를 확인하는 것이 *우수실행(good practice)* 이다.

Tier 1

Tier 1 방법을 사용하는 국가들은 초기 토지 이용 (임지, 초지, 기타)에서 농경지로 전환된 면적을 산정해야 한다. 제3장의 Tier 1을 사용하는 국가들은 농경지*로 전환된 토지*를 다른 토지 이용 카테고리들로 더 분류하기 위하여 노력해야 한다. 전환은 매년에 기초하여 측정되어야 한다. 산정은 농경지로 전환되는 비율을 전체 매년 경작되는 면적에 적용하여 유도될 수 있다. 그 비율은 역사적인 지식, 국가 전문가의 판단, 그리고 전환된 지역과 최종 지역 사용의 평가로부터 측정될 수 있다. 매마다 전환되는 임지와 초지의 면적을 산정하기 위하여, 대안적으로, 산정치는 FAO와 같은 국제적인 배출원으로부터의 자료를 사용하고 농경지로 전환된 이 면적의 비율을 산정하는 전문의 판단을 사용하면서 유도될 수 있다.

Tier 2

국가들은 가능한 곳에서 모든 가능한 농경지 전환에 대하여 실제 면적 계산 자료를 사용해야 한다. 적절한 해상도의 다중 시간 원격 탐사된 자료는 Tier 1에서 사용된 접근 보다 토지 이용 전환의 더 좋은 산정을 제공해야만 한다. 분석들은 영역의 전체 주제 또는 유도될 수 있는 전체 영토에서 농경지로 전환된 면적의 산정으로부터 선택된 대표적인 표본 지역에 근거할 수 있다.

Tier 3

Tier 3의 활동자료들은 제3장에서 재현된 접근 3 방법에 근거해야만 한다. 접근 3 방법에서 농경지로 전환된 전체 연중 면적 (임지에서, 초지에서 또는 기타 토지 이용 카테고리에서)이 산정된다. 공간적으로 명백한 방법에서 제3장에 제시된 것처럼 토지 이용 변화 행렬을 개발하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 자료는 바이오매스, 기후, 토양, 정치적인 영역, 또는 이들 변수들의 조합에 따라서 구분되어야 한다.

5.3.4.4 불확도 평가

Tier 1

불확도의 배출원은 (1) 전 지구적인 또는 국가적인 평균 전환 비율 또는 농경지로 전환된 토지 면적에 대한 성긴 산정 (2) 태워진 전환된 면적 산정 (3) 활용 가능한 연료의 양 (4) 연소와 배출계수이다. 배출과 연소 계수와 연관된 불확도는 제거된다. (1)과 (2)와 연관된 것들은 그들 산정에서 사용된 방법에 따라서 상당히 변할 수 있다.

이러한 불확도의 결과로서, 태워진 면적의 산정이 20%보다 더 많이 알려지고, Tier 1 방법을 사용하면서 단위 면적당 배출이 계수 2 이내로 알려질 가능성은 낮다.

Tier 2

보다 신뢰할 만한 배출원들 (원격 탐사 자료, 표본 접근)에서 생산된 면적 산정의 사용은 Tier 1과 3장의 Tier 1에 비하여 정확성을 높일 것이다. 이러한 배출원들은 전환되고 태워진 면적에 대한 보다 나은 산정도 제공할 것이다. 수확된 목재 또는 땔감으로서 현지에서 제거되고, 현지에 남아서 분해되는 바이오매스를 고려하는 것은 산정에서 편중(과잉 산정)을 없앨 것이다. 배출 또는 연소 계수의 산정은 농경지로 전환된 토지와 연관된 불확도가 평가되는 것을 허용할 것이다.

Tier 3

불확도는 원격 탐사와 현지 조사, 그리고 자료 입력과 연관된 모형 접근에 의존한다.

5.4 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고

여기에 제공된 자료는 1권에 제공된 이러한 주제에 대한 일반적인 조언들을 보충한다.

5.4.1 완전성

Tier 1

Tier 1에 대한 완전한 농경지 조사는 세 가지 요소들을 가진다. 1) 모든 농경지로 전환된 토지와 농경지로 유지되는 농경지에 대하여 계산되어온 탄소(C) 축적량 변화와 바이오매스 태우기로부터 non-CO_2, 메탄(CH_4), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_X), 아산화질소(N_2O))의 배출 2) Tier 1 방법에서 서술된 모든 관리 방식의 영향을 다루는 조사 분석 3) 배출과 제감에 영향을 주는 기후와 토양 변이를 설명하는 분석들 (Tier 1에서 서술한 대로).

뒤의 두 가지 요소들은 관리 체계를 경작 지역에 할당과 기후형과 토양형에 따른 분류를 필요로 한다. 국가들이 바이오매스 태우기에 추가하여 바이오매스와 토양 저장고에 대하여 같은 지역 분류 체계를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다 (이러한 배출원 카테고리들에 대하여 분류가 필요한 범위까지). 이것은 일관성과 투명성을 보증하고, 토지 조사의 효율적인 사용과 다른 자료 수집 도구의 효율적인 사용, 그리고 바이오매스 태우기에서 non-CO_2 배출 뿐 만아니라, 바이오매스와 토양 저장고에서 이산화탄소(C) 배출과 저감 사이의 명확한 연결짓기를 가능하게 한다.

바이오매스와 토양 탄소(C) 축적량 산정을 위하여, 농경지 조사는 토지 이용 변화(농경지*로 전환된 토지*)와 관리의 영향을 다루어야 한다. 그러나 어떤 경우에, 활동자료 또는 전문가의 판단이 농림업 체계, 윤작, 경작 방식, 관개, 퇴비사용, 작물잔사 관리 기타의 영향을 산정하는데 불충분할지도 모른다. 그러한 경우에, 국가들은 토지 이용만을 다루는 조사와 함께 진행할 수 있지만 결과는 불완전할 것이고 관리 방식의 생략은 투명성의 목적을 위하여 보고서에 명확하게 확인되어야 한다. 생략이 있다면, 특히 바이오매스 또는 토양 탄소(C)가 중요한 근원일 경우에, 미래의 조사를 위하여 추가적인 활동자료를 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

만약 온실가스 배출과 저감이 상당하지 않거나, 시간에 따라서 일정하다고 믿어진다면, 탄소(C) 축적량 변화는 어떤 농경지(비 목본성 농경지와 같이 관리 또는 토지 이용 변화가 없는 곳에서)에

대해서 계산되지 않을 수 있다. 이러한 경우에 국가가 배출을 위한 이유들을 기록하고 설명하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

바이오매스 태우기에 대해서 모든 주요 경작 잔류물의 카테고리에 대하여 non-CO_2 온실가스는 측정되어야만 한다. 에너지 생산과 같은 다른 목적으로 현지에서 잔류물을 제거하는 것과 수확과 연소 작업 사이의 기간 동안에 초식과 분해로 인한 잔류물 소실을 고려하면서 진행되어야 한다. 임지에서 농경지로 전환이 있는 곳에서 DOM과 제거된 나무 바이오매스에서의 배출은 포함되어야만 한다.

Tier 2

완전한 Tier 2 조사는 Tier 1과 유사한 원소들을 가지고 있다. 하지만 국가 특이적인 자료를 포함한다: 탄소(C) 축적량 변화계수, 준거 토양 탄소(C)축적량, 잔류물 산정 (원료 량), 바이오매스 태우기에 대한 연소와 배출 배수를 산정하기, 관리 체계 분류를 개선하기, 기후 묘사와 토양 카테고리를 개발하기. 더욱이, Tier 2 조사에 대하여 각 요소에 대하여 국가 특이적인 자료를 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 그들이 Tier 1 기본 값과 함께 국가 특이적인 자료를 포함한다면, 조사 목록은 완전한 것으로 고려된다.

Tier 3

Tier 1과 2 고려에서 추가하여, Tier 3 조사의 완전성은 국가특이적인 검증 체계의 요소에 의존할 것이다. 실제에서, Tier 3 조사들은 기후, 토양 , 바이오매스 태우기와 관리 체계에 대한 보다 정확한 자료를 바탕으로, 농경지의 배출과 저감을 충분히 반영하는 경향이 있다. 조사자가 국가 특이적인 체계의 요소들을 서술하고 기록하고 접근과 자료 배출원의 완전성을 보여주도록 하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 만일 틈이 발견되면, 추가적인 자료를 모으고 국가특이적인 체계를 더 나아가 개발하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

5.4.2 일관성 있는 시계열 개발

Tier 1

일관성 있는 시계열은 배출 또는 저감의 경향을 검증하는데 본질적이다. 일관성을 유지하기 위하여, 조사자는 기후, 토양형, 관리체계 분류, 탄소(C) 축적량 변화계수, 준거 토양 탄수 축적량, 잔류물 측정치(연료량), 연소 계수, 그리고 비이산화탄소 배출계수를 포함하여 같은 분류체계와 계수들을 전체 조사 기간에 적용해야만 한다. 이러한 특성 모드에 대하여 기본값이 제공되고 따라서 일관성은 문제가 되지 않는다. 추가하여, land base(토지 기반)은 농경지*로 전환된 토지* 또는 다른 토지 이용으로 전환된 농경지를 예외로 하여 시간에 따라서 일관성 있어야 한다.

국가들은 조사 내내 토지 이용, 관리, 그리고 바이오매스 태우기에 대한 일관성 있는 배출원을 사용해야 한다. 표본 접근들은, 만일 사용된다면, 일관성 있는 접근을 보장하기 위하여 조사 기간동안 유지되어야 한다. 만일 하위 카테고리가 만들어진다면 국가들은 어떻게 그들이 정의되고 조사 동안에 일관성 있게 적용되는지에 대한 투명한 기록을 간직 해야만 한다.

어떤 경우에, 활동자료의 배출원, 정의 또는 방법은 새로운 정보의 활용가능성을 가지고 시간에 따라서 변할지 모른다. 조사자는 변화하는 자료 또는 방법이 경향에 미치는 영향을 결정해야한다. 그리고 만일 그러한 영향이 유효하다고 생각되면, 배출과 저감은 5장 1권에 제공된 방법을 사용하여 시계열에 대하여 다시 계산되어야 한다.

탄소(C) 축적량 변화에 대하여, 일관성 있는 시계열을 만들어내는 한 가지 중요한 요소는 이전 보고 기간에 보고된 농경지로 전환된 토지에 대한 탄수 축적량과 현재 보고 기간에서 농경지로 유지되는 지역에 대하여 보고된 축적량의 상태 사이의 일관성을 보장하는 것이다. 예를 들어, 만일 지상의 50 tonnes의 바이오매스가 이전 보고 시기에 임지에서 농경지로 전화된 토지에서 죽은 유기물질 저장고로 전환된다면, 이 시간의 보고는 해당 지역에 대하여 고사 유기물 저장고의 탄소(C) 축적량을 50 tonnes으로 시작한다고 간주해야만 한다.

Tier 2

Tier 1에서 논의된 문제에 추가하여, 국가 특이적인 정보의 서론과 연관된 추가적인 고려사항이 있다. 특이, 전체 조사에 걸쳐 국가특이적인 정보로부터 유도된 분류체계 도는 새로운 값을 적용하고 시계열을 다시 계산하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 그렇지 않으면, 탄소(C) 축적량 도는 바이오매스 태우기에서의 긍정적 또는 부정적인 경향이 실제 경향을 대표하는 것이 아니라 부분적으로 시계열의 어떤 시점에서 조사 방법과 연관된 변화 때문일 수 있다.

새로운 국가 특이적인 정보는 전체 시계열에 대하여 활용가능하지 않을 수도 있다. 그러한 경우에는 이용 수준 대 국가특이적인 자료 또는 방법에서 변화의 영향을 나타내는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 환경들의 재계산에 대한 안내가 5장 1권에서 제시되어 있다.

Tier 3

Tier 1과 Tier 2와 유사하게, 전체 시계열에 걸쳐서 국가특이적인 산정 체계를 적용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 조사 기간은 조사 시간 동안에 같은 측정 방법 (표본 조사 전략, 방법 등)과 모형에 근거한 체계를 사용해야만 한다.

5.4.3 품질보증과 품질관리

Tier1

농경지 조사 자료의 내 외부 검토와 더불어 품질보증/품질관리를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 내부 검토는 조사를 담당하는 기간으로부터 수행되어야만 한다. 반면 외부적 검토는 다른 기간, 전문가, 또는 그 조사와 연관되지 않은 그룹으로부터 수행된다.

내부 검토는 다음 사항들을 보장하기 위하여 조사 수행 과정에 초점을 맞추어야 한다. 1) 활동자료가 기후형과 토양형에 의하여 적절하게 계층화되었는지 2) 관리 분류 체계 / 서술이 적절하게 적용되었는지 3) 활동자료가 워크시트 또는 조사 계산 소프트웨어로 적절하게 이동되었는지 4) 탄소(C) 축적량 변화계수, 준거 토양 탄소(C) 축적량, 잔류물 산정 (원료 량), 그리고 바이오매스 태우기 연소와 배출계수가 적절하게 할당되었는지. 품질보증/ 품질관리 측정은 자료 입력과 결과를 검토하는 프로그램에 내장된 기능뿐만 아니라 시각적인 검사를 포함할 수 있다. 그들이 토지이용 통계 자료와 일치하는 지를 결정하기 위하여 워크시트 내에 각 층들에 따라서 면적을 합하는 것과 같은 요약 통계량은 도움을 줄 수 있다. 전체 면적은 조사 시간 동안 일정해야 하며, 층별 면적은 토지 이용 또는 관리 체계에 따라서만 변화해야 한다(기후, 토양 지역은 일정하게 남아야 한다).

외부 검토는 조사 접근, 조사 기록의 완전성, 방법 설명과 전체 투명성을 유효성을 고려하기 위해 필요하다. 농경지의 전체 면적이 현실적인지를 검증하는 것이 중요하다. 그리고 검토자는 조사 기간의 매년만아 어떤 국가에 대한 전체 토지 기반의 합이 일정하다는 것을 보증하기 위하여 토지

이용 카테고리(예, 임지, 농경지, 초지 등)에 걸쳐서 면적 산정을 이중 검토해야만 한다.

Tier 2

Tier 1에서 품질보증/ 품질관리 검토 측정에 추가하여, 조사 기간은 국가특이적인 기후형, 토양형, 관리 체계 분류, 탄소(C) 축적량 변화계수, 준거 토양 축적량, 잔류물 산정 (연료량), 연소 계수와 바이오매스 태우기에 대한 비이산화탄소(C) 배출계수들을 검토해야만 한다. 만일 직접적인 관측에 근거하여 계수들을 사용한다면, 조사 기간은 그들이 환경과 관리 조건의 실제 범위를 대표하는지 그리고 인정받는 기준(IAEA, 1992)에 따라서 개발되었는지를 보증하기 위하여 그 측정들을 검토해야만 한다. 해당된다면, IPCC 기본 값에 추가하여 비교할만한 환경을 가진 다른 국가들에 의하여 사용되는 Tier 2 축적량 변화와 배출계수와 국가특이적인 계수들을 비교하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

주어진 배출과 저감 경향의 복잡성에서, 현장에서의 전문가는 국가 특이적인 기후형, 토양 형, 그리고 관리 체계 서술과 더불어 잔류물 연료량 산정, 축적량 변화계수, 연소와 배출계수들을 검토하는 외부 검토에 관여해야만 한다.

Tier 3

국가 특이적인 조사 체계는 추가적인 품질보증/ 품질관리를 필요로 하는 경향이 있다. 하지만 이것은 개발된 체계에 의존할 것이다. 국가의 앞선 조사 체계, 보고 기록, 기록을 보고하는 요약 결과를 포함하여 이것들에 맞는 국가특이적인 품질보증/ 품질관리 방법을 개발하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

5.4.4 보고와 기록

Tier 1

일반적으로 국가적인 조사 산정을 생산하는 데 요구되는 모든 정보를 기록하고 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. Tier 1에 대하여 조사자는 농경지에 대한 활동자료 경향과 불확도를 기록해야만 한다. 주요한 이용들은 토지 이용 변화, 무기질 비료 사용, 농임업 방식, 유기 개량, 경작 관리, 윤작, 잔류물 관리 (바이오매스 태우기 포함), 관개 방식, 혼합된 경작 체계의 범위, 벼농사의 수문 관리, 그리고 토지 이용 변화를 포함한다.

농업 인구 조사 자료와 자료 계산에 사용되는 절차(예, 통계 프로그램), 활동자료를 구분하거나 합치는 데 필요한 정의, 기후형과 토양형에 따라서 활동자료를 구분하는데 사용되는 절차 같은 실질적인 자료 묶음을 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 워크시트 또는 조사 소프트웨어는 결과를 생산하려고 만들어지는 투입과 출력 자료와 함께 보관되어야 한다.

자료묶음에서 직접적으로 활용 가능한 자료가 없거나 다중 자료 묶음이 경합된 경우에는 활동자료를 유도하는데 사용된 정보, 가정, 절차들이 서술되어야만 한다. 이러한 기록은 자료의 수집 빈도와 산정, 불확도를 포함해야만 한다. 전문가의 지식 사용은 기록되어야 하고 상응하게 보관되어야 한다.

토지이용과 관리 활동의 관점에서 바이오매스 태우기 뿐만 아니라 바이오매스와 토양 탄소(C) 축적량의 경향을 기록하고 설명하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 바이오매스 축적량의 변화는 농임업 방식의 토지이용 또는 변화에 직접적으로 연결되어야 한다. 반면 토지 탄소(C) 축적량의

경향은 토지 이용 또는 앞서 서술한 중요한 관리 활동에 기인할 수 있다. 잔류물에서 바이오매스 태우기 배출은 식재를 위하여 농경지를 준비하는데 어느 범위까지 태우는 지에 따라 좌우될 것이다. 연간 배출의 중요한 변동은 반드시 설명되어야 한다.

국가들은 그들의 조사의 완전성, 시계열 일관성 또는 그것의 부족과 관련된 문제, 질적 보장 /질 통제 측정과 결과의 요약에 대한 기록을 포함할 필요가 있다.

Tier 2

Tier 1의 고려사항에 추가하여, 조사자는 국가특이적인 탄소(C) 축적량 변화계수, 준거 토양 탄소(C) 축적량, 작물잔사 산정 (연료 량), 바이오매스 태우기에 대한 연소와 배출계수, 관리 체계 분류, 기후와 토양형에 대하여 기저의 기초들을 기록해야 한다. 더 나아가, 국가특이적인 값을 산정하는데 사용되는 정보에 대한 metadata와 자료 배출원을 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

기록들을 보고하는 것은 국가특이적인 계수들 (예, 평균과 불확도)을 포함해야만 한다. 국가특이적인 계수와 (보고하는 국가와 유사한 환경을 가진 지역에서의 Tier 2 계수뿐만 아니라) Tier 1 기본값 사이의 차이에 대한 조사 보고에서의 논의를 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 만약 다른 배출계수, 매개변수와 방법이 다른 년도에 사용된다면, 이러한 변화에 대한 이유가 설명되어야 하고 기록되어야 한다. 추가하여 조사 시간은 국가특이적인 관리 분류체계, 기후와 토양형을 서술되어야 한다. 그리고 새로운 분류체계에 근거한 조사 방법의 개선을 기록하도록 권장된다. 예를 들어, 경작 관리 방식은 Tier 1 분류 체계 (예, 저감된, 경작 없음, 최대한의 경작)를 넘는 추가적으로 하위분류될 수 있다. 하지만 더 나아간 하위 카테고리는 축적량 변화 또는 배출계수가 새로운 카테고리들 사이에서 유효하게 다를 때만 조사 산정을 증진시킬 것이다.

배출과 저감의 경향을 논의할 때, 해마다 활동 수준과 방법의 변화 사이의 구분이 이루어져야 한다. 그리고 그러한 변화의 이유가 기록되어야 한다.

Tier 3

Tier 3 조사는 낮은 단계 접근과 마찬가지로 활동 자료와 배출/저감 경향에 대한 유사한 기록을 필요로 할 것이다. 하지만 추가적인 기록들은 국가특이적인 산정 체계의 기초적인 기반과 틀을 설명이 포함되어야 한다. 측정 기반의 조사와 더불어 표본 설계, 실험 절차, 자료 분석 기법을 기록하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 측정 자료는 자료 분석으로부터 결과에 따라서 보관되어야 한다. 모형을 사용하는 Tier 3 접근에 대해서 모든 모형 입력 자료와 배출원 코드, 그리고 실행 가능한 프로그램과 더불어 모형 버전을 기록하고 모델에 대한 서술을 제공하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

5.5 벼 재배에 의한 메탄 배출

범람된 논에서 유기 물질의 혐기성 분해는 메탄을 방출시킨다. 메탄은 대기 중으로 주로 벼를 통하여 대기 중으로 배출된다(Takai, 1970; Cicerone and Shetter, 1981; Conrad, 1989; Nouchi et al., 1990). 주어진 논의 면적에서 배출된 메탄의 연간 양은 지란 경작물의 수와 기간, 경작기[3] 이전과 동안의 수문 영역, 유기 및 무기 토양 개량의 함수이다(Neue and Sass, 1994; Minami, 1995). 토양 형, 온도, 그리고 벼 품종 또한 메탄 발생이 영향을 미친다.

3 그루터기 작물 (ratoon crop)의 경우, 경작기는 각각의 날수의 의하여 확장되어야 한다.

1996년 *Guidelines*과 *GPG 2000*과 비교하여 메탄 배출을 계산하는 새로운 가이드라인는 다양한 변화를 포함한다. 이것들은 주로, (1) 활용 가능한 자료의 개선된 분석으로 유도된 배율과 규모 계수의 개정 (2) 계절적인 대신에 일변화의 배출계수 사용 - 경작 시기와 휴경 기간을 구분하는데 보다 유연함을 허락하는 배출계수 (3) 경작기 이전의 수문 체계와 짚 포함의 시기에 대한 새로운 규모 계수 (4) 2006 가이드라인 개정의 일반적인 원칙에 맞는 Tier 3 접근의 포함이다. 개정된 가이드라인은 또한 11장에서 다루어지는 벼농사 (관리된 토양의 한 가지 형태로서)에서 구분된 N_2O의 계산을 유지한다.

5.5.1 방법의 선택

벼농사에서 메탄 배출의 산정하는 기본 식은 식 5.1에 주어져있다. 메탄 배출은 일 배출계수를 벼 경작 기간과 연간 수확 면적[4]들에 곱하여 계산된다. 가장 단순한 형태로서, 이 식은 국가적인 활동자료(예, 국가적인 평균 벼 경작 기간과 수확된 면적), 한 가지 배출계수를 사용하여 계산된다. 하지만 국가적인 조건과 벼 생산의 농업적인 관리는 어떤 국가 내에서 높게 변화된다. 이러한 변이를 국가적인 전체 수확 면적을 하위 단위(예, 다른 수문 체계하의 수확 면적)로 구분하여 다루는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 각 하위 단위 별 수확된 면적은 그 하위 단위를 나타내는 조건을 대표하는 경작기와 배출계수로 곱해진다(Sass, 2002). 이러한 구분된 접근을 가지고, 전체 연간 배출은 각 수확 면적의 하위 단위로부터 배출의 합계와 같다.

식 5.1 농경지로부터 메탄 배출

$$CH_{4\ Rice} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \bullet t_{i,j,k} \bullet A_{i,j,k} \bullet 10^{-6})$$

여기서:

$CH_{4\ Rice}$ = 논에서 연간 메탄 배출, Gg CH_4 yr^{-1}

EFijk = i, j, k 조건에서 일 배출계수, kg CH_4 ha^{-1} day^{-1}

tijk = i, j, k 조건에서 벼 경작 기간, day

Aijk = i, j, k 조건에서 벼의 연간 수확 면적, ha yr^{-1}

i, j, k = 다른 생태계, 수문 체계, 유기 개량제의 양과 종류, 그리고 벼로부터 메탄 배출이 변화하는 다른 조건을 나타낸다.

고려해야만 하는 다른 조건은 벼 생태계 종류, 경작기 이전과 동안의 범람 패턴, 유기 개량의 형태와 양을 포함한다. 만일 이러한 조건과 메탄 발생과의 관계에 대한 국가특이적인 정보가 활용가능하다면 토양 종류와 벼 변종과 같은 다른 조건들은 구분을 위하여 고려될 수 있다. 벼 생태계 종류와 농경지 동안의 수문 체계가 표 5.12에 주어져있다. 만약 국가적인 벼 생산이 기후형과 다른 생산 체계 (예, 범람 패턴)로 나뉠 수 있다면, 식 5.1은 각 영역에 대하여 각각 적용되어야만

4 같은 해 동안 다중 경작의 경우, 수확된 면적은 각 작물에 대하여 경작된 면적의 합과 같다.

한다. 만약 벼 통계 자료와 전문가의 판단이 관리 방식 또는 행정적인 단위에 따른 다른 계수를 구분하는데 활용가능하다면 식 5.1은 각 영역에 대하여 각각 적용되어야만 한다. 추가하여, 주어진 해 동안에 만약 한 가지 이상의 작물이 수확된다면 배출은 경작 방식 (예, 유기 개량지의 사용, 경작 시기 이전과 동안의 범람 패턴)의 가능한 차이를 반영하면서 각 경작 시기에 대하여 계산되어야 한다.

식 5.2의 의사결정도은 IPCC 접근의 *우수실행(good practice)*을 적용하는 과정을 통하여 조사 기관을 안내한다. 이 의사결정도가 암시하는 것은 IPCC 방식의 실행에서 구분된 위계이다. 이러한 위계 내에서 조사 기관에서 사용한 구분의 수준은 국가적인 온실가스 배출의 기여자로서 벼의 중요성 뿐 만아니라, 활동과 배출계수 자료의 활용가능성에 의존할 것이다. 이 의사결정도에서 구체적인 단계와 변수들, 그리고 그 이면의 논리들은 다음의 의사결정도를 다루는 본문에서 논의된다.

Tier 1

Tier 1은 논에서의 메탄 배출이 주요한 카테고리가 아니거나 국가특이적인 배출계수가 존재하지 않는 국가들에 적용된다. 벼의 연간 수확 면적의 구분은 최대한 세 기본 수문 체계 (관개된, 비로 모여진, 그리고 육지)에 대하여 행하여진다. (상지 5.2에 요약된) 메탄 배출에 영향을 주는 가능한 한 많은 조건들 (*i, j, k,* 등)을 포괄하도록 장려된다. 각 하위 단위에 대한 배출은 식 5.2에 나타난 다양한 규모 계수들을 표준 기본값 배출계수 (벼 경작 이전에 180 이내에 계절적 범람이 없고 유기 개량 (EF_c) 없는 지속적으로 범람된 농경지에 대한)에 곱하여 조정된다. 계산은 식 5.1에서처럼 각 수문 체계와 유기 개량에 대하여 각각 수행된다.

박스 5.2

논으로부터 메탄 배출에 영향을 주는 조건들

다음의 벼 경작 특성들은 배출계수를 개발할 때와 메탄 배출을 계산할 때 고려되어야 한다.

벼 경작 방식에서 지역적인 차이: 국가가 크고 다른 기후와 생산 체계 (예, 범람 패턴)를 가진 구분된 농업 영역을 가지고 있다면 개별적인 계산의 방법이 각 영역에 대하여 수행되어야 한다.

다중 작물: 만일 한 작물 이상이 주어진 해에 수확되고 자라는 조건이 경작 시기에서 다르다면, 계산은 각 계절별로 수행되어야 한다.

수문 체계: 이 장의 영역에서 수문 체계는 (1) 생태계 종류와 (2) 범람 패턴으로 정의 된다.

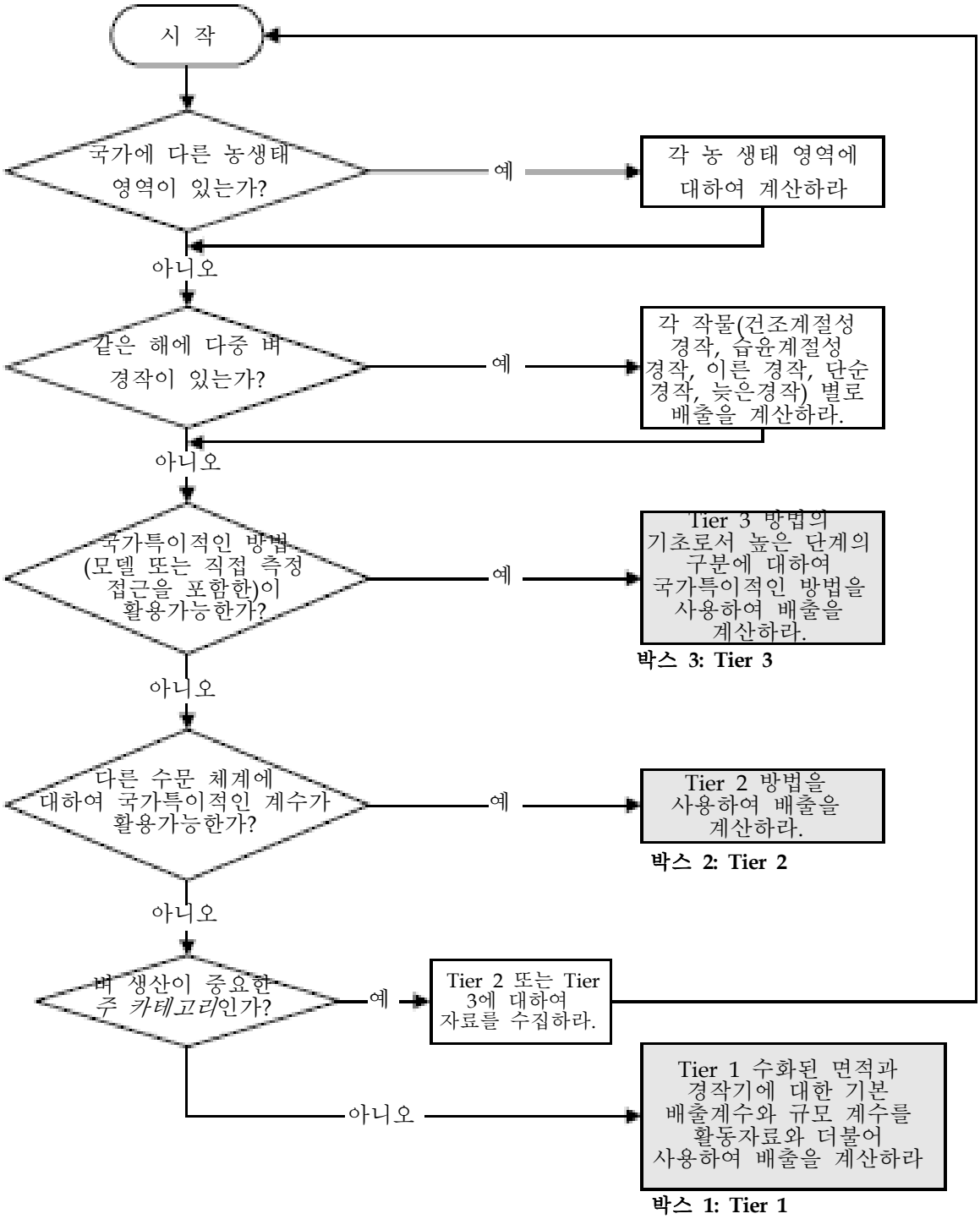
생태계 종류: 최소한 구별된 계산은 각 벼 생태계 별(예, 관개된, 천수답, 깊은 물 벼 생산) 로 이루어져야 한다.

범람 패턴: 논의 범람 패턴은 메탄 배출에 상당한 영향을 준다(Sass *et al.*, 1992; Yagi *et al*, 1996; Wassmann *et al.*, 2000). 벼 생태계는 경작기 동안의 범람 패턴에 따라서 지속적으로 그리고 때때로 범람되는 (관개된 벼), 그리고 정규적으로 비로 채워진, 가뭄에 걸리기 쉬운, 깊은 물 (비로 채워진)로 더 나뉠 수 있다. 또한 경작기 이전의 범람 패턴이 고려되어야 한다(Yagi *et al.*, 1998; Cai *et al.*, 2000; 2003a; Fitzgerald *et al.*, 2000).

토양의 유기 개량: 벼 토양으로 통합되는 유기 물질은 메탄 발생을 증가 시킨다 (Sch□tz *et al.*, 1989; Yagi and Minami, 1990; Sass *et al.*, 1991). 메탄 발생에 미치는 유기 개량제의 영향은 투입 반응 곡선으로 서술될 수 있는 적용되는 물질의 종류와 양에 달려있다 (Denier van der Gon and Neue, 1995; Yan *et al.*, 2005). 토양에 통합되는 유기 물질은 내부에(짚, 퇴비, 등) 또는 외부(복합 비료, 농장 비료 등)에 기인할 수 있다. 배출의 계산은 유기 개량제의 영향을 고려해야만 한다.

다른 조건들: 토양 형(Sass *et al.*, 1994; Wassmann *et al.*, 1998; Huang *et al.*, 2002), 벼 품종(Watanabe and Kimura, 1998; Wassmann and Aulakh, 2000), 황을 포함한 개량제(Lindau *et al.*, 1993; Denier van der Gon and Neue, 2002)등이 메탄 배출에 유효하게 영향을 줄 수 있다는 것이 알려져 있다. 조사 기관은 만약 이러한 조건들과 메탄 발생과의 관계에 대한 국가특이적인 정보가 활용가능하다면, 이러한 조건을 고려하는 모든 노력을 기울이도록 장려된다.

그림 5.2 벼 생산에서 메탄 배출에 대한 의사결정도



주:

1: *주 카테고리*들과 의사결정도의 사용에 대한 논의를 위하여 제1권 제4장, "방법 선택과 주 카테고리의 확인" (제한된 자원에 대한 절 4.1.2)을 참조하라.

식 5.2
조절된 일 배출계수

$$EF_i = EF_c \bullet SF_w \bullet SF_p \bullet SF_o \bullet SF_{s,r}$$

여기서:

EF_i = 특정한 수확 면적에 대하여 조절된 일 배출계수

EF_c = 유기 개량제가 없는 지속적으로 범람된 농경지에 대한 표준 배출계수

SF_w = 경작기 동안에 수문 체계의 차이에 대한 규모 계수 (표 5.12로부터)

SF_p = 경작기 이전의 수문 체계의 차이에 대한 규모 계수 (표 5.13로부터)

SF_o = 적용된 유기 개량제의 종류와 양에 대하여 규모 계수는 달라야 한다. (식 5.3과 표 5.14로 부터)

$SF_{s,r}$ = 토양형, 벼 품종, 기타에 대한 규모 계수, 만일 해당한다면.

Tier 2

Tier 2는 1 단계와 같은 방법론적인 접근을 사용한다. 하지만 국가특이적인 배출계수와 규모 계수는 반드시 사용되어야 한다. 이러한 국가 특이적인 계수들은 현지 자료의 수집을 통하여 사전에 개발된, 조건들 (*i,j,k* 등)의 메탄 배출에 미치는 지역적인 영향을 반영할 필요가 있다. Tier 1 접근에 관해서라면, 가장 구분된 수준에서의 방법을 실행하고, 메탄 배출에 영향을 주는 다중의 조건들 (*i,j,k* 등)을 포괄하도록 장려된다.

Tier 3

Tier 3은 벼 경작의 국가적인 환경을 다루고, 시간에 따라 반복되며, 고해상도 활동자료와 하위 국가적 수준에서 구분하기 위한 모형과 모니터링 체계를 포함한다. 모형은 실증적 또는 기계적일 수 있으나, 국가로부터의 독립된 관측 또는 벼 경작 특성의 범위를 다루는 지역 특이적인 연구들로 검증되어야만 한다(Cai et al., 2003b; Li et al., 2004; Huang et al., 2004). 자료의 유효성과 완전성, 가정, 사용된 식과 모형에 대한 적합한 기록은 그러므로 결정적이다. Tier 3 방법은 연중 태풍 피해, 가뭄 스트레스 등으로 촉발되는 연내 변이들을 고려할 수도 있다. 이상적으로 최근의 위성 자료에 근거하여 평가가 이루어져야 한다.

5.5.2 배출과 규모 계수의 선택

Tier 1

벼 생산 이전의 180일 이내에 범람되지 않는 농경지와 경작기 동안 유기 개량제(EF_c)가 없는 범람된 벼 농경지에 대한 기본 배출계수가 시작점으로 사용된다. EFc에 대한 IPCC 기본 값은 1.30 kg CH_4 ha^{-1} day^{-1} (0.80-2.20의 오차 범위, 표 5.11)이다. 이 수치는 활용 가능한 농경지 측정 자료의

통계적인 분석에 근거 한다 (Yan *et al.*, 2005, 분석에 사용된 자료 묶음은 웹사이트에서 이용 가능하다[5]).

EF_c를 박스글 5.2에 논의된 다양한 조건들을 다루기 위하여 조정하는 데 규모 계수들이 사용된다. 이로 인하여 식 5.2에 따라서 구분된 수확된 면적의 특정 하위 단위에 대하여 조정된 일 배출계수가 구해진다. 가장 중요한 규모 계수들, 주로 경작기 전과 동안의 수문 체계와 유기 개량제, 이 표 5.12, 513, 5.14에 기본값을 통하여 각각 나타난다. 국가 특이적인 규모 계수는 그들이 잘 연구되고 기록된 측정 자료에 근거할 때만 되어야 한다. 토양 형, 벼 품종 그리고 가능한 다른 요소들을 고려하도록 권장된다.

표 5.11
180일보다 적은 기간 동안 범람이 없고, 경작기동안에 유기 개량제 없이 범람되는 농경지로 가정한 메탄 기본 배출계수

메탄 (CH_4) 배출 ($kg\ C_4\ ha^{-1}\ d^{-1}$)	배출계수	오차 범위
	1.30	0.80 - 2.20
출처: Yan *et al.*, 2005		

경작기 동안 수문 체계 (SFw): 표 5.12는 다른 수문 체계를 반영하는 기본 규모 계수와 오차 범위를 제공하다. 합쳐진 경우는 활동자료가 벼 생태계 종류는 알 수 있지만 범람 패턴은 모르는 경우 (박스 5.2를 보라)에 상황을 나타낸다. 구분된 경우는 범람 패턴이 표 5.1.2에 나타난 대로 세 가지 하위 카테고리의 형태로 구분될 수 있을 때이다. 가능한 한 보다 구분된 활동자료를 수집하고 구분된 SF_w 경우를 적용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

5 http://www.jamstec.go.jp/frcgc/

표 5.12
지속적으로 범람된 농경지에 비교하여 경작기 동안 기본 메탄 배출 규모 계수

수문 체계		합쳐진 경우		구분된 경우	
		규모 계수 (SFw)	오차 범위	규모 계수 (SFw)	오차 범위
육지[a]		0	-	0	-
관개된[b]	지속적 범람	0.78	0.62 - 0.98	1	0.79 - 1.26
	간헐적 범람 - 단일 통기 (aeration)			0.60	0.46 - 0.80
	간헐적 범람 - 다중 통기 (aeration)			0.52	0.41 - 0.66
비로 채워진, 그리고 깊은 물[c]	일반적으로 비로 채워진	0.27	0.21 - 0.34	0.28	0.21 - 0.37
	가뭄 경향의			0.25	0.18 - 0.36
	깊은 물			0.31	ND

ND: 결정되지 않음
a 농경지가 중요한 시기에 범람되지 않는다.
b 농경지가 중요한 시기에 범람되고 수문 체계가 충분히 조절된다.
지속적으로 범람된: 농경지가 벼 생장 기간에 걸쳐서 수면을 가지고 있고, 수확기 동안만 건조 된다. (시즌 말 배수).
간헐적으로 범람된 : 경작기 동안 최소한 3일 이상의 노출기를 가진다.
- 단일 통기: 농경지가 어떤 성장기에 단 한번의 노출기를 가진다.
- 다중 통기: 농경지가 어떤 성장기에 한번 이상의 노출기를 가진다. (시즌 말 배수를 제외하고).

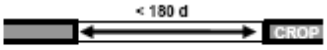
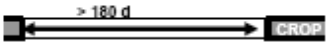
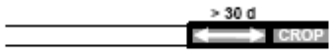
c 농경지가 중요한 시기에 범람되고 수문 체계는 강수에만 의존한다.
일반적으로 비로 채워진: 경작기 동안 50cm까지 수문이 높아짐
가뭄 경향의: 모든 경작기 동안에 가뭄이 일어난다.
깊은 물: 범람수가 경작기 동안 50cm 이상까지 수문이 높아짐
주의: 목본성 습지, 내륙, 염 습지들과 같은 다른 벼 생태계 카테고리는 각 하위 카테고리별로 구분될 수 있다.
출처: Yan *et al.*, 2005

경작기 (SFp) 이전의 수문 체계: 표 5.13은 경작기 이전의 수문 체계에 대한 기본 규모 계수를 제공한다. 이것은 국가특이적인 자료가 활용 불가능할 때 사용될 수 있다. 이 표는 벼 경작 이전의 수문 체계를 다음 세 가지로 주로 구분한다.

1. 경작이전 비 범람 < 180 일 종종 벼의 두 번 경작에서 발생
2. 경작이전 비 범람 > 180 일, 예로 건조 휴경지에 이어서 단일 벼; 그리고
3. 경작이전 범람 최소 간격이 30일까지고 설정됨; 예, 그보다 짧은 범람 기간(대체로 토양을 쟁기질 준비를 위하여 행해지는)은 이 카테고리에 포함 안됨.

경작기 이전의 수문 체계에 대한 활동자료가 없다면, 뭉쳐진 경우 계수가 사용될 수 있다. 보다 구분된 활동자료를 수집하여 구분된 SF_P의 경우를 적용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 추가적인 수문 영역에 대한 규모 계수들은 국가 특이적인 자료가 있을 때 적용될 수 있다.

표 5.13
경작기 이전의 수문 체계에 대한 기본 메탄 배출 규모 계수

경작기 이전 수문 체계(회색으로 칠해진 부분이 범람기)	집합 경우		분해 경우	
	비례계수 (SF_P)	오차범위	비례계수 (SF_P)	오차범위
비범람 시기 <180d 	1.22	1.07-1.40	1	0.88-1.14
비범람 시기 >180d 			0.68	0.58-0.80
범람 시기 (>30d)[a,b] 			1.90	1.65-2.18

[a] 30일보다 적은 기간의 범람에 대해서는 고려하지 않는다.
[b] 이전 계절의 배출 계산에 관해서는 다름을 참조하여라 (completeness 부분 참조)
출처: Yan *et al.*, 2005

유기 개량제 (SF_o): 적용된 유기 개량제의 종류(혼합 퇴비, 농장 퇴비, 퇴비, 짚)에 양에 대한 정보를 포괄하는 규모 계수를 개발하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 똑같은 물질 기초에서, 높은 양의 쉽게 분해 가능한 탄소(C)를 가진 개량제로부터 보다 많은 메탄이 배출되고 보다 많은 유기 개량제가 적용될수록 메탄 발생이 증가한다. 짚은 종종 수확 이후에 토양에 투입된다. 짚의 토양 투입 이후에 긴 휴경기의 경우, 이어지는 벼 재배기간에 메탄 발생은 벼 이식 직전에 짚이 토양 투입된 경우보다 작을 것이다 (Fitzgerald *et at.*, 2000). 그러므로 볏짚 적용의 시기가 구분되었다. 0.54-0.64의 불확도의 범위가 식 5.3의 지수 0.59에 적용될 수 있다.

식 5.3
유기 개량제에 대한 조정된 메탄 배출 규모 계수

$$SF_o = \left(1 + \sum_i ROA_i \bullet CFOA_i\right)^{0.59}$$

여기서:

SF_o = 적용된 유기 개량제의 종류와 양에 대한 규모 계수

ROA_i = 유기 개량제 i의 적용 비율, 짚에 대한 건중량 다른 것에 대한 바이오매스 tonne ha^{-1}

$CFOA_i$ = 표 5.14에 나온 것처럼 유기 개량제 i 대한 전환 계수 (경작 직전에 적용된 짚에 대하여 상대적인 영향의 관점에서)

표 5.14
유기 개량제의 다른 종류에 대한 기본 전환 계수

유기 계량제	전환 계수 (CFOA)	오차 범위
경작 이전에 (30일 이내) 짚 서론[a]	1	0.97 - 1.04
경작 이전에 (30일 이후) 짚 서론[a]	0.29	0.20 - 0.40
혼합 비료	0.05	0.01 - 0.08
농장 퇴비	0.14	0.07 - 0.20
자연 퇴비	0.50	0.30 - 0.60

[a] 짚 서론은 짚이 토양에 서론된 것을 의미한다. 그것은 짚이 토양 표면에 단순히 위치하거나 짚이 농경지에서 태워진 것을 포함하지 않는다. 출처: Yan et al., 2005

토양 형태 (SF_s)와 벼 품종 (SF_r): 어떤 국가들에서 다른 토양 유형과 벼 품종에 ego나 배출 자료가 활용가능하고 SF_s와 SF_r 각각을 유도하는데 사용될 수 있다. 실험과 기계적인 지식이 이러한 계수들의 중요성을 확인시킨다. 하지만 활용 가능한 자료내의 넓은 변이는 정확한 기본 값을 정의할 수 있도록 허락하지 않는다. 가까운 미래에 SF_s와 SF_r 에 대한 특정한 규모 계수를 생산하는 모형이 활용 가능할 것으로 예상한다.

Tier 2

조사 기관은 그들의 상대적인 국가에서 벼 경작의 조건을 반영하는 현장 측정 자료로부터 국가 특이적인 배출계수를 사용할 수 있다. 이러한 자료 묶음에 아직 포함되지 않은 다른 측정 프로그램 (예, 국가적인)에 의하여 Emission Factor 자료 묶음[6] 을 보충하는 활용 가능한 현장 측정에 근거하는 국가특이적인 자료를 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 하지만 어떤 표준 QA/QC (품질보증/ 품질관리)요구사항들은 이러한 현장 측정 자료를 적용 한다 (절 5.5.5 참조).

Tier 2에서 조사 기관들은 그들의 상대적인 국가에서 발견되는 우세한 조건들에 따라서 기준 관리를 정의할 수 있고 그러한 기준에 대한 국가 특이적인 배출계수를 결정할 수 있다. 그때 조사 기관들은 기준보다 다른 관리 방식에 대한 국가특이적인 규모 계수들을 또한 결정할 수 있다. 국가 특이적인 규모 계수들이 없는 경우에, 기본 규모 계수가 사용될 수 있다. 하지만 그 조건이 기준과 다르다면, 표 5.12에서 5.14에서 주어진 규모 계수의 어떤 재계산을 요구할 수 있다.

Tier 3

Tier 3 기준은 배출계수의 선택을 요구하지 않는다. 하지만 대신에 유도와 매게 변수들의 이해에 근거 한다 (위 참조).

5.5.3 활동자료의 선택

위에서 요구된 본질적인 활동자료에 추가하여 활동자료로서 같은 구분의 수준에 유기 개량과 토양형을 일치시키는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 적용한 유기 개량제의 종류와 량에 대한 자료를 얻는 경작 방식의 완전한 조사가 필수적일 수 있다.

6 http://www.jamstec.go.jp/frcgc/

활동자료는 수확된 면적 통계에 주로 근거한다. 그것은 경작 기간과 농업 방식에 대한 보완적인 정보와 더불어 국가적인 통계 기관에서 활용 가능해야만 한다. 활동자료는 벼 경작 방식 또는 수문 체계에서의 지역적인 차이로 구분되어야 한다(박스 5.2 참조). 수확된 면적 산정은 얻어진 보고 방식을 통하여 국가적인 차원에서 얻어진 다른 조건들에 상응한다. 지역적으로 구체화된 지역의 사용은 그들이 기후, 농업 방식, 토양 속성과 같은 다른 조건아래에서 배출계수에 대한 활용 가능한 자료와 연관될 때 가장 가치 있다. 만일 이러한 자료가 국가 내에 활용가능하지 않다면, 국제적인 자료 배출원들로부터 얻어질 수 있다: 예, IRRI (1995)와 IRRI[7] (International Rice Research Institute)의 World Rice Statistics 웹사이트에서 얻어질 수 있다. 이 사이트에서는 중요한 벼 생산 국가에 대하여 생태계 유형별로 벼의 수확면적, 각 구가별 벼 작물 달력, 그리고 다른 중요한 정보를 포함한다. FAO의 웹사이트에서 FAOSTAT[8]에서도 가능하다.

지역적으로 검증된 면적들은 그들이 다른 기후, 농업 방식, 토양 속성 아래에 배출계수에 대한 활용 가능한 자료와 관련될 때 가장 가치가 있다. 메탄 배출에 적절한 농업 방식(유기 개량제, 수문관리, 등)의 조사를 위하여 지역 전문가와 상의하는 것은 필수적일 수 있다.

활동자료는 배출계수의 정확성과 비교하여 보다 신뢰할 수 있을 가능성이 가장 높다. 면적 통계가 편중될 수 있는 다양한 이유로 그 원격 탐사된 자료를 가지고 있는 국가에 대하여 수확된 면적을 검토하는 것은 장려된다.

위에서 요구된 본질적인 활동자료에 추가하여, 특히 Tier 2와 3 접근에서 유기적 개량과 다른 조건들에 대한 자료를 활동자료로서 구분의 같은 수준에 일치시키는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

5.5.4 불확도 평가

국가적 배출 조사에 대한 적절한 불확도 평가의 일반적인 원칙들이 1권 3장에 서술되어 있다. 불확도 평가와 규모 계수는 연간 기후 변이, 현장 또는 토양 단위에서 균질할 것으로 산정되는 단위 내의 변이들 국가적인 변이에 의하여 영향을 받을 수 있다. 이러한 배출원 카테고리에 대하여, 충분한 실험적 자료가 활용 가능할 때, 표준 통계 방식을 사용하여 불확도를 결정을 허용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 불확도를 정량화하기 위한 연구들은 드물지만 존재한다(예, 서론된 토양형 변이에 대하여). 그러한 연구들에서 발견되는 변이들은 일반적으로 유효하다고 가정된다. 보다 자세한 사항은 Sass (2002)를 보라.

규모 계수를 배정하기 위해 필수적으로 필요한 중요한 활동자료 (예, 경작 방식과 유기 개량제)가 현재의 자료 묶음 /통계에서 활용가능하지 않을 수 있다. 특정한 방식 또는 개량을 사용하는 벼 농사꾼의 비율에 대한 산정은 반드시 전문의가 판단에 기초해야 한다. 비율 산정의 불확도에 대한 기본 값으로 0.2로 간주 된다 (예, 유기 개량제를 사용하는 농사꾼의 비율이 0.4라면, 불확도는 0.2-0.6이다.) 1권 3장은 전문가 판단과 실험적 자료를 전체 불확도 산정으로 통합하는 것을 포함하는 방식의 불확도를 정량하는데 필요한 조언들을 제공한다.

벼 경작에서 메탄 배출의 경우, Tier 1 값의 불확도의 범위 (배출과 규모 계수들)는 표 5.11에서

7 http://www.irri.org/science/ricestat/

8 http://faostat.fao.org/

5.14에서 직접적으로 얻어질 수 있다. 범위들은 이러한 배출원 카테고리에 대한 주어진 기본 값과 연관된 불확도를 나타내면서 평균에 대한 표준편차로서 정의된다. 식 5.3의 지수들은 0.54-0.64의 불확도를 가지고 주어졌다. Tier 2와 단계3 접근의 불확도 평가는 사용된 상대적인 자료 묶음과 모형에 의존할 것이다. 그러므로, 4권 3장 절 3.5에서 약술된 모형 접근뿐만 아니라 1권 3장에 약술된 통계 분석의 일반적인 원칙을 적용하는 *우수실행(good practice)*이다.

5.5.5 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고

완전성

이 배출원 카테고리에 대해 완전하게 다루는 것은 다음의 활용들이 존재하는 곳에서 배출 산정을 요구한다.

- 만일 토양 침수가 실제 벼 성장기에 제한되지 않는다면, 벼 성장기 밖에서의 배출이 포함되어야 한다(예, 범람된 휴경기). 추가적인 정보는 Yagi *et al.*, 1998; Cai *et al.*, 2000; and Cai *et al.* 2003a를 참조하라.
- 늪, 내륙-염, 조수 논과 같은 다른 벼 생태계 카테고리가 지역 배출 측정에 따라서 각 하위 카테고리 내에서 구별될 수 있다.
- 만약 한 가지이상의 벼 작물이 연간으로 자란다면, 이러한 벼 생산들은 지역적 정의(이전 벼, 나중 벼, 습윤기 벼, 건조기 벼)에 따라서 독립적으로 보고되어야만 한다. 벼 작물들은 다른 계절적으로 통합된 배출계수와 유기 개량제와 같은 다른 변경자에 대한 다른 교정 계수를 가진 다른 카테고리로 분류될 수 있다.

일관성 있는 시계열 개발하기

다른 배출원과 카테고리에 대해서, 논에서 메탄 배출을 측정하는 방법들은 시계열과 같은 구분의 수준에서 매년 일괄적으로 적용되어야 한다. 만약 자세한 활용 수준 자료가 이전 년도에 없다면, 이러한 해들에 대한 배출은 1권 5장에 제공된 안내에 따라서 다시 계산되어야만 한다. 만일 시계열에 걸쳐서 메탄 배출에 영향을 미치는 농업 방식에 유효한 변화가 있다면, 산정 방법은 이러한 변화들의 영향을 분별할 만큼 충분한 구분의 수준에서 실행되어야 한다. 예를 들어, 새로운 벼 품종의 채택, 무기질 비료 사용의 증가, 개선된 수 관리, 유기 개량제의 변화하는 사용, 그리고 벼 직파 재배와 같은 (아시아의) 벼 농업의 다양한 경향들은 전체 배출을 증가시키거나 감소시킬 것이다. 이러한 변화들의 영향을 반영하기 위해서 모형 연구의 사용이 필수적일 수 있다.

보고와 기록

1권 8장에 약술된 국가적인 배출 조사 산정을 생산하기 위하여 필요한 모든 정보를 기록하고 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 워크시트를 사용하지 않는 조사 기관은 비교할만한 정보를 제공해야만 한다. 만약 배출 산정이 지역에 따라서 구분된다면, 각 지역에서 정보는 보고되어야만 한다.

투명성을 높이기 위해서, 활용가능하다면, 다음의 추가적인 정보가 보고 되어야만 한다.

- 수 관리 방식

- 사용된 유기 개량제의 종류와 양 (벼 짚 또는 이전 작물 (벼가 아닌)의 잔류물의 서론은 그것이 일반적인 생산 방식이고 퇴비 추가와 경우에서처럼 영양 수준을 높이기 위하여 의도된 것이 아닐 지라도 유기 개량제로 고려되어야 한다.)
- 벼농사를 위해 사용되는 토양 형
- 연간 자라는 작물의 수; 그리고
- 자라는 가장 중요한 벼 품종

국가 특이적인 배출계수들을 사용하는 조사 기관은 그것들을 다른 출판된 배출계수와 비교하여 어떤 유의미한 차이를 설명하고 불확도에 대한 한계를 설정하려고 시도하면서 각 계수들의 기원과 기초들을 제공해야만 한다.

조사, 품질보증/품질관리(QA/QC)

1권 6장에 약술된 품질 통제 검사와 배출 산정에 전문가의 검토를 실행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 특히 높은 단계 방법들이 이러한 배출원으로부터 배출을 결정하는 데 사용된다면 1권 6장에 Tier 2 절치에 약술된 추가적인 질 통제와 질 보장 절차들은 적용할 수 있다.

현장 측정에 대한 조사 QA/QC의 자세한 처리는 Sass (2002)에 주어진다. 어떤 중요한 문제들이 강조되고 아래 요약된다.

표준 메탄(CH_4) 배출의 측정: 논 수준에서 사용되는 조사 QC 절차는 주로 지역 과학자들에 의하여 결정된다. 하지만 표준 배출계수들을 얻기 위한 어떤 국제적인 결정된 절차들이 있다. 표준 배출계수들은 모든 감시 프로그램에 공통적이어야 한다. 표준 배출계수를 얻기 위한 지시사항들은 IAEA (1992)와 IGAC (1994)에 포함된다. 모든 보고 국가의 각 실험실이 국가특이적인 배출계수를 확립하는데 사용되는 확장된 자료의 상호 비교와 검증을 확실하게하기 위하여 이러한 표준 배출계수를 얻는 것은 바람직하다.

국가적인 계수를 집계하기: 배출 자료를 획득하기 이전에 조사 기관은 자료 질과 표본 수집 절차에 대한 평가를 수행해야 한다. 이러한 형태의 검토는 보고된 배출을 검증하기 위해 충분한 정보를 얻도록 국가적 실험실들과 긴밀한 협조를 필요로 한다. 이 평가는 표본 다시 계산, 농업과 기후 자료의 신뢰성 평가, 방법론의 잠재적 편중의 확인, 개선을 위한 추천을 포함해야 한다.

현재로서, 외부 측정들을 통한 이러한 배출원 카테고리에서 배출 산정을 대조 검토하는 것은 가능하지 않다. 하지만 조사 기관들은 배출 산정이 질적 통제를 거치도록 보장해야 한다. 다음을 통하여:

- 집적된 경작 산물과 보고 된 현장 면적 통계 자료들을 국가적인 총계 또는 다른 경작 량/면적 자료와 함께 교차 검증하기;
- 집적된 배출과 다른 자료로부터 국가적인 배출계수를 역 계산하기
- 다른 국가들로부터 자료와 기본 값과 보고된 국가적인 총계와 비교하기.

별첨 5A.1 농경지에 대한 무기 토양 탄소배출/흡수를 위한 기본 축적량 변화계수 산정

기본 축적량 변화계수들은 표 5.5에 제공된다. 이 수치들은 경작, 투입, 휴경, 그리고 토지 이용에 대한 전 지구적인 실험적 결과의 자료 묶음을 사용하여 계산되었다. 토지 이용 계수는 지속적인 경작의 20년 이후에 일어난 탄소(C)의 손실을 대표한다. 경작과 투입 계수들은 관리 변화에 이어지는 20년 이후에 탄소(C) 축적량에 미치는 영향을 대표한다. 휴경 계수들은 생산으로부터 일시적인 농경지의 제거와 그것을 20년 까지 지속될 지도 모르는 기간 동안 영년생 경작으로 그것을 교체하는 것에 대한 영향을 대표한다.

실험적인 자료 (참고 문헌 모록에 제공된 인용들)는 일차 혼합 영향 모형(linear mixed- effects models)으로 분석되었다. 수정된 영향은 관리 변화 이후의 깊이, 년도, 관리 종류의 변화 (예, 저감된 경작 대 경작 없음)를 포함한다. 깊이에 관해서, 자료는 합쳐지지는 않았지만 자료 묶음에서 구별된 지점으로 각 깊이 별로 측정된 탄소(C) 축적량을 포함하였다(예, 0-5cm, 5-10cm, 10-30cm). 유사하게 시계열 자료는 심지어 이러한 측정들이 같은 방형구에서 수행 되었더라도 합쳐지지 않았다. 결과적으로, 같은 연구에서 시계열 자료, 다른 깊이를 대표하는 자료 지점들 사이에서의 의존성을 다루기 위하여 임의 효과가 사용되었다. 만일 유효하다면, 국가 수준의 임의 효과가 전 지구적인 기본 값을 특정한 국가에 적용하는 것과 연관된 추가적인 불확도(기본 불확도에 포함된)을 평가하기 위하여 사용되었다. 모형의 가정이 변이의 일반성과 균질성과 일치 하지 않으면(그 표에 전환 이전의 값이 주어진다), 국가적인 로그 변환으로 자료가 변형되었다. 계수들은 토양의 상위 30cm에서 20년 동안의 관리 방식의 영향을 대표한다. 20년간 또는 경작 이후의 더 기간 동안의 탄소(C)의 평균 손실 을 나타내는 토양 이용 계수는 여기에서 예외이다. Tier 1 방법의 사용자들은 조사 산정치를 20으로 나눠서 연간 변화를 근접하게 구할 수 있다. 분산은 각 계수 값에 대하여 계산되었고, 단순오차전개방법(simple error propagation methods)들과 함께 사용되거나 정규분포의 확률 분포 함수를 건설하는데 사용될 수 있다.

참고문헌

IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds).Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan

바이오매스

Albrecht, A. and Kandji, S.T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. Agriculture, Ecosytems and Environment 99: 15-27.

Hairiah, K. and Sitompul, S.M. (2000). Assessment and simulation of above-ground and below-ground carbon

dynamics. Report to Asia Pacific Network (APN). Brawijaya University, Faculty of Agriculture, Malang, Indonesia..

Lasco, R.D. and Suson, P.D. (1999). A Leucaena Leucocephala -based indigenous fallow system in central Philippines: the Naalad system. Intl Tree Crops Journal 10: 161-174.

Lasco, R.D., Lales, J.S., Arnuevo, M.T., Guillermo, I.Q., de Jesus, A.C., Medrano, R., Bajar, O.F. and Mendoza, C.V. (2002). Carbon dioxide (CO2) storage and sequstration of land cover in the Leyte Geothermal Reservation. Renewable Energy 25: 307-315.

Lasco, R.D., Sales, R.F., Estrella, R., Saplaco, S.R., Castillo, A.S.A., Cruz, R.V.O. and Pulhin, F.B. (2001). Carbon stocks assessment of two agroforestry systems in the Makiling Forest Reserve, Philippines. Philippine Agricultural Scientist 84: 401-407.

Millennium Ecosystems Assessment (2005). Ecosystems and Human Well-being: A Synthesis. Island Press, Washington DC. 137pp.

Moore III, B. (2002). Chapter 2 Challenges of a changing earth. In, Challenges of a Changing Earth (W. Steffen, J. Jaeger, D.J. Carson, and C. Bradshaw, eds). Berlin: Springer-Verlag. Pp. 7-17.

Palm, C.A., Woomer, P.L., Alegre, J., Arevalo, L., Castilla, C., Cordeiro, D.G., Feigl, B., Hairiah, K., Kotto- Same, J., Mendes, A., Maukam, A., Murdiyarso, D., Njomgang, R., Parton, W.J., Ricse, A., Rodrigues, V., Sitompus, S.M. and van Noordwijk, M. (1999). Carbon

sequestration and trace gas emissions in slash-and-burn and alternative land-uses in the Humid Tropics. ACB Climate Change Working Group. Final Report Phase II, Nairobi, Kenya.

Siregar, C.A. and Gintings, Ng. (2000). Research activities related to ground biomass measurement at Forestry Research Development Agency. Paper presented at the Workshop on LUCC and Greenhouse Gas Emissions Biophysical Data. Institut Pertanian Bogor. Indonesia, 16 December 2000.

Tjitrosemito, S. and Mawardi, I. (2000). 'Terrestrial carbon stock in oil palm plantation', Paper presented at the Science Policy Workshop on Terrestrial Carbon Assessment for Possible Trading under CDM Projects, Bogor, Indonesia 28-29 February 2000.

Tomich, T.P., van Noordwijk, M., Budidarsono, S., Gillison, A., Kusumanto, T., Murdiyarso, D., Stolle, T. and Fagi, A.M. (1998). Alternative to slash and burn in Indonesia. Summary Report and Synthesis of Phase II. ASB-Indonesia, Report No. 8, ICRAF, Bogor, Indonesia.

Wasrin, U.R., Rohiani, A, Putera, A.E. and Hidayat, A. (2000). Assessment of above-ground C-stock using remote sensing and GIS technique. Final Report, Seameo Biotrop, Bogor, 28p.

토양

Armentano, T.V. and Menges, E.S. (1986). Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. Journal of Ecology 74: 755-774.

Augustin, J., Merbach, W., Schmidt, W. and Reining, E. (1996). Effect of changing temperature and water table on trace gas emission from minerotrophic mires. Journal of Applied Botany-Angewandte Botanik 70, 45-51.

Bruce, J.P., Frome, M., Haites, E., Janzen, H., Lal, R. and Paustian, K. (1999). Carbon sequestration in soils. Journal of Soil and Water Conservation 54:382-389.

Davidson, E.A. and Ackerman, I.L. (1993). Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. Biogeochemistry, 20:161 164.

Falloon, P. and Smith, P. (2003). Accounting for changes in soil carbon under the Kyoto Protocol: need for improved long-term data sets to reduce uncertainty in model projections. Soil Use and Management, 19, 265-269.

Freibauer, A. (2003). Biogenic Emissions of Greenhouse Gases from European Agriculture. European Journal of Agronomy 19(2): 135-160.

Freibauer, A. and Kaltschmitt, M. (eds). (2001). Biogenic greenhouse gas emissions from agriculture in Europe. European Summary Report of the EU concerted action FAIR3-CT96-1877, Biogenic emissions of greenhouse gases caused by arable and animal agriculture, 220 p.

Glenn, S.M., Hayes, A. and Moore, T.R. (1993). Methane and carbon dioxide fluxes from drained peatland soils, southern Quebec. Global Biogeochemical Cycles 7:247-257

Kasimir-Klemedtsson, A., Klemedtsson, L., Berglund, K., Martikainen, P., Silvola, J. and Oenema, O. (1997). Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. Soil Use and Management 13:245-250.

Leifeld, J., Bassin, S. and Fuhrer, J. (2005). Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics, and altitude. Agriculture Ecosystems & Environment 105, 255-266.

Lohila, A., Aurela, M., Tuovinen, J.P. and Laurila, T. (2004). Annual CO2 exchange of a peat field growing spring barley or perennial forage grass. Journal of Geophysical Research 109, D18116

Maljanen, M., Martikainen, P.J., Walden, J. and Silvola, J. (2001). CO2 exchange in an organic field growing barley or grass in eastern Finland. Global Change Biology 7, 679-692.

Maljanen, M., Komulainen, V.M., Hytonen, J., Martikainen, P. and Laine, J. (2004). Carbon dioxide, nitrous oxide and methane dynamics in boreal organic agricultural soils with different soil characteristics. Soil Biology and Biochemistry 36, 1801-1808.

Mann, L.K. (1986). Changes in soil carbon storage after cultivation. Soil Science 142:279-288.

McGill, W. B. (1996). Review and classification of ten soil organic matter models. In: Powlson D.S., Smith P., and Smith J.U. (eds.). Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-Term Datasets. Springer-Verlag, Heidelberg: pp. 111-132.

Monte, L, Hakanson, L., Bergstrom, U., Brittain, J. and Heling, R. (1996). Uncertainty analysis and validation of environmental models: the empirically based uncertainty analysis. Ecological Modelling 91:139-152.

Nusser, S.M. and Goebel, J.J. (1997). The National Resources Inventory: a long-term multi-resource monitoring programme. Environmental and Ecological Statistics 4:181-204.

Nyk□nen, H., Alm, J., Lang, K., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (1995). Emissions of CH4, N2O and CO2 from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. Journal of Biogeography 22, 351-357.

Ogle, S.M., Breidt, F.J., Eve, M.D. and Paustian, K. (2003). Uncertainty in estimating land-use and management impacts on soil organic carbon storage for U.S. agricultural lands between 1982 and 1997. Global Change Biology 9:1521-1542.

Ogle, S.M., Breidt, F.J. and Paustian, K. (2005). Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. Biogeochemistry 72:87-121.

Ogle, S.M., Breidt, F.J. and Paustian, K. (2006). Bias and variance in model results associated with spatial scaling of measurements for parameterization in regional assessments. Global Change Biology 12:516- 523.

Paustian, K, Andren, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., van, Noordwijk, M. and Woomer, P.L. (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO2 emissions. Soil Use and Management 13:230-244.

Pierce, F. J., Fortin, M.-C. and Staton, M.J. (1994). Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. Soil Science Society of America Journal 58:1782-1787.

Powers, J. S., Read, J. M., Denslow, J. S. and Guzman, S. M. (2004). Estimating soil carbon fluxes following land-cover change: a test of some critical assumptions for a region in Costa Rica. Global Change Biology 10:170-181.

Smith, J.E. and Heath, L.S. (2001). Identifying influences on model uncertainty: an application using a forest carbon budget model. Environmental Management 27:253-267.

Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U. and Elliott, E.T. (eds) (1997). Evaluation and comparison of soil organic matter models. Special Issue, Geoderma 81:1-225.

Smith, P., Powlson, D.S., Glendining, M.J. and Smith, J.U. (1998) Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. Global Change Biology 4: 679-685.

VandenBygaart, A.J., Gregorich, E.G., Angers, D.A., et al. (2004). Uncertainty analysis of soil organic carbon stock change in Canadian cropland from 1991 to 2001. Global Change Biology 10:983-994.

농경지에 대한 무기 토양 탄소배출/흡수를 위한 기본 축적량 변화계수 산정 : 별첨 5A.1

Agbenin, J.O. and Goladi, J.T. (1997). Carbon, nitrogen and phosphorus dynamics under continuous cultivation as influenced by farmyard manure and inorganic fertilizers in the savanna of northern Nigeria. Agriculture, Ecosystems and Environment 63:17-24.

Ahl, C., Joergensen, R.G., Kandeler, E., Meyer, B. and Woehler, V. (1998). Microbial biomass and activity in silt and sand loams after long-term shallow tillage in central Germany. Soil and Tillage Research 49:93- 104.

Alvarez, R., Russo, M.E., Prystupa, P., Scheiner, J.D. and Blotta, L. (1998). Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa. Agronomy Journal 90:138-143.

Angers, D.A., Bolinder, M.A., Carter, M.R., Gregorich, E.G., Drury, C.F., Liang, B.C., Voroney, R.P., Simard, R.R., Donald, R.G., Beyaert, R.P. and Martel, J. (1997). Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. Soil and Tillage Research 41:191-201.

Angers, D.A., Voroney, R.P. and Cote, D. (1995). Dynamics of soil organic matter and corn residues affected by tillage practices. Soil Science Society of America Journal 59:1311-1315.

Anken, T., Weisskopf, P., Zihlmann, U., Forrer, H., Jansa, J. and Perhacova, K. (2004). Long-term tillage system effects under moist cool conditions in Switzerland. Soil and Tillage Research 78:171-183.

Baer, S.G., Rice, C.W. and Blair, J.M. (2000). Assessment of soil quality in fields with short and long term enrollment in the CRP. Journal of Soil and Water Convservation 55:142-146.

Balesdent, J., Mariotti, A. and Boisgontier, D. (1990). Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from 13C abundance in maize fields. Journal of Soil Science 41:587-596.

Barber, R.G., Orellana, M., Navarro, F., Diaz, O. and Soruco, M.A. (1996). Effects of conservation and conventional tillage systems after land clearing on soil properties and crop yield in Santa Cruz, Bolivia. Soil and Tillage Research 38:133-152.

Bauer, A. and Black, A.L. (1981). Soil carbon, nitrogen, and bulk density comparisons in two cropland tillage systems after 25 years and in virgin grassland. Soil Science Society of America Journal 45:166-1170.

Bayer, C., Mielniczuk, J., Martin-Neto, L. and Ernani, P.R. (2002). Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. Plant and Soil 238:133-140.

Bayer, C., Mielniczuk, J., Amado, T.J.C., Martin-Neto, L. and Fern□ndez, S.V. (2000). Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. Soil and Tillage Research 54:101-109.

Beare, M.H., Hendrix, P.F. and Coleman, D.C. (1994). Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional- and no-tillage soils. Soil Science Society of America Journal 58: 777-786.

Beyer, L. (1994). Effect of cultivation on physico-chemical, humus-chemical and biotic properties and fertility of two forest soils. Agriculture, Ecosystems and Environment 48:179-188.

Black, A.L. and Tanaka, D.L. (1997). A conservation tillage-cropping systems study in the Northern Great Plains of the United States. Pages 335-342 in Paul, E.A., K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole, editors. Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America. CRC Press. Boca Raton, FL.

Blanco-Canqui, H., Gantzer, C.J., Anderson, S.H. and Alberts, E.E. (2004). Tillage and crop influences on physical properties for an Epiaqualf. Soil Science Society of America Journal 68:567-576.

Bordovsky, D.G., Choudhary, M. and Gerard, C.J. (1999). Effect of tillage, cropping, and residue management on soil properties in the Texas rolling plains. Soil Science 164:331-340.

Borin, M., Menini, C. and Sartori, L. (1997). Effects of tillage systems on energy and carbon balance in northeastern Italy. Soil and Tillage Research 40:209-226.

Borresen, T. and Njos, A. (1993). Ploughing and rotary cultivation for cereal production in a long-term experiment on a clay soil in southeastern Norway. 1. Soil properties. Soil and Tillage Research 28:97-108.

Bowman, R.A. and Anderson, R.L. (2002). Conservation Reserve Program: Effects on soil organic carbon and preservation when converting back to cropland in northeastern Colorado. Journal of Soil and Water Conservation 57:121-126.

Bremer, E., Janzen, H.H. and Johnston, A.M. (1994). Sensitivity of total, light fraction and mineralizable organic matter to management practices in a Lethbridge soil. Canadian Journal of Soil Science 74:131-138.

Burke, I.C., Lauenroth, W.K. and Coffin, D.P. (1995). Soil organic matter recovery in semiarid grasslands: implications for the Conservation Reserve Program. Ecological Applications 5:793-801.

Buschiazzo, D.E., Panigatti, J.L. and Unger, P.W. (1998). Tillage effects on soil properties and crop production in the subhumid and semiarid Argentinean Pampas. Soil and Tillage Research 49:105-116.

Buyanovsky, G.A. and Wagner, G.H. (1998). Carbon cycling in cultivated land and its global significance. Global Change Biology 4:131-141

Buyanovsky, G.A., Kucera, C.L. and Wagner, G.H. (1987). Comparative analysis of carbon dynamics in native and cultivated ecosystems. Ecology 68:2023-2031.

Cambardella, C.A. and Elliott, E.T. (1992). Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. Soil Science Society of America Journal 56:777-783.

Campbell, C.A. and Zentner, R.P. (1997). Crop production and soil organic matter in long-term crop rotations in the semi-arid northern Great Plains of Canada. Pages 317-334 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.

Campbell, C.A., McConkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F. and Curtin, D. (1996). Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic C and total N in a clay soil in southwestern Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science 76:395-401.

Campbell, C.A., Lafond, G.P., Moulin, A.P., Townley-Smith, L. and Zentner, R.P. (1997). Crop production and soil organic matter in long-term crop rotations in the sub-humid northern Great Plains of Canada. Pages 297-315 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.

Campbell, C.A., Bowren, K.E., Schnitzer, M., Zentner, R.P. and Townley-Smith, L. (1991). Effect of crop rotations and fertilization on soil organic matter and some biochemical properties of a thick black Chernozem. Canadian Journal of Soil Science 71: 377-387.

Campbell, C.A., Zentner, R.P., Selles, F., Biederbeck, V.O., McConkey, B.G., Blomert, B. and Jefferson, P.G. (2000). Quantifying short-term effects of crop rotations on soil organic carbon in southwestern Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science 80:193-202.

Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., McConkey, B.G., Curtin, D. and Zentner, R.P. (1999). Soil quality - effect of tillage and fallow frequency. Soil organic matter quality as influenced

by tillage and fallow frequency in a silt loam in southwestern Saskatchewan. Soil Biology and Biochemistry 31:1-7.

Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., Wen, G., Zentner, R.P., Schoenau, J. and Hahn, D. (1999). Seasonal trends in selected soil biochemical attributes: Effects of crop rotation in the semiarid prairie. Canadian Journal of Soil Science 79:73-84.

Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., Zentner, R.P. and Lafond, G.P. (1991). Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem. Canadian Journal of Soil Science 71: 363-376.

Carter, M.R., Johnston, H.W. and Kimpinski, J. (1988). Direct drilling and soil loosening for spring cereals on a fine sandy loam in Atlantic Canada. Soil and Tillage Research 12:365-384.

Carter, M.R., Sanderson, J.B., Ivany, J.A. and White, R.P. (2002). Influence of rotation and tillage on forage maize productivity, weed species, and soil quality of a fine sandy loam in the cool-humid climate of Atlantic Canada, Soil & Tillage Research, 67:85-98.

Carter, M.R. (1991). Evaluation of shallow tillage for spring cereals on a fine sandy loam. 2. Soil physical, chemical and biological properties. Soil and Tillage Research 21:37-52.

Chan, K.Y., Roberts, W.P. and Heenan, D.P. (1992). Organic carbon and associated soil properties of a red Earth after 10 years of rotation under different stubble and tillage practices. Australian Journal of Soil Research 30: 71-83.

Chan, K.Y. and Mead, J.A. (1988). Surface physical properties of a sandy loam soil under different tillage practices. Australian Journal of Soil Research 26:549-559.

Chaney, B.K., Hodson, D.R. and Braim, M.A. (1985). The effects of direct drilling, shallow cultivation and ploughing on some soil physical properties in a long-term experiment on spring barley. J. Agric. Sci., Camb. 104:125-133.

Clapp, C.E., Allmaras, R.R., Layese, M.F., Linden, D.R. and Dowdy, R.H. (2000). Soil organic carbon and 13C abundance as related to tillage, crop residue, and nitrogen fertilization under continuous corn management in Minnesota. Soil and Tillage Research 55:127-142.

Collins, H.P., Blevins, R.L., Bundy, L.G., Christenson, D.R., Dick, W.A., Huggins, D.R. and Paul, E.A. (1999). Soil carbon dynamics in corn-based agroecosystems: results from carbon-13 natural abundance. Soil Science Society of America Journal 63:584-591.

Corazza, E.J. et al. (1999). Behavior of different management systems as a source or sink of C-CO2 in relation to cerrado type vegetation. R.Bras Ci.Solo 23:425-432.

Costantini, A., Cosentino, D. and Segat, A. (1996). Influence of tillage systems on biological properties of a Typic Argiudoll soil under continuous maize in central Argentina. Soil and Tillage Research 38:265-271.

Dalal, R.C. (1989). Long-term effects of no-tillage, crop residue, and nitrogen application on properties of a Vertisol. Soil Science Society of America Journal 53:1511-1515.

Dalal, R.C. and Mayer, R.J. (1986). Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. I. Overall changes in soil properties and trends in winter cereal yields. Australian Journal of Soil Research 24:265-279.

Dalal R.C., Henderson P.A. and Glasby J.M. (1991). Organic matter and microbial biomass in a vertisol after 20 yr of zero tillage. Soil Biology and Biochemistry 23:435-441.

Dick, W.A. and Durkalski, J.T. (1997). No-tillage production agriculture and carbon sequestration in a Typic Fragiudalf soil of Northeastern Ohio. Pages 59-71 in Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart, editors. Advances in Soil Science: Management of Carbon Sequestration in Soil. CRC Press Inc. Boca Raton, FL.

Dick, W.A., Edwards, W.M. and McCoy, E.L. (1997). Continuous application of no-tillage to Ohio soils: Changes in crop yields and organic matter-related soil properties. Pages 171-182 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.

Doran, J.W., Elliott, E.T. and Paustian, K. (1998). Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. Soil and Tillage Research 49:3- 18.

Duiker, S.W. and Lal, R. (1999). Crop residue and tillage effects on carbon sequestration in a luvisol in central Ohio. Soil and Tillage Research 52:73-81.

Edwards, J.H., Wood, C.W., Thurlow, D.L. and Ruf, M.E. (1992). Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludult soil. Soil Science Society of America Journal 56:1577-1582.

Eghball, B., Mielke, L.N., McCallister, D.L. and Doran, J.W. (1994). Distribution of organic carbon and inorganic nitrogen in a soil under various tillage and crop sequences. Journal of Soil and Water Conservation 49: 201-205.

Fabrizzi, K.P., Moron, A. and Garcia, F.O. (2003). Soil carbon and nitrogen organic fractions in degraded vs. non-degraded Mollisols in Argentina. Soil Science Society of America Journal 67:1831-1841.

Fitzsimmons, M.J., Pennock, D.J. and Thorpe, J. (2004). Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada. Forest Ecology and Management 188: 349-361.

Fleige, H. and Baeumer, K. (1974). Effect of zero-tillage on organic carbon and total nitrogen content, and their distribution in different N-fractions in loessial soils. Agro-Ecosystems 1:19-29.

Follett, R.F. and Peterson, G.A. (1988). Surface soil nutrient distribution as affected by wheat-fallow tillage systems. Soil Science Society of America Journal 52:141-147.

Follett, R.F., Paul, E.A., Leavitt, S.W., Halvorson, A.D., Lyon, D. and Peterson, G.A. (1997).

Carbon isotope ratios of Great Plains soils and in wheat-fallow systems. Soil Science Society of America Journal 61:1068-1077.

Follett, R.F., Pruessner, E.G., Samson-Liebig, S.E., Kimble, J.M. and Waltman, S.W. (2001). Carbon sequestration under the Conservation Reserve Program in the historic grassland soils of the United States of America. Pages 1-14 in Lal, R., and K. McSweeney, editors. Soil Management for Enhancing Carbon Sequestration. SSSA Special Publication. Madison, WI.

Franzluebbers, A.J. and Arshad, M.A. (1996). Water-stable aggregation and organic matter in four soils under conventional and zero tillage. Canadian Journal of Soil Science 76:387-393.

Franzluebbers, A.J., Hons, F.M. and Zuberer, D.A. (1995). Soil organic carbon, microbial biomass, and mineralizable carbon and nitrogen in sorghum. Soil Science Society of America 59:460-466.

Franzluebbers, A.J., Langdale, G.W. and Schomberg, H.H. (1999). Soil carbon, nitrogen, and aggregation in response to type and frequency of tillage. Soil Science Society of America Journal 63:349-355.

Freitas, P.L., Blancaneaux, P., Gavinelly, E., Larre-Larrouy, M.-C. and Feller, C. (2000). Nivel e natureza do estoque organico de latossols sob diferentes sistemas de uso e manejo, Pesq.agropec.bras. Brasilia 35: 157-170.

Freixo, A.A., Machado, P., dos Santos, H.P., Silva, C.A. and Fadigas, F. (2002). Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. Soil and Tillage Research 64:221-230.

Frye, W.W. and Blevins, R.L. (1997). Soil organic matter under long-term no-tillage and conventional tillage corn production in Kentucky. Pages 227-234 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.

Garcia-Prechac, F., Ernst, O., Siri-Prieto, G. and Terra, J.A. (2004). Intergrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. Soil and Tillage Research 77:1-13.

Gebhart, D.L., Johnson, H.B., Mayeux, H.S. and Polley, H.W. (1994). The CRP increases soil organic carbon. Journal of Soil and Water Conservation 49:488-492.

Ghuman, B.S. and Sur, H.S. (2001). Tillage and residue management effects on soil properties and yields of rainfed maize and wheat in a subhumid subtropical climate. Soil and Tillage Research 58:1-10.

Girma, T. (1998). Effect of cultivation on physical and chemical properties of a Vertisol in Middle Awash Valley, Ethiopia. Communications in Soil Science and Plant Analysis 29:587-598.

Graham, M.H., Haynes, R.J. and Meyer, J.H. (2002). Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane

experiment in South Africa. Soil Biology and Biochemistry 34:93-102.

Grandy, A.S., Porter, G.A. and Erich, M.S. (2002). Organic amendment and rotation crop effects on the recovery of soil organic matter and aggregation in potato cropping systems. Soil Science Society of America Journal 66:1311-1319.

Gregorich, E.G., Ellert, B.H., Drury, C.F. and Liang, B.C. (1996). Fertilization effects on soil organic matter turnover and corn residue C storage. Soil Science Society of America Journal 60:472-476.

Grunzweig, J.M., Sparrow, S.D., Yakir, D. and Chapin III, F.S. (2004). Impact of agricultural land-use change on carbon storage in boreal Alaska. Global Change Biology 10:452-472.

Hadas, A., Agassi, M., Zhevelev, H., Kautsky, L., Levy, G.J., Fizik, E. and Gotessman, M. (2004). Mulching with composted municipal solid wastes in the Central Negev, Israel II. Effect on available nitrogen and phosphorus and on organic matter in soil. Soil and Tillage Research 78:115-128.

Halvorson, A.D., Wienhold, B.J. and Black, A.L. (2002). Tillage, nitrogen, and cropping system effects on soil carbon sequestration. Soil Science Society of America Journal 66:906-912.

Halvorson, A.D., Reule, C.A. and Follett, R.F. (1999). Nitrogen fertilization effects on soil carbon and nitrogen in a dryland cropping system. Soil Science Society of America Journal 63:912-917.

Halvorson, A.D., Vigil, M.F., Peterson, G.A. and Elliott, E.T. (1997). Long-term tillage and crop residue management study at Akron, Colorado. Pages 361-370 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.

Hansmeyer, T.L., Linden, D.R., Allan, D.L. and Huggins, D.R. (1998). Determining carbon dynamics under notill, ridge-till, chisel, and moldboard tillage systems within a corn and soybean cropping sequence. Pages 93-97 in Lal R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart, editors. Advances in Soil Science: Management of Carbon Sequestration in Soil. CRC Press. Boca Raton, FL.

Hao, X., Chang, C. and Lindwall, C.W. (2001). Tillage and crop sequence effects on organic carbon and total nitrogen content in an irrigated Alberta soil. Soil and Tillage Research 62:167-169.

Harden, J.W., Sharpe, J.M., Parton, W.J., Ojima, D.S., Fries, T.L., Huntington, T.G. and Dabney, S.M. (1999). Dynamic replacement and loss of soil carbon on eroding cropland. Global Biogeochemical Cycles 14:885-901.

Havlin, J.L. and Kissel, D.E. (1997). Management effects on soil organic carbon and nitrogen in the East-Central Great Plains of Kansas. Pages 381-386 in Paul, E.A., K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole, editors. Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America. CRC Press. Boca Raton, FL.

Hendrix, P.F. (1997). Long-term patterns of plant production and soil carbon dynamics in a

Georgia piedmont agroecosystem. Pages 235-245 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.

Hernanz, J.L., Lopez, R., Navarrete, L. and Sanchez-Giron, V. (2002). Long-term effects of tillage systems and rotations on soil structural stability and organic carbon stratification in semiarid central Spain. Soil and Tillage Research 66:129-141.

Hulugalle, N.R. (2000). Carbon sequestration in irrigated vertisols under cotton-based farming systems. Communications in Soil Science and Plant Analysis 31:645-654.

Hussain, I., Olson, K.R., Wander, M.M. and Karlen, D.L. (1999). Adaption of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. Soil and Tillage Research 50:237-249.

Ihori, T., Burke, I.C., Lauenroth, W.K. and Coffin, D.P. (1995). Effects of cultivation and abandonment on soil organic matter in Northeastern Colorado. Soil Science Society of America Journal 59:1112-1119.

Jackson, L.E., Ramirez, I., Yokota, R., Fennimore, S.A., Koike, S.T., Henderson, D.M., Chaney, W.E., Calderon, F.J. and Klonsky, K. (2004). Agriculture, Ecosystems and Environment 103:443-463.

Janzen, H.H. (1987). Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. Canadian Journal of Soil Science 67:845-856.

Jastrow, J.D., Miller, R.M. and Lussenhop, J. (1998). Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. Soil Biology and Biochemistry 30:905-916.

Karlen, D.L., Kumar, A., Kanwar, R.S., Cambardella, C.A. and Colvin, T.S. (1998). Tillage system effects on 15-year carbon-based and simulated N budgets in a tile-drained Iowa field. Soil and Tillage Research 48:155-165.

Karlen, D.L., Rosek, M.J., Gardner, J.C., Allan, D.L., Alms, M.J., Bezdicek, D.F., Flock, M., Huggins, D.R., Miller, B.S. and Staben, M.L. (1999). Conservation Reserve Program effects on soil quality indicators. Journal of Soil and Water Conservation 54:439-444.

Karlen, D.L., Wollenhaupt, N.C., Erbach, D.C., Berry, E.C., Swan, J.B., Eash, N.S. and Jordahl, J.L. (1994). Long-term tillage effects on soil quality. Soil and Tillage Research 32:313-327.

Knowles, T.A. and Singh, B. (2003). Carbon storage in cotton soils of northern New South Wales. Australian Journal of Soil Research 41:889-903.

Kushwaha, C.P., Tripathi, S.K. and Singh, K.P. (2000). Variations in soil microbial biomass and N availability due to residue and tillage management in a dryland rice agroecosystem. Soil and Tillage Research 56:153-166.

Lal, R. (1998). Soil quality changes under continuous cropping for seventeen seasons of an alfisol in western Nigeria. Land Degradation and Development 9:259-274.

Lal, R., Mahboubi, A.A. and Fausey, N.R. (1994). Long-term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. Soil Science Society of America Journal 58:517-522.

Larney, F.J., Bremer, E., Janzen, H.H., Johnston, A.M. and Lindwall, C.W. (1997). Changes in total, mineralizable and light fraction soil organic matter with cropping and tillage intensities in semiarid southern Alberta, Canada. Soil and Tillage Research 42:229-240.

Lilienfein, J., Wilcke, W., Vilela, L., do Carmo Lima, S., Thomas, R. and Zech, W. (2000). Effect of no-tillage and conventional tillage systems on the chemical composition of soil solid phase and soil solution of Brazilian savanna. J. Plant Nutr. Soil Sci. 163: 411-419.

Ludwig, B., John, B., Ellerbrock, R., Kaiser, M. and Flessa, H. (2003). Stabilization of carbon from maize in a sandy soil in a long-term experiment. European Journal of Soil Science 54:117-126.

McCarty, G.W., Lyssenko, N.N. and Starr, J.L. (1998). Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. Soil Science Society of America Journal 62:1564-1571.

Mielke, L.N., Doran, J.W. and Richards, K.A. (1986). Physical environment near the surface of plowed and notilled soils. Soil and Tillage Research 7:355-366.

Mikhailova, E.A., Bryant, R.B., Vassenev, I.I., Schwager, S.J. and Post, C.J. (2000). Cultivation effects on soil carbon and nitrogen contents at depth in the Russian Chernozem. Soil Science Society of America Journal 64:738-745.

Mrabet, R., Saber, N., El-brahli, A., Lahlou, S. and Bessam, F. (2001). Total, particulate organic matter and structural stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco. Soil & Tillage Research 57: 225-235.

Nyborg, M., Solberg, E.D., Malhi, S.S. and Izaurralde, R.C. (1995). Fertilizer N, crop residue, and tillage alter soil C and N content in a decade. Pages 93-99 in Lal, R., J. Kimble, E. Levine, and B.A. Stewart, editors. Advances in Soil Science: Soil Management and Greenhouse effect. CRC Press. Boca Raton, FL.

Parfitt, R.L., Theng, B.K.G., Whitton, J.S. and Shepherd, T.G. (1997). Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. Geoderma 75:1-12.

Patwardhan, A.S., Chinnaswamy, R.V., Donigian Jr., A.S., Metherell, A.K., Blevins, R.L., Frye, W.W., and Paustian, K. (1995). Application of the Century soil organic matter model to a field site in Lexington, KY.

Pages 385-394 in Lal, R., J. Kimble, E. Levine, and B.A. Stewart, editors. Advances in Soil Science: Soils and Global Change. CRC Press, Boca Raton, FL.

Paustian, K. and Elliott, E.T. Unpublished data. Field sampling of long-term experiments in U.S. and Canada for EPA carbon sequestration project.

Pennock, D.J. and van Kessel, C. (1997). Effect of agriculture and of clear-cut forest harvest on landscape-scale soil organic carbon storage in Saskatchewan. Canadian Journal of Soil Science 77:211-218.

Pierce, F.J. and Fortin, M.-C. (1997). Long-term tillage and periodic plowing of a no-tilled soil in Michigan: Impacts, yield, and soil organic matter. Pages 141-149 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.

Potter, K.N., Torbert, H.A., Johnson, H.B. and Tischler, C.R. (1999). Carbon storage after long-term grass establishment on degraded soils. Soil Science 164:718-723.

Potter, K.N., Torbert, H.A., Jones, O.R., Matocha, J.E., Morrison Jr., J.E., and Unger, P.W. (1998). Distribution and amount of soil organic C in long-term management systems in Texas. Soil and Tillage Research 47:309-321.

Potter, K.N., Jones, O.R., Torbert, H.A. and Unger, P.W. (1997). Crop rotation and tillage effects on organic carbon sequestration in the semiarid southern Great Plains. Soil Science 162:140-147.

Powlson, D.S. and Jenkinson, D.S. (1982). A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils, J. Agric. Sci. Camb. 97:713-721.

Rasmussen, P.E and Albrecht, S.L. (1998). Crop management effects on organic carbon in semi-arid Pacific Northwest soils. Pages 209-219 in Lal R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A. Stewart, editors. Advances in Soil Science: Management of Carbon Sequestration in Soil. CRC Press. Boca Raton, FL.

Reeder, J.D., Schuman, G.E. and Bowman, R.A. (1998). Soil C and N changes on Conservation Reserve Program lands in the Central Great Plains. Soil and Tillage Research 47:339-349.

Rhoton, F.E., Bruce, R.R., Buehring, N.W., Elkins, G.B., Langdale, C.W. and Tyler, D.D. (1993). Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no-tillage systems. Soil and Tillage Research 28: 51-61.

Robles, M.D. and Burke, I.C. (1997). Legume, grass, and conservation reserve program effects on soil organic matter recovery. Ecological Applications 7:345-357.

Ross, C.W. and Hughes, K.A. (1985). Maize/oats forage rotation under 3 cultivation systems, 1978-83 2. Soil properties. New Zealand Journal of Agricultural Research 28:209-219.

Sa, J.C.M., Cerri, C.C., Dick, W.A., Lal, R., Filho, S.P.V., Piccolo, M.C. and Feigl, B.E. (2001). Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. Soil Science Society of America Journal 65:1486-1499.

Saffigna, P.G., Powlson, D.S., Brookes, P.C. and Thomas, G.A. (1989). Influence of sorghum residues and tillage on soil organic matter and soil microbial biomass in an Australian vertisol. Soil Biology and Biochemistry 21: 759-765.

Saggar, S., Yeates, G.W. and Shepherd, T.G. (2001). Cultivation effects on soil biological properties, microfauna and organic matter dynamics in Eutric Gleysol and Gleyic Luvisol soils in New Zealand. Soil and Tillage Research 58:55-68.

Sainju, U.M., Singh, B.P. and Whitehead, W.F. (2002). Long-term effects of tillage, cover crops,

and nitrogen fertilization on organic carbon and nitrogen concentrations in sandy loam soils in Georgia, USA. Soil and Tillage Research 63:167-179.

Salinas-Garcia, J.R., Hons, F.M. and Matocha, J.E. (1997). Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics. Soil Science Society of America Journal 61:152-159.

Schiffman, P.M., and Johnson, W.C. (1989). Phytomass and detrital carbon storage during forest regrowth in the southeastern United States Piedmont. Canadian Journal of Forest Research 19:69-78.

Sherrod, L.A., Peterson, G.A., Westfall, D.G. and Ahuja, L.R. (2006). Cropping intensification enhances soil organic carbon and nitrogen in a no-till agroecosystem. Soil Science Society of America Journal. (in press).

Sidhu, A.S. and Sur, H.S. (1993). Effect of incorporation of legume straw on soil properties and crop yield in a maize-wheat sequence. Tropical Agriculture (Trinidad) 70:226-229.

Six, J., Elliot, E.T., Paustian, K. and Doran, J.W. (1998). Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. Soil Science Society of America Journal 62:1367-1377.

Six, J., Paustian, K., Elliott, E.T. and Combrink, C. (2000). Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. Soil Science Society of America Journal 64:681- 689

Slobodian, N., van Rees, K., and Pennock, D. (2002). Cultivation-induced effects on below-ground biomass and organic carbon. Soil Science Society of America Journal 66:924-930.

Solomon, D., Fritzsche, F., Lehmann, J., Tekalign, M. and Zech, W. (2002). Soil organic matter dynamics in the subhumid agroecosystems of the Ethiopian Highlands: evidence from natural 13C abundance and particle-size fractionation. Soil Science Society of America Journal 66: 969-978.

Sparling, G.P., Schipper, L.A., Hewitt, A.E. and Degens, B.P. (2000). Resistance to cropping pressure of two New Zealand soils with contrasting mineralogy. Australian Journal of Soil Research 38:85-100.

Stenberg, M., Stenberg, B. and Rydberg, T. (2000). Effects of reduced tillage and liming on microbial activity and soil properties in a weakly-structured soil. Applied Soil Ecology 14:135-145.

Tabeada, M.A., Micucci, F.G., Cosentino, D.J. and Lavado, R.S. (1998). Comparison of compaction induced by conventional and zero tillage in two soils of the Rolling Pampa of Argentina. Soil and Tillage Research 49:57-63.

Tiessen, H., Stewart, J.W.B. and Bettany, J.R. (1982). Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soils. Agronomy Journal 74:831-835.

Unger, P.W. (2001). Total carbon, aggregation, bulk density, and penetration resistance of cropland and nearby grassland soils. Pages 77-92 in: R. Lal (ed.). Soil carbon sequestration and the greenhouse effect. SSSA Special Publication No. 57, Madison, WI.

Vanotti, M.B., Bundy, L.G. and Peterson, A.E. (1997). Nitrogen fertilizer and legume-cereal rotation effects on soil productivity and organic matter dynamics in Wisconsin. Pages 105-119 in: E.A. Paul, E.T. Elliott, K. Paustian, and C.V. Cole. Soil organic matter in temperate agroecosystems: Long-term experiments in North America. CRC Press, Boca Raton, FL.

Varvel, G.E. (1994). Rotation and nitrogen fertilization effects on changes in soil carbon and nitrogen. Agronomy Journal 86:319-325.

Voroney, R.P., van Veen, J.A. and Paul, E.A. (1981). Organic C dynamics in grassland soils. 2. Model validation and simulation of the long-term effects of cultivation and rainfall erosion. Canadian Journal of Soil Science 61:211-224.

Wander, M.M., Bidart, M.G. and Aref, S. (1998). Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. Soil Science Society of America Journal 62:1704-1711.

Wanniarachchi, SD, Voroney, R.P., Vyn, T.J., Beyaert, R.P. and MacKenzie, A.F. (1999). Tillage effects on the dynamics of total and corn-residue-derived soil organic matter in two southern Ontario soils. Canadian Journal of Soil Science 79: 473-480.

Westerhof, R., Vilela, L., Azarza, M. and Zech, W. (1998). Land-use effects on labile N extracted with permanganate and the nitrogen management index in the Cerrado region of Brazil. Biology and Fertility of Soils 27:353-357.

Wu, T., Schoenau, J.J., Li, F., Qian, P., Malhi, S.S., Shi, Y. and Xu, F. (2004). Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China. Soil and Tillage Research 77:59-68.

Yang, X.M. and Kay, B.D. (2001). Impacts of tillage practices on total, loose- and occluded-particulate, and humified organic carbon fractions in soils within a field in southern Ontario. Canadian Journal of Soil Science 81: 149-156.

Yang, X.M. and Wander, M.M. (1999). Tillage effects on soil organic carbon distribution and storage in a silt loam soil in Illinois. Soil and Tillage Research 52:1-9.

Zeleke, T.B., Grevers, M.C.J., Si, B.C., Mermut, A.R. and Beyene, S. (2004). Effect of residue incorporation on physical properties of the surface soil in the South Central Rift Valley of Ethiopia. Soil and Tillage Research 77:35-46.

Zhang, H., Thompson, M.L. and Sandor, J.A. (1988). Compositional differences in organic matter among cultivated and uncultivated Argiudolls and Hapludalfs derived from loess. Soil Science Society of America Journal 52:216-222.

Cai, Z.C., Tsuruta, H. and Minami, K. (2000). Methane emission from rice fields in China: measurements and influencing factors. Journal of Geophysical Research 105(D13): 17231

17242.

Cai, Z.C., Tsuruta, H., Gao, M., Xu, H. and Wei, C.F. (2003a). Options for mitigating methane emission from a permanently flooded rice field. Global Change Biology 9: 37-45.

Cai, Z.C., Sawamoto, T., Li, C.S., Kang, G.D., Boonjawat, J., Mosier, A. and Wassmann, R. (2003b). Field validation of the DNDC model for greenhouse gas emissions in East Asian cropping systems, Global Biogeochemical Cycles 17(4): 1107 doi:10.1029/2003GB002046,2003.

Cicerone, R.J. and Shetter, J.D. (1981). Sources of atmospheric methane: Measurements in rice paddies and a discussion. Journal of Geophysical Research 86: 7203-7209.

Conrad, R. (1989). "Control of methane production in terrestrial ecosystems". In: Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere, M.O. Andreae and D.S. Schimel(eds.), 39-58.

Denier van der Gon, H.A.C. and Neue, H.U. (1995). Influence of organic matter incorporation on the methane emission from a wetland rice field. Global Biogeochemical Cycles 9: 11-22.

Denier van der Gon, H.A.C. and Neue, H.U. (2002). Impact of gypsum application on the methane emission from a wetland rice field. Global Biogeochemical Cycles 8: 127-134.

Fitzgerald, G.J., Scow, K.M. and Hill, J.E. (2000). Fallow season straw and water management effects on methane emissions in California rice. Global Biogeochem. Cycles, 14: 767-775.

Huang, Y., Jiao, Y., Zong, L.G., Zheng, X.H., Sass, R.L. and Fisher, F.M. (2002). Quantitative dependence of methane emission on soil properties, Nutrient Cycling in Agroecosystems 64(1-2): 157-167.

Huang, Y, Zhang, W., Zheng, X.H., Li, J. and Yu, Y.Q. (2004). Modeling methane emission from rice paddies with various agricultural practices. Journal of Geophysical Research-Atmospheres 109 (D8): Art. No. D08113 APR 29 2004.

IAEA (1992). Manual on measurement of methane and nitrous oxide emissions from agriculture. IAEATECDOC- 674, pp. 91.

IGAC (1994). Global measurements standards of methane emissions for irrigated rice cultivation. Sass, R.L. and H.-U. Neue (eds.) IGAC Core Project Office, Cambridge, Mass., USA, 10 pp.

IPCC (International Panel on Climate Change) (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Workbook (Volume 2). Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (International Panel on Climate Change) (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Cambridge University Press, Cambridge. IRRI (1995). World rice statistics 1993-94, International Rice Research Institute, Los Banõs, pp. 260.

Li, C.S., Mosier, A., Wassmann, R., Cai, Z.C., Zheng, X.H., Huang, Y., Tsuruta, H., Boonjawat, J. and Lantin, R. (2004). Modeling greenhouse gas emissions from rice-based production systems: Sensitivity analysis and upscaling, Global Biogeochemical Cycles 18, doi: 10.1029/2003GB00204, 2004.

Lindau, C.W., Bollich, P.K., de Laune, R.D., Mosier, A.R. and Bronson, K.F. (1993). Methane mitigation in flooded Louisiana rice fields. Biology and Fertility of Soils 15: 174-178.

Minami, K. (1995). The effect of nitrogen fertilizer use and other practices on methane emission from flooded rice. Fertilizer Research 40: 71-84.

Neue, H.U. and Sass, R. (1994). Trace gas emissions from rice fields. In: Prinn R.G. (ed.) Global Atmospheric- Biospheric Chemistry. Environmental Science Res. 48. Plenum Press, New York, pp. 119-148.

Nouchi, I., Mariko, S. and Aoki, K. (1990). Mechanism of methane transport from the rhizosphere to the atmosphere through rice plants. Plant Physiology 94: 59-66.

Sass, R. (2002). CH4 emissions from rice agriculture. In 'Background Papers, IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC-NGGIP, p. 399-417, available at http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/.

Sass, R.L., Fisher, F.M., Harcombe, P.A. and Turner, F.T. (1991). Mitigation of methane emission from rice fields: Possible adverse effects of incorporated rice straw. Global Biogeochemical Cycles, 5: 275-287.

Sass, R.L., Fisher, F.M., Wang, Y.B., Turner, F.T. and Jund, M.F. (1992). Methane emission from rice fields: The effect of floodwater management. Global Biogeochemical Cycles 6: 249-262

Sass, R. I., Fisher, F. M., Lewis, S. T., Jund, M. F. and Turner, F. T. (1994). Methane emissions from rice fields: Effect of soil properties. Global Biogeochemical Cycles 2, 135-140, 1994.

Sch□tz, H., Holzapfel-Pschorn, A., Conrad, R., Rennenberg, H. and Seiler, W. (1989). A 3-year continuous record on the influence of daytime, season, and fertilizer treatment on methane emission rates from an Italian rice paddy. Journal of Geophysical Research 94: 16405-16416.

Takai, Y. (1970). The mechanism of methane fermentation in flooded paddy soil. Soil Science and Plant Nutrition 16: 238-244.

Wassmann, R., and Aulakh, M.S. (2000). The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions. Biology and Fertility of Soils 31: 20-29.

Wassmann, R., Neue, H.U., Bueno, C., Lantin, R.S., Alberto, M.C.R., Buendia, L.V., Bronson, K., Papen, H. and Rennenberg, H. (1998). Methane production capacities of different rice soils derived from inherent and exogenous substracts. Plant and Soil 203: 227-237.

Wassmann, R, Buendia, L.V., Lantin, R.S., Makarim, K., Chareonsilp, N. and Rennenberg, H. (2000). Characterization of methane emissions from rice fields in Asia. II. Differences

among irrigated, rainfed, and deepwater rice. Nutrient Cycling in Agroecosystems 58: 107 119.

Watanabe, A. and Kimura, M. (1998). Factors affecting variation in CH4 emission from paddy soils grown with different rice cultivars: A pot experiment. Journal of Geophysical Research 103: 18947-18952.

Yagi, K. and Minami, K. (1990). Effect of organic matter application on methane emission from some Japanese paddy fields. Soil Science and Plant Nutrition 36: 599-610.

Yagi, K, Tsuruta, H., Kanda, K. and Minami, K. (1996). Effect of water management on methane emission form a Japanese rice paddy field: Automated methane monitoring. Global Biogeochemical Cycles 10: 255-267.

Yagi, K., Minami, K. and Ogawa, Y. (1998). Effect of water percolation on methane emission from rice paddies: a lysimeter experiment. Plant and Soil 198: 193-200. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use

Yan, X., Yagi, K., Akiyama, H. and Akimoto, H. (2005). Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields. Global Change Biology 11, 1131-1141, doi: 10/1111/j.1365- 2486.2005.00976.x.

제6장

초지

저자

Louis Verchot (ICRAF/미국), Thelma Krug (브라질), Rodel D. Lasco (필리핀), Stephen Ogle (미국), and John Raison (호주)

Yue Li (중국), Daniel L. Martino (우루과이), Brain G. McConkey (캐나다), and Pete Smith (영국)

부저자(contributing author)

Merch Wanja Karunditu (ICRAF)

목 차

6 초지.....6.6
6.1 서론.....6.6
6.2 초지로 유지되는 초지.....6.7
6.2.1 바이오매스.....6.7
6.2.1.1 방법의 선정.....6.8
6.2.1.2 배출/흡수 계수의 선정.....6.9
6.2.1.3 활동자료의 선정.....6.11
6.2.1.4 Tier 1과 2에 대한 계산단계.....6.11
6.2.1.5 불확도 평가.....6.13
6.2.2 고사 유기물.....6.14
6.2.2.1 방법의 선정.....6.14
6.2.2.2 배출/흡수 계수의 선정.....6.15
6.2.2.3 활동자료의 선정.....6.16
6.2.2.4 Tier 1과 2에 대한 계산단계.....6.16
6.2.2.5 불확도 평가.....6.17
6.2.3 토양탄소.....6.19
6.2.3.1 방법의 선정.....6.19
6.2.3.2 축적량 변화와 배출계수의 선정.....6.21
6.2.3.3 활동자료의 선정.....6.23
6.2.3.4 Tier 1에 대한 계산단계.....6.27
6.2.3.5 불확도 평가.....6.29
6.2.4 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 온실가스 배출.....6.30
6.2.4.1 방법의 선정.....6.31
6.2.4.2 배출계수의 선정.....6.32
6.2.4.3 활동자료의 선정.....6.32
6.2.4.4 불확도 평가.....6.33
6.3 초지로 전용된 토지.....6.33
6.3.1 바이오매스.....6.34
6.3.1.1방법의 선정.....6.35
6.3.1.2 배출/흡수 계수의 선정.....6.37

6.3.1.3 활동자료의 선정.....6.39
6.3.1.4 Tier 1과 2에 대한 계산단계.....6.40
6.3.1.5 불확도 평가.....6.43
6.3.2 고사 유기물.....6.43
6.3.2.1 방법의 선정.....6.44
6.3.2.2 배출/흡수 계수의 선정.....6.45
6.3.2.3 활동자료의 선정.....6.46
6.3.2.4 Tier 1과 2에 대한 계산단계.....6.47
6.3.2.5 불확도 평가.....6.49
6.3.3 토양탄소.....6.49
6.3.3.1 방법의 선정.....6.50
6.3.3.2 축적량 변화와 배출계수의 선정.....6.51
6.3.3.3 활동자료의 선정.....6.52
6.3.3.4 Tier 1에 대한 계산단계.....6.54
6.3.3.5 불확도 평가.....6.55
6.3.4 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 온실가스의 배출.....6.55
6.3.4.1 방법의 선정.....6.56
6.3.4.2 배출계수의 선정.....6.56
6.3.4.3 활동자료의 선정.....6.56
6.3.4.4 불확도 평가.....6.57
6.4 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고.....6.58
6.4.1 완전성 6.58
6.4.2 일관성 있는 시계열 개발 6.59
6.4.3 품질보증과 품질관리.....6.60
6.4.4 보고와 기록.....6.61
별첨 6A.1 초지 무기 토양의 탄소 배출량/흡수량에 대한 기본 축적량 변화 계수의 산정 6.63
참고문헌.....6.64

그 림

그림 6.1 초지/목초지 시스템에 대한 분류체계.....6.26

표

표 6.1 전 세계의 주요 초지생태계에 대한, 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율 (R)의 기본확장계수.....6.10
표 6.2 초지관리에 대한 상대적인 축적량 변화계수.....6.22
표 6.3 배수된 초지 유기토양에 대한 연간배출계수(EF).....6.23
표 6.4 다른 토지이용에서 전환된 후 초지에 대하여 제시된 기본 바이오매스 축적량 6.38

6 초지

6.1 서론

초지는 전체 지구 표면적의 4분의 1을 덮고 있다 (Ojima *et al.*, 1993). 그리고 건조에서 습윤에 이르는 기후조건을 아우른다. 초지는 관리의 정도와 강도에 따라 조방적으로 관리된 방목장과 사바나에서 (가축의 비율과 산불 체계가 주요 관리변수가 된다.) 집약적으로 관리된(예, 비옥화, 개간, 종 변화) 연속적인 목초지와 hay land에 이르기까지 상당히 다양하다. 초지는 일반적으로 다년생 초본에(perennial grasses) 의해 우점된 식생을 가지고 방목은 가장 대표적인 토지이용형태이다.

초지는 보통 어떤 임계값보다 적은 임목피복을 가지는 생태계로서 산림과 구별된다. 지하부 탄소(C)는 초지에서 우위를 차지하며 이는 뿌리와 토양 유기물에 주로 포함되어 있다. 강우나 초지로부터 산림으로의 토양단면에서의 이동은 점진적으로 진행된다. 높은 비율의 다년생 임목 바이오매스를 가지는 많은 관목지는 초지의 일종으로 간주될 수 있으며 각 국가들은 이러한 관목지들 일부 또는 전부를 초지항목으로 고려할 것인지 여부를 선택할 수 있다.

많은 초지 종(species)은 방목과 화재로 인한 교란을 견디기 위한 적응과정에서 진화되어 왔으며 결과적으로 식생과 토양탄소(C) 모두는 상대적으로 방목과 화재(fire regimes)에 의한 교란을 견디기 위해 상대적으로 내성이 있다 (Milchunas and Lauenroth, 1993). 초지의 상당 종류는, 화재의 발생이 생태계 탄소(C)축적에 상당한 영향을 줄 수 있는 수종의 침입을 막는 핵심요소가 된다.(Jackson *et al.*, 2002).

*1996 IPCC 가이드라인*은 열대 사바나 화재와 초지에서 다른 토지이용으로의 전환과 관련 있는 바이오매스의 변화만을 다룬다. 초지전환으로 인한 이산화탄소(C)(CO_2) 배출 산정을 진행하기 위해 사용된 세 가지 계산법은 다음과 같다. 첫째, 지상부바이오매스 연소로 인해 방출된 이산화탄소(C)(CO_2), 둘째, 지상부바이오매스의 부패로 인해 방출된 이산화탄소(C)(CO_2), 셋째, 토양에서 방출된 이산화탄소(C)(CO_2)가 있다. 다년생의 임목 바이오매스 피복과 관련된 초지의 탄소(C) 축적량의 변화 또는 이들 시스템의 관리로 인한 변화로부터의 초지 탄소(C) 변화를 기록하기 위한 분명한 원칙은 없다.

이들 가이드라인은 *1996 IPCC 가이드라인*에서 갱신되었으며 지상부와 지하부바이오매스의 축적량 변화로 인한 초지에서의 탄소(C) 배출, 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 온실가스의 배출, 토양탄소(C) 축적량 변화로 인한 초지에서의 탄소(C) 배출과 흡수의 산정에 따른다. 이는 *GPG-LULUCF* (IPCC, 2003)에서 개발된 새로운 몇 가지 방법론과 함께 이용된다. *1996 IPCC 가이드라인*과 관련된 새로운 요소는 다음을 포함한다.

- 초지의 두 가지 주요 저장고 (바이오매스와 토양)의 탄소(C) 축적량 변화를 설명하기 위한 방법론
- 관리된 초지에 대한 자연적 교란과 화재의 영향에 대한 명백한 포함
- 초지로 전용된 토지에 대한 배출과 흡수량의 산정
- 사바나에서 모든 초지를 대상으로, 바이오매스 연소로 인한 non-CO2 온실가스배출의 산정을 위한 방법의 확장

• 토양 유기탄소(C)를 위한 축적량 변화율에 대한 새로운 계수와 C 인용값

본 장은 초지에서의 배출과 흡수량에 대한 기록과 산정을 위한 진보된 접근법과 기본값에 대한 가이드라인을 제공한다. 초지로 유지되는 초지와(6.2절) 초지로 전용된 토지에 (6.3절) 대한 방법과 가이드라인이 제공되어 있다. 초지로 유지되는 초지에 대하여, 탄소(C)배출과 흡수량은 탄소(C) 축적량에 대한 관리방법의 변화에의 영향산정에 근거한다. 초지로 전환된 토지에 대하여는, 탄소(C) 배출과 흡수량은 초지식생에 의하여 어떤 식생 타입에의 대체의 영향산정에 근거한다. 만약 초지를 초지로 유지되는 초지와 초지로 전용된 토지로 구분하기 위한 데이터를 이용할 수 없다면, 기본적인 접근은 모든 초지를 초지로 남아있는 초지 항목 하에서 고려하는 것이 된다.

연간 기후변화는 초지에 대한 탄소(C) 인벤토리를 편집할 때 고려해야할 중요한 인자가 된다. 식생 바이오매스의 큰 변화는 연간 강우량의 차이가 있는 연도별로 발생할 수 있다. 연간 강우량 변환은 관개 또는 비옥화와 같은 관리방법 결정에 영향을 줄 수도 있다.

6.2 초지로 유지되는 초지

초지로 유지되는 초지는 초지식생과 방목적 이용으로 관리된 방목지 또는 적어도 20년 전에 초지로 전용된 다른 토지 항목을 포함한다. 초지로 유지되는 초지의(GG) 토지이용항목에 대한 온실가스 인벤토리 작성은 다섯 개의 탄소(C) 저장고로부터(즉, 지상부바이오매스, 지하부바이오매스, 고사목, 잔재물, 토양 유기물)또 탄소(C) 축적량 변화산정과 또한 non-CO_2가스의 배출을 포함한다. 본 항목에의 온실가스의 배출과 흡수에 대한 원칙적인 배출원은 초지관리와 관리방법의 변화와 관련된다. 초지로 유지되는 초지에의 탄소(C) 축적량 변화는 제2장의 식 2.3을 이용하여 산정된다. 제1장의 그림1.2의 의사결정임목은 GG의 산정작업의 진행시 적절한 Tier의 선정을 위한 지침을 제공한다.

6.2.1 바이오매스

영구적인 초지에서의 탄소(C) 축적량은 인간 활동과 자연적 교란(임목 바이오매스의 수확, 방목장의 쇠락, 방목, 화재, 목장재건, 목장관리 등을 포함)에 의하여 영향을 받는다. 초지에서의 연간 바이오매스의 성장은 클 수 있으나 빠른 전도(turnover) 또는 방목과 화재로 인한 손실, 초본식생의 연간 노화로 인하여 많은 초지에서의 지상부바이오매스의 식생 축적량은 헥타르 당 몇 톤 이상을 넘기 힘들다. 더 많은 양은 뿌리 바이오매스와 토양에서 식생의 임목구성요소로서 축적될 수 있다. 각 풀에서의 탄소(C) 축적량의 증감의 정도는 위에 설명된 관리방법에 의해 영향을 받는다. 본 절은 임지로 유지되는 임지에 대한(임목 식생의 증가한 피복, 더해진 유기물에 의한 영향, 관리와 석회시용에 의한 영향을 포함) 바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 변화를 산정하는 데 지침을 제공한다. 초지로 유지되는 초지의 바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 변화를 지지하는 개념은 관리방법과 관련된다. 제2장의 그림2.2의 의사결정도는 바이오매스 탄소(C) 축적량 변화를 기록하기 위한 Tier의 선정에 대한 지침을 제공한다.

왜냐하면, 지하부바이오매스에 대한 데이터는 가끔 지상부바이오매스 와 지하부바이오매스의 비율(R)이 이용된 접근에 근거하여 간략화 된 특정 생태계에 대하여 부족하기 때문이다. 이러한 접근을 이용한 지하부바이오매스의 산정은 지상부바이오매스의 산정과 밀접한 관련을 맺는다. 그러므

로 단순하게 지상부와 지하부바이오매스는 산정과 기록 시 결합시킬 수 있다.

바이오매스 변화 산정에 대한 방법들이 개념적으로 초지, 농경지, 임지에 대하여 비슷하다 하더라도, 초지는 여러 가지 면에서 독특하다. 초지의 넓은 면적은 임목식생 우점도, 사멸률, 임목과 초본식생의 재성장, 지상부와 지하부의 탄소(C)의 분배에 영향을 줄 수 있는 주기적인 화재의 대상이 된다. 기후변화와 다른 관리행위(예, 임목과 잡목(brush)의 흡수, 방목지개선, 임목식재, 과도한 방목, 퇴화 등)는 바이오매스 축적량에 변화를 줄 수 있다. 사바나지 지역에서 수종에 대하여, 상대 성장관계는 많은 수의 임목 상당수의 관목(shrub), 속이 빈 임목(hollow trees), 높은 비율의 고사목식생, 뿌리 대 줄기의 고 비율, 작물재배, 재생 때문에 임지에서 쓰인 그것과 차이가 있다.

6.2.1.1 방법의 선정

제1장 그림1.2의 의사결정임목은 산정작업의 실행을 위한 적절한 Tier선정에의 지침을 제공한다. 바이오매스 내 탄소(C) 축적량 변화의 산정은 지상부바이오매스의 축적량 변화와 지하부바이오매스의 탄소(C) 축적량 변화에 대한 산정을 필요로 한다. 사용된 Tier와 데이터 이용가능성에 따라, 초지는 타입과, 지역 또는 기후지역과 관리시스템으로 분해될 수 있다. 각 국가들이 주어진 각 국가상황에 가능한 가장 높은 수준의 Tier를 개발함으로써 인벤토리 접근을 향상시키기 위하여 노력하는 것은 *우수실행(good practice)* 일이다. 만약 임지로 유지되는 임지에서 탄소(C) 배출과 흡수가 핵심 항목이라면, 그리고 만약 바이오매스의 하위항목이 제1권의 제4장에 개략적으로 제시된 원칙에 기반 하여 중요하게 다루어진다면, Tier 2 또는 3 방법을 이용하는 것이 *우수실행(good practice)* 이다.

Tier 1

Tier 1 접근은 초지로 유지되는 초지에서 바이오매스 변화는 없다고 가정한다. 관리의 유형과 강도가 모두 변하지 않는 초지에서는 바이오매스는 거의 정상상태가 된다 (즉, 식물의 성장으로 인한 탄소(C)축적은 거의 방목과 분해, 화재로 인한 손실과 균형을 이룬다). 시간이 지남에 따라 관리방법이 변화는 초지에서는 (예, 방목시스템의 서론, 방목을 위한 임목/잡목의 흡수, 개선된 방목관리 또는 다른 작업 등) 탄소(C) 축적량의 변화는 중요해진다. 만약 초지가 핵심 배출원이 아니라는 가정이 합리적이라면, 임의의 국가는 바이오매스 변화가 없다는 Tier 1의 가정을 적용할 수 있다. 그러나 만약 초지로 유지되는 초지에 대한 신뢰도 있는 변화율산정을 개발하기 위한 정보가 이용가능하다면, 임의의 국가는 초지로 남아있는 초지가 ,특히 관리방법이 변하는 경우에, 핵심 배출원이 아니라 해도 상위의 Tier를 사용할 수 있다.

Tier 2

Tier 2는 관리방법으로 인한 바이오매스 변화의 산정을 따른다. 바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 산정을 위하여 두 가지 방법이 제안 된다:

증가-감소 방법 *(제2장의 식 2.7 참고)*: 이 방법은 관리항목에 따른 초지의 면적 산정과 바이오매스 축적량의 연평균 증가와 감소를 포함한다. 이 방법은 초지로 유지되는 초지하의 기후별, 생태학적 지역별 초지타입별, 교란체계별, 관리체계별 바이오매스 탄소(C) 저장고와 각기 다른 초지형태에 따른 바이오매스 손실에 대하여 중요한 영향을 미치는 다른 요소에 따른 면적의 산정을 필요로 한다.

비축차 방법 *(제2장의 식2.8을 참고)*: 저장-차이방법은 초지의 면적산정과 시간t1과 t2에서 바이오매스 축적량의 산정을 포함한다. 인벤토리 년도에 대하여 연평균 바이오매스 축적량 차이는 인벤토리들 사이의 기간(년도)에 의한 축적량 차이로 나눔으로써 얻어진다. 이 방법은 주기적인 인벤토리를 가진 국가들에 대하여 적용 가능하고 Tier 3 방법을 적용하는 국가들에 더 적합하다. 이 방법은 매우 다양한 기후를 가진 지역에는 적합하지 않을 수 있으며 만약 연간 인벤토리를 만들 수 없는 경우, 위조된 결과를 도출할 수 있다.

Tier 2

Tier 3 방법은 국가특성 배출계수와 이를 대체할 수 있는 국가 자료를 가진 국가들에서 이용한다. 국가별로 정의된 방법론은 해당 국가의 초지 그리고/또한 모델에 대한 영구적인 표본 토지의 상세화 된 인벤토리에 근거할 수 있다.

Tier 3에 대하여, 국가들은 각 국가 자체의 방법론과 바이오매스 변화산정을 위한 변수를 개발해야 한다. 이들 방법론들은 상기된 식2.7과 식2.8에서 유도될 수 있고 또한 다른 접근법에 근거할 수 도 있다. 사용된 방법은 명확하게 첨부되어야 한다.

국가차원에서 바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 산정은 국가 초지 인벤토리, 국가차원의 모델 또는 제1권에 정립된 원칙에 근거한 온실가스(GHG)인벤토리 전용의 주기적인 샘플링의 부분으로서 결정되어야 한다. 인벤토리 데이터는 모든 초지 탄소(C) 저장고의 역동성을 포착하기 위한 모델링 연구와 함께 병행할 수 있다.

Tier 3 방법은 낮은 Tier 보다 더 높은 확실성을 가진 산정을 제공하며 개별적 탄소(C) 저장고 간의 더 큰 상관관계를 보여준다. 어떤 국가들은 각 교란의 타입에 대한 각기 다른 풀들 사이의 탄소(C) 재분배 패턴을 제공하는 교란 매트릭스를 개발해 오고 있다.

6.2.1.2 배출/흡수 계수의 선정

관리로 인한 결과로서 바이오매스 변화산정을 위하여 필요로 하는 배출과 흡수계수는 바이오매스 증가율, 바이오매스 손실, 지하부바이오매스의 확장계수를 포함한다. 배출과 흡수계수는 다년생 임목식생의 초지로의 잠식, 과다방목과 다른 관리영향으로 인한 분해 결과인 바이오매스 증가와 흡수량을 산정하기 위해 이용된다.

Tier 1

Tier 1은 초지로 유지되는 초지에서 상당한 배출이나 흡수가 발생하지 않는 곳에서 선택된다. Tier 1에 대한 가정은 모든 초지로 유지되는 초지에서의 바이오매스는 안정하다는 것이다. 초지관리 또는 교란의 중대한 변화를 겪은 국가들은 이러한 영향을 산정하고 Tier 2 또는 3 방법론 하에서 기록하기 위하여 국내 데이터를 개발하도록 노력해야 한다.

Tier 2

만약 어떤 초지항목에 대한 국가 또는 지역적 값을 이용할 수 없다면, 기본값과 조합하여 초지 항목별로 바이오매스 탄소(C) 축적량에 대한 국가차원 데이터를 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 획득-손실 방법의 경우, 순 바이오매스 증가, 수확된 살아있는 임목과 풀에서부터 잔재물의 수확에 의한 손실, 분해율에 대한 국가 특성값과 저장-차이법의 바이오매스 축적량의 순변화량은 국가특성자료로부터 초지타입, 바이오매스 이용율, 수확방법과 수확시 손상된 식생의 량을

고려함으로써 유도할 수 있다. 교란체계에 대한 국가특성값은 과학적인 연구로부터 유도할 수 있다.

지하부바이오매스 산정은 초지의 바이오매스조사의 중요한 구성요소가 될 있으나 현지측정은 곤란하고 어렵다. 그러므로 지상부바이오매스로부터 지하부바이오매스를 산정하는 확장계수가 종종 사용된다. 화재와 방목에의 적용은 다른 많은 생태계와 비교하여 더 높은 뿌리-가지비율로 (root-to-shoot ratios) 귀착한다. 그러므로 교란되지 않은 생태계에서의 바이오매스 확장계수는 변형 없이는 적용이 불가능하다. 뿌리-가지 비율(root-to-shoot ratios)은 개별 종과(예. Anderson *et al.*, 1972) 군집크기(예. Jackson *et al.*, 1996; Cairns *et al.*,1997) 둘 다에 대하여 상당히 다양하다. 그러므로 이는 가능한 범위 내에서, 특정 지역 또는 식생타입에 대하여 경험적으로 유도된 뿌리-가지 비율을 이용하는 것이 권장된다. 표 6.1은 전 세계의 주요 기후지역에서의(I별첨 3A.5에서 차용한 IPCC 기후지역) 초지 생태계에 대한 뿌리-가지 비율 기본값이(모든 식생) 제시 되어 있다. 이들 값은 국가특성자료를 가지지 못한 국가들이 국가특성 비율을 개발할 때 본값으로서 사용할 수 있다.임지/사바나 그리고 관목지에 대한 비율은 또한 들 지역을 인벤토리에 초지 항목에 포함하는 국가들에 의한 이용을 포함한다.

표 6.1
세계의 주요 초지생태계에 대한, 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율(R)의 기본확장계수

토지이용 항목	식생종류	IPCC 기후지역에 근접한 분류[1]	R [톤 d.m. 지하부바이오매스 (톤 d.m. 지상부바이오매스) -1]	n	오차[2]
초지	대초원/툰드라/초원지대	아한대 건조, 다습 한대 다습 온대 다습	4.0	7	±150%
	반-건조 초지	한대 건조 온대 건조 열대 건조	2.8	9	±95%
	아열대/열대초지	열대 습윤, 다습	1.6	7	±130%
기타	임지/열대초원		0.5	19	±80%
	관목지		2.8	9	±144%

[1]배출원 자료의 분류는 초지군계 유형 의하며, 따라서 IPCC 기후지역에 해당하는 것과 비슷하다.
[2]오차 산정은 평균 비율 같이 두 시점의 표준편차로서 주어진다.

Tier 2

Tier 3 접근은 역동성 모델의 이용과 바이오매스 축적량 변화측정 인벤토리로 이루어져있다. 이러한 접근은 단순한 축적량 변화 또는 배출계수(per se)의 적용을 의미하지는 않는다. 모델에 근거한

접근법을 이용한 배출/흡수량의 산정은 모델 내의 바이오매스 축적량의 순 변화를 산정하는 여러 개의 공식으로부터 유도된다. 상세한 산림 인벤토리에서 사용된 그것과 비슷한 주기적인 샘플링에 근거한 축적량 산정과 결합된 모델은 축적량 변화를 산정하기 위하여 적용될 수 있으며 또는 초지면적에 대한 공간적인 외삽법을 실시하기 위한 Tier 2로서 입력과 출력을 산정하기 위하여 적용될 수 있다. 예를 들어, 방목강도, 화재, 비옥화 등과 같은 관리영향을 통합하는 검증된 종 특성 성장모델(validated species-specific growth models)은 관리행위에 대하여 상응하는 데이터와 함께 시간에 따른 초지에서의 바이오매스 순 변화를 산정하는 데 이용될 수 있다.

6.2.1.3 활동자료의 선정

활동도 데이터는 주요 초지타입, 관리행위 와 교란체계에 따라 요약된 초지로 유지되는 초지의 면적으로 구성된다. 전체 초지면적은 제3장에서 간략화 된 접근법에 따라 결정되어야 하며, 본 chapter의 다른 절에서 다뤄지는, 특히 초지로 유지되는 초지의 DOM과 토양탄소(C) 절의 그것과 동일하여야 한다. 바이오매스의 변화평가는 이 정보가 국가차원의 토양과 기후데이터, 식생 인벤토리, 기타 생물물리학적 데이터와 결합되어 이용될 수 있을 때, 상당히 유용하다.

6.2.1.4 Tier 1 과 2에 대한 계산단계

다음은 바이오매스 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위한 요약된 단계이다 (ΔC_B).

Tier 1

임의의 국가가 Tier 1 접근의 적용을 선택하면, 탄소(C) 축적량의 변화가 없을 것으로 예상되는 생태계가 안정 상태로 가정되므로 더 이상의 작업은 의미가 없다. 그러므로 바이오매스에 대한 워크시트는 제시되지 않는다.

Tier 2 (획득-손실 방법 제2장의 식 2.7)

단계 1: 본 평가에 이용된 초지 항목들과 대표적인 지역을 결정하다. 항목들은 초지종류에의 정의(예, 기후지역과 종 군집에 의해 분류됨) 그리고 상태나 그 종류에 대한 관리방법으로 구성 된다[예, 키가 큰 초원이 분해 되는 것이나 (USA,Canada), '대초원에 방목되는 것' (Brazil)]. 면적 자료는 제3장에서 설명된 방법을 이용하여 얻어져야 한다.

단계 2: 각 계층에 대한 바이오매스 증가와 임목 바이오매스의 손실을 결정하고(식 2.9와 식 2.11 이용)이들을 이용하여 바이오매스의 순 변화를 산정하라(식2.7이용). 지상부바이오매스에 대한 데이터만이 존재하는 경우, 해당 국가는 바이오매스의 지하부바이오매스의 비율을 산정하기 위하여 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율(R)에 대한 확장계수를 이용할 수 있다. 바이오매스의 변화를 건조 바이오매스의 탄소(C)함량과 곱하라. 바이오매스 건중량의 기본 값은 바이오매스 톤 당 0.5 톤의 탄소(C)이다. Tier 2 방법은 국가특성계수를 이용할 수 없는 경우, 지하부바이오매스를 산정하기 위하여 표6.1에 제시된 기본확장계수를 이용할 수 있다.

단계 3: 평균 바이오매스 증가와 초본바이오매스의 손실을 결정하고 식2.7을 이용하여 바이오매스 순 변화를 산정하기 위하여 이를 이용하라. 식2.9와 2.11에 근거한 접근은 초본 바이오매스에 대하여 적용될 수 있다. 지상부바이오매스에 대한 데이터만 존재하는 경우, 해당 국가는 바이오매스에 대한 지하부바이오매스의 비율을 산정하기 위하여 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율

(R)에 대한 확장계수를 이용할 수 있다. 바이오매스의 변화를 건조 바이오매스의 탄소(C)함량과 곱하라. 바이오매스 건중량의 기본 값은 바이오매스 톤 당 탄소(C) 0.47 톤이다. 이 기본값은 GPG-LULUCF (IPCC, 2003)에서의 기본값과 다르다. 그러나 초본 바이오매스에 대하여 더 합리적이다. Tier 3 접근은 국가특성 또는 생태계특성 확장계수를 필요로 한다. Tier 2 방법은 국가특성 계수를 이용할 수 없는 경우, 지하부바이오매스를 산정하기 위하여 표 6.1에 주어진 기본확장계수를 이용할 수 있다.

단계 4: 만약 증가와 감소가 기본면적에 대하여 계산되었다면, 각 항목에 대한 대표면적과 각 항모에 대한 바이오매스 순 변화를 곱하여 각 항목에 대한 바이오매스 탄소(C) 축적량의 전체 변화를 산정해야 한다. 만약 그렇지 않다면 제 5단계로 진행하라.

단계 5: 초본과 다년생 임목 바이오매스에 대한 순 변화를 합하여 바이오매스의 탄소(C) 축적량 전체 순 변화를 산정하라.

Tier 2 (저장-차이방법 제2장의 식 2.8)

단계 1: 증가-감소 방법과 동일하다 (상단 참고).

단계 2: 인벤토리 시간간격, 초기인벤토리의 평균임목바이오매스(t1)과 최종인벤토리의 평균임목바이오매스(t_2)를 결정하라. 이들 수치를 이용하여 임목 바이오매스의 연간 순변화를 산정하라.(식2.8) 지상부바이오매스에 대한 데이터만이 존재하는 경우, 해당 국가는 바이오매스에 대한 지하부바이오매스의 비율을 산정하기 위하여 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율(R)에 대한 확장계수를 이용할 수 있다. 바이오매스의 변화를 건조 바이오매스의 탄소(C)함량과 곱하라. 바이오매스 건중량의 기본 값은 바이오매스 톤 당 탄소 (C) 0.50 톤이다. Tier 3 접근은 국가특성 또는 생태계특성 확장계수를 필요로 한다. Tier 2 접근은 국가특성계수를 이용할 수 없는 경우, 지하부바이오매스를 산정하기 위하여 이용가능 하다면, 표 6.1에 주어진 기본확장계수를 이용할 수 있다. 표6.1의 R 값은 전체 생태계 R 값임을 명심하라. 그러므로 이들 값들을 이용하기 위해서는 지상부 초본과 임목 바이오매스를 더하고 그 다음에 지하부바이오매스에 대한 값을 얻기 위하여 R을 곱해야 한다.

단계 3: 인벤토리 시간간격, 초기인벤토리의 평균임목바이오매스(Ct_1)과 최종인벤토리의 평균임목바이오매스(Ct_2)를 결정하라. 식 2.8을 이용하여 초본 바이오매스 연간 순 변화를 산정하기 위하여 이들 수치와 인벤토리 시간간격을 이용하라. 지상부바이오매스에 대한 데이터만 존재하는 경우, 해당 국가는 바이오매스에 대한 지하부바이오매스의 비율을 산정하기 위하여 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율(R)에 대한 확장계수를 이용할 수 있다. 바이오매스의 변화를 건조 바이오매스의 탄소(C)함량과 곱하라. 바이오매스 건중량의 기본 값은 바이오매스 톤당 탄소(C) 0.47 톤이다. 이 기본값은 GPG-LULUCF (IPCC, 2003)에서의 기본값과 다르다. 그러나 초본 바이오매스에 대하여 더 합리적이다. Tier 2 접근은 국가특성계수를 이용할 수 없는 경우, 지하부바이오매스를 산정하기 위하여 표 6.1에 주어진 기본확장계수를 이용할 수 있다.

단계 4: 식2.8을 이용하여 각 항목에 대한 바이오매스 탄소(C) 축적량 전체 변화를 산정하라.

단계 5: 초본과 다년생 임목 바이오매스를 더하여 바이오매스 탄소(C) 축적량의 전체 순 변화를 산정하라.

6.2.1.5 불확도 평가

본 절은 초지로 유지되는 초지에서의 바이오매스 탄소(C)를 위한 산정과 관련된 배출원-특정 불확도를 다룬다. 탄소(C) 인벤토리에 존재하는 불확도의 두가지 배출원은 다음과 같다. 첫째, 토지이용과 관리행위와 환경데이터에 대한 불확도, 둘째, 탄소(C)증가와 손실, Tier 2접근에 대한 축적량 변화/배출계수에서의 탄소(C) 축적량과 확장계수 항, Tier 3 모델에 기반 한 접근에 대한 모델 구조/변수 오차 또는 Tier 3 추정에 기반 한 인벤토리와 관련된 측정오차/샘플링 가변성에의 불확도이다. 일반적으로, 각 항목에 대한 값을 측정하기위한 샘플링 강도가 커질수록 인벤토리의 정밀도는 커지고, 신뢰구간은 더 좁아진다. 한편, 편향을 줄이는 것은(즉, 정확도를 향상시키기 위하여) 국가특성 정보와 병행하는 고차수준의 Tier의 개발을 통하여 달성하기 더 용이하다. 오차산정 (즉, 표준편차, 표준오차 또는 구간 등)은 기본 불확도 평가에 이용되는 국가별로 정의된 항의 각각에 대하여 계산되어야 한다.

토지이용과 관리데이터에의 불확도는 인벤토리 작성자에 의하여 설명되어야 할 필요성이 있으며, 단순오차확대공식(simple error propagation equations)과 같은 적절한 방법을 이용하여 탄소(C) 축적량 인용값과 기본계수에 대한 불확도와 결합시켜야한다. Tier 2 방법에 대하여, 구가특성 정보는 편향을 줄이기 위한 목적으로 인벤토리 분석과 함께 진행되어야 한다. 계수, 탄소(C) 축적량 인용값 또는 토지이용과 관리활동도데이터간의 의존성을 평가하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 특히, 토지이용과 관리활동도데이터간의 강한 의존성은 일반적이다. 왜냐하면, 관리행위는 시간과 공간에 관련이 있게 마련이기 때문이다. 축적량 변화/배출 계수, reference 탄소(C) 축적량 과 활동도 데이터에 대한 불확도의 결합은 바이오매스 탄소(C) 축적량 변화에 대한 평균 및 표준편차를 산정하기 위한 단순오차확대공식(simple error propagation equations) 또는 몬테-카를로 절차(Monte-Carlo procedures)와 같은 방법을 이용하여 수행 될 수 있다 (Ogle *et al.*, 2003, Vanden Bygaart *et al.*, 2004). Tier 3은 더 복잡하고, 단순오차확대공식(simple error propagation equations)은 산정의 결과에 대한 불확도와 관련한 정량화에 비효율적이며, 몬테-카를로 분석(Monte Carlo analysis가 가능하다 (Smit hand Heath, 2001). 그러나 만약 모델이 많은 변수를 가지고 있을 경우는 그 적용이 어려울 수 있다.(어떤 모델은 수백 개의 변수들을 가질 수 있다.) 왜냐하면 둘이상의 변수를 가지는 확률분포 함수는 변수 간 공분산(共分散) 뿐 아니라 분산을 정량하기 위해 고안되어야 하기 때문이다. 측정결과와 모델링 결과간의 관계를 통계적으로 산정하는 모니터링 네트워크로부터의 측정을 사용하는 (Falloon and Smith, 2003) 경험에 기반 한 접근과 같은 다른 방법들 또한, 이용가능하다 (Monte *et al.*, 1996). 모델링과 대조적으로, 측정에 기반 한 Tier 3 인벤토리의 불확도는 측정오차와 불확도와 관련된 다른 배출원과 표본분산으로부터 직접적으로 산정할 수 있다.

확장계수의 불확도

표 6.1에 제시된 불확도 산정의 기본값은 지하부바이오매스 확장계수에 대하여 표현된 불확도에 대하여 이용될 수 있다. 임목과 초본 바이오매스의 탄소(C)항목에 대한 확장계수와 관련된 불확도는 2에서 6 퍼센트로 상대적으로 작다. Tier 2와 3산정에 대하여, 국가특성 또는 지역적으로 유도된 값들이 이용된다. 이러한 탄소(C) 축적량 인용값과 축적량 변화계수는 본래 높은 불확도와 특정 국가에 적용될 경우 편향된다. 기본값은 토지이용과 관리영향의 평균화된 값들 또는 지역특성값에 따라 다양해 질 수 있는 탄소(C) 축적량 인용값을 의미한다. 임의의 국가가 지상부와 지하부 바이오매스에 대한 기본계수의 불확도를 결정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

활동자료의 불확도

지역데이터와 불확도의 산정은 제3장의 방법을 이용하여 얻어질 수 있다. Tiers 2와 3 접근은 또한 국가별 경계내의 초지관리 시스템에 대한 기후지역별 면적산정과 같은 상세한 해상도의 활동자료를 이용한다. 뛰어난 해상도 자료(finer-resolution data)는 더 작은 단위의 토지 데이터베이스에 대하여 정의된 탄소(C) 축적계수와 관련될 때, 불확도의 정도(level)를 감소시킨다. 만약 활동도 데이터에 대하여 총합된 토지이용 면적통계(예, FAO 자료)를 이용하는 경우, 인벤토리 기관은 토지이용산정에 대하여 불확도의 기본 level을 적용해야 한다 (±50%). 그러나, 인벤토리 작성자가 기본단계를 이용하는 대신 국가특성 활동자료로부터의 불확도를 유도하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. Tiers 2와 3에 대하여, 더 높은 해상도의 활동자료의 사용은(예, 국가별 경계내의 초지관리 시스템에 대한 기후지역별 면적산정)모든 탄소(C) 축적/손실 변수가 적절하게 분류 되었을 때, 불확도 수준을 감소시킬 수 있다. 토지이용 활동도 통계의 불확도는 진보된 국가시스템을 통하여 감소될 수 있다.(예, 추가적인 표본위치와 병행한 토지기반 조사의 개발 또는 확장, 부가적인 피복정보를 제공하기 위한 원격탐사와의 병행) 국가차원에서 불확도를 최소화하기 위한 충분한 표본크기를 가지고 토지이용의 대부분과 관리 활동도를 얻기 위한 분류 시스템을 계획하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

6.2.2 고사 유기물

고사 유기물(DOM) 저장고와 관련된 탄소(C) 축적량 변화산정을 위한 방법은 고사 유기물 저장고에 대하여 2가지 형태로 제시된다. 첫째, 고사목과 둘째, 잔재물이다. 제1장은 이러한 풀에 대한 상세화 된 정의를 제공하다. 고사목은 잔재물, 토양, 대기로의 방출로의 이동률에 대한 불확도와 관련하여 현지에서 측정하기 어려운 다양한 풀이다. 고사목의 양은 최근 교란부터의 시간, 교란이 일어난 시간에서의 투입량 (사멸률), 자연적 사멸률, 부패율과 관리방법에 의존한다. 잔재물 축적은 연간 모든 잎, 잔가지 작은 가지, 열매, 꽃, 임목껍질을 포함하는 낙엽층에서 이들 투입량의 연간 분해율을 뺀 것의 함수이다. 잔재물 질량은 또한 최근 교란으로부터의 시간과 교란의 종류에 영향을 받는다. 관리행위는 또한 잔재물 함량을 변화시킨다. 그러나 잔재물 탄소(C)에 대한 관리영향에 대한 연구사례는 많지 않다.

6.2.2.1 방법의 선정

DOM의 탄소(C) 축적량 변화의 산정은 고사목의 축적량 변화와 낙엽 축적량 (제2장의 식2.17을 참고하라.)의 변화의 산정을 필요로 한다. 제1장, 그림 1.2의 의사결정 임목은 산정 작업의 시행 시 적절한 Tier 선정에 도움을 준다. 고사목과 낙엽 저장고는 개별적으로 다루어지나 각 저장고의 변화에 대한 산정방법은 동일하다.

Tier 1

Tier 1 방법은 고사목과 낙엽 축적량이 평형을 이룬다고 가정한다. 그래서 이들 풀에 대한 탄소(C) 축적량 변화를 산정할 필요는 없다. 그러므로 초지로 유지되는 초지에서의 DOM에 대한 작 업표는 제공되지 않는다. 초지형태 또는 교란 또는 초지의 관리체계에 심각한 변화를 겪은 나라에서는 Tier 2 또는 3방법론 하에서 그 영향을 정량화하고 기록하기 위한 국내 데이터를 개발하도록 노력하여야 한다.

Tier 2와 3

Tiers 2 와 3는 관리 작업으로 인한 고사목과 낙엽의 탄소(C)의 변화에 대한 계산을 따른다. DOM의 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위하여 다음의 두 가지 방법이 제안된다.

증가-감소 방법 (제2장, 식 2.18): 이 방법은 초지 관리항목의 면적산정과 고사목과 잔재물 축적량으로의 또는 에서의 연평균 이동을 포함한다. 이는 다음의 사항을 요구한다. (i)기후 또는 생태지역 또는 초지형태, 교란체계, 관리체계 또는 고사목과 낙엽의 탄소(C) 저장고에 중대한 영향을 줄 수 있는 다른 요소에 따른 초지로 유지되는 초지의 면적 산정, (ii) 고사목과 낙엽 저장고로 이동한 바이오매스의 양, 그리고 (iii) 초지형태에 따른 헥타르 당 고사목과 낙엽 축적량에서 이동된 바이오매스의 양

비축차 방법 (제2장, 식 2.19): 본 방법은 초지의 면적과 시간 t1과 t2에서의 고사목과 낙엽 축적량의 산정을 포함한다. 인벤토리 연도에 대한 고사목과 낙엽 축적량 변화는 두 개의 측정 사이의 기간(년도)에 의한 축적량 변화로 나눔으로써 얻어진다. 저장-차이법은 주기적인 초지인벤토리를 보유한 국가에 대하여 적용이 용이하다. 본 방법은 기후가 다양하게 변하는 지역에는 적절하지 않을 수 있으며, 연간 인벤토리가 작성되지 않는다면, 위조된 결과가 도출 될 수 있다. 본 방법은 Tier 3 방법을 적용하는 국가들에 대하여 더욱 적합하다. Tier 3 방법은 국가특성 배출계수와 이를 대체할 수 있는 국가차원의 데이터를 보유한 국가에서 이용한다. 국가별로 정의된 방법론은 각 국가의 초지 그리고/또는 모델에 대한 영구적인 표본 토지에 대한 상세한 인벤토리에 근거할 수 있다.

6.2.2.2 배출/흡수계수의 선정

탄소(C) 분율: 고사목과 잔재물의 탄소(C)분율은 다양하고 분해단계에 의존한다. 임목은 잔재물보다는 변화폭이 적고 탄소(C) 분율에 대하여 탄소(C) 0.50 톤 (톤 d.m.)$^{-1}$값이 이용된다. 초지 잔재물에 대한 탄소(C) 분율의 범위는 0.05~0.50이다.(Naeth et al.,1991; Kauffman et al., 1997) 국가특성 데이터 또는 생태계특성 데이터를 이용할 수 없는 경우, 탄소(C)분율은 0.04로 간주된다.

Tier 1

모든 초지로 유지되는 초지에서 DOM 탄소(C) 축적량은 안정하다는 Tier 1가정에 의하여, 배출/흡수계수의 산정은 필요하지 않다.

Tier 2

만약 국가 또는 지역 값이 어떤 초지항목에 대하여 이용가능하지 않은 경우, 기본값과 함께 초지항목별 국가차원의 DOM 데이터를 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 획득-손실 방법의 경우에서 수확된 살아있는 임목과 풀로부터 잔여물수확과 분해율로의 탄소(C)의 이동에 대한 국가특성값과 또는 저장-차이법의 경우에서 DOM 저장고의 순변화는 초지형태, 바이오매스 이용률, 수확방법과 수확 시 손상된 식생의 양을 고려한 국내 확장계수로부터 유도될 수 있다. 교란체계에 대한 국가특성값은 과학적인 연구로부터 유도된다.

Tier 3

Tier 3에 대하여, 해당 국가들은 각 국가 고유의 방법론과 DOM 변화산정에 필요한 배출계수를 개발해야 한다. 본 방법론은 위에서 상세하게 설명한 방법들로부터 유도할 수 있고 또한 다른 접근에 근거할 수도 있다. 이용된 방법에 대하여는 분명하게 증거자료를 첨부하고 설명해야 한다.

국가차원으로 분해된 DOM 탄소(C) 산정은 국가차원의 초지 인벤토리, 국가차원의 모델의 일부로서 결정되어야 하며, 제3장의 별첨3A.3에서 정립된 원칙에 따른 주기적인 샘플링과 병행한 온실가스 전용의 인벤토리 프로그램에 의하여 결정되어야 한다. 인벤토리 데이터는 모든 초지 탄소(C) 저장고의 역동성s를 얻기 위하여 모델링 연구와 함께 진행되어야 한다. Tier 3 방법은 낮은 단계의 Tier보다 더 높은 확실성을 가진 산정을 제공하며 개별 탄소(C) 저장고 사이의 더 높은 상관성을 보인다. 어떤 국가들은 각기 교란행태에 대한 다른 풀들 간의 탄소(C) 재배열 패턴을 제공하는 교란 매트릭스를 개발해 왔다 (제2장의 표 2.1을 참고.) DOM 탄소(C) 공급 모델링에서 또 다른 중요한 변수는 임목의 형태와 미기후조건, 장소준비절차 (예, 조작된 광범위한 화재 또는 건초더미 등의 연소)에 따라 다양하게 변할 수 있는 분해율이다.

6.2.2.3 활동자료의 선정

활동도데이터는 주요 초지유형, 관리행위 와 교란체계에 따라 요약된 초지로 유지되는 초지의 면적으로 구성된다. 전체 초지면적은 본 chapter의 다른 절에서 다뤄지는, 특히 초지로 유지되는 초지의 DOM과 토양탄소(C) 절의 그것과 동일하여야 한다. 고사유기물의 변화산정은 이 정보가 국가토양 및 기후데이터, 식생 인벤토리 그리고 다른 지구물리학상의 데이터와 함께 이용될 경우 가장 유용하다. 면적산정은 제3장에서 설명된 방법을 이용하여 얻게 된다.

6.2.2.4 Tier 1 과 2에 대한 계산단계

다음은 DOM 탄소(C) 축적량의 변화산정을 위한 간략화 된 단계이다.

Tier 1

Tier 1 방법을 이용하여 수행된 본 항목을 기록하는 결정이 서면, 더 이상의 작업은 불필요 하다. 왜냐하면 생태계가 안정상태로 가정되고 고사목 또는 낙엽층의 탄소(C) 축적량에의 변화는 없을 것으로 예상되기 때문이다.

Tier 2 (획득-손실 방법) – 제2장, 식 2.18

각 DOM 저장고 (고사목과 낙엽층)는 개별적으로 다루어지나 각 저장고에 대한 방법은 동일하다.

단계 1: 본 평가에 이용될 초지형태에 대한 항목과 대표적인 지역을 결정하라.

단계 2: 대표적인 저장고에 대한 고사목과 잔재물의 투입율과 산출율을 결정하다. 인벤토리 또는 과학적인 연구로부터 각 항목에 대한 고사목과 잔재물의 평균 입출력에 대한 값들을 확인하라. 만약 이들 저장고의 입출력에 대한 기본 계수가 존재하지 않으면, 임의의 국가는 지역적으로 가증한 데이터를 이용하여야 한다. 입력으로부터 출력을 감하여 DOM 저장고내의 순 변화를 계산한다. 음의 값은 축적량 내 순감소를 의미한다.

단계 3: 입력으로부터 출력을 감하여 각 항목에 대한 DOM 축적량의 순 변화를 결정하라. DOM 바이오매스 축적량의 순 변화를 탄소(C) 분율을 곱하여 각 항목에 대한 탄소(C) 축적량으로 변환하라. 고사목에 대한 기본 탄소(C) 분율은 바이오매스 톤 당 탄소 0.50 톤 (톤 d.m.)$^{-1}$이고 낙엽층에 대하여는 탄소(C) 0.40 톤 (톤 d.m.)$^{-1}$이다. Tier 2 방법은 국가특성 또는 생태계 특성 축적량 변화율 계수를 필요로 한다.

단계 4: 각 항목에 대하여 항목에 대한 DOM 탄소(C) 축적량 순변화에 의한 대표적인 면적을 곱하여 각 항목에 대한 DOM 탄소(C) 저장고의 전체 변화를 산정하라.

단계 5: 전체 항목에 대한 DOM 전체 변화를 합하여 고사목의 탄소(C) 축적량 전체 변화를 산정하라.

Tier 2 (비축차 방법) – 제2장, 식 2.19

각 DOM 풀은(고사목과 잔재물) 개별적으로 다루어지나 각 풀에 대한 방법은 동일하다.

단계 1: 본 평가에 이용될 초지형태에 대한 항목과 대표적인 지역을 결정하라.

단계 2: 각 항목에 대하여 DOM 축적량의 순 변화를 결정하라. 인벤토리 데이터로부터 인벤토리 시간주기와 초기 인벤토리 (t_1)에서의 DOM의 평균축적량과 최종 인벤토리 (t_2)에서의 DOM의 평균축적량을 확인하라. t_2에서 DOM 축적량에서 t_1에서 DOM 축적량을 빼고 시간간격에 의한 이들 변화로 나눔으로써 DOM 축적량의 연간변화를 산정하는 데 이들 수치를 이용하라 (식2.19). 음의 값은 축적량 내 순감소를 의미한다.

단계 3: 각 항목에 대한 DOM 탄소(C) 축적량의 순 변화를 결정하라. 각 항목에 대한 DOM 축적량 순 변화를 DOM에의 탄소(C) 분율과 곱하여 DOM 탄소(C) 축적량의 순 변화를 결정하라. Tier 2 방법은 국가특성 또는 생태계특성 확장계수를 필요로 한다.

단계 4: 획득-손실 방법과 동일하다.

6.2.2.5 불확도 평가

본 절은 초지로 유지되는 초지에서의 DOM을 위한 산정과 관련된 배출원-특정 불확도를 다룬다. 탄소(C) 인벤토리에 존재하는 불확도의 두 가지 배출원은 다음과 같다. 첫째, 토지이용과 관리행위와 환경데이터에 대한 불확도, 둘째, 탄소(C)증가와 손실, Tier 2접근에 대한 축적량 변화/배출계수에서의 탄소(C) 축적량과 확장계수 항, Tier 3 모델에 기반 한 접근에 대한 모델 구조/변수 오차 또는 Tier 3 측정에 기반 한 인벤토리와 관련된 측정오차/샘플링 가변성에의 불확도이다. 일반적으로, 각 항목에 대한 값을 측정하기위한 샘플링 강도가 커질수록 인벤토리의 정밀도는 커지고, 신뢰구간은 더 좁아진다. 한편, 편향을 줄이는 것은(즉, 정확도를 향상시키기 위하여) 국가특성 정보와 병행하는 고차수준의 Tier의 개발을 통하여 달성하기 더 용이하다. 오차산정(즉, 표준편차, 표준오차 또는 구간 등)은 기본 불확도 평가에 이용되는 국가별로 정의된 항의 각각에 대하여 계산되어야 한다.

토지이용과 관리데이터에의 불확도는 인벤토리 작성자에 의하여 설명되어야 할 필요성이 있으며, 단순오차확대공식(simple error propagation equations)과 같은 적절한 방법을 이용하여 탄소(C) 축적량 인용값과 기본계수에 대한 불확도와 결합시켜야한다. Tier 2 방법에 대하여, 국가특성 정보는 편향을 줄이기 위한 목적으로 인벤토리 분석과 함께 진행되어야 한다. 계수, 탄소(C) 축적량 인용값 또는 토지이용과 관리활동도데이터간의 의존성을 평가하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 특히, 토지이용과 관리활동도데이터간의 강한 의존성은 일반적이다. 왜냐하면, 관리행위는 시간과 공간에 관련이 있게 마련이기 때문이다. 축적량 변화/배출 계수, 탄소(C) 축적량 인용값과 활동도데이터에 대한 불확도의 결합은 바이오매스 탄소(C) 축적량 변화에 대한 평균 및 표준편차를 산정

하기 위한 단순오차확대공식(simple error propagation equations) 또는 몬테-카를로 절차(Monte-Carlo procedures)와 같은 방법을 이용하여 수행 될 수 있다 (Ogle *et al.*, 2003, Vanden Bygaart *et al.*, 2004).

Tier 3 모델은 더 복잡하고, 단순오차확대공식(simple error propagation equations)은 산정의 결과에 대한 불확도와 관련한 정량화에 비효율적이며 몬테-카를로 분석(Monte Carlo analysis)이 가능하다 (Smith and Heath,2001). 그러나 만약 모델이 많은 변수를 가지고 있을 경우는 그 적용이 어려울 수 있다.(어떤 모델은 수 백 개의 변수들을 가질 수 있다.)왜냐하면 둘이상의 변수를 가지는 확률분포 함수는 변수 간 공분산(共分散) 뿐 아니라 분산을 정량을 위해 고안되어야 하기 때문이다. 측정결과와 모델링 결과간의 관계를 통계적으로 산정하는 모니터링 네트워크로부터의 측정을 사용하는(Falloon and Smith, 2003) 경험에 기반 한 접근과 같은 다른 방법들 또한, 이용가능하다 (Monte *et al.*, 1996). 모델링과 대조적으로, 측정에 기반 한 Tier 3 인벤토리의 불확도는 측정오차와 불확도와 관련된 다른 배출원과 표본 분산으로부터 직접적으로 산정할 수 있다.

확장계수 불확도

표 6.1에 제시된 불확도 산정의 기본 값은 지하부바이오매스 확장계수에 대하여 표현된 불확도에 대하여 이용될 수 있다. 임목과 초본 바이오매스의 탄소(C)항목에 대한 확장계수와 관련된 불확도는 2에서 6%로 상대적으로 작다. Tier 2와 3 산정에 대하여, 국가특성 또는 지역적으로 유도된 값들이 이용된다. 이러한 탄소(C) 축적량 인용값과 축적량 변화계수는 본래 높은 불확도와 특정 국가에 적용될 경우 편향된다. 기본 값은 토지이용과 관리영향의 평균화된 값들 또는 지역 특성 값에 따라 다양해 질 수 있는 탄소(C) 축적량 인용값을 의미한다.

배출/흡수계수의 불확도

기본 가정이 DOM의 변하지 않는 탄소(C) 축적량을 가정했으므로, Tier 1에 대한 불확도 분석은 불필요하다. Tier 2와 3산정에 대하여, 국가특성 또는 지역적으로 유도된 값들이 이용된다. 이러한 탄소(C) 축적량 인용값과 축적량 변화계수는 본래 높은 불확도와 특정 국가에 적용될 경우 편향된다. 기본값은 토지이용과 관리영향의 평균화된 값들 또는 지역 특성값에 따라 다양해 질 수 있는 탄소(C) 축적량 인용값을 의미한다. 임의의 국가가 고사목과 낙엽층에 대한 기본계수의 불확도를 결정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

활동자료의 불확도

지역 자료와 불확도의 산정은 제3장의 방법을 이용하여 얻어질 수 있다. 만약 활동도 데이터에 대하여 총합된 토지이용 면적통계(예, FAO 자료)를 이용하는 경우, 인벤토리 기관은 토지이용산정에 대하여 불확도의 기본수준을 적용해야 한다 (±50%).

그러나 인벤토리 작성자가 기본 수준을 이용하는 대신 국가특성 활동자료로부터의 불확도를 유도하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. Tiers 2와 3에 대하여, 더 높은 resolution activity data의 사용은(예, 국가 별 경계내의 초지관리 시스템에 대한 기후지역별 면적산정)모든 탄소(C) 축적/손실 변수가 적절하게 분류 되었을 때, 불확도 level을 감소시킬 수 있다. 토지이용 활동도 통계의 불확도는 진보된 국가시스템을 통하여 감소될 수 있다.(예, 추가적인 표본위치와 병행한 토지기반 조사의 개발 또는 확장, 부가적인 피복정보를 제공하기 위한 원격탐사와의 병행) 국가차원에서 불확도를 최소화하기 위한 충분한 표본크기를 가지고 토지이용의 대부분과 관리 활동도를 얻기 위한 분류 시스템을 계획하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

6.2.3 토양탄소(C)

본 절은 우선적으로, 토양으로의 탄소(C) 유입으로(최종적으로 토양 탄소(C)저장에)인한 영향을 받는, 순 1차 생산과 뿌리전도(root turnover)와 뿌리와 가지사이의 탄소(C) 분배에 영향을 받는 토양 유기 탄소(C) 축적량에 대한 초지관리에의 영향을 다룬다. 초지의 토양탄소(C) 축적량은 화재, 방목 강도, 비옥화 관리방법, 석회시용, 관개, 더 많은 혹은 더 적은 생산성 있는 초본 종으로의 re-seeding과 질소고정 콩과식물과 혼합된 초지에 의하여 영향을 받는다.(Conant *et al.*, 2001; Follett *et al.*, 2001; Ogle *et al.*, 2004) 부가적으로, 초지관리를 위한 유기토양의 배수는 토양 유기탄소(C)의 손실을 야기 한다 (Armentano and Menges, 1986).

토양 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위한 일반적인 정보와 지침은 (식 포함) 제2장의 절2.3.3.에 제시되어 있다. 그리고 위의 절은 초지 토양 탄소(C) 축적량을 다루는 특정 가이드라인을 고려한 작업을 시행하기 전에 미리 숙지하여야 한다. 초지에 대한 토양 탄소(C) 축적량의 총 변화는 제2장의 식 2.24를 이용하여 산정된다. 이 식은 무기토양과 유기토양에 대한 토양 유기탄소(C) 축적량의 변화와 토양 무기탄소(C) 저장고 (Tier 3에서 산정되는 경우)와 관련된 축적량 변화를 결합한 식이다. 본 절은 토양 유기탄소(C) 축적량 산정을 위한 특정 지침을 제공한다. 토양 무기탄소(C)에 대한 일반적인 논의는 절 2.3.3.1에서 설명되었으며 더 이상의 추가적인 정보는 여기서 다루어지지 않는다.

초지로 유지되는 초지와 관련된 토양탄소(C) 축적량의 변화를 고려하기 위하여, 각 국가들은 최소한 인벤토리기간의 처음과 끝에서 초지면적의 산정을 보유해야 한다. 만약 토지이용과 관리 데이터가 제한된 경우, 초지에 대한 FAO 통계와 같은 데이터집합이 시작점으로서 토지관리 시스템의 (예, 퇴화된, 명목상의, 그리고 향상된 초치/방목 체계) 대략적인 분포에 대한 국가별 전문가의 지식과 함께 이용된다. 초지관리계층은 기본조건 또는 국가특성 계층화에 근거한 기후지역과 주요 토양타입에 따라 분류되어야 한다. 이는 적정 기후와 토양지도에 대한 토지이용의 중첩으로 완성될 수 있다.

6.2.3.1 방법의 선정

인벤토리는 이전의 것보다 더 상세한 세부사항과 배출원을 요구하는 성공적인 각 Tier와 병행한, Tier 1, 2 또한 3 접근을 이용하여 개발될 수 있다. 각 국가들이 토양 탄소(C)의 하위항목을 분류하기 위한 산정작업을 준비하기 위하여 각기 다른 Tier를 이용하는 것은 가능하다.(즉, 무기토양과 유기토양에서의 토양 유기탄소(C) 축적량의 변화와 무기탄소(C) 저장고와 관련된 축적량 변화). 인벤토리 작성자가 토양 탄소(C) 인벤토리를 작성하기 위한 적절한 Tier 선정을 도와주는 무기토양에 대한 의사결정도(그림2.4)와 유기토양에 대한 의사결정도(그림2.5)는 제2장의 2.3.3.1절에 제시되어 있다.

무기토양

Tier 1

무기토양에 대하여, 산정방법은 토양 유기탄소(C) 저장에 영향을 주는 관리법의 변화 후에, 정해진 시간동안 토양 유기탄소(C) 축적량의 변화에 근거한다. 정해진 변화기간이 지난 뒤에, 이 축적량에 대하여 정상상태를 가정할 수 있다. 제2장의 식2.25는 인벤토리 기간의 초기상태의 탄소(C) 축적량

에서 ($SOC_{(0-T)}$) 인벤토리 기간의 최종년도의 탄소(C) 축적량 (SOC_0)을 빼고 축적량 변화계수(D)에 의존하는 시간으로 나눔으로써 무기토양에서의 토양유기탄소(C) 축적량 변화를 산정하는데 이용된다. 초지에서 기반암이 노출된 지역은 토양 탄소(C) 축적량 계산에 포함되지 않음을 명심하라.(축적량을 0으로 가정한다.) 실행시, 초지 관리 활동도에 대한 국가특성데이터는 절절한 토지관리시스템에 따라 분류되고 얻어져야 한다. 그 다음, IPCC 기후지역과 토양타입에 따라 분류되어야 한다 (제3장 고). 토양 유기탄소(C) 축적량(SOC)는 탄소 축적량 기본 인용값 (SOCref)과 탄소(C) 축적량 기본변화계수 (F_{LU}, F_{MG}, F_I)를 이용하여 인벤토리의 각 시간에 따라 산정되어야 한다.

Tier 2

무기토양에 대한 Tier 2는 또한 식2.25 (제2장)를 이용하나, 인벤토리 접근은 축적량 변화계수, 탄소(C) 축적량 인용값, 기후지역, 토양유형, 그리고/또한 토지관리 분류시스템에 대하여 더 상세화하기 위하여 개발되어야 한다.

Tier 3

Tier 3 방법은 간단한 축적량 변화계수(per se)를 이용하지 않으며, 오히려 연간 축적량 변화산정을 위한 근거로서 역동성 모델 그리고/또한 상세 화된 토양 탄소(C) 인벤토리 측정을 이용한다. 모델에 근거한 접근을 이용하여 축적량 변화의 산정은 토양탄소(C)의 순 변화 산정과 연결된 식으로부터 계산된다. 토양 탄소(C) 역동성을 시뮬레이션 하기 위해 계획된 모델들은 다양하게 존재한다 (예를 들어, McGill *et al.*, 1996; Smith *et al.*, 1997의 논평 참고). 적절한 모델을 선정하는데 있어 핵심기준은 초지에 대한 모든 관련된 관리행위/시스템을 대표하는 모델의 용량을 포함한다. 모델입력자료(즉, 유도변수(driving variables))는 국가의 입력데이터의 이용가능성과 조화를 이루어야 한다. 그리고 모델은 경험적인 데이터와의 비교에 근거한 축적량 변화를 충분히 대표해야 한다. Tier 3 방법은 또한 토양 유기탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위하여 주기적으로 샘플링된 모니터링 네트워크 즉, 측정에 근거한 접근을 이용하여 개발될 수 있다. 모델검증과 관련된 네트워크와 대조적으로, 토지이용과 관리시스템, 기후와 토양유형의 조합을 정학하게 대표하기 위하여 더 높은 밀도의 벤치마크 지역이 필요하다. 추가적인 지침은 제2장 2.3.3.1절에 제시되어 있다.

유기토양

Tier 1

식2.26 (제2장)은 유기토양의 관리된 초지에서의 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위하여 사용 된다 (예, 토탄에서 파생된, 히스토솔 (Histosols, 유기질 토양)). 방법론은 기후지역에 대하여 관리된 유기토양을 분류하기 위하여 존재하며, 기후특성별 연간 배출율을 지정한다. 토지면적은 배출계수와 곱해지며 그런 다음 연간 탄소(C)배출을 유도하기 위하여 더해진다. 주기적 방목을 위하여 이용될 수 있으며 인공적으로 배수되지 않은 자연적 초지는 본 항목에서 포함되지 않는다.

Tier 2

Tier 2 방법은 또한 식2.26 (제2장)을 이용하나, 인벤토리 접근은 축적량 변화계수, 탄소(C) 축적량 인용값, 기후지역, 토양타입, 그리고/또한 토지관리 분류시스템에 대하여 더 상세화 하기 위하여 개발되어야 한다.

Tier 3

유기토양에 대한 Tier 3 접근은 역동성 모델 그리고/또한, 측정 네트워크를 이용한다.(추가적인 논의에 대하여는 위에 설명된 무기토양을 참고하라).

6.2.3.2 축적량 변화와 배출계수의 선정

무기토양

Tier 1

Tier 1 방법에 대하여, 기본 축적량 변화계수는 표6.2에 제시되어 있다. 이는 토지이용계수(F_{LU})에 대한 값과 입력계수(F_I)와 관리계수를(F_{MG}) 포함한다. 기본 축적량 변화계수를 유도하기 위하여 사용된 방법과 연구들은 별첨6A.1에 제시되어 있다. 시간 의존도 (D)는 초지의 기본 축적량 변화계수에 대하여 20년 이며 이는 깊이 30 cm에서의 관리에의 영향을 대표 한다 토양 유기탄소(C) 축적량 기본 인용값은 제2장의 표 2.3에서 찾아볼 수 있다. 탄소(C) 축적량 인용값의 산정은 깊이 증가에 따른 기본 축적량 변화계수와 조화를 이루기 위하여 토양단면 30 cm 위를 대상으로 한다.

Tier 2

국가특성 축적량 변화계수에 대한 산정은 Tier 2 방법에서 개발된 인벤토리를 개선하기 위한 주요한 사항이다. 관리계수(F_{MG})와 입력계수(F_I)의 유도는 상대적으로 중간정도 입력에 대한 명분상으로 관리된 초지와의 실험적 비교에 근거한다. 왜냐하면 이들 계층은 관리시스템에 대한 IPCC 기본 분류 체계에의 명의상 작업을 고려하기 때문이다. (활동도데이터의 선정 편을 보라.) 만약 경험적 분석에 근거한 세분화된 항목들 사이에서 중대한 축적량 변화에의 차이가 있다면, 관리, 기후, 토양타입에 대한 더 세분화된 분류 체계에의 값을 유도하는 것이 *우수실행(good practice)*이다으로 간주된다. 탄소(C) 축적량 인용값은 Tier 2 접근에서의 국가특성 데이터로부터 또한 유도될 수 있다. 부가적인 지침은 제2장 2.3.3.1절에 제시되어 있다.

Tier 3

일정한 축적량 변화계수 (per se)는 토지이용과 관리영향을 더 정확히 얻는 변수들 보다는 산정이 어렵다. 더 이상의 논의는 제2장 2.3.3.1절을 참고하라.

표 6.2
초지관리방법에 대한 상대적인 축적량 변화계수

요인	수준	기후 체계	IPCC 기본값	오차[1,2]	정의
토지이용 (F_{LU})	전부	전부	1.0	NA	모든 영구적인 초지는 토지이용 계수를 1로 할당한다.
관리방법 (F_{MG})	명목상으로 관리된 (퇴화되지 않은)	전부	1.0	NA	퇴화되지 않은 초지와 지속가능하게 관리된 초지를 대표하나, 상당한 개선이 진행된 관리의 경우는 제외한다.
관리방법 (F_{MG})	적당히 퇴화된 초지	온대/아한대	0.95	±13%	생산성이 다소 떨어지고 (본래, 혹은 명목상으로 관리된 초지와 관련) 관리입이 없는 과도하게 방목된 초지나 적당히 퇴화된 초지를 나타낸다. (
		열대	0.97	±11%	
		열대 산림[3]	0.96	±40%	
관리방법 (F_{MG})	심각하게 퇴화된	전부	0.7	±40%	식생에 대한 심각한 기계적인 손상 그리고/또한 심각한 토양침식으로 인한 장기간 생산성의 손실을 의미한다.
관리방법 (F_{MG})	개선된 초지	온대/아한대	1.14	±11%	완만한 방목강도로 지속가능하게 관리된 초지와 적어도 하나의 개선작업이 진행된 초지를 대표한다. (예, 비옥화, 종 개선, 개간 등)
		열대	1.17	±9%	
		열대 산림[3]	1.16	±40%	
투입 (개선된 초지에 한해 적용) (F_I)	중간	전부	1.0	NA	추가적인 관리투입이 없었던, 개선된 초지에 적용한다.
투입 (개선된 초지에 한해 적용) (F_I)	높음	전부	1.11	±7%	하나 또는 그 이상의 관리투입/ 개선작업이 진행된 초지에 적용 한다 (향상된 초지로의 분류가 요구되는 것 이상으로).

[1] 평균의 퍼센트로 표시된 ±2 표준편차; 통계분석에 대한 충분한 연구가 선행되지 않은 경우, 전문가의 판단에 근거하여, 오차측정에서 기본값은 ±40%로 이용된다. 투입 또는 관리계층에 대한 기본값 또는 명목상의 실행을 구성요소가 되는 계수값에 대하여 NA는 '이용이 가능하지 않음'을 의미한다,

[2] 여기에서의 오차범위는 전 세계의 해당지역에 대한 실제 영향을 대표할 수 없는 작은 표본크기로 인한 잠재적인 계통오차를 (systematic error) 포함하지는 않는다.

[3] 열대산림 기후지역 내 무기토양에 대한 축적량 변화계수를 산정할 만한 충분한 연구 자료가 존재하지 않는다. 대략적인 산정으로서, 온대와 열대지역사이의 평균 축적량 변화는 열대산림 기후에 대한 축적량 변화에 대응하여 이용된다.

주: 초지에 대한 무기토양 탄소(C) 배출/흡수의 기본 축적량 변화계수의 산정에 대해서는 별첨 6A.1 참조.

유기토양

Tier 1

Tier 1 방법에 대해, 배수된 유기토양과 관련된 탄소(C)의 손실을 산정하기 위한 기본배출계수는 표 6.3에 제공되어 있다.

Tier 2

Tier 2 방법에서 배출계수는 국가특성별 실험에 의거한 데이터로부터 유도된다. 배출계수를 유기토양에 대한 초지의 특정 토지관리항목에 대하여 유도하거나 탄소(C) 손실률에서의 중요한 차이를 포착하는 새로운 항목을 가정하여 기후지역에 대한 더 상세한 분류를 통하여 유도하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 이상의 논의는 제2장 2.3.3.1절에 제시된다.

Tier 3

일정한 배출률 계수(per se)는 토지이용과 관리영향을 더 정확히 얻는 변수들 보다는 산정이 어렵다. 더 이상의 논의는 제2장 2.3.3.1을 참고하라.

표 6.3
배수된 초지 유기토양에 대한 연간 배출계수 (EF)

기후상의 온도 체계	IPCC 기본값 (톤 C ha^{-1} yr^{-1})	오차 [1]
아한대/한대	0.25	±90%
온대	2.5	±90%
열대/아열대	5.0	±90%

[1] 명목상의 오차산정은 평균의 퍼센트로서 표준편차의 2배에 대응하는 것으로 표시된다.

이들 값은 배수된 농경지의 손실의 4분의 1에 해당하며 (제5장 표 5.6 참고), 이는 Armentano와 Mengeswhich (1986)에 의한 자료에 따라 농경지에 비해 상대적인 배수된 초지에 대한 탄소(C)의 손실분율과 대응한다. 이들 값들은 오차 열에 반영된 바와 같이 불확도의 정도를 가진다.

6.2.3.3 활동자료의 선정

무기토양

Tier 1

초지시스템은 토양 탄소(C) 저장에 영향을 미치는 활동들에 의하여 분류 된다. 일반적으로 이러한 활동들은 토양으로의 탄소(C) 투입을 증가시키는 것으로 알려져 있다.그러므로 토양 유기탄소(C) 저장 (예를 들어, 개간, 비옥화, 석회시용, 유기 토양 개량제, 더 생산성 있는 초본의 다양성)은 개선의 차원에 의존하여 중간의 혹은 높은 투입으로 향상된 위치를 점하게 된다. 토양 유기탄소(C)

저장과 탄소(C) 투입을 감소시키는 활동들 (예를 들어, 장기간에 걸친 과한 방목 등)은 명목상으로 관리된 목초지 또는 천연초지 (개선 또는 퇴화 둘 다 해당되지 않는)와 비교할 때 상대적으로 낮은 위치를 점하게 된다. 분류시스템은 Tier 1 인벤토리에 대한 기본으로서 만들어진 그림6.1에 제시되어 있다. 인벤토리 작성자는 본 분류를 이용하여 기본 Tier 1 축적량 변화계수와 상응하는 의미에서의 관리시스템을 항목화 해야 한다. 본 분류는 Tier 2와 3접근에 대하여 더 나아가 개발될 수 있다.

토지이용 활동자료의 주 종류는 다음과 같다: i) 집합된 통계(aggregate statistics) (접근법 1), ii) 특정 지리학적 참고를 배제한 토지이용 전환에 대한 확실한 정보를 가진 자료 (접근법 2), 또는 iii) 토지이용전환에 대한 정보와 확실한 지리학적 참고를 가진 자료 (접근법 3), 예를 들어 토지이용에 근거한 지점과 국가의 토지면적에 대한 표본에 근거하여 통계적으로 만들어진 관리 인벤토리 등이 있다. (접근에 대한 논의는 제3장을 참고하라.) 최소한, 전 지구적으로 이용 가능한 통계자료, 예를 들어 FAO의 데이터베이스 (http://www.fao.org/waicent/portal/glossary_en.asp),는 주 토지이용타입에 의한 전체 토지면적의 연간 편집물을 제공한다. 이는 집합된 데이터 (접근법 1)의 예가 될 수 있다.

관리활동자료는 관리시스템을 분류하기 위하여 제공되는 정보인 토지이용자료(예를 들어, 가축비율, 비료이용, 개간 등)를 보충한다. 이들 데이터는 또한 집합된 통계(접근1)이 될 수도 있고 또한 명백한 관리변화에 대한 정보(접근법 2 또는 3)를 제공할 수 있다. 초지지역에 대하여 적절한 일반적인 관리행위 (즉, 퇴화된, 자연상태 그대로의 또는 개선된) 또는 특정관리 행위(예를 들어, 비옥화 또는 방목강도)를 가정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 토양 퇴화 지도 (Soil degradation maps)는 관리에 따른 초지계층화에 대한 유용한 정보의 배출원이 될 수 있다 (예. Conant and Paustian, 2002; McKeon *et al.*, 2004). 전문가의 지식은 관리행위에 대한 또 다른 정보의 배출원이 될 수 있다. 절절한 경우, 제1권 제2장 (별첨 2A.1, 전문가의 유도에 대한 프로토콜)에 제공된 방법을 이용하여 전문가 지식을 유도하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

국가적 토지이용과 동일한 지역에 대해 반복적인 조사에 바탕 한 자원 인벤토리는 접근2 또는 3을 이용하여 수집된 활동자료를 구성한다. 그리고 합계된 목축용(pastoral) 및 토지이용통계에 대한 이점들을 가진다. 시계열 데이터는 쉽게 특정 초지관리시스템과 관련될 수 있다. 그리고 특정 위치와 관련된 토양타입은 샘플링 또는 적절한 토양지도에 지역을 참고함으로써 결정될 수 있다. 적절한 통계적인 계획에 기반하여 선정된 인벤토리 지점(points)은 또한 형식적인 불확도의 일부로서 이용될 수 있는 활동도데이터와 관련된 다양성의 산정이 가능할 수 있다. 접근3을 이용한 조사의 예는 미국의 국가 자원 인벤토리가 있다 (Nusser and Goebel, 1997).

활동자료는 기후와 토양타입에 의하여 지역을 계층화하기 위하여 추가적인 국가-내 정보를 필요로 한다. 만약 이러한 정보가 미리 편집되지 않았다면, 초기 접근은 이용 가능한 토지피복/토지이용 지도와 (IGBP_DIS와 같은 국가에서 기원한 혹은 전지구적 데이터집합에서 기원한)국가에서 기원한 또는 FAO 전 세계에의 토양지도와 UNEP에서의 기후데이터와 같은 전 지구적 배출원으로부터의 토양지도와의 중첩이 된다. 기본 기후 및 토양 분류체계의 상세한 설명은 제3장, 별첨 3A.5에 제시되어 있다. 토양분류는 토양분류학의 설명과 구조상의 데이터에 근거한다. 반면 기후지역은

연평균기온과 강우량, 증발량, 서리발생일수, 잠재적인 증발산량에 근거한다.

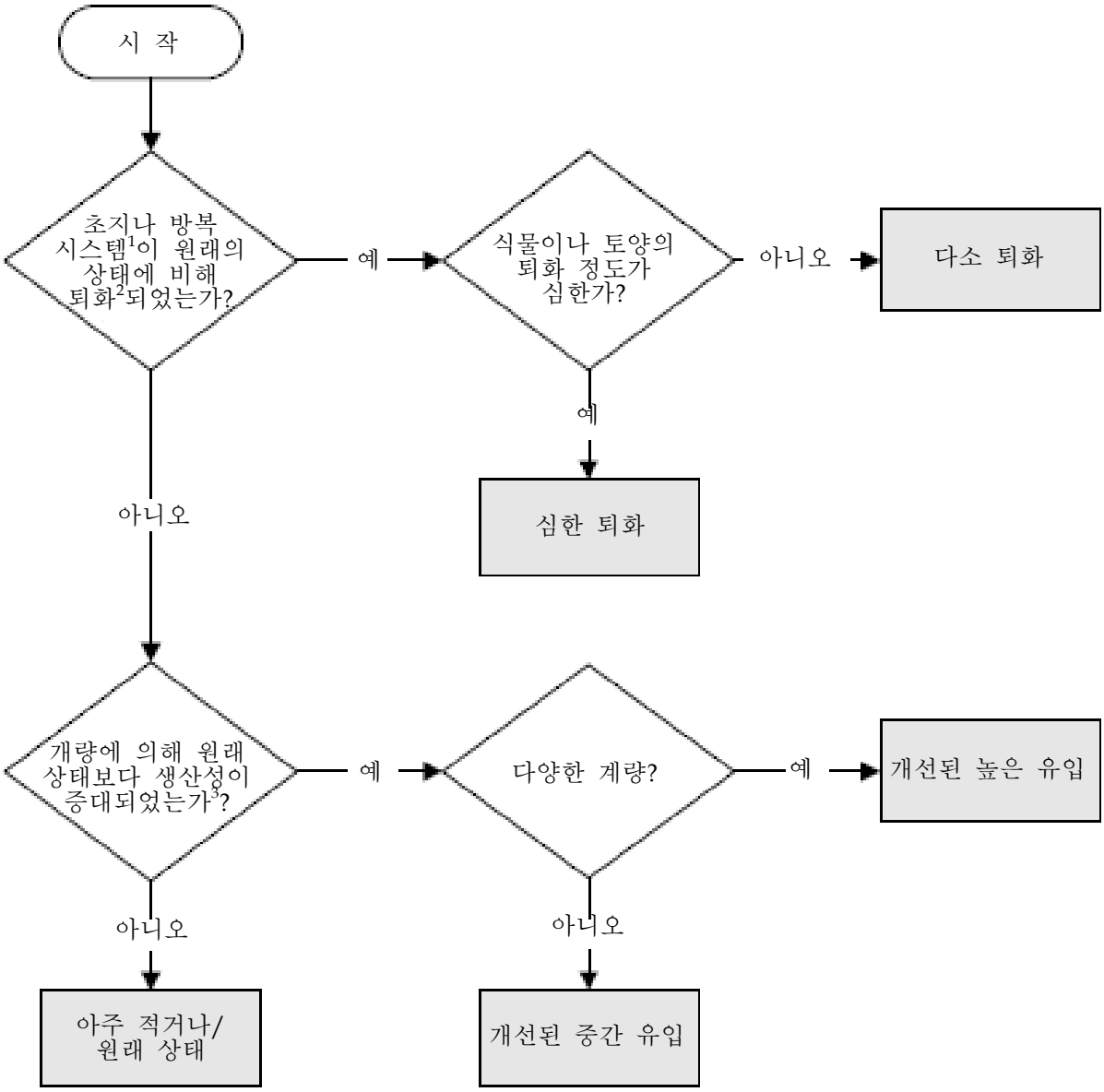
Tier 2

Tier 2 방법은 만약 충분한 데이터가 이용가능 한 경우, 관리시스템 (그림 6.1)에 대하여 Tier 1보다 더 상세한 계층화를 포함한다. 이는 초지시스템에 대하여 더욱 나아가서 하위분류(즉, 적당히 퇴화된, 심각하게 퇴화된, 명목상 그리고 향상된)와 투입 계층(중간 그리고 높은 투입)을 포함할 수 있다. 제안된 항목들 간의 토양유기탄소(C)저장에의 중대한 변화를 표현하는 경험적인 데이터에 근거한 기본계층을 더 나아가 하위분류하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 부가적으로, Tier 2 접근은 기후지역과 토양타입에 대한 상세한 분류를 수반할 수도 있다.

Tier 3

역동성 모델 그리고/또한 Tier 3 인벤토리에 근거한 직접측정의 적용은 Tier 1과 Tier 2방법과 비교할 때 상대적으로 기후, 토양, 지형 및 관리 자료의 조합에 대한 비슷하거나 더 자세한 데이터가 필요하다. 그러나 정확히 필요로 하는 것은 모델 또는 측정계획에 의존한다.

그림 6.1 초지/방목시스템에 대한 분류체계. 초지관리시스템을 분류하기 위하여, 인벤토리 작성자는 맨 위에서부터 시작해야 하며 질문에 대답하면서 도표의 최종점에 도달할 때 까지 도표를 진행해야 한다.(만약 대답이 '예'라면 가지를 따라 이동하라.) 분류 도표는 표6.2의 기본 축적량 변화계수와 일치한다.



주:

1: 연속적인 목초지(continuous pasture), 건초지와 방목지를 포함한다.

2: 퇴화는 장기간의 과도한 방목이나 본래 식생에 가까운 덜 생산적인 작물의 재배로 야기될 수 있는 본래 상태에 가까운 토양으로의 탄소(C)의 투입과 동등하게 된다.

3: 생산성은 명백히 토양으로의 탄소(C) 투입이 원인이 된다.(투입을 증가시키는 관리개선, 예를 들어, 비옥화, 유기 토양개량제, 관개, 보다 많은 생산적인 종의 재배, 석회시용과 콩과식물의 파종

유기토양

Tier 1

무기토양에서의 방법과 대조적으로, 유기토양에 대한 초지는 배수방법이 관리시스템과 관계없이 호기성조건에 노출된 후 동일한 비율에 대한 유기물의 산화를 시뮬레이션 한다는 가정 하에서 관리시스템으로 분류되지 않는다. 그러나 제2장 2.3.3.1절에서 설명된 방법을 적용하기 위하여, 관리된 초지는 토양타입과 기후지역에 의하여 분류되어야 할 필요성이 있다.(토양과 기후분류에 대한 지침은 제3장, 별첨 3A.5 참고).

Tier 1의 무기토양에서 개략적으로 설명된 것과 비슷한 데이터베이스와 접근이 면적산정을 위하여 이용될 수 있다. 관리된 초지인 유기토양의 토지면적은 기후와 토양지도에 대한 토지이용지도의 중첩을 이용하여 결정된다. 토양지도와 조사와 결합된 배수프로젝트에 대한 국가특성 데이터는 유기토양에의 관리된 초지면적과 관련한 더 상세한 산정을 얻기 위하여 이용될 수 있다.

Tier 2

Tier 2 접근은 만약 충분한 데이터가 이용 가능한 경우, 관리시스템의 계층화를 수반하기도 한다. 이는 배수계층에 의한 초지시스템의 구분을 포함할 수 있다. 예를 들면, Tier 2 접근은 또한 기후지역에 대한 상세한 계층화를 수반하기도 한다.

Tier 3

유기토양에 대한 Tier 3 접근은 아마도 Tier 1 및 2방법과 비교하여 상대적으로 더 자세한 기후, 토양, 지형, 관리데이터를 포함할 것이다. 그러나 정확한 요구조건들은 모델이나 측정계획에 의존한다.

6.2.3.4 Tier 1에 대한 계산단계

무기토양

SOC_0와 $SOC_{(0\text{-}T)}$초지로 유지되는 초지에서의 토양 탄소(C) 순 변화를 산정하기 위한 단계는 다음과 같다.

단계 1: 활동자료가 수집된 년도에 근거한 인벤토리 시간주기로 데이터를 체계화 한다 (예. 1990과 1995, 1995과 2000, 등).

단계 2: 활동자료의 시간단계에 의존하여 다양해질 수 있는 인벤토리 기간의 시작점에서 토지에 대한 무기토양 타입과 기후지역에 따라 토지이용과 관리방법을 결정 한다 (0-T; 예, 5, 10 또는 20년 이전).

단계 3: 인벤토리 된 각 토지면적에 대하여 표 2.3에서 기후와 토양타입에 근거한 탄소 축적량 인용값 (SOC_{REF})를 선정한다. 탄소 축적량 인용값은 구역들 사이의 축적량 인용값 간의 차이로 인하여 탄소(C) 축적량 내 잘못된 변화가 계산되지 않음을 보장하기 위하여 모든 토지이용항목에 대하여 동일하다.

단계 4: 토지이용계수(F_{LU}), 관리계수(F_{MG})와 인벤토리 기간의 시작점에서 나타난 토지이용과 관리시스템을 대표하는 C 투입 수준 (F_I)을 선정한다. F_{LU}, F_{MG}, F_I 의 값은 표6.2에 제시되어 있다.

단계 5: 인벤토리 기간에 대한 초기 토양 유기탄소(C) 축적량을($SOC_{(0-T)}$) 산정하기 위하여 이들 값을 곱한다.

단계 6: 동일한 탄소 축적량 인용값 (SOC_{REF})을 이용하여, 1에서 4단계를 반복하여 SOC_0를 산정하라. 그러나 최종 년도의 조건에 상응하는 토지이용, 관리, 투입 factor는 제외된다.

단계 7: 인벤토리 기간에 대하여 지역에 대한 토양 유기탄소(C) 축적량 내의 연평균 변화를 산정하라 ($\triangle C_{Mineral}$).

단계 8: 만약 추가적인 인벤토리 기간이 제시되는 경우, 1에서 6단계를 반복하라 (예,1995에서 2000까지, 2001에서 2005까지 등).

예제: 다음의 예제는 깊이 30 cm에서 초지 토양탄소(C) 축적량 변화의 총합된 면적에 대한 계산을 보여준다. 열대습윤기후에서의 홀티졸 토양에 대하여, 1 Mha의 영구적 초지가 있다. 기후/토양타입에 대한 본래의 탄소(C) 축적량 인용값 (SOC_{Ref})은 47톤 C ha^{-1}이다. 인벤토리 기간의 시작점에서 (본 예에서는 1990년이다.) 초지시스템의 분포는 관리되지 않은 천연토지의500,000 ha와 개선작업이 시행되지 않은 완만하게 퇴행된 방목지에 대하여 400,000 ha, 강도 높은 퇴행이 진행된 초지에 대하여 100,000ha이다. 그러므로 면적에 대한 초기 토양탄소(C) 축적량은 500,000 ha • (47 톤 C ha^{-1} • 1 • 1 • 1) + 400,000 ha • (47 톤 C ha^{-1} • 1 • 0.97 • 1) + 100,000 • (47 톤 C ha^{-1} • 1 • 0.7 • 1) = 45,026,000 톤 C이다. 인벤토리의 최종 년도에서(본 예제에서는 2010년이다.)관리되지 않은 천연초지에 대한 300,000 ha, 개선작업이 시행되지 않은 온건하게 퇴행된 방목지에 대하여 300,000 ha, 강도 높은 퇴행이 진행된 초지에 대하여 200,000 ha, 비료를 투입한 개선된 방목지에 대하여 100,000 ha 그리고 비료와 개간을 시행하여 강도 높게 개선된 방목지에 대하여는 100,000 ha이다. 그러므로 인벤토리 년도에서 전체 토양탄소(C) 축적량은 300,000 ha • (47 톤 C ha^{-1} • 1 • 1 • 1) + 300,000 ha • (47 톤 C ha^{-1} • 1 • 0.97 • 1) + 200,000 • (47 톤 C ha^{-1} • 1 • 0.7 • 1) + 100,000 • (47 톤 C ha^{-1} • 1 • 1.17 • 1) + 100,000 • (47 톤 C ha^{-1} • 1 • 1.17 • 1.11) = 45,959,890 톤 C이다. 전체 면적에 대한 인벤토리 기간에 대한 연평균 축적량 변화는 45,959,890 −45,026,000= 933,890 톤/20 yr = 46,694.5 톤 당 C 축적량으로 증가되었다 (주: 계수는 20년 동안 연간변화율을 의미한다).

식 2.25(제2장)와 기본 축적량 변화계수와 탄소 축적량 인용값을 이용한 초지 토양 유기탄소(C) 축적량의 변화를 계산하는 예제가 아래 주어져 있다.

유기토양

배수된 유기토양에서의 토양탄소(C)의 손실의 산정단계는 다음과 같다.

단계 1: 활동자료가 수집된 년도에 근거한 인벤토리 시간주기로 데이터를 체계화 한다 (예. 1990과

1995, 1995과 2000, 등)

단계 2: 각 인벤토리의 최종 년도에 대하여 배수된 유기토양에의 초지로 유지되는 초지의 양을 결정한다.

단계 3: 기후체계 (표 5.6)에 기반 한 이산화탄소(CO_2)의 연간손실에 대한 적절한 배출계수(EF)를 할당한다.

단계 4: 모든 기후지역에 대한 배출계수(EF)와의 곱으로 결정된 면적(A)을 총합하여 전체 배출을 산정한다.

단계 5: 부가적인 인벤토리 시간에 대하여 반복한다.

6.2.3.5 불확도 평가

토양 탄소(C) 인벤토리의 세 가지 주요한 불확도의 배출원은 다음과 같다. 1) 토지이용과 관리활동도와 환경데이터에 대한 불확도, 2) Tier 1 또는 2 방법을 이용한 경우 탄소(C) 축적량 인용값의 불확도(무기토양에 한함), 3)Tier 1 또는 2 방법을 사용한 경우 축적량 변화/배출계수에의 불확도, Tier 3 모델에 근거한 접근에 대한 모델 구조/변수 오차에 대한 불확도 또는 Tier 3 측정에 근거한 인벤토리와 관련된 측정 오차/샘플링 다양성에 대한 불확도이다. 일반적으로, 각 항목에 대한 값을 측정하기위한 샘플링 강도가 커질수록 인벤토리의 정밀도는 커지고, 신뢰구간은 더 좁아진다. 한편, 편향을 줄이는 것은 (즉, 정확도를 향상시키기 위하여) 국가특성 정보와 병행하는 고차수준의 Tier의 개발을 통하여 달성하기 더 용이하다.

Tier 1에 대하여, 불확도는 표2.3의 첫 번째 주석에서의 탄소(C) 축적량 인용값, 표 6.3의 유기토양에 대한 배출계수, 표 6.2의 축적량 변화계수와 함께 제공되어 있다. 토지이용과 관리데이터에 대한 불확도는 인벤토리 작성자에 의하여 설명되어야 하며 단순오차확대공식(simple error propagation equations)과 같은 적절한 방법을 이용하여 기본계수와 탄소(C) 축적량 인용값 (무기토양에 한함)에 대한 불확도와 결합하여야 한다. 만약 활동도 데이터에 대하여(예 FAO 자료) 총합된 토지이용통계를 이용한다면, 인벤토리 기관은 토지면적산정에 대하여 불확도의 기본수준을 적용하여야 할 것이다 (±50%). 그러나 인벤토리 작성자가 기본수준을 이용하는 대신에 국가특성 활동도 데이터로부터 불확도를 유도하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

탄소(C) 축적량 인용값과 무기토양에 대한 축적량 변화계수, 유기토양에 대한 배출계수는 본래 높은 불확도를 가질 수 있다. 특히 특정국가에 적용할 경우 편향이 발생할 수 있다. 기본값은 토지이용과 관리영향에 대한 전 지구적 평균된 값을 나타내거나 혹은 지역특성값에 따라 다양해 질 수 있는 탄소(C) 축적량 인용값을 나타낸다 (Powers *et al.*, 2004; Ogle *et al*, 2006). 편향은 Tier 2 방법을 이용하여 국가특성 계수를 유도함으로써 혹은 Tier 3 국가특성 산정시스템을 개발함으로써 저감될 수 있다. 고차 Tier 접근에 대하여 근거가 되는 원칙은 토양 탄소(C)에 대한 토지이용과 관리에의 영향을 나타내는 국가 또는 인접지역에 대하여 실험되어진다. 부가적으로, 계수산정에 대한 정확성이 다소 떨어지더라도 중대한 국가 내 토지이용과 관리영향에의 차이를(예를 들어, 기후지역 그리고/또한 토양타입들 간의 가변성) 고려함으로써 편향을 최소화 하는 것은 *우수실행(good practice)*이다 (Ogle *et al.*, 2006). 편향은 축적량 변화를 기록하는 데 더 큰 문제로 간주된다. 왜냐하면, 불확도의 카테고리를 정하기 어렵기 때문이다. (즉, 계수에 대하여 중대한 편향이 작용하는 경우, 실제 축적량 변화는 보고 된 불확도의 카테고리 바깥에서 존재한다.)

토지이용 활동도 통계에의 불확도는 추가적인 표본 지역을 가지고 ground-based 조사를 확장하거나 개발하는 것과 같은 더 발전한 형태의 국가시스템을 통하여 그리고/또는 부가적인 피복상태를 제공하기 위한 원격탐사와의 병행을 통하여 감소시킬 수 있다. 토지이용의 대부분을 이루는 구성요소와 국가차원의 불확도를 감소시키기 위한 충분한 표본크기를 가진 관리활동도를 포착하는 분류를 계획하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법에 대하여, 국가특성 정보는 편향을 줄이기 위한 목적으로 인벤토리 분석과 함께 진행되어야 한다. 예를 들어, Ogle *et al* (2003)는 US 특정계수, 활동도 데이터와 경작용 토양에 대한 탄소(C) 축적량 인용값에 대하여 확률분포함수를 고안하기 위하여 국가특성데이터를 활용한다. 계수, 탄소(C) 축적량 인용값 또는 토지이용과 관리활동도데이터간의 의존성을 평가하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 특히, 토지이용과 관리활동도데이터간의 강한 의존성은 일반적이다. 왜냐하면, 관리행위는 시간과 공간에 관련이 있게 마련이기 때문이다. 축적량 변화/배출 계수, 탄소(C) 축적량 인용값과 활동도 데이터에 대한 불확도의 결합은 바이오매스 탄소(C) 축적량 변화에 대한 평균 및 표준편차를 산정하기 위한 단순오차확대공식(simple error propagation equations) 또는 몬테-카를로 절차(Monte-Carlo procedures)와 같은 방법을 이용하여 수행 될 수 있다 (Ogle *et al*., 2003, Vanden Bygaart *et al*., 2004).

Tier 3 모델은 더 복잡하고, 단순오차확대공식(simple error propagation equations)은 산정의 결과에 대한 불확도와 관련한 정량화에 비효율적이며 몬테-카를로 분석(Monte Carlo analysis)가 가능하다 (Smith and Heath, 2001). 그러나 만약 모델이 많은 변수를 가지고 있을 경우는 그 적용이 어려울 수 있다.(어떤 모델은 수백개의 변수들을 가질 수 있다.) 왜냐하면 둘이상의 변수를 가지는 확률분포 함수는 변수 간 공분산(共分散) 뿐 아니라 분산을 정량을 위해 고안되어야 하기 때문이다. 측정결과와 모델링 결과간의 관계를 통계적으로 산정하는 모니터링네트워크로부터의 측정을 사용하는(Falloon and Smith, 2003) 경험에 기반 한 접근과 같은 다른 방법들 또한, 이용가능하다.(Monte et al., 1996) 모델링과 대조적으로, 측정에 기반한 Tier 3 인벤토리의 불확도는 측정오차와 불확도와 관련된 다른 배출원과 표본 분산(sample variance)으로부터 직접적으로 산정할 수 있다.

6.2.4 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 온실가스의 배출

초지로 유지되는 초지에서 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 배출은 주로 열대 및 아열대지방에서 흔히 발생하는 열대초원연소의 결과이다. 그러나 세계 어느 곳에서의 초본과 수목 구성은 주로 관리행위의 결과인 화재에 종속되며 non-CO_2 배출은 기록되어야 한다.

초지로 유지되는 초지에서 바이오매스 연소로 인한 배출은 연소 후 몇 주에서 몇 년간의 광합성 활동으로 인한 임목표피에서 바이오매스로의 재통합되는 이산화탄소(CO_2)에 의하여 상당량이 균형을 이루기 때문에 보고되지 않는다.

관리된 초지에서 바이오매스의 완전연소로부터의 결과인 non-CO_2의(부분적으로, 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O) 질소산화물(NOx)) 산정은 그것들의 특성과 관계없이 (자연적 또는 인위적 화재)기록되어야 한다. 어떤 화재발생시 연소된 바이오매스의 양은 지역에 따라 달라질 수 있고 또한 계절적으로 다양한 양상을 보인다. 연소의 효율과 non-CO_2온실가스로 전환되는 바이오매스의 대응하는 분율 또한 다양하다.

각 국가들은 초지로 유지되는 초지에서의 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2배출을 주어진 기간에

의 평균 활동도 데이터 대신 연간데이터를 이용하여 기록해야 한다. 이는 기후변동(엘니뇨 등) 또는 자연적 기후변동성으로 인한 연간 변동을 포착하는 기록을 가능케 한다. 일반적으로, 산정은 연소와 연소 및 배출계수에 대하여 이용 가능한 연료량에 대한 신뢰성 있고 정확한 데이터의 부족으로 높은 불확도를 가진다.

초지로 유지되는 초지에서의 온실가스배출산정을 위한 일반적은 방법은 제2장의 식2.27에 제시되어 있다. 바이오매스 연소에 의한 배출은 지상부바이오매스와 DOM 풀로부터 산정되어야 한다. 연소 시 지하부바이오매스는 교란 후에도 그대로 남아있거나 또는 토양 풀로 이동한다고 가정한다. Tier 1 방법에 대한 기본값 또는 Tier 2 방법의 구성요소는 제2장의 2.4절에 제시되어 있다.

6.2.4.1 방법의 선정

제2장의 그림 2.6은 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2배출을 기록하기 위하여 적절한 Tier 수준을 선정하는 지침인 의사결정임목을 보여준다. 만약 초지로 유지되는 초지에서 바이오매스연소가 핵심항목이 아니라면, 해당 국가는 상당량이 집계된 데이터와 기본 연소 및 배출계수에 기초를 둔 Tier 1방법을 이용하여 non-CO_2배출을 보고하는 것을 선택할 수 있다. 그러나 만약 초지로 유지되는 초지에서 바이오매스 연소가 핵심 항목이라면, 해당 국가는 개선된 인벤토리를 작성하도록 노력하여야 하며 그리고 주어진 국가상황에서 가능한 가장 높은 수준의 Tier를 적용함으로써 연구방법을 기록하도록 노력하여야 한다.

Tier 1

Tier 1 방법 하에서 보고할 때 식 2.27이 적용되어야 한다. Tier 1은 상당량이 집계된 데이터와 기본 연소 및 배출계수에 기초를 두고 있다. 만약 연소를 위하여 이용 가능한 연료의 양에(MB) 대한 데이터가 이용가능하지 않다면, 해당 국가는 소비된 연료의 양에 대하여 제2장의 표2.4의 기본값 데이터를 이용하여야 한다. 그러나 상기의 표의 데이터는 식생타입과 하위항목에 의하여 제시되었으므로, 이들 기본값 데이터를 적용하는 국가들은 적용할 적절한 기본값들을 선택하기 전에, 그들의 국토 내 초지로 유지되는 초지의 면적을 계층화하여야 한다.

Tier 2

Tier 2는 더 세분화된 면적산정과(식생타입에 대한, 하위항목에 대한)각 층에 대한 연소 및 배출계수의 국가특성산정을 병행함으로써 Tier 1을 확장한다. 불탄 면적은 확고한 시료채취계획에 따라 분석된 정확한 시공간적 해결책에 대한 원격탐사데이터를 이용하여 산정될 수 있다. 데이터취득의 주기는 1년 중 특정 기간에 화재가 발생하여 몇 달간 지속될 수 있는 열대지방에서 특히 중요한 쟁점이다. 불탄 면적을 산정할 때, 불탄 면적의 월간 변화를 포착하는 것은 중요한 일이다.

Tier 3

Tier 3 방법은 다수의 배출원과 완만한 공간 해상도에 대한 위상자료를 이용하여 불탄 면적의 지역 단위 지도를 만들기 위한 알고리즘을 갖춘 모델에 기초한다. 그 결과는 현장관찰에 의하여 증가된 공간적으로 높은 해상도를 이용하여 검증되어야 하며 검증결과와 이용자로부터의 피드백에 기초하여 상세화 되어야 한다. 샘플링 접근은 불탄 면적산정을 수행하기 위하여 계획될 수 있다. 각 국가들은 초지로 유지되는 초지와 이에 대응하는 연소 및 배출계수를 가능한 상세하게 계층화하여야 한다. Tier 3방법은 지하부바이오매스를 포함한 모든 풀에 대한 바이오매스 연소의 영향에의 산정(흐름)을 제공한다.

6.2.4.2 배출계수의 선정

Tier 1

Tier 1 접근 하에서, 연소계수에[연료의 분율(지상부바이오매스, 잔재물, 죽은임목)] 대한 기본값은 제2장의 표2.6에 제공되어 있다. 그리고 각 non-CO_2 온실가스에 대한 배출계수 기본값은 표2.3에 제시되어 있다. 열대초원(savannas)에서의 지상부바이오매스 산정은 표6.4에 제시되어 있다. 표2.4의 값은 제2장의 식2.27에서 "실제로 연소한 연료의 분율"로서 이용되어야 한다. Tier 1에 대한 데이터가 일반적으로 상당량이 총합된 것이라 하더라도, 각 국가들은 바이오매스 연소에 의하여 영향받은, 다양한 식생타입 (관목지, 사바나 임지, 사바나 초지)에 의하여 또한 연소기간에 따른(건기 초반 또는 건기의 중간/후반) 초지면적을 계층화하기 위하여 노력해야 한다. 만약 초지가 식생타입과 하위항목에 의하여 계층화되었다면 (예. 사바나 초원, 사바나 임지),각 국가들은 제2장 표2.4에 제시된 바이오매스 연소에 대한 기본값을 사용할 수 있다. 기 기본값은 이용 가능한 연료와 실제로 연소한 바이오매스 분율 사이의 값에 대한 산정을 제공한다 (제2장의 식2.27의 MB와 CF양에 상응한다).

Tier 2

Tier 2 방법을 이용하는 국가들은 다양한 각 초지타입과 (관목지, 사바나 임지, 사바나 초지) 하위항목에 대하여 (적용 가능하다면) 개발된 국가특성 연소 및 배출계수를 이용해야 한다.

Tier 3

Tier 3 방법을 이용하는 국가들은 현지관찰과 이용자들의 자문으로부터의 데이터와 함께 얻어진 생산물을 검증하는 면적산정을 위한 알고리즘을 개발해야 한다.

6.2.4.3 활동자료의 선정

Tier 1

Tier 1방법에 대하여, 유일하게 필요로 하는 활동도데이터는 초지로 유지되는 초지에서 바이오매스 연소에 의해 영향 받는 면적이다. 만약 불탄 면적에 대한 국가차원의 데이터가 이용가능하지 않다면, 전 지구적 화재 지도(fire map)로부터의 데이터가 이용될 수 있다. 그러나 어떠한 전 지구적 화재 발생에도 전 지구적 지도 데이터의 배출원이 되는 위성센서가 가진 고유의 한계로 인하여 시공간에서 발생하는 전체 화재의 단지 어떤 분율을 나타내는 것임을 주의하라. 대안으로서 각 국가는 영토 내 초지의 불탄 면적과 산정된 연간 불탄 초지의 분율을 곱하여 연간 불탄 면적을 산정할 수도 있다. 그러므로 초지로 유지되는 초지와 다른 용도로 전환된 초지사이간의 산정된 면적으로 나눌 수 있다.

Tier 2

본 방법은 바이오매스 연소에 의하여 영향 받은 면적에 대하여 더 세분화된 데이터를 병행하여 이용함으로써 Tier 1을 확장한다. 초지면적은 초지 식생타입 (관목지, 사바나 임지, 사바나 초지 등)과 하위항목에 따라 계층화되어야 한다. 불탄 면적에 대한 국가차원의 산정이 수행되어야 한다. 신뢰성 있는 국가차원 데이터의 부재로, 각 국가는 전 지구적 화재 지도(fire map)에 의존할 수 있으나 화재 지도(fire map)의 결과에 기초가 되는 특정 샘플링을 평가하기 위하여 분류하여야 한다.

그리고 더 중요하게는 어떤 특정샘플이 계통적 편향 영향을 받는 것으로 관찰되었는지 비계통적 편향에 영향을 받는지를 평가하기 위하여 분류하여야 한다. 일반적으로 각기 다른 샘플링 전략을 가지는 각기 다른 데이터 배출원은 전체 불탄 면적을 산정하기 위하여 이용되어야 I한다. 부가적으로, 불탄 면적은 대조군을 가진 불탄 면적과 비교되어야 한다.

Tier 2

Tier 3는 격자크기를 결정하기 위하여 하위 국가차원으로 분해 된 고-해상도 활동도데이터를 필요로 한다 .Tier 2와 비슷하게, 초지면적은 특정 식생타입과 모델에서 이용되는 하위항목에 의해서 계층화되어야 한다. 만약 가능하다면, 공간적으로 확실한 면적산정이 초지의 완전한 피복을 용이하게 하기 위해 사용되며, 면적이 과대 혹은 과소 산정되지 않게 확인하기 위하여 사용된다. 더욱이 공간적으로 확실한 면적 산정은 산정의 정확성을 높이는 지역적으로 관련된 배출 및 연소율과 연관될 수 있다. 결과가 현장측정에 의해 검증된다면, 과정기반모델(process-based models)의 사용은 불탄 면적의 산정에 정확도를 더할 수 있다. 검증을 위하여 충분한 대표적인 측정치가 필요하다.

6.2.4.4 불확도 평가

초지로 유지되는 초지에서의 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 배출의 산정과 관련한 불확도에의 여러 개의 배출원이 있다. 화재 거동은 이들 사이에서 크게 변한다. 그러므로 식생에 대한 정보의 분해는 더 큰 정확도를 가질 수 있다. 바이오매스 연소가 진행되는 동안 실제로 연소된 연료의 분율(연소계수)은 생태계에서 뿐 아니라 화재별, 연도별 그리고 문화적 행위의 기능으로서 상당히 큰 폭으로 변한다.

미량 가스의 배출로의 바이오매스 연소의 기여분의 산정에 대한 불확도의 주 원인은, 특히 열대 생태계에서, 불탄 면적의 넓이, 화재의 강도, 번지는 속도가 된다. (Seiler and Crutzen, 1980; Matson and Ojima, 1990; Robinson, 1989). 정밀도 산정은 본질적으로 불탄 면적의 정확도, 이용가능한 연료의 산화된 비율, 이용 가능한 바이오매스 연료에 의존하여 폭넓게 변한다. 불탄 면적의 산정에의 불확도는 적용된 방법론에 의존하여 큰 폭으로 다양하게 변할 수 있다. 예를 들어, global fire map의 이용이 2배 이상의 불확도를 야기하는데 반해, 고해상도 원격탐사가 이용되는 경우에서는,20% 정도의 불확도를 가진다. 화재로 인한 넓은 지역에서의 온실가스 배출의 산정의 불확도는 적어도 50%가 된다.

6.3 초지로 전용된 토지

초지로 전용된 토지는 임지 또는 최근 20년 안에 초지로 전용된 다른 토지이용 항목을 포함한다. 토지이용항목 중 초지로 전용된 토지(LG)에 대한 온실가스 인벤토리는 다섯 개의 탄소(C) 저장고(즉, 지상부바이오매스, 지하부바이오매스, 고사목, 낙엽층, 토양 유기물)과 또한 non-CO_2 가스의 배출로부터의 탄소(C) 축적량 변화의 산정을 포함한다. 본 항목에서의 온실가스의 배출 및 흡수의 주된 배출원은 토지이용변화 및 관리형태와 관련된다.

다른 토지용도에서 초지로의 전환에 대한 탄소 함유량 (주로 임지, 농경지, 그리고 낮은 등급의 습

지와 주거지)은 농경지로의 전환의 경우보다는 낮은 명확한 경계를 가진다. 주 전환 형태에 대한 문헌은(열대지방에서, 임지에서 초지로의 전환) 토양탄소(C) 내의 순증가와 순손실에 대한 증거를 제공하며, 전환 후 초지에서의 토양탄소(C)의 벼논에 대한 관리의 영향은 전환이전의 축적량과 함께 중요하게 다루어진다 (Veldkamp, 2001의 참조). 다른 용도에서 토지의 전환과 자연적 상태에서 초지로의 전환은 순 배출 또는 바이오매스와 토양 둘 다에서부터의 이산화탄소(CO_2)의 순 흡수(net uptake)를 야기할 수 있다. 전환과정은 바이오매스 연소로부터의 배출을 야기할 수 있다.

그림 1.3 (제1장)의 의사결정도는 초지로 전용된 토지에 대한 산정과정의 실행을 위한 적절한 Tier 수준을 선정하는 데 필요한 지침을 제공한다.

6.3.1 바이오매스

본 절은 관리되지 않은 토지에서 관리된 초지로의 전환뿐 아니라, 다른 토지이용에서 초지로의 전환(초지로 전용된 산림과 방목지나 목초지로 전용된 농경지 포함)으로 인한 바이오매스 내 탄소(C) 축적량 변화산정을 위한 지침을 제공한다. 초지로 전용된 토지에서의 바이오매스 내 탄소(C) 축적량 변화는 존재하는 식생의 흡수와 초지식생의 대체로 이한 결과가 된다. 이는 변화가 관리행위와 연관된 초지로 유지되는 초지에서의 바이오매스 내 탄소(C) 축적량의 변화에 기초하는 개념들로부터 달라진다.

초지로의 토지전용은 종종 어떤 풀에서 다른 저장고로의 탄소(C) 이동을 야기한다. 초지로 전용된 토지에 대하여 기록할 경우, 모든 이동은 반드시 고려해야 하는 새로운 안정 상태로의 변환기간 동안 이들 풀에서의 증가와 손실로서 고려되어야 한다. 예를 들어, 산림이 방목지로 전환된 경우, 임목들은 베어지고 지상부바이오매스의 분율은 고사유기물 풀로 이동하며, 지하부바이오매스의 비율은 토양 유기물 풀 등으로 이동한다.

초지로 전용된 토지에 대한 바이오매스 내 탄소(C) 축적량 변화의 산정은 2단계의 접근을 필요로 한다. 특히 변화가 의도적이고 토지준비작업과 관련된 경우(예, 정리와 연소), 토지이용 변화와 관련된 바이오매스의 갑작스런 변화가 종종 일어난다. 이러한 갑작스러운 변화는 제 1단계로서 다루어지며, 전이년도에서 산정된다. 두 번째 단계 (2단계)는 새로운 안정상태 시스템으로의 변화기간 동안 점진적인 바이오매스의 손실과 증가를 고려한다. 초지로 유지되는 초지 항목 하에서 진행되는 경우 기간 내 어떤 지점에서 초지생태계는 평형상태에 접근해야 한다. 전환 후 20년의 변화기간은 과도적인 항목 내 유지되는 것에 대한 기본값 기간이다. 그러나 각 국가들은 자율적인 결정에 따라 적절한 전이기간을 결정할 수 있다. 배출율을 결정하는 계수(coefficient)의 값은 사용된 전이기간에 의존할 수 있다.

전이기간에 대하여, 초지로 전용된 토지는 연간 로서 다루어 져야 한다. 즉, 주어진 년도에서 전용된 토지는 전환 년도에서 1단계로, 이후 19년에 대하여는 2단계로 고려되어야 한다. 20년 기간의 마지막에서, 주어진 년도에 대한 토지면적은 초지로 유지되는 초지 항목에 더해진다.

다수의 초지로 전용된 토지가 급작스런 전이를 거치지 않는 것이 일반적이다.(예, 방치된(abandoned) 농경지와 초지로 되돌려진 농경지) 이러한 경우, 1단계 방법은 적절하지 않을 수 있으며, 바이오매스 저장고에서 새로운 평형상태로의 점진적인 전이가 진행된다. 이러한 타입의 전환이 발생한 경우, 전체 전환은 2단계 방법으로 다루어진다.

갑작스런 전이가 진행된 경우, 저장고들 간의 탄소(C)의 이동을 배분하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 다섯 개의 탄소(C) 축적량에 대한 토지 전환활동의 즉각적인 영향은 "교란 매트릭

스"로 요약될 수 있다. 교란 매트릭스는 지체, 이동, 초지로의 전환 후 원래 생태계의 풀 내의 탄소(C)의 방출을 설명한다. 교란 매트릭스는 각 풀에 대하여 풀에 유지되는 비율과 다른 풀로 이동한 비율에 대하여 정의한다. 적은 수의 이동은 가능하며 제2장의 표2.1에 교란 매트릭스에서 개략적으로 설명되어 있다. 만약 토지전환율이 일정한 값보다 더 크거나 작은 경우, 이들 풀에 대한 모든 탄소(C)가 전환기간에 손실된다는 가정은 첫 번째 근사과정에서 합리적이다. 토지전환율이 시간에 따라 변화하는 경우, 이동과 각기 다른 저장고 내의 탄소(C) 방출에 대하여 고려하고, 모든 탄소(C)가 고려되도록 보장하는 것이 필요하다.

초지로의 전환으로 인하여 바이오매스 내 즉각적이고 갑작스런 탄소(C) 축적량 변화가 일어나는 경우, 이러한 전환의 영향은 제2장의 식2.16을 이용하여 산정된다. 전이기간동안, 탄소(C)를 얻거나 잃는 저장고들은 종종 비선형 손실의 형태를 보이거나 연속되는 전이 매트릭스를 통하여 표현되는 축적곡선으로 나타난다. 만약 곡선의 실제 형태가 알려져 있다면, 이들 곡선은 보고 된 년도동안 전이조건 하에서 특정 저장고에 의한 연간 배출 또는 흡수량을 산정하기 위하여 동일한 집단에 각각 적용될 수 있다. 만약 곡선의 형태가 알려져 있지 않다면, 각 국가는 풀의 변화를 산정하기 위하여 간략화하거나 선형감쇄함수(linear decay function)를 이용하여야 한다. 이들 변화를 산정하는 데는 두 가지 방법이 이용가능하다.

6.3.1.1 방법의 선정

그림 2.2 (제2장)의 의사결정임목은 초지로 전용된 토지의 바이오매스 산정작업의 실행을 위한 적절한 Tier 수준을 선택하는 지침을 제공한다. 바이오매스 내 변화의 산정은 지상부바이오매스 식생의 변화산정과 지하부바이오매스의 변화산정을 필요로 한다. 각 국가들은 주어진 국가상황에서 가장 높은 수준의 Tier을 이용하여야 한다. 만약 초지로 전용된 토지에서 탄소(C) 배출과 흡수가 핵심항목이고 제1권의 chapter 4에서 개략적으로 설명된 원칙에 근거한 바이오매스의 하위항목이 중요하게 생각되는 경우에는 Tier 2 또는 3을 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다 (방법론적인 선택과 핵심항목에 대한 확인).

Tier 1

Tier 1 하에서 초지로 전용된 토지에서의 바이오매스 탄소(C) 축적량 변화는 식 2.15를 이용하여 산정된다. 평균 탄소(C) 축적량 변화는 처음 토지이용에서의 바이오매스 흡수와 인한 탄소(C) 축적량 변화와 동일하고 (즉, 바이오매스 내 탄소(C)는 전환 즉시 전환 이전의 바이오매스 태 탄소(C)에서 감해진다.) 전환 후 바이오매스 성장에서의 탄소(C) 축적량과 더해진다. Tier 1에 대한 간략화로서, 이전의 생태계에서의 모든 바이오매스는 급격한 변화가 없다 할지라도, 전환 후 즉시 손실된다고 가정 한다 (식2.16). 그리고 유지되는 바이오매스(B_{AFTER})는 0으로 가정된다 (즉, 초지식생이 정착되기 전에 토지의 모든 식생이 깨끗하게 정리된다). 그러므로 바이오매스 풀에서 고사목 저장고로의 바이오매스 이동은 없다. 예를 들어, 전환 이전 바이오매스의 기본값은 예상되는 토지이용과 관련된 장에서 찾아볼 수 있다 (예를 들어, 임지에 대한 기본계수는 임지의 바이오매스를 다루는 장에서 찾아볼 수 있다).

부가적으로, 초지는 전환 후 첫 해 동안 바이오매스 안정상태에 도달한다고 가정한다. 그러므로 Tier 1에 대하여, 초지로 전환된 토지가 2단계와 관련한 축적량 변화는 없다. 비록 20년의 전이기간에 대한 전환항목에 초지로 전환된 토지가 존속된다 할지라도 그렇다. 왜냐하면 토양 축적량은 평형에 도달하는데 더 오랜 시간이 걸리기 때문이다. 그러므로 계산의 2단계동안 바이오매스로부

터의 배출과 섭취는 0이 된다. 만약 전이단계에서 중대한 관리상의 변화가 발생한다면, 각 국가들은 초지로 유지되는 초지에서 Tier 2 방법을 이용하여 바이오매스 탄소(C) 축적량에 대한 이들 변화의 영향을 고려할 수 있다. 그러므로 모든 초지로 전환된 토지에 대하여 각 전환타입에 대하여 개별적인 계산을 실시하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2

Tier 2 계산은 Tier 1과 구조적으로 여러 가지 면에서 차별화 된다. 첫 번째, Tier 2 산정은 이전에 설명된 두 단계의 접근을 이용한다. Tier 2는 Tier 1에서 사용되는 기본값 보다는 토지이용의 처음 상태와 최종상태에서의 국가특성 산정에 의존한다. 초지로 전용된 토지에 대한 면적산정은 각 국가의 초지 형성중의 지역적인 다양성을 포착하기 위하여 Tier 1보다 더 높은 해상도의 공간단위에서 분해된다.

둘째, Tier 2 국가는 전환직후 바이오매스가 0이 된다는 가정을 수정할 수 있다. 이는 국가들이 전부가 아닌 약간의 원래의 토지이용이 흡수됨으로 인한 식생을 고려하는 것을 가능하게 해준다. 부가적으로, 만약 충분한 바이오매스 설정과 연간 축적량 변화에 대한 시간을 산정하기 위한 데이터가 이용가능하다면, Tier 2 하에서 몇 년에 걸친 초지형성 후(전환 년도에서의 모든 바이오매스 축적량 변화를 추계하는 대신) 바이오매스 축적을 고려하는 것이 가능하다.

셋째, Tier 2 하에서, 풀들 간의 탄소(C) 이동을 배분하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 초지시스템은 전형적으로 고사목 또는 낙엽층의 저장고에 상당량의 탄소(C)를 함유하지 않는다. 그러나 고사목은 산림으로 대체되거나 임목 바이오매스 통계로서 잡목지대(scrubland)에 축적되는 미성숙한 초지에서 몇 년간 존속하기도 한다. 만약 토지전환율이 일정한 값보다 더 크거나 작은 경우, 이들 풀에 대한 모든 탄소(C)가 전환기간에 손실된다는 가정은 첫 번째 근사과정에서 합리적이다. 토지전환율이 시간에 따라 변화하는 경우, 이동과 잔재물, 죽은임목, 토양탄소(C) 저장고에서의 탄소(C) 방출에 대하여 고려하도록 노력하는 것은 적절하다. 그러므로 전환 후에 발생하는 손실로부터의 전환 행위로 인한 즉각적인 손실을 구분하는 것은 필요하다.

Tier 2 및 3하에서 초지로의 전환에 의한 즉각적이고 갑작스런 바이오매스 내 탄소(C) 축적량 변화는 제2장의 식2.16을 이용하여 산정되며 여기서 B_{AFTER}는 0으로 가정된다. 전이기간 동안 탄소(C)를 얻거나 잃는 풀들은 종종 비선형 손실의 형태를 보이거나 연속되는 전이 매트릭스를 통하여 표현되는 축적곡선으로 나타난다. Tier 2에 대하여, 선형 변화 함수가 가정될 수 있다. 이들 방법에 기초한 Tier 3 접근에 대하여, 곡선의 실제 형태를 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이들 곡선은 보고 된 연도 동안 전이조건 하에서 바이오매스 탄소(C) 저장고의 연간변화를 산정하기 위하여 동일한 집단에 대해 각각 적용될 수 있다.

전이단계동안 바이오매스 탄소(C)의 변화산정에 대하여, 두 개의 방법이 제안된다. 이용된 공식은 초지로 유지되는 초지에 대한 장에서 Tier 2에서 이용된 그것과 동일하다.

획득-손실 방법 *(제2장 식 2.7참고):* 본 방법은 각 토지전환타입과 바이오매스 축적량 안팎으로의 연평균 이동을 포함한다. 이 방법은 다음을 필요로 한다.(i) 기후 또는 생태지역 또는 초지형태, 교란체계, 관리체계 또는 바이오매스 탄소(C) 저장고에 중대한 영향을 미치는 다른 계수에 따른 초지로 전용된 토지하의 면적산정; (ii) 바이오매스 축적량에 축적되는 바이오매스의 양;(iii) 초지타입에 따른 헥타르 당 바이오매스 축적량으로부터 손실된 바이오매스 양

비축차 방법 *(제2장 식 2.8을 참고):* 본 방법은 시간 t_1과 t_2에서 바이오매스 축적량과 초지로 전용된 토지의 면적 산정을 포함한다. 인벤토리 년도에 대한 바이오매스 축적량 변화는 축적량 변화를

두 측정사이의 시간으로 나눔으로써 얻어진다. 저장-차이법은 주기적인 인벤토리를 보유한 국가에 적용이 용이하며 Tier 3방법을 적용하는 국가에 적용이 더 용이하다. 이 방법은 가변성이 매우 큰 기후를 가진 지역에서는 잘 적용되지 않을 수 있고 연간 인벤토리가 작성되지 않은 경우, 위조된 결과를 야기할 수 있다.

Tier 3

Tier 3 방법은 국가특성 배출계수와 이를 대체하는 국가차원의 데이터를 가진 나라에서 이용된다. 국가별로 정의된 방법론은 해당 국가의 초지 그리고/또는 모델에 대한 영구적인 표본 토지에의 상세한 인벤토리에 기초할 수 있다. Teir 3에 대하여, 국가들은 바이오매스의 변화를 산정하는 그들만의 방법론을 개발하여야 한다. 이들 방법론은 위에서 기술한 방법에 의하여 유도되거나 다른 접근에 기초할 수 있다. 이용된 방법은 분명하게 그 증거가 첨부되어야 한다.

Tier 3는 시간에 대한 통계에 기초한 바이오매스 샘플링을 이용한 인벤토리 시스템을 포함하고 그리고/또한 기후, 초지타입, 관리체계에 의하여 계층화된 모델을 실행한다. 예를 들면, 방목강도, 화재, 석회시용, 비옥화 등과 같은 관리영향과 함께 연구가 진행된 검증된 종-특성 성장 모델은 시간에 따른 초지 바이오매스의 순 변화를 산정하는데 이용된다. 주기적인 샘플링에 기초한 바이오매스 산정과 함께, 자세한 산림 인벤토리에 이용된 그것과 비슷한 모델은 초지면적에 대한 공간적인 외삽을 수행하기 위하여 축적량 변화를 산정하는데 적용된다.

적절한 모델을 선정하는 핵심기준은 모든 생태계 전환과 활동도 데이터에 표현된 관리행위를 표현할 수 있는 능력을 암시한다. 기후, 토양과 해당국의 초지관리시스템을 대표할 수 있는 국가특성 또는 지역특성 현장 위치로부터 독립적인 관찰로서 모델을 검증해야 함은 매우 중요한 사안이다.

만약 가능하다면, 공간적으로 분명한 면적 산정은 완전한 토지 피복을 돕기 위하여 사용되며 면적이 과대 혹은 과소산정 되지 않도록 사용된다. 더욱이 공간적으로 확실한 면적 산정은 산정의 정확성을 높이는 지역적으로 관련된 배출 및 연소율과 연관될 수 있다. 결과가 현장측정에 의해 검증된다면, 과정기반모델(process-based models)의 사용은 불탄 면적의 산정에 정확도를 더할 수 있다. 검증을 위하여 충분한 대표적인 측정치가 필요하다.

6.3.1.2 배출/흡수 계수의 선정

Tier 1

Tier 1 방법은 전환전과 전환 후 토지이용에 대한 바이오매스 산정을 필요로 한다. 초지로 이용을 위한 지역의 준비단계에서 모든 바이오매스가 흡수됨을 가정한다. 따라서 전환 후 즉시 바이오매스의 기본값은 0 톤 ha^{-1}이다. 바이오배스의 기본값은 다음에서 찾아 볼 수 있다.

- 정리 이전 임지는 제4장 (임지)을 참조한다.
- 다년생 농작물을 포함한 농경지에 대해서 제5장 (농경지)을 참조한다.
- 1년생 작물을 포함하는 농경지에 대하여는 기본값 4.7 톤 of C ha-1 또는 건중물 10 톤을 이용하라. 본 기본값과 관련된 오차범위는 ±75%.이다.

표6.4는 전환 후 바이오매스에 대한 기본값을 제시한다. 그러나 강우와 토양조성에 의하여 광범위하게 유도된 어떤 지역 내에서는 광범위한 변동이 있을 수 있다. 이들 기본값은 높은 오차를 가지

며 따라서 더 나은 국가특성 데이터가 이용 가능한 경우, 국가들은 지역적으로 최고로 이용 가능한 데이터를 초지 바이오매스를 산정하는데 이용하여야 한다.

표 6.4
다른 토지이용에서 전환된 후 초지에 대하여 제시된 기본 바이오매스 축적량

IPCC 기후지역	지상부바이오매스의 최대값[1] (톤 d.m. ha^{-1})	총(지상와 지하부) non-임목 바이오매스[2] (톤 d.m. ha^{-1})	오차[3]
아한대-건조, 다습[4]	1.7	8.5	±75%
한대-건조	1.7	6.5	±75%
한대-다습	2.4	13.6	±75%
온대-건조	1.6	6.1	±75%
온대-다습	2.7	13.5	±75%
열대-건조	2.3	8.7	±75%
열대-습윤, 다습	6.2	16.1	±75%

[1] 입목 바이오매스에 대한 데이터는 ORNL DAAC NPP 데이터베이스 [http://www.daacsti.ornl.gov/NPP/]에서 초지지역에 대해 보고 된 다년간의 평균으로부터 편집된다.

[2] 총 지상부와 지하부바이오매스 값은 지상부바이오매스의 최대치 지상부바이오매스와 지하부바이오매스의 비율(R)에 기초한다.(표6.1)

[3] 평균의 비율로, 두 시점에서의 표준편차와 동등한 오차의 근소한 추정치를 나타낸다.

[4] 제한된 데이터로 인하여, 한대기후에서 건조와 습윤 지역, 열대기후에서 습윤과 건조지역이 결합되었다.

Tier 2

바이오매스 축적량과 토지전환으로 인한 배출/흡수에 대하여 국가특성 산정을 이용하는 것은 *우수실행(good practice)*이며, 이는 또한 연소와 초지로의 전환 후 부패로 인한 현지(on-site)와 현지외(off-site)의 산정을 포함한다. 이러한 개선사항은 탄소(C) 함량과 지역 또는 국가 내 토지전환과 토지이용과 관련된 배출과 흡수 그리고 국가특성 조건의 기본조건에 비춘 재평가에 대한 체계적인 연구의 형태를 제시할 수 있다.

미성숙한 초지의 바이오매스에 대한 지역특성 혹은 국가특성 데이터는 Tier 2 접근을 적용하여야 한다. 이 데이터는 임목 밀도의 산정과 항공사진을 통한 초본식생, 고해상도 위성영상과 토지기반 측정도면(ground-based measurement plots)을 포함하는 다양한 종류의 방법을 통하여 얻어진다. 종 조성, 밀도와 지상부바이오매스 대 지하부바이오매스는 초지타입과 조건에 따라서 폭 넓게 변할 수 있으며 초지타입에 따라서 샘플링과 조사활동을 분류하는 노력이 효율적일 수 있다. 바이오매스 인벤토리에 대한 조사와 샘플링 기술에의 일반적인 지침은 제3장의 별첨 3A.에 제시되어 있다.

지하부바이오매스의 역동성s를 정확하게 포착하는 것은 토지가 초지로 전용된 경우 탄소(C) 축적

량 변화를 산정하는데 꼭 필요하다. 농경지를 방치(abandonment)한 경우, 지하부바이오매스는 생태계 천이가 발생하면서 지속적으로 증가한다. 산림에서 모초지로 전환된 토지의 경우, 지하부 산림 바이오매스의 점진적인 분해와 목초지 초목에의 지하부바이오매스의 점진적인 증가가 발생한다. 지하부바이오매스의 산정은 초지의 바이오매스 조사의 중요한 항목이 되나, 현지측정은 복잡하고 어렵다. 따라서 지하부바이오매스를 지상부바이오매스로부터 산정하는 확장계수가 자주 사용된다.

뿌리-줄기 비율(Root-to-shoot ratios)은 개별 종 (예. Anderson *et al.*, 1972) 군집크기 (예. Jackson *et al.*, 1996; Cairns *et al.*, 1997)에서 폭넓은 다양한 값을 보인다. 그러므로 가능하다면, 특정 지역 또는 식생타입에 대하여 경험적으로 유도된 뿌리-줄기 비율을 사용하는 것을 권장한다. 표 6.1은 전 세계의 주요 초지생태계에 대한 기본 뿌리-줄기 비율을 제시한다. 이들 데이터는 해당 국가가 국가특성 비율을 개발하기 위한 지역적으로 특성화 된 정보를 가지고 있지 않은 경우 기본값으로서 사용된다. 임지와 사바나, 관목지 (scrublands)에 대한 비율은 인벤토리의 초지항목에 이들 토지를 포함하는 국가들에 의하여 이용된다.

Tier 3

Tier 3 접근은 역동성 모델과 바이오매스 축적량 변화에 대한 인벤토리 측정의 조합의 사용으로 구성된다. 이 접근법은 간단한 축적량 변화 또는 배출계수(per se)를 적용하지 않는다. 모델에 기반한 접근을 이용한 배출흡수의 산정은 모델 내 바이오매스 축적량 순변화를 산정하는 여러 개의 공식의 상호작용으로부터 유도된다. 모델은 상세하게 설명된 산림 인벤토리에서 축적량 변화를 산정하기 위하여 사용된 것과 비슷한 주기적인 샘플링에 기반 한 축적량 산정과 또는 입력과 산출(Tier 2에서 초지면적에 대한 공간적인 외삽을 위해 사용된)과 함께 이용될 수 있다. 예를 들면, 방목강도, 화재, 비옥화 등 관리행위 에 대한 데이터에 수반하는 것과 같은 관리영향과 함께 이용되는 검증된 종 특성 성장모델은 시간에 따른 초지 바이오매스의 순 변화를 산정하는 데 이용할 수 있다.

6.3.1.3 활동자료의 선정

모든 Tier는 초지로 전환된 토지면적의 산정을 필요로 한다. 동일한 면적 데이터가 바이오매스 계산, 고사유기물, 토양탄소(C) 산정에 이용되어야 한다. 필요하다면, 토양 분석에 이용된 면적데이터는 낮은 단계의 바이오매스 산정을 위해 요구되는 공간적 차원에 맞추기 위하여 집계될 수 있다. 그러나, 높은 수준의 Tier에서, 계층화는 주요 토양타입을 고려하여야 한다. 면적 데이터는 제3장에서 설명한 방법을 이용하여 얻어야 한다. 비교검토(Cross-check)는 가능한 중복과 생략을 피하기 위하여 완전하고 일관성 있는 연간 전환된 토지의 표현을 보장하기 위해 실시해야 한다. 데이터는 일반적인 기후항목과 초지타입에 따라 분해되어야 한다. Tier 3 인벤토리는 상세한 토양계층, 기후와 공간적 시간적 분석과 함께 새로운 초지의 성립에 대한 더 넓은 범위의 정보를 필요로 한다. 전이기간으로서 선택된 몇 년의 시간동안 발생한 모든 변화는 초지로 유지되는 초지의 일부로서 보고된 전이기간 (기본값 20년)보다 더 긴 기간의 전이를 포함하여야 한다. 고차 수준의 Tier는 더 상세한 정보를 필요로 하지만 IPCC 가이드라인과 일관성을 갖는 인벤토리를 위한 최소한의 요구조건은 개별적으로 확인된 산림전환의 면적이다. 이는 산림이 보통 전환 전에 비하여 높은 탄소(C)밀도를 가지기 때문이다. 이는 최소한 토지이용 전환 매트릭스의 부분적인 지식을 의미한다.

Tier 1

원래 토지이용 (즉, 임지, 농경지, 주거지 등)에서 최종 초지타입으로 즉, 초지로 전환된 면적의 산정은 필요하다. 방법론은 면적산정은 초지로 유지되는 초지 항목으로 이동한 후 1년의 시간단위에 기초한다고 가정한다. 만약 면적산정이 더 긴 시간단위에서 평가되는 경우, 이는 이용된 탄소(C) 축적량 값과 맞추기 위하여 연간 평균 면적으로 전환되어야 한다. 만약 해당 국가가 이들 데이터를 보유하지 못한 경우, 부분적인 표본이 전체 토지 base로 외삽될 수 있으며 또한 전환에 대한 역사적인 산정은 각 국가의 전문가의 의견에 기초하여 시간에 따라 외삽을 진행할 수 있다. 최소한 각 국가들은 평균 산림개간과 FAO (FAOSTAT website 참조)를 포함한 국제적인 배출원으로부터 초지로 전환된 토지이용을 신뢰할 수 있다. Tier 1 방법은 연평균 전환율과 직접 산정대신 산정된 면적을 이용할 수 있다.

Tier 2

원래 토지이용에서 최종적으로 초지타입으로의 모든 가능한 전환에 대하여 실제 면적을 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 완전한 기록은 주기적인 토지이용과 토지피복 패턴에 대한 원격탐사영상 그리고/또는 주기적인 토지이용패턴에 대한 토지기반샘플링 또는 하이브리드 인벤토리 시스템을 통하여 완성될 수 있다.

Tier 3

Tier 3 계산에서 이용된 활동도데이터는 초지로의 모든 토지이용 변환의 집계를 포함하여야 하며 임의의 국가 내 각기 다른 조건을 고려하기 위하여 분해되어야 한다. 분해 작업은 정치적인 경계 (국가, 지역 등),생물군계 면적, 기후지역 또는 이들 변수간의 조합에 따라 진행될 수 있다. 많은 경우, 국가들은 토지전환에 대하여 다년간 경향에 대한 정보를 가질 수 있다 (주기적인 표본에 기초한 것들 또는 토지이용과 토지피복에 대한 원격탐사 된 인벤토리 등).

6.3.1.4 Tier 1 과 2에 대한 계산단계

다음은 본 항목에서 배출과 흡수의 Tier 1 산정을 완결하기 위하여 제공된 기본 방법 작업표를 이용한 바이오매스 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위한 요약된 단계이다 (ΔC_B).

(AFOLU 작업표 별첨 1 참고) 본 계산에 대하여 식2.15가 간략화 되었다. Tier 1에 대한 가정은 △CG 와 △CL 가 0로 동일하다는 것이다. 그러므로 계산에 필요한 유일한 용어는 식 2.16에서 계산된 $\triangle C_{CONVERSION}$이다. 초지로 전환된 토지에 대하여, 식2.16은 한번은 초본 바이오매스에 대하여, 또 한번은 임목 바이오매스에 대하여 두 번 계산된다. 이는 이들 구성요소 각각이 각기 다른 탄소(C) 분율을 가지기 때문이다.

Tier 1

Tier 1에서는 갑작스러운 변화에 한하여 계산된다. 간략화 가정은 모든 축적량 변화는 전환년도에서 발생한다는 것이다. 그러므로 1년보다 긴 전환기간 동안, 그러나 여전히 전이기간인, 바이오매스 탄소(C) 축적량의 순 변화는 없다고 가정한다.

단계 1: 평가에 이용된 토지전환항목과 대표적인 지역을 결정하라. Tier 1은 처음 토지용도에서 (즉, 임지, 농경지, 주거지 등) 최종적으로 초지타입으로의, 초지로 전환된 면적의 산정을 필요로

한다. 전이단계에서 토지에 대한 계산시, 이전 20년동안 전환된 토지의 전체 면적만이 필요하다. 왜냐하면 Tier 1는 바이오매스 탄소(C) 축적량의 모든 변화는 첫 해 동안 발생한다고 가정하기 때문이다.

단계 2: 본 평가에 이용된 활동도 항목과 대표적인 지역을 결정하라. 활동도 항목은 전환타입의 정의와 ,만약 적용가능하다면, 이전 토지피복의 관리특성과 초지관리 (예. 외래종 풀들을 이용하여 땅이 질은 열대우림을 가축 방목지로 전환)로 구성된다.

단계 3: 각 활동도 항목에 대하여, 전환 이전 초본 바이오매스와 임목 바이오매스 개별적으로 헥타르 당 바이오매스를 결정한다. 지하부바이오매스에 대한 데이터가 부족한 경우, 지하부바이오매스의 구성요소를 산정하기 위하여 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율(R)을 이용한다. 기본값은 다른 토지이용 항목을 언급한 장에서 찾아볼 수 있다.

단계 4: 각 활동도 항목에 대하여, 초지로 전환 1년 뒤, 본 바이오매스와 임목 바이오매스 개별적으로 헥타르 당 바이오매스를 결정한다. 지하부바이오매스에 대한 데이터가 부족한 경우, 지하부바이오매스의 구성요소를 산정하기 위하여 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율(R)을 이용한다. 초본 바이오매스에 대한 기본 값은 표 6.4에서 찾아볼 수 있다.

단계 5: 초본과 임목 바이오매스에 대한 적절한 탄소(C) 분율을 결정하라. 임목 바이오매스에 대한 기본값은 0.50 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$이고 초본 바이오매스에 대한 기본값은 0.47 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$이다.

단계 6: 초기 바이오매스로부터 최종 바이오매스를 빼서 임목과 초본 바이오매스 개별 탄소(C) 축적량의 순 변화를 산정하라. 그리고 이 차이를 활동도에 대한 대표적인 면적과 바이오매스 구성요소의 탄소(C) 분율과 곱한다. 음의 값은 바이오매스 증가를 나타낸다.

단계 7: 각 활동도 항목에 대한 바이오매스 탄소(C) 축적량 순 변화를 결정하기 위하여, 임목과 초본 바이오매스의 탄소(C) 축적량 변화를 더하라. 각 전환형태에 대한 소계는 반드시 계산되어야 하며 총계는 계산되어 표의 마지막 항의 맨 아래에 들어가야 한다.

Tier 2

단계 1: 평가에 이용된 토지전환항목과 대표적인 지역을 결정하라. 전이단계에서 토지에 대한 계산 시, 각 항목의 각 전환단계에서의 대표적인 면적이 필요하다.

단계 2: 갑작스러운 변화(Abrupt changes)

- 본 평가에 이용된 활동도 항목과 대표적인 지역을 결정하라. 활동도 항목은 전환타입의 정의와 만약 적용가능하다면, 이전 토지피복의 관리특성과 초지관리 (예. 외래종 풀들을 이용하여 땅이 질은 열대우림을 가축 방목지로 전환)로 구성된다.
- 각 활동도 항목에 대하여, 전환 이전 초본 바이오매스와 임목 바이오매스 개별적으로 헥타르당 바이오매스를 결정한다. 지하부바이오매스에 대한 데이터가 부족한 경우, 바이오매스의 지하부 구성요소를 산정하기 위하여 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율(R)을 이용한다.
- 각 활동도 항목에 대하여, 초지로 전환 1년 뒤, 본 바이오매스와 임목 바이오매스 개별적으로 헥타르 당 바이오매스를 결정한다. 지하부바이오매스에 대한 데이터가 부족한 경우, 지하부바이오매스의 구성요소를 산정하기 위하여 지하부바이오매스와 지상부바이오매스의 비율(R)을 이

용한다.

- 초본과 임목 바이오매스에 대한 적절한 탄소(C) 분율을 결정하라. 임목 바이오매스에 대한 기본값은 0.50 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$이고 초본 바이오매스에 대한 0.47 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$ 기본값은 이다.
- 초기 바이오매스로부터 최종 바이오매스를 빼서 임목과 초본 바이오매스 개별 탄소(C) 축적량의 순 변화를 산정하라. 그리고 이 차이를 활동도에 대한 대표적인 면적과 바이오매스 구성요소의 탄소(C)분율과 곱하라. 음의 값은 바이오매스 증가를 나타낸다.
- 각 활동도 항목에 대한 바이오매스 탄소(C) 축적량 순 변화를 결정하기 위하여, 임목과 초본 바이오매스의 탄소(C) 축적량 변화를 더하라. 각 전환형태에 대한 소계는 반드시 계산되어야 하며 총계는 계산되어야 한다.

단계 3: 과도기적인 변화(Transitional changes)

- 본 평가에 이용된 일대와 항목을 결정하라. 항목은 전환타입의 정의와 ,만약 적용가능하다면, 이전 토지피복의 관리특성과 초지관리 (예. 외래종 풀들을 이용하여 땅이 질은 열대우림을 가축 방목지로 전환)로 구성된다.
- 각 토지의 일대에 대하여 (일반적으로, 전환과 새로운 안정상태 초지시스템사이의 전이기간) 획득-손실 방법 또는 비축차 방법(하단 참고)을 이용하여 초본과 임목 바이오매스에 대하여 개별적으로 활동도 타입에 대한 연간변화율을 결정하라.
- 이전 연도동안 (일반적으로, 이전의 인벤토리에서 취한다). 일대 내의 초본과 임목 바이오매스를 결정하라.
- 이전 연도 축적량에 순 변화율을 곱함으로써 각 일대에 대한 초본과 임목 바이오매스의 변화를 산정한다.

획득-손실 방법 (제2장 식 2.7)

- 초본과 임목 바이오매스에 대하여 개별적인 연평균증가를 결정하라.
- 초본과 임목 바이오매스에 대하여 개별적인 연평균손실을 결정하라.
- 증가에서 손실을 빼서 초본과 임목 바이오매스에 대한 순 변화율을 결정하라.

비축차 방법 (제2장 식 2.8)

- 인벤토리 시간간격, 인벤토리 초기의 초본과 임목 바이오매스의 축적량평균, 인벤토리 최종 시 평균 초본과 임목 바이오매스를 결정하라.
- 최종 축적량에서 초기 축적량을 빼고 인벤토리들 간 햇수차이로 나눔으로써 초본과 임목 바이오매스의 연간 순 차이를 산정하기 위하여 이들 수치를 이용하라. 음의 값은 축적량의 손실을 의미한다.
- Tier 2 방법은 국가특성 또는 생태계특성 확장계수를 필요로 하며 이용가능성이 가장 높은 지역데이터가 이용되어야 한다 (그리고 증거자료가 첨부되어야 한다.)

6.3.1.5 불확도평가

초지로 전환된 토지에 대한 불확도 분석은 근본적으로 초지로 유지되는 초지와 동일하다. 탄소(C) 인벤토리 내 존재하는 불확도의 두 개의 배출원은 다음과 같다: 1) 토지이용과 관리활동과 환경데이터에 대한 불확도, 2) 탄소(C)증가와 손실, Tier 2 방법에 대한 축적량 변화/배출계수에서의 탄소(C) 축적량과 확장계수 항, Tier 3 모델에 기반 한 접근에 대한 모델 구조/변수 오차 또는 Tier 3 방법에 기반 한 인벤토리와 관련된 측정오차/샘플링 가변성에의 불확도이다. 이상의 논의는 초지로 유지되는 초지의 불확도 절을 보라.(절 6.2.1.5).

6.3.2 고사 유기물

본 절에서는, 고사 유기물 (DOM) 저장고의 탄소(C) 축적량 변화가 초지로 전환된 토지의 항목에서 제시된다. 농경지, 임지, 주거지와 다른 토지이용항목은 잠재적으로 초지로 전환될 수 있다. 고사 유기물 저장고의 다음의 두 가지 타입에 대하여 방법들이 제시된다: 1) 고사목 그리고 2) 낙엽층. 본 권의 제1장에서 이들 풀에 대한 자세한 정의가 제공된다. 고사목과 낙엽층에 대한 특징은 6.2.2절에서 설명된다.

초지로 전환된 토지에 대한 DOM의 탄소(C) 축적량 변화 산정은 바이오매스 절 (6.3.1절)에서 설명된 접근과 비슷한 두 가지 단계의 접근을 필요로 한다. 첫 번째 단계동안은, 토지이용변화와 관련된 DOM의 갑작스러운 변화가 일어난다.

초지로 전용된 토지에 대한 바이오매스 내 탄소(C) 축적량 변화의 산정은 2단계의 접근을 필요로 한다. 특히 변화가 의도적이고 토지준비작업과 관련된 경우 (예, 정리와 연소), 토지이용 변화와 관련된 바이오매스의 갑작스런 변화가 종종 일어난다. 두 번째 단계 (2단계)는 새로운 안정상태 시스템으로의 변화기간동안 점진적인 바이오매스의 손실과 증가를 고려한다. 초지로 유지되는 초지 항목 하에서 진행되는 경우 기간 내 어떤 지점에서 초지생태계는 평형상태에 접근해야 한다. 전환 후 20년의 변화기간은 과도적인 항목 내 유지되는 것에 대한 기본값 기간이다. 그러나 각 국가들은 자율적인 결정에 따라 적절한 전이기간을 결정할 수 있다.

전이기간에 대하여, 초지로 전용된 토지는 연간 동일한 토지로서 다루어 져야 한다. 즉, 주어진 년도에서 전용된 토지는 전환 년도에서 1단계로, 이후 19년에 대하여는 2단계로 고려되어야 한다. 20년 기간의 마지막에서, 주어진 년도에 대한 토지면적은 초지로 유지되는 초지 항목에 더해진다.

많은 토지이용은 고사목 또는 낙엽층 저장고를 가지지 않는 듯 하다. 그래서 전환 이전 탄소(C)풀에 대응하는 것은 0으로 가정할 수 있다. 초지로 전환된 임지, 농림지, 습지는 이들 풀에 상당한 탄소(C)를 가질 수 있으며 주거지 주변의 산림 또한 토지피복 보다는 가까운 지역 용도에 기초한 주거지로서 정의될 수 있다.

다수의 초지로 전용된 토지가 급작스런 전이를 거치지 않는 것이 일반적이다.(예, 방치된(abandoned)농경지와 초지로 전환된 농경지) 이러한 경우, 1단계 방법은 적절하지 않을 수 있으며, 바이오매스 풀에서 새로운 평형상태로의 점진적인 전이가 진행된다. 이러한 타입의 전환이 발생한 경우, 전체 전환은 2단계 방법으로 다루어진다.

초지로의 전환은 종종 정리와 연소를 의미한다. 토지가 정리되면, DOM은 연료재 또는 다른 용도로 흡수될 수 있다. 각 국가들은 이들 흡수량을 정량화하기 위하여 그리고 다른 분야(예, 에너지)에서의 탄소(C)를 고려하도록 노력하기도 한다. 부가적으로, 유지되는 식생의 연소는 DOM을 완벽

하게 흡수하는 것은 아니다. 어느 정도는 석탄으로 전환된다. 고차 수준의 Tier에서 각 국가들은 이러한 이동을 장기간 저장고로 고려하고자 하기도 한다.

6.3.2.1 방법의 선정

그림 2.3 (제2장)의 의사결정임목은 산정작업의 실행을 위한 적절한 Tier 수준을 선택하는 지침을 제공한다. DOM 내 탄소(C) 축적량 변화의 산정은 고사목의 축적량 산정과 낙엽층의 축적량 변화 산정을 필요로 한다. 각 DOM 저장고 (고사목과 낙엽층)는 개별적으로 다루어지나 각 풀에 대한 방법은 동일하다.

Tier 1

Tier 1 방법은 주요 전환 항목 (예. 임지에서 초지)만을 이용한 토지전환의 각 타입에 대한 면적 산정을 포함한다. Tier 1 하에서, 다른 토지에서 초지로의 전환으로 인한 고사목과 낙엽층 내의 즉각적이고 갑작스러운 탄소(C) 축적량 변화 (1단계) 식2.23을 이용하여 산정된다.

이때, C_0는 0과 같고, 1 톤이다. Tier 1 기본값은 전환기간 동안 모든 고사목과 낙엽층의 흡수량을 가정하고 남아있거나 초지로 전환된 토지에 축적된 고사목 또는 잔재물은 없다. 이 가정이 성립되지 않는 국가 (예. 잔가지와 화전농업이 널리 행해지는 곳)에서는 초지로 전환된 토지에 대하여 산정할 때 높은 단계의 Tier를 사용하도록 권장된다. 부가적으로, 초지는 전환 후 첫해동안 안정상태 바이오매스에 도달한다고 가정해야 한다. 그러므로 초지로 전환된 토지는 20년의 전이기간동안 전환항목으로 보류되어야 한다하더라도, Tier 1에 대하여, 2단계와 관련된 배출 또는 흡수는 없다. 왜냐하면, 토양 축적량은 평행에 도달하기 위하여 더 오랜 시간이 걸리기 때문이다.

거의 모든 시스템에서 고사목 또는 낙엽층에 이용 가능한 기본 값은 없다. 산림의 경우, 고사목에 대한 전 지구적인 기본 값은 존재하지 않으나 낙엽층에 대한 값은 있다 (표 2.2, 제2장). 각 국가는 최상의 산정을 얻어야 하며, 전환 이전 초기 시스템의 고사목과 낙엽층에 대한 최상의 산정을 제공하기 위하여 산림과 농업 연구기관으로부터의 지역 데이터를 이용해야 한다.

Tier 2

Tier 2 방법은 Tier 1에서 이용된 것 보다 더 상세한 분해를 필요로 한다. 활동도 데이터는 생태지역과 관리체계에 의하여 기록되어야 한다. 바이오매스 절 (6.3.1절)에서 설명된 바와 같이, 다섯 개의 탄소(C)풀에 대한 토지전환행위의 즉각적인 영향은 "교란 매트릭스"로서 요약될 수 있다. 교란매트릭스는 초지로의 전환 후 원래의 생태계 풀에서의 탄소(C)의 유지, 이동과 방출을 설명한다. 교란매트릭스는 풀에 유지되는 탄소(C) 축적량의 비율을 정의하고, 비율이란 다른 풀로 이동한 것이다. 약간의 이동이 가능하고 이는 제2장의 표2.1의 교란 매트릭스에서 개략적으로 설명되어 있다. 교란 매트릭스의 이용은 모든 탄소(C) 저장고의 집계의 일관성을 보장한다.

Tier 2 및 Tier 3 하에서 초지로의 전환에 의한 즉각적이고 갑작스런 고사목 내 탄소(C) 축적량 변화는 식2.23을 이용하여 산정된다. 전이기간 동안 탄소(C)를 얻거나 잃는 저장고들은 종종 비선형 손실의 형태를 보이거나 연속되는 전이 매트릭스를 통하여 표현되는 축적곡선으로 나타난다. Tier 2에 대하여, 선형변화함수가 가정될 수 있다. 이들 방법에 기초한 Tier 3 접근에 대하여, 곡선의 실제 형태를 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이들 곡선은 보고 된 년도동안 전이조건하에서 고사목과 낙엽층의 탄소(C) 저장고의 연간변화를 산정하기 위하여 동일한 집단에 각각 적

용될 수 있다.

전이단계 동안 고사목과 낙엽층의 탄소(C) 변화량 산정에 대하여, 두 개의 방법이 제안된다.

획득-손실 방법 (제2장 식 2.18 참고): 본 방법은 각 토지전환타입의 면적과 고사목과 낙엽층의 축적량 안팎으로의 연평균 이동을 포함한다. 이 방법은 다음을 필요로 한다. 기후 또는 생태지역 또는 초지형태, 교란체계, 관리체계 또는 고사목과 낙엽층의 탄소(C) 저장고에 중대한 영향을 미치는 다른 계수에 따른 초지로 전용된 토지하의 면적산정과, 고사목과 낙엽층의 축적량으로 이동한 바이오매스의 양 또한 초지타입에 따른 헥타르 당 고사목과 낙엽층의 축적량으로부터 손실된 바이오매스 양

저장-차이법 (제2장 식2.19 참고): 본 방법은 시간 t1과 t2에서 고사목과 낙엽층의 축적량과 초지로 전용된 토지의 면적 산정을 포함한다. 인벤토리 년도에 대한 고사목과 낙엽층의 축적량 변화는 축적량 변화를 두 측정사이의 시간으로 나눔으로써 얻어진다. 저장-차이법은 주기적인 인벤토리를 보유한 국가에 적용이 용이하다. 이 방법은 가변성이 매우 큰 기후를 가진 지역에서는 잘 적용되지 않을 수 있고 연간 인벤토리가 작성되지 않은 경우, 위조된 결과를 야기할 수 있다.

Tier 3

DOM 탄소(C) 산정은 국가차원의 초지 인벤토리, 국가차원의 모델의 일부로서 결정되어야 하며, 제3장의 별첨 3A.3에서 정립된 원칙에 따른 주기적인 샘플링과 병행한 온실가스 전용의 인벤토리 프로그램에 의하여 결정되어야 한다. 인벤토리 데이터는 모든 초지 탄소(C) 저장고의 역동성s를 얻기 위하여 모델링 연구와 함께 진행되어야 한다. Tier 3 방법은 낮은 단계의 Tier보다 더 높은 확실성을 가진 산정을 제공하며 개별 탄소(C) 저장고 사이의 더 높은 상관성을 보인다. 어떤 국가들은 각기 교란행태에 대한 다른 풀들 간의 탄소(C) 재배열 패턴을 제공하는 교란 매트릭스를 개발해 왔다. DOM 탄소(C) budget 모델링에서 또 다른 중요한 변수는 임목의 형태와 미기후조건, site preparation procedure(예, 조작된 광범위한 화재 또는 건초더미(piles) 등 의 연소)에 따라 다양하게 변할 수 있는 분해율이다.

6.3.2.2 배출/흡수 계수 선정

탄소(C) 분율: 고사목과 낙엽층의 탄소 분율은 변하기 쉽고, 분해단계에 따라 달라진다. 목재는 낙엽층보다 변동성이 훨씬 적어서 0.05 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$ 값이 탄소(C) 분율에 사용될 수 있다. 초지에서 낙엽층의 값은 0.30~0.50 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$이다. 국가특정 또는 생태계 특정자료의 이용이 가능하지 않다면, 국가들은 0.40 톤 (톤 d.m.)$^{-1}$의 탄소 분율을 사용해야 한다.

Tier 1

Tier 1은 초지로 전환된 토지에서 고사목과 낙엽층의 탄소 저장고가 모두 소멸되고, 전환 후에 초지에서 새로운 DOM의 축적이 없는 것으로 가정한다. 다른 생태계에서 초지로 현저한 전환을 겪은 국가들은 이와 같은 영향을 정량화하기 위한 국내자료를 개발하고 Tier 2와 Tier 3 방법론 하에 이를 보고할 수 있도록 해야 한다.

Tier 2

기타 초지카테고리에서 고사목과 낙엽층에 대한 국가수준의 자료 자료를 사용하는 것이 *우수실행 (good practice)*이며, 어떤 전환 카테고리들에 대해 국가나 지역적인 값들의 이용이 가능하지 않다면, 기본값들을 조합한다. 획득-손실 방법의 경우, 또는 DOM 저장고의 순 변화, 비축차 방법의 경우에, 벌채된 임목이나 초목들로부터 벌채 잔재물로 이동된 탄소(C)에 대한 국가-특유 값과 분해율은 초지 유형, 바이오매스 이용 비율, 벌채와 벌채가 이루어지는 동안 손상된 식생의 수를 고려하여 국내 확장 계수들로부터 유도될 수 있다. 교란 체계에 대한 국가-특유 값들은 과학적 연구로부터 유도되어야 한다.

Tier 3

국가수준의 분해된 DOM의 탄소(C) 저장고 산정치는 제3장의 별첨 3A.3에서 성립된 원리들에 따라 주기적인 표본추출방법으로 국가 초지 인벤토리, 국가수준모델, 또는 공공용으로 제공된 온실가스 인벤토리 프로그램의 일부에서 결정되어야 한다. 인벤토리 자료는 모든 초지의 탄소(C) 저장고의 역동성을 포착하기 위한 모델링 연구에 협력할 수 있을 것이다.

Tier 3 방법은 낮은 수준의 Tier 보다 확실성이 높은 산정치를 제시해서 개별 탄소(C) 저장고 사이의 연결이 보다 큰 특징이 있다. 어떤 국가들은 교란 유형에 따른 서로 다른 저장고 내에서 탄소의 재배분 유형을 제시하는 교란 메트릭스를 개발하였다. 모형화 된 DOM의 탄소(C) 비축량에 대한 기타 중요한 매개변수는 분해율이며, 이는 목재, 기후조건, 부지준비절차 (예. 장작의 연소나 파종을 위한 연소의 만연을 방지)에 따라 다양할 수 있다.

6.3.2.3 활동자료의 선정

모든 Tiers는 초지로 전환된 토지면적의 산정을 필요로 한다. 동일한 면적 데이터가 바이오매스 계산, 고사유기물, 토양탄소(C) 산정에 이용되어야 한다. 필요하다면, 토양 분석에 이용된 면적데이터는 낮은 단계의 바이오매스 산정을 위해 요구되는 공간적 차원에 맞추기 위하여 집계될 수 있다. 그러나 높은 수준의 Tier에서, 계층화는 주요 토양타입을 고려하여야 한다. 면적 데이터는 제3장에서 설명한 방법을 이용하여 얻어야 한다. 비교검토(Cross-check)는 가능한 중복과 생략을 피하기 위하여 완전하고 일관성 있는 연간 전환된 토지의 표현을 보장하기 위해 실시해야 한다. 데이터는 일반적인 기후항목과 초지타입에 따라 분해되어야 한다. Tier 3 인벤토리는 상세한 토양계층, 기후와 공간적 시간적 분석과 함께 새로운 초지의 성립에 대한 더 넓은 범위의 정보를 필요로 한다. 전이기간으로서 선택된 몇 년의 시간동안 발생한 모든 변화는 초지로 유지되는 초지의 일부로서 보고 된 전이기간 (기본값 20년)보다 더 긴 기간의 전이를 포함하여야 한다. 고차 수준의 Tier는 더 상세한 정보를 필요로 하지만 IPCC 가이드라인과 일관성을 갖는 인벤토리를 위한 최소한의 요구조건은 개별적으로 확인된 산림전환의 면적이다. 이는 산림이 보통 전환 전에 비하여 높은 탄소(C)밀도를 가지기 때문이다. 이는 최소한 토지이용 전환 매트릭스의 부분적인 지식을 의미한다. 그러므로 제3장에서의 접근1,2는 임지에서 초지로 전환된 토지면적을 확인하기 위해 필요로 할 수 있는 추가적인 조사가 이용된 토지면적 산정을 이용할 수 있다. 제3장은 취득과 토지이용계층에 따른 지역 항목화를 위한 접근에 대한 일반적인 지침을 제공한다. 이러한 배출원으로부터 배출과 흡수를 산정하기 위하여, 국가들은 이용가능한 배출계수와 다른 변수에 대응하여 분해 된 초지로 전환된 면적산정을 얻을 필요가 있다.

6.3.2.4 Tier 1 과 2에 대한 계산단계

Tier 1에서는 갑작스러운 변화에 한하여 계산된다. 이 때, C_0 는 0과 같고, 1 톤이다. Tier 1 기본값은 전환기간 동안 모든 고사목과 낙엽층의 흡수량을 가정하고 남아있거나 초지로 전환된 토지에 축적된 고사목 또는 낙엽층은 없다. 그러므로 1년보다 긴 전환기간 동안, 그러나 여전히 전이기간인, 바이오매스 탄소(C) 축적량의 순 변화는 없다고 가정한다.

Tier 1

단계 1: 평가에 이용된 토지전환항목과 대표적인 지역을 결정하라. Tier 1은 처음 토지용도에서 (즉, 임지, 농경지, 주거지 등) 최종적으로 초지타입으로의, 초지로 전환된 면적의 산정을 필요로 한다. 전이단계에서 토지에 대한 계산 시, 이전 20년 동안 전환된 토지의 전체 면적만이 필요하다. 왜냐하면 Tier 1은 DOM 탄소(C) 축적량의 모든 변화는 첫 해 동안 발생한다고 가정하기 때문이다. 모든 초지는 20년보다 오래되었으며 초지로 유지되는 초지로 간주되어야 한다. 그러므로 21년된 초지면적은 본 항목으로 이동되어야 한다.

단계 2: 본 평가에 이용된 활동도 항목과 대표적인 지역을 결정하라. 활동도 항목은 전환타입의 정의와 ,만약 적용가능하다면, 이전 토지피복의 관리특성과 초지관리 (예. 외래종 풀들을 이용하여 땅이 질은 열대우림을 가축 방목지로 전환)로 구성된다.

단계 3: 각 활동도 항목에 대하여, 전환 이전 초본 바이오매스와 임목 바이오매스 개별적으로 헥타르 당 바이오매스를 결정한다. 기본값은 만약 존재한다면, 다른 토지이용 항목을 언급한 장에서 찾아볼 수 있다.

단계 4: 각 활동도 항목에 대하여, 초지로 전환 1년 뒤, 개별적으로 고사목과 낙엽층에 대하여 헥타르 당 탄소(C) 축적량은 0으로 가정한다.

단계 5: 초본과 임목 바이오매스에 대한 적절한 탄소(C) 분율을 결정하라. 임목 바이오매스에 대한 기본값은 0.50 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$이고 초본 바이오매스에 대한 기본값은 0.40 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$ 이다.

단계 6: 초기 바이오매스로부터 최종 바이오매스를 빼서 임목과 초본 바이오매스 개별 탄소(C) 축적량의 순 변화를 산정하라. 그리고 이 차이를 활동도에 대한 대표적인 면적과 바이오매스 구성요소의 탄소(C) 분율과 곱한다.

단계 7: 각 활동도 항목에 대한 DOM 탄소(C) 축적량 순 변화를 결정하기 위하여, 임목과 초본 바이오매스의 탄소(C) 축적량 변화를 더한다. 각 전환형태에 대한 소계는 반드시 계산되어야 하며 총계는 계산되어 표의 마지막 항의 맨 아래에 들어가야 한다.

Tier 2

단계 1: 평가에 이용된 토지전환항목과 대표적인 지역을 결정하라. 전이단계에서 토지에 대한 계산 시, 각 항목의 각 전환단계에서의 대표적인 면적이 필요하다.

단계 2: 갑작스러운 변화(Abrupt changes)

- 본 평가에 이용된 활동도 항목과 대표적인 지역을 결정하라. 활동도 항목은 전환타입의 정의와 만약 적용가능하다면, 이전 토지피복의 관리특성과 초지관리 (예. 외래종 풀들을 이용하여 땅이 질은 열대우림을 가축 방목지로 전환)로 구성된다.
- 각 활동도 항목에 대하여, 전환 이전 초본 바이오매스와 임목 바이오매스 개별적으로 헥타르 당 질량을 결정한다.
- 각 활동도 항목에 대하여, 초지로 전환 1년 뒤, 초본 바이오매스와 임목 바이오매스 개별적으로 헥타르 당 질량을 결정한다.
- 초본과 임목 바이오매스에 대한 적절한 탄소(C) 분율을 결정하라. 임목 바이오매스에 대한 기본값은 0.50 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$이고 초본 바이오매스에 대한 기본값은 0.40 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$ 이다.
- 초기 바이오매스로부터 최종 바이오매스를 빼서 임목과 초본 바이오매스 개별 탄소(C) 축적량의 순 변화를 산정하라. 그리고 이 차이를 활동도에 대한 대표적인 면적과 바이오매스 구성요소의 탄소(C) 분율과 곱한다. 음의 값은 DOM 증가를 나타낸다.
- 각 활동도 항목에 대한 바이오매스 탄소(C) 축적량 순 변화를 결정하기 위하여, 임목과 초본 바이오매스의 탄소(C) 축적량 변화를 더하라. 각 전환형태에 대한 소계는 반드시 계산되어야 하며 총계는 계산되어야 한다.

단계 3: 과도기적인 변화 (Transitional changes)

- 본 평가에 이용되는 동일한 집단과 항목을 결정하라. 항목은 전환타입의 정의와 ,만약 적용가능하다면, 이전 토지피복의 관리특성과 초지관리 (예. 외래종 풀들을 이용하여 땅이 질은 열대우림을 가축 방목지로 전환)로 구성된다.
- 각 토지의 동일 집단에 대하여 (일반적으로, 전환과 새로운 안정상태 초지시스템사이의 전이기간) 획득-손실 방법 또는 비축차 방법 (하단 참고)을 이용하여 초본과 임목 바이오매스에 대하여 개별적으로 활동도 유형에 대한 연간 변화율을 결정하라.
- 이전 년도동안(일반적으로, 이전의 인벤토리에서 취한다.) cohort 내의 초본과 임목 바이오매스를 결정하라.
- 이전 년도 축적량에 순 변화율을 곱함으로써 각 cohort에 대한 초본과 임목 바이오매스의 변화를 산정한다.

획득-손실 방법 (제2장 식 2.18)

- 초본과 임목 바이오매스에 대하여 개별적인 연평균 투입을 결정하라.
- 초본과 임목 바이오매스에 대하여 개별적인 연평균 손실을 결정하라.
- 증가에서 손실을 빼서 초본과 임목 바이오매스에 대한 순 변화율을 결정하라.

비축차 방법 (제2장 식2.19)

- 인벤토리 시간간격, 인벤토리 초기의 초본과 임목 바이오매스의 축적량평균, 인벤토리 최종시 평균 초본과 임목 바이오매스를 결정하라.
- 최종 축적량에서 초기 축적량을 빼고 인벤토리들 간 햇수차이로 나눔으로써 초본과 임목 바이오매스의 연간 순 차이를 산정하기 위하여 이들 수치를 이용하라. 음의 값은 축적량의 손실을 의미한다.
- Tier 2 방법은 국가특성 또는 생태계특성 확장계수를 필요로 하며 이용가능성이 가장 높은 지역데이터가 이용되어야 한다 (그리고 증거자료가 첨부되어야 한다).

6.3.2.5 불확도 평가

초지로 전환된 토지에 대한 불확도 분석은 근본적으로 초지로 유지되는 초지와 동일하다. 탄소(C) 인벤토리 내 존재하는 불확도의 두 개의 배출원은 다음과 같다. 1) 토지이용과 관리활동과 환경데이터에 대한 불확도, 2) 탄소(C)증가와 손실, Tier 2접근에 대한 축적량 변화/배출계수에서의 탄소(C) 축적량과 확장계수 항(term), Tier 3 모델에 기반한 접근에 대한 모델 구조/변수 오차 또는 Tier 3 측정에 기반한 인벤토리와 관련된 측정오차/샘플링 가변성에의 불확도이다. 이상의 논의는 초지로 유지되는 초지의 불확도 절을 보라.(절 6.2.2.5)

6.3.3 토양탄소(C)

배수를 포함한 초지관리는 이전의 토지이용에 관계없이 유기토양으로부터의 배출을 야기한다. 그러나 무기토양에의 영향은 초지로 전환된 토지에 대한 흡수보다 명확하지 않다. 전 지구적으로 지배적은 전환타입 중 임의의 어떤 것에 대한 문헌은 순증가와 토양 탄소(C)에의 순 손실에 대한 증거를 제시한다. 그리고 전환 후 초지의 특정 관리형태는 중요한 것으로 알려져 있다. (예. Veldkamp, 2001)

토양의 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위한 일반적인 정보와 지침은 (식 포함) 제2장의 2.3.3.절에 제시되어 있다. 그리고 위의 절은 초지 토양 탄소(C) 축적량을 다루는 특정 가이드라인을 고려한 작업을 시행하기 전에 미리 숙지하여야 한다. 초지에 대한 토양 탄소(C) 축적량의 총 변화는 제2장의 식 2.24를 이용하여 산정된다. 이 식은 무기토양과 유기토양에 대한 토양 유기탄소(C) 축적량의 변화와 토양 무기탄소(C) 저장고 (Tier 3로 산정되는 경우)과 관련된 축적량 변화를 결합한 식이다. 본 절은 토양 유기탄소(C) 축적량 산정을 위한 특정 지침을 제공한다. 토양 무기탄소(C)에 대한 일반적인 논의는 절 2.3.3.1에서 설명되었으며 더 이상의 추가적인 정보는 여기서 다루어지지 않는다.

초지로 유지되는 초지와 관련된 토양탄소(C) 축적량의 변화를 고려하기 위하여, 각 국가들은 최소한 인벤토리기간의 처음과 끝에서 초지면적의 산정을 보유해야 한다. 만약 토지이용과 관리 데이터가 제한된 경우, 초지에 대한 FAO 통계와 같은 데이터집합이 시작점으로서 토지관리 시스템의 대략적인 분포에 대한 국가별 전문가의 지식과 함께 이용된다. 만약 이전의 토지이용과 전환이 알려져 있지 않은 경우, SOC 축적량 변화는 초지로 유지되는 초지에서 제시된 방법을 이용하여 산정될 수 있다. 그러나 면적은 인벤토리 시작연도에 비해 상대적으로 최근 년도에서 초지에 대하여 차이를 보일 수 있다. 그러나 모든 토지이용구역에 대한 전체 토지 면적이 인벤토리 기간에 대하

여 동일하다는 것은 중요하다 (예. 만약 임지와 농경지의 3,000,000 헥타르가 인벤토리 기간 동안 초지로 전환된다면, 초지는 인벤토리의 마지막 년도에 3,000,000 헥타르를 추가적으로 보유하게 되고, 반면 농경지와 임지는 지난 해에 3,000,000 헥타르를 잃게 된다). 초지관리계층은 기본조건 또는 국가특성 계층화에 근거한 기후지역과 주요 토양타입에 따라 분류되어야 한다. 이는 적정 기후와 토양지도의 중첩과 토지 전환의 위치에 대한 공간적으로 외삽 된 데이터와 함께 이용함으로써 완성될 수 있다.

6.3.3.1 방법의 선정

인벤토리는 이전의 것보다 더 상세한 세부사항과 배출원을 요구하는 연속적인 각 Tier와 병행한, Tier 1, 2 또한 3 접근을 이용하여 개발될 수 있다. 각 국가들이 토양 탄소(C)의 하위항목을 분류하기 위한 산정작업을 준비하기 위하여 각기 다른 Tier를 이용하는 것은 가능하다.(즉, 무기토양과 유기토양에서의 토양 유기탄소(C) 축적량의 변화와 무기탄소(C) 저장고와 관련된 축적량 변화). 인벤토리 작성자가 토양 탄소(C) 인벤토리를 작성하기 위한 적절한 Tier 선정을 도와주는 무기토양에 대한 의사결정도(그림2.4)와 유기토양에 대한 의사결정도 (그림2.5)는 제2장에 제시되어 있다.

무기토양

Tier 1

식 2.25를 이용하여(제2장), 토양 유기탄소(C) 축적량의 변화는 초지로의 토지이용전환의 영향에 대한 무기토양에 대하여 산정될 수 있다. 이 방법은 전환 이전 탄소(C) 축적량이 또 다른 토지이용에 대한 축적량 변화계수에 의존한다는 것만 제외하면, 근본적으로 초지로 유지되는 초지에서 이용된 그것과 동일하다. 특히, 초기(전환 이전)토양유기탄소(C) 축적량 ($SOC_{(0-T)}$)과 인벤토리 기간의 최종년도의 축적량 (SOC_0)은 토양 유기탄소(C) 축적량 인용값 (SOCref)과 축적량 변화계수(F_{LU}, F_{MG}, F_I)로부터 계산되어야 한다. 초지에서 기반암이 노출된 지역은 토양 탄소(C) 축적량 계산에 포함되지 않음을 명심하라 (축적량을 0으로 가정한다). 연간 축적량 변화율은 인벤토리기간의 처음과 최종년도에 대한 축적량(시간에 따른)변화에 기초하여, 시간에 따른 축적량 변화계수(D, 기본값 20년)로 나눔으로써 산정된다.

Tier 2

무기토양에 대한 Tier 2는 또한 식 2.25 (제2장)를 이용하나, 국가특성 또는 지역특성 탄소(C) 축적량 인용값 그리고/또한 축적량 변화계수와 더 세분화된 토지이용활동과 환경 데이터를 포함해야 한다.

Tier 3

Tier 3 방법은 상세화 된 그리고 국가특성 모델 그리고/또한 고도로 분해 된 토지이용과 관리 데이터와 함께 측정에 근거한 접근 토양 탄소(C) 인벤토리 측정을 포함한다. 초지로의 토지이용 전환으로 인한 토양 탄소(C) 변화를 산정하기 위한 Tier 3 접근은 모델, data set, 임지 혹은 농경지 또는 다른 토지이용을 포함한 다른 토지이용에서의 시간에 따른 전이를 대표할 수 있는 모니터링 네트워크를 적용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 만약 가능하다면, Tier 3 방법에 대하여 바이오매스 흡수와 유지되는 초목(임목 부스러기와 낙엽층을 포함)에 대한 흡수작업 후(post-clearance)처리와 통합이 권장된다. 흡수와 잔여물의 처리(예, 연소, 부지마련)에의 변화는 토

양 유기물 조성에 대한 탄소(C) 투입과 분해와 연소로 인한 탄소(C) 손실에 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 모델이 기후, 토양, 전환 후 토양 탄소(C) 축적량 변화에 대한 초지관리의 상호작용을 대표할 수 있는 국가 특성 또는 지역특성 현지조사로부터 독립적인 관찰과 병행하여 산정하는 것이 중요하다.

유기토양

Tier 1 and Tier 2

인벤토리 기간 동안 유기토양에서 초지로 전환된 토지는 유기토양에서 초지로 유지되는 초지와 동일하게 다루어진다. 즉, 이들은 기후체계와 탄소(C) 손실에 기초하여 식 2.26 (제2장)을 이용하여 계산된 일정한 배출계수를 적용한다. Tier 1과 2 방법에 대한 부가적인 지침은 초지로 유지되는 초지 절에 주어져 있다 (6.2.3.1절).

Tier 3

무기토양과 비슷하게, Tier 3접근은 상세화 된 그리고 국가특성 모델 그리고/또한 고도로 분해 된 토지이용과 관리 데이터와 함께 측정에 근거한 접근 토양 탄소(C) 인벤토리 측정을 포함한다. (추가적인 논의에 대하여는 상단의 무기토양 참고).

6.3.3.2 축적량 변화와 배출 계수의 선정

무기토양

Tier 1

관리되지 않은 토지와 또한 관리된 임지, 농경지와 낮은 교란강도로 명목적으로 관리된 초지에 대하여, 토양 탄소(C) 축적량은 기본값과 동일하다고 가정된다. (즉, 토지이용, 교란(산림에 한함), 관리방법과 입력계수는 1로 동일하다.) 반면 개선된 또는 퇴행된 초지와 모든 농경지 시스템과 같은 다른 시스템을 표현하기 위하여 적절한 축적량 변화계수를 적용하는 것은 꼭 필요하다. 탄소(C) 축적량 기본 인용값은 제2장의 표 2.3에 제시되어 있다. 기본 축적량 변화계수에 대한 적절한 토지이용 장의 축적량 변화와 배출계수의 선정에 대한 절을 참고한다 (4.2.3.2절의 임지, 5.2.3.2절의 농경지, 6.2.3.2절의 초지, 8.2.3.2절의 주거지, 9.3.3.2절의 기타 토지이용).

만약 초지로 전환된 것을 다룰 경우(즉, 토지가 초지로 유지되는 초지로서 재분류될 때 까지), 특별지정구역(set-asides)에 대하여 (표 5.5) 관리계수(F_{LU})를 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 왜냐하면, 최근에 전환된 연간 농경지 시스템은 전형적으로 특별 지정된 토지와 비슷한 속도로 탄소(C)를 얻기 때문이다. 게다가, Tier 1 특정지정구역 계수는 개간으로부터 흡수된 토지에 대한 처음 20년 동안 얻어질 것으로 예상되는 것을 외삽으로 표현하기 위하여 경험적 데이터로부터 유도된다. 만약 해당 국가가 20년 동안 자연조건으로의 level을 상승시키는 더 빠른 탄소(C)의 증가를 가정한다면, 정당화는 기록에 제시되어야 한다.

Tier 2

국가특성 축적량 변화계수에 대한 산정은 Tier 2 방법에서 개발된 인벤토리를 개선하기 위한 주요한 사항이다. 토지이용들 간의 토양 유기탄소(C) 축적량의 차이는 관리계수(F_{MG})와 입력계수(F_I),

관리계수(F_{MG})를 이용하여, 인용값의 조건에 관련하여 계산되고 새로운 초지 시스템의 탄소(C) 축적량을 상세화 하기 위하여 이용된다. 이들 축적량 변화계수를 유도하는 방법에 대한 부가적인 지침은 초지로 유지되는 초지 (6.2.3.2절)와 다른 일반적인 지침, 2.3.3.1절 (제2장)에서 제공된다. 다른 토지이용 구역에 (4.2.3.2절의 임지, 5.2.3.2절의 농경지, 8.2.3.2절의 주거지, 9.3.3.2절의 기타 토지이용) 대한 축적량 변화계수의 유도에 관한 특정 정보에 대한 적절한 절을 참고하라.

탄소(C) 축적량 인용값은 Tier 2 접근에서의 국가특성 데이터로부터 또한 유도될 수 있다. 그러나 탄소(C) 축적량 인용값은 AFOUL에 대한 토양 탄소(C) 인벤토리를 작성하는 다양한 집단간의 조합을 필요로 하는 토지이용 구역 .(즉, 임지, 농경지, 초지, 주거지, 다른 토지이용)에 대하여 일관성을 가져야 한다.

Tier 3

일정한 축적량의 변화율 계수 (per se)는 토지이용과 관리영향을 더 정확히 얻는 변수들 보다는 산정이 어렵다. 더 이상의 논의는 2.3.3.1절 (제2장)을 참고한다.

유기토양

Tier 1과 Tier 2

인벤토리 기간동안 유기토양에서 초지로 전환된 유기토양에서 토지는 초지로 유지되는 초지와 동일하게 다루어진다. Tier 1 배출계수는 표6.3에 제시되어 있으며, 반면 Tier 2 계수는 국가특성 또는 지역특성 데이터로부터 유도된다.

Tier 3

일정한 배출율 계수(per se)는 토지이용과 관리영향을 더 정확히 얻는 변수들 보다는 산정이 어렵다. 더 이상의 논의는 2.3.3절 (제2장)을 참고한다.

6.3.3.3 활동자료의 선정

무기토양

Tier 1과 Tier 2

토양의 탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위한 목적으로, 초지로 전용된 토지의 면적산정은 주요 기후지역과 토양타입에 따라 계층화 되어야 한다. 이는 적절한 기후와 토양지도의 중첩과 토지전환의 위치에 대한 공간적 외삽 데이터에 기초할 수 있다. 기본 기후와 토양 계층화 체계에 대한 상세한 설명은 제3장에 제시되어 있다. 토지이용/관리 활동도 데이터의 표현을 고려한 각 구역특성 정보에 대한 각 토지이용 항목을 다루는 상응하는 절을 참고한다 (4.2.3.2절의 임지, 5.2.3.2절의 농경지, 8.2.3.2절의 주거지, 9.3.3.2절의 기타 토지이용).

토양의 유기탄소(C) 축적량에 대한 초지로 전환된 토지의 영향을 산정하는 데 있어 중요한 논점은 토지이용과 관리활동도 데이터이다. 접근 2 또는 3을 이용하여 수집된(접근에 대한 논의는 제3장을 참고하라.)활동도데이터는 초지로 전환된 토지로 항목화된 토지에 대한 이전의 토지이용을 결정하기 위한 기초를 제공한다. 대조적으로, 집합된 데이터(접근1)는 인벤토리 기간의 처음과 마지

막에서의 각 토지이용에서 전체 면적의 양만을 제공한다.(예, 1985년과 2005년) 그러므로, 추가적인 정보가 토지이용변화의 패턴을 추론하기 위하여 수집될 수 없다면, (제3장에 제안된 바와 같이) 접근 1데이터는 토지이용 항목 간 특정 전이를 결정하는데 충분치 못하다. 그러므로 초지로의 전환 이전 토지이용은 알 수 없다. 다행히, 이는 Tier 1 또는 2 방법을 이용할 때 문제가 되지 않는다. 왜냐하면 이때 계산은 동적이지 않으며, 어떤 평형상태에서 다른 상태로의 단계변화를 가정하기 때문이다. 그러므로 수집된 데이터 (접근법 1)와 함께, 토양 유기탄소(C) 축적량 변화는 각 토지이용 항목에 대하여 개별적으로 계산될 수 있으며, 결합된 모든 토지이용에 대한 총 축적량 변화를 얻기 위하여 결합된다. 토양 탄소(C) 축적량 변화 산정은 접근 2 또는 3 활동도 데이터를(즉, 전체 토지이용변화 매트릭스) 이용한 결과와 동일하다. 그러나 탄소(C) 축적량의 경향 산정은 모든 토지이용에 대한 축적량 산정을 결합한 후에 한하여 타당하다. (즉, 축적량은 개별 토지이용 내에서 토지면적의 변화와 함께 증가 또는 감소할 수 있다). 그러나 이는 다른 토지이용에 대한 증가 또는 손실에 의하여 상쇄될 수 있으며 따라서 한 국가에 대한 토양 저장고의 실제 축적량 변화가 될 수 없다. 그러므로 수집된 데이터 (접근법 1)를 이용하여, 어떤 토지 면적은 각 인벤토리 기간 동안 토지이용변화 때문에 개별 구역 내에서 손실되거나 증가한다고 주어진 경우, 전체 토지 기반이 시간에 따라 일정하도록 하기 위하여 모든 토지 구역에 대하여 대등한 수준에 도달하는 것은 중요하다.

수집된 활동도 데이터(접근법 1)를 가지고, 초지로 전환된 연간 개간된 농경지의 양을 결정하는 것은 불가능 하다는 것을 명심한다. 그러므로 초지 축적량 변화 계수는 최근에 전환된 연간 농경지에서의 더 낮은 탄소(C) 증가율을 고려하지 않고 적용될 것이다. 최근에 전환된 연간 농경지에서의 더 낮은 탄소(C) 증가율은 특히 Tier 1 접근을 이용하는 경우, 20년의 기간 동안 탄소(C) 증가의 과대산정을 야기할 수 있다.(이상의 논의에 대하여 축적량 변화와 배출계수 참고). 이 같은 경고가 기록 보고에서 반드시 언급되어야 한다. 그리고 이상의 인벤토리에 대하여 특히 토양의 탄소(C)가 핵심 배출원 항목인 경우, 농경지로부터 최근에 전환된 초지의 면적을 산정하는데 필요한 부가적인 정보를 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 3

역동성 모델 그리고/또한.Tier 3 인벤토리에 근거한 직접측정의 적용은 Tier 1, 2방법과 비교할 때 상대적으로 기후, 토양, 지형 및 관리 데이터의 조합에 대한 비슷하거나 더 자세한 데이터가 필요하다. 그러나 정확히 필요로 하는 것은 모델 또는 측정계획에 의존한다.

유기토양

Tier 1과 Tier 2

인벤토리 기간 동안 유기토양에서 초지로 전환된 유기토양에서 토지는 초지로 유지되는 초지와 동일하게 다루어진다. 그리고 활동도 데이터에 대한 지침은 절 6.2.3.3에서 논의된다.

Tier 3

무기토양과 비슷하게, Tier 3 접근은 Tier 1과 2방법과 비교할 때 상대적으로 기후, 토양, 지형 및 관리 데이터의 조합에 대한 비슷하거나 더 자세한 데이터가 필요하다. 그러나 정확히 필요로 하는 것은 모델 또는 측정계획에 의존한다.

6.3.3.4 Tier 1에 대한 계산 단계

무기토양

SOC_0, $SOC_{(0\text{-}T)}$와 초지로 전환된 토지에서의 순 토양탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위한 단계는 다음과 같다:

단계 1: 활동도데이터가 수집된 년도에 근거한 인벤토리 시간주기로 데이터를 체계화한다 (예. 1990과1995, 1995와 2000, 등)

단계 2: 활동도데이터의 시간단계에 의존하여 다양해질 수 있는 인벤토리 기간의 시작점에서 토지에 대한 무기토양 타입과 기후지역에 따라 토지이용과 관리방법을 결정 한다 (0-T; 예. 5, 10 또는 20년 전).

단계 3: 인벤토리 된 각 토지면적에 대하여 표2.3에서 기후와 토양타입에 근거한 본래의 탄소(C) 축적량 인용값 (SOC_{REF})을 선정한다. 탄소(C) 축적량 인용값은 구역들 사이의 탄소(C) 축적량 값 간의 차이로 인하여 탄소(C) 축적량 내 잘못된 변화가 계산되지 않음을 보장하기 위하여 모든 토지이용항목에 대하여 동일하다.

단계 4: 토지이용계수(F_{LU}),관리계수(F_{MG})와 인벤토리 기간의 시작점에서 나타난 토지이용과 관리 시스템을 대표하는 탄소(C) 투입 수준(F_I)을 선정한다. F_{LU}, F_{MG}, F_I 의 값은 각 토지이용 구역(농경지는 제5장, 초지는 제6장, 주거지는 제8장, 기타 토지는 제9장)에 대한 각각의 절에 제시되어 있다.

단계 5: 인벤토리 기간에 대한 초기 토양 유기탄소(C) 축적량을($SOC_{(0\text{-}T)}$) 산정하기 위하여 이들 값을 곱한다.

단계 6: 동일한 탄소(C) 축적량 인용값 (SOC_{REF})을 이용하여, 1에서 4단계를 반복하여 SOC_0를 산정하라. 그러나 토지이용, 관리, 인벤토리 최종 년도에서 (연도 0) 상황을 표현하는 (초지로의 전환 후) 투입 계수는 제외된다.

단계 7: 인벤토리 기간에 대하여 지역에 대한 토양 유기탄소(C) 축적량 내의 연평균 변화를 산정하라.($\triangle C_{Mineral}$).

단계 8: 만약 추가적인 인벤토리 기간이 제시되는 경우, 단계 1에서 단계 6을 반복하라 (예. 1995~2000까지, 2001~2005까지 등)

식 2.25 (제2장)와 기본 축적량 변화계수와 탄소(C) 축적량 인용값을 이용한 농경지의 토지전환에 대한 계산의 예제가 아래 주어져 있다. 아래의 예제는 초지로 전환된 토지와 관련한 토양의 유기탄소(C) 축적량 변화를 산정하기 위하여 주어져 있다.

예제: 열대 습윤기후의, 집중적인 경작이 이루어진, 장기간 연간 농경지로 이용된 화산토양(volcanic soil)에 대하여, 작물 잔여물이 현지에서 흡수된 곳에서, 인벤토리 초기의(본 예제에서 1990년) 탄소(C) 축적량은, $SOC_{(0-T)}$, 70 톤 C ha^{-1} • 0.48 • 1• 0.92 = 30.9 톤 C ha^{-1}이다. 인벤토리 최종년도에서(본 예제에서 2010년) 개선된(예, 비옥화가 진행된)방목지에서 전환 후 탄소(C) 축적량은(SOC_0)70 톤 C ha^{-1} • 0.82 •1.17 • 1 = 67.2 톤 C ha^{-1}이다. 그러므로 인벤토리 기간동안 토양 탄소(C) 축적량의 연평균 변화는 (67.2 톤 C ha^{-1} -36.9 톤 C ha^{-1}) / 20 yrs =1.5 톤C ha^{-1} yr^{-1}로 계산된다. 농경지로의 특별지정구역 계수(0.82)는 F_{LU}로 이용됨을 주지하라. 왜냐하면 초지는 20년 동안 천연 탄소(C) 축적량의 여분을 충분히 얻지 않기 때문이다. 처음 20년이 지난 뒤, 계수 1은 Tier 1에서 F_{LU}로 이용될 수 있다.

유기토양

계산단계는 위의 6.2.3.4절에서 설명된 것과 동일하다.

6.3.3.5 불확도 평가

초지로 전환된 토지에 대한 불확도 평가는 초지로 유지되는 초지와 동일하다. 세 가지 주요한 불확도의 배출원은 다음과 같다. 1) 토지이용과 관리활동도와 환경데이터에 대한 불확도, 2) Tier 1 또는 2접근을 이용한 경우탄소(C) 축적량 인용값의 불확도 (무기토양에 한함), 3) Tier 1 또는 2 방법을 사용한 경우 축적량 변화/배출계수에의 불확도, Tier 3 모델에 근거한 접근에 대한 모델 구조/변수 오차에 대한 불확도 또는 Tier 3에 근거한 인벤토리와 관련된 측정 오차/샘플링 다양성에 대한 불확도이다. 추가적인 논의는 초지로 유지되는 초지의 불확도 절을 참고 한다 (6.2.3.5절).

6.3.4 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 온실가스의 배출

초지로 전환된 토지로 부터의 온실가스의 배출은 바이오매스의 연소와 초지로 전환된 토지의 고사유기물(DOM)에서 발생한다. 배출은 새로운 토지 항목에서 다루어진다. 본 절에서 가장 중요한 온실가스 배출은 초지로 전환된 임지에서 일어나는 것이다. 그러나 중요한 배출은 또한 농경지의 초지로의 전환에 의한 결과로서 발생하기도 한다. 다른 토지 항목 (주거지, 습지 또는 기타 토지) 전환으로부터 기원한 초지는 중요하지 않다.

열대지방에서, 계속적으로 대부분의(혹은 전부의) 산림잔여물과 DOM이 흡수도리 때까지 불태우고 방목지를 조성하는 행위는 일반적이다. 어떤 지역에서는 세 네 차례 이상의 화재를 필요로 한다. 산림의 지상부바이오매스의 일부는 산림에서 초지로의 전환과정동안 수확된 임목 생산품으로 이동할 수 있으며, 그 양은 연료재 (그러므로 현지 외에서 연소)로 이용되는 지역에서 흡수될 수 있다. 남은 것은 보통 현지에서 연소된다. 토지이용 전환이 뒤따른 다면, 관리되지 않은 산림에서 바이오매스 연소에 의한 온실가스 배출이 기록되어야 한다. 왜냐하면 전환된 토지는 관리된 토지로 고려되기 때문이다.

농경지에서 초지로의 전환은 일반적으로 바이오매스 연소를 야기하지 않으나 위 행위가 언제 이루어지든, 각 국가는 1년 단위에 상응하는 온실가스 배출을 보고해야 한다.

초지로 전환된 토지에서의 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2배출의 산정이 이용된 접근방법은 근본적으로 초지로 유지되는 초지에서 제시된 것과 동일하다.

6.3.4.1 방법의 선정

제2장의 그림 2.6은 초지로 전환된 토지에서의 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2배출을 기록하기 위하여 적절한 Tier 수준을 선정하는 지침인 의사결정임목을 보여준다. 방법의 선정은 전환된 불에 탄 토지의 면적 에 대한 국가차원의 데이터의 이용가능성, 이용 가능한 연료의 질량과 연소 및 배출계수와 직접적으로 연관된다. 높은 차원의 Tier를 이용하는 경우, 이용 가능한 연료의 질량에 대한 국가특성 데이터는 수확된 임목 생산품 (적용가능하다면)으로 이동되고, 연료이용과 현지 외 연소로 흡수된 바이오매스의 양을 고려하는 데 이용된다. 각 국가는 초지로 전환된 토지에서의 바이오매스 연소로 인한 온실가스 배출이 핵심 항목인 경우, Tier 2와 3 방법을 이용하여 보고해야 한다.

6.3.4.2 배출계수의 선정

Tier 1

연소를 위하여 이용 가능한 연료의 양은(식 2.27에서 MB를 정량화함) 온실가스 배출의 산정에 있어 중요하다. Tier 1 접근 하 배출의 산정을 보완하는 기본값 데이터는 제2장의 표2.4에서 2.6에 제공되어 있다. 국가들은 각 국가별로 차이가 있는 넓은 식생 항목에 대한 식생 타입 지도가 기본표에서 어떻게 설명하는지를 판단하여야 한다. Tier 1에 대하여, 이전 토지 이용 항목에 대한 모든 지상부바이오매스와 DOM은 전환 후 즉시 손실된다고 가정한다. 전환 이전 바이오매스에 대한 기본 값은 개별 토지이용과 관련된 장에서 찾아볼 수 있다 (예. 임지에 대한 기본계수는 임지 바이오매스를 다루는 장에서 제시된다.)

Tier 2

Tier 2 방법에서, 연료연소에 대한 국가특성 산정이 이용되어야 한다. 데이터는 임지가 초지로 전환된 경우 산림형태에 따라 분해되어야 한다. 국가별 상황을(기후지역, 생물군계, 연소조건) 더 잘 반영하는 연소 및 배출계수는 개발되어야 하며 불확도 범위가 제시되어야 한다. 부가적으로 Tier 1과 달리, 모든 지상부바이오매스 탄소(C)와 DOM은 전환 직후 손실되는 것으로 가정한다. Tier 2 방법에서, 수확된 임목 생산품과 땔감(현지 외 연소)으로의 바이오매스의 이은 더 이용 가능한 땔감의 질량에 대한 더 신뢰할 수 있는 산정을 제공하기 위하여 산정되어야 한다.

Tier 3

Tier 3하의 모든 변수는 국가별로 정의되어야 한다.

6.3.4.3 활동자료의 선정

활동자료는 이들 활동으로 인하여 영향 받는 면적에 대한 바이오매스 연소로 인한 온실가스 배출을 산정하기 위하여 필요로 한다. 각 국가들은 임지와 전환된 농경지에 의하여 초지로 전환된 면적을 계층화 한다. 그 이유는 연소에 이용 가능한 연료의 양이 토지이용의 어떤 항목에서 다른 항목에 따라 큰 폭으로 변할 수 있기 때문이다.

Tier 1

Tier 1 접근을 이용하는 국가는 처음 토지이용(임지, 농경지 등)으로부터 초지로의 전환 면적을 산정해야 한다. 전환은 년 단위로 산정되어야 한다. 산정은 몇 가지 접근에 의하여 유도 할 수 있다: (1) 연간 총 전환면적에 대한 초지로 전환된 비율의 적용(이때, 비율은 역사적인 지식, 전문가의 판단 그리고/또는 전환된 면적의 표본과 최종 토지이용의 평가로부터 산정될 수 있다). 또는 (2) 연간 전환된 임지와 농경지의 면적을 산정하기 위하여 FAO와 같은 국제적인 배출원을 이용 및 초지로 전환된 면적의 분율을 산정하기 위하여 전문가의 판단을 이용한다.

Tier 2

가능한 경우, 각 국가는 모든 가능한초지로의 전환에 대하여 실제 면적을 이용하여야 한다. 적절한 해상도의 여러 시간대의 원격탐사 데이터는 토지이용 전환에의 Tier 1에서 소개된 방법보다 더 나은 산정을 위하여 제공되어야 한다. 분석은 국가영토의 전체 피복에 근거하여야 하며 또는 초지로 전환된 면적의 산정이 이루어지는 전 영토에 대한 지역으로부터 선정된 대표적인 표본에 대하여 유도될 수 있다.

Tier 3

Tier 3의 활동자료는 초지로 전환된 연간 총 면적이 산정되는 경우,(임지, 농경지 또는 기타토지이용 항목으로부터) 제3장에 설명된 접근3에 기초하여야 한다. 데이터는 생물군계, 기후, 정치적 경계 또는 이들 변수의 조합에 따라 분해되어야 한다.

6.3.4.4 불확도 평가

Tier 1

본 방법에서의 불확도의 배출원은 여러 배출원으로부터 발생 한다: (i) 전 지구적 또는 국가차원의 초지로 전환된 토지면적에 대한 전환율과 정확하지 않은 산정치의 이용, (ii) 관리행위의 일부로서 불탄 전환된 면적의 산정(농경지를 만들기 위한 처음 토지이용에서의 바이오매스의 흡수), (iii) 이용 가능한 연료의 질량, (iv) 연소 및 배출계수. 배출과 연소계수와 관련된 불확도는 제공되어 있으며 항목 (i)과 (ii)와 관련된 것들은 그들의 산정에 이용된 방법에 따라 상당히 다양하게 변할 수 있다. 이들 불확도의 결과로서, 불탄 면적의 산정은 20%보다 더 높은 값을 가질 수 없으며, Tier 1 방법에서 이용한 계수 2 안에서 단위 면적당 배출값을 가진다.

Tier 2

더 신뢰할 수 있는 배출원 (원격탐사데이터, 표본접근)으로부터 얻어진 면적산정의 이용은 Tier 1 과 접근법 1(제3장)과 관련된 정확도를 개선할 수 있다. 이들 배출원은 전환되고 불에탄 면적에 대한 더 나은 산정을 제공한다. 수확된 임목 생산품 또는 땔감으로서 흡수된 것과 현지에 남겨져 부패된 바이오매스에를 무시하는 것은 산정에서의 편향(과대산정)을 야기할 수 있다. 만약 오차범위(표준편차의 형태로서)와 병행한, 국가차원의 배출 또는 연소계수의 산정은 평가되어진 농경지로 전환된 토지와 관련된 불확도를 허용한다.

Tier 3

Tier 3 활동도 데이터와 관련된 불확도은Tier 1 또는 2에서의 불확도보다 작고, 이는 원격탐사와 현장조사, 이용된 모델링 접근과 데이터입력에 의존한다.

6.4 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고

6.4.1 완전성

Tier 1

Tier 1에 대한 완전한 초지인벤토리는 다음의 세 가지 요소를 가지고 있다. 1)탄소(C) 축적량 변화와 초지로 전환된 모든 토지와 인벤토리 기간동아 초지로 유지되는 초지에 대하여 산정된 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 (메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 질소산화물(NOx)) 배출, 2) Tier 1방법에서 설명된 모든 관리행위의 영향을 설명한 인벤토리 분석, 3) 배출과 흡수에 영향을 미치는 기후와 토양 식생을 고려한 분석 (Tier 1에서 설명된 것과 동일)한다.

후자의 두 요소는 초지면적에 대한 관리시스템의 할당과 기후지역과 토양타이에 따른 계층화를 필요로 한다. 국가들이 이들 배출원에 대하여 필요로 하는 바이오매스 연소에 더하여 (이들 배출원 항목이 필요로 하는 분류를 확장하기 위하여) 바이오매스와 토양 풀에 대한 동일한 면적 계층화를 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이는 토지 조사와 다른 데이터 수집도구의 효율적인 이용을 위한 일관성과 투명성을 보장하며 바이오매스와 토양 저장고 내의 탄소(C) 축적량 변화들과 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 배출간의 정확한 연결을 가능하게 한다.

바이오매스와 토양탄소(C) 축적량 산정에 대하여, 초지인벤토리는 토지이용 변화와(초지로 전환된 토지) 관리에 대한 영향을 설명하여야 한다. 그러나 어떤 경우, 활동도 데이터 혹은 전문가의 의견이 관리행위의 종류와 면적, 비옥화관리, 개간, 방목강도 등) 영향을 산정하는 데 충분하지 않을 수 있다. 이러한 경우, 각 국가는 토지이용만을 기술한 인벤토리로 진행할 수 있으나 그 결과는 불완전하고, 관리행위의 생략이 투명성을 위한 기록을 보고하는데 분명하게 확인되어야 한다. 만약 생략이 있는 경우, 더 나은 인벤토리를 위하여 관리에 대한 부가적인 활동도 데이터를 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 특히 바이오매스 또는 토양 탄소(C)가 핵심항목이 되는 경우에 그렇다.

탄소(C) 축적량 변화는 만약 온실가스 배출과 흡수가 중요하지 않고 시간에 따라 일정하지 않다고 한다면(예를 들어, 관리 또는 토지이용변화가 없는 비 목본류의 초지), 어떤 초지에서는 계산이 어렵다. 이러한 경우, 각 국가는 생량에 대한 이유를 설명하고 기록하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

바이오매스 연소에 대하여, non-CO_2 온실가스는 모든 통제된 연소와 관리된 초지에서의 자연발화(wild fire)에 대해서 보고되어야 한다. 이는 연소에 이용 가능한 연료의 양이 보통 다른 토지이용 항목에서 보다 중요한 초지로 전환된 임지도 포함된다. DOM 연소와 흡수된 임목바이오매스로 인한 배출은 이들 산정에 포함되어야 한다. 사바나 연소는 또한 바이오매스 연소로 인한 non-CO_2 배출의 상당한 배출원이 된다. 관리되지 않은 토지에서 자연발화(wild fire)가 인벤토리 기간 동안 관리된 토지로의 전이 후에 발생한 경우 바이오매스 연소는 보고되어야 한다.

실제로 불탄 면적의 산정은 non-CO_2 온실가스 배출의 신뢰할 수 있는 계산에 있어 중요하게 작용한다. 불 탄 면적에 대한 원격탐사 산정은 토지자료에 비하여 불탄 면적을 정확하게 산정하기 위하여 더 엄격하게 시험되어야 한다. 평균 지역통계의 이용은 특정 국가에 대하여 불탄 면적의 산정에 높은 신뢰도를 제공하지 못한다.

초본과 임목식생간의 균형을 이루며 화재 관리가 변하는 초지에서, 화재 시 배출은 단기간 바이오매스로의 탄소(C)양과 동일한 재고정(re-fixation)에 의하여 균형을 이루지 못한다. 이러한 경우, 연

소에 의한 이산화탄소(CO_2)의 순 방출은 보고 어야 한다.

Tier 1

완전한 Tier 2 인벤토리는 Tier 1과 비슷한 요소를 가진다. 그러나 기후서술과 토양항목을 개발하고 관리시스템 계층화를 개선하기 위하여 탄소(C) 축적량 변화 계수, reference 토양 탄소(C) 축적량s, 바이오매스 밀도산정(fuel load)과 바이오매스 연소에 대한 연소 및 배출계수와의 협력을 필요로 한다. 더구나, Tier 2 인벤토리에 대하여, 각 요소에 대한 국가특성 데이터와의 협력은 중요하다. 그러나 Tier 1의 기본값으로 국가특유의 자료들을 결합한다면, 인벤토리에서는 여전히 완전성이 고려되어야 한다.

Tier 2

Tiers 1 과2의 중요성에 더하여, Tier 3 인벤토리의 완전성은 국가특성 산정 시스템의 구성요소에 의존한다. 실제로, Tier 3 인벤토리는 기후, 토양, 바이오매스 연소, 관리시스템에 대한 더 양호한 데이터를 이용함으로써 초지에 대한 배출과 흡수를 더 전체적으로 다룰 수 있게 한다. 인벤토리 작성자가 접근법과 데이터 배출원의 완전성을 표현하기 위하여, 국가특성 시스템의 요소를 설명하고 documentation하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 만약 차이가 확인되었다면, 국가특성 시스템을 개발하기 위한 추가적인 데이터를 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 3

Tier 1과 Tier 2 뿐 아니라, Tier 3 인벤토리의 완전성도 국가-특유평가시스템의 구성요소에 달려있을 것이다. 사실상, Tier 3 인벤토리는 기후, 토양, 바이오매스 연소와 관리시스템에 대한 보다 뛰어난 해상도 자료를 이용하여, 초지로부터의 배출량과 흡수량을 보다 충분히 설명할 수 있을 것이다. 이는 접근법과 자료출처의 완전성을 증명하는 국가-특유 시스템의 원리를 인벤토리 작성자들이 묘사하고 설명하는데 *좋다 (good practice).* 만약 어떤 결함이 확인되면, 추가 자료들을 모으고 더 나아가 국가-특유 시스템을 개발하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

6.4.2 일관성 있는 시계열 개발

Tier 1

연속적인 시계열(time series)은 배출과 흡수 경향 산정에 필수적이다. 일관성을 유지하기 위하여, 편집자는 전체 인벤토리 기간동안 기후, 토양타입, 관리시스템분류와 탄소(C) 축적량 변화계수, 탄소(C) 축적량 인용값, 바이오매스 밀도산정(fuel load), 연소계수와 non-CO_2 배출계수를 포함하여 동일한 계층화와 계수를 적용하여야 한다. 기본값은 이들 요소에 대하여 모두 제공되며, 따라서 일관성은 쟁점이 되지 않는다. 한편, land base는 시간에 따라 일정하게 유지되어야 하며 초지로 전환된 토지 또는 다른 토지이용으로 전환된 초지는 예외로 한다.

각 국가는 가능한 전체 보고시간에 대하여 토지이용, 관리, 바이오매스 연소의 일관성 있는 배출원을 이용하여야 한다. 만약 샘플링 접근이 이용된다면, 인벤토리 기간에 대하여 일관성 있는 접근을 확실하게 보장하기 위하여 유지되어야 한다. 만약 하위항목이 만들어 진다면, 각 국가는 이들 항목이 어떻게 정의되고 인벤토리를 통하여 일관성을 가지고 어떻게 적용되는 지에 대한 명료한 기록을 보유하여야 한다.

어떤 경우, 활동자료, 정의 또는 방법들에 대한 배출원은 시간에 따라 새로운 정보가 이용가능하

기 때문에 변할 수도 있다. 인벤토리 작성자는 데이터 도는 이러한 경향에 대한 방법의 변화의 영향을 결정하여야 한다. 그리고 만약 중요한 것으로 생각된다면, 배출과 흡수는 제1권의 제5장에 제시된 방법을 이용하여 시계열에 대하여 재계산되어야 한다.

탄소(C) 축적량 변화에 대하여, 일관성 있는 시계열을 작성하는데 하나의 핵심 요소는 최근에 보고된 기간에서 초지로 유지되는 것으로 보고된 이들 토지의 축적량 상태와 이전의 보고기간에서 산정된 초지로 전환된 토지에 대한 탄소(C) 축적량들 간의 일관성을 보장하는 것이다.

예를 들어, 만약 살아있는 지상부 바이오매스 10 톤이 이전 보고기간동안 초지로 전환된 임지의 고사 유기물 저장고로 이동하였다면, 현재 기간 동안의 보고는 고사 유기물 풀의 탄소(C) 축적량을 이들 토지에 대하여 10톤으로 시작하도록 가정해야 한다.

Tier 2

Tier 1 하에서 논의된 쟁점에 더하여, 국가특성 정보의 서론과 관련한 추가적인 고려가 존재한다. 특히, 전체 인벤토리에 대하여 국가특성 정보로부터 유도된 분류 또는 새로운 계수 값을 적용하고 시계열을 재계산하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 반면, 탄소(C) 축적량 또는 바이오매스 연소 배출의 양의 또는 음의 경향은 시계열의 어떤 지점에서의 인벤토리 방법과 연관된 변화로 인하여 개별적으로 존재할 수 있고 실제의 경향을 대표하지 못할 수 있다.

새로운 국가특성정보가 전체 시계열에 대하여 이용가능하지 않을 수도 있다. 이러한 경우, 활동도 수준 대 갱신된 국가특유의 자료 또는 방법에의 변화의 영향을 설명하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 조건 하의 재계산에 대한 지침은 제1권의 제5장에 제시되어 있다.

Tier 3

Tier 1과 2와 비슷하게, 전체 시계열에 대하여 국가특성 산정시스템을 적용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 인벤토리 기관은 동일한 측정 프로토콜 (샘플링 전략, 방법 등) 그리고/또한 인벤토리 기간에 대한 모델을 이용하여야 한다.

6.4.3 품질보증과 품질관리

Tier 1

품질보증과 품질관리를 초지 인벤토리 데이터에 대한 내부적 그리고 외부적 검토와 병행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 내부적 검토는 인벤토리를 책임지는 기관에 의하여 수행되어야 하며 반면, 외부적 검토는 다른 기관, 전문가 또는 편집에 직접적으로 관련되지 않은 집단에 의하여 수행되어야 한다.

내부적 검토는 다음을 보장하기 위하여 인벤토리 실행과정에 초점을 맞추어야 한다. 1) 기후지역과 토양유형에 의하여 적절하게 분류된 활동도 데이터, 2) 적절하게 적용된 관리계층화/설명, 3) 인벤토리 계산 소프트웨어에 적용된 작업표로 적합하게 복사된 활동도 데이터, 4) 토양 탄소(C) 축적량 인용값, 바이오매스 밀도(fuel load), 적절하게 할당된 바이오매스 연소 및 배출계수, 품질보증과 품질관리 측정은 데이터 입력과 결과를 확인하기 위한 고유 프로그램 기능과 광학상의 정밀검사를 포함한다. 총면적은 인벤토리 기간에 대하여 일정하게 유지되어야 하며, 계층들에 의한 면적은 토지이용 또는 관리계층화에 한하여 다양할 수 있다.(기후와 토양면적은 일정하게 유지되어야 한다.)

외부적 검토는 인벤토리 접근, 인벤토리 기록의 완전함, 방법설명과 전체적인 투명성의 검증을 고려하여야 한다. 만약 관리된 초지의 총 면적이 타당하다면, 영토의 총 초지면적을 고려한 산정이 중요하다. 토지이용에 대한(즉, 임지, 농경지, 초지 등)비교검토 면적 산정은 또한 필요하다. 궁극적으로, 각 구역을 포함하는 국가의 전체 적의 합은 인벤토리의 매년 동일한 값을 가져야 한다.

바이오매스 연소에 대하여, 특별 주의사항은 연간 불탄 면적에의 국가특성 산정에 제시되어야 한다. 전 지구적 데이터베이스로부터 불탄 면적을 산정하는 경우, 현지 데이터 또는 고해상도 원격탐사 데이터를 이용하여 정보를 검증하는 일은 매우 중요하다.

Tier 2

Tier 1 하의 품질보증과 품질관리 측정에 덧붙여, 인벤토리 기관은 국가특성 기후지역, 토양타입, 관리시스템 계층화, 탄소(C) 축적량 변화 계수, 탄소(C) 축적량 인용값, 바이오매스 밀도(fuel load), 배출계수 그리고/또는 바이오매스 연소에 대한 non-CO_2 배출계수를 검토해야 한다. 만약 직접 측정에 기초한 계수를 이용한다면, 인벤토리 기관과 외부적 검토자들은 이들 계수가 실제 환경적 관리 조건을 대표함을 보장하도록 측정에 대하여 검토하여야 하고 인정받은 표준에 따라 이들 계수를 개발하여야 한다.(IAEA, 1992) 만약 이용하기 쉬운 경우, 국가특성 계수와 Tier 2 축적량 변화, IPCC 기본값에 추가적으로 비교할 만한 환경을 가진 다른 국가에서 이용한 연소 및 배출계수를 비교하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

주어진 배출과 흡수 경향의 복잡성으로 인하여, 그 분야의 전문가들은 국가특성 계수 그리고/또한 분류를 확인하기 위하여 외부적 검토를 포함하여야 한다.

Tier 3

국가특성 인벤토리 시스템은 Tier 1과 2에 대하여 수록된 그것들에 비하여 부가적인 품질보증과 품질관리 측정을 필요로 한다. 그러나 이는 개발된 시스템에 의존한다. 이는 품질보증과 품질관리 프로토콜 즉, 국가특유의 개선된 인벤토리시스템을 개발하고 보고를 완수하고, 보고기록에 대한 요약을 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

6.4.4 보고와 기록

Tier 1

일반적으로, 국가 인벤토리 산정을 작성하기 위하여 필요로 하는 모든 정보를 기록하고 수집하는 일이 *우수실행(good practice)*이다. Tier 1에 대하여, 인벤토리 작성자들은 활동도 데이터의 경향과 초지에서의 불확도를 기록해야 한다. 핵심 활동도는 토지이용변화, 바이오매스 연소, 방목강도, 무기비료 또는 유기 토양개량제의 이용, 관개행위, 석회시용, 바이오매스 연소 (자연 발화)와 제어된 것이다.

센서스 데이터, 연소 기록과 방목 통계와 같은 실제 데이터베이스와 데이터를 만들기 위해 사용된 과정(예, 통계 프로그램), 활동도 데이터의 수집과 항목화에 이용된 정의, 기후와 토양 타입에 의한 활동도 데이터 계층화에 이용된 과정를 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 워크시트 또는 인벤토리 소프트웨어는 결과를 도출하기위해 개발된 입출력 파일과 함께 수집되어야 한다.

활동도데이터가 데이터베이스 혹은 여러 개의 결합된 자료 묶음으로부터 직접적으로 이용이 어려운 경우, 활동도 데이터를 유도하기 위해 이용된 정보, 가정, 진행과정들은 설명되어야 한다. 이러

한 기록은 데이터 수집의 주기와 산정 불확도를 포함해야 한다. 전문가의 의견이 기록되어야 한다.

바이오매스와 토양 탄소(C) 축적량과 함께 토지이용과 관리행위에 따른 바이오매스 연소 배출의 경향을 설명하고 기록하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 바이오매스 축적량의 변화는 토지이용, 또는 목본류 식물 잠식지와 직접적으로 연결되고, 반면 토양 탄소(C) 축적량의 경향은 토지이용 또는 위에서 설명한 핵심 관리행위의 변동으로 인하여 존재할 수 있다. 바이오매스 연소 배출은 제어된 화재와 자연발화(wildfire) 주기와 넓이에 의존한다. 년도들 간의 배출에의 중요한 변동은 반드시 설명되어야 한다.

국가들은 자국의 인벤토리의 완전성, 시계열 일관성과 관련된 논점 또는 그것들의 부족, 품질보증과 품질관리 측정, 그 결과에 대한 기록을 포함하여야 한다.

Tier 2

Tier 1에서 고찰한 것과 덧붙여, 인벤토리 작성자들은 국가특성 탄소(C) 축적량 변화계수, 탄소(C) 축적량 인용값, 바이오매스 밀도산정 (fuel load), 바이오매스 연소에 대한 연소 및 배출계수, 관리시스템분류, 기후지역 그리고/또한 토양타입에 기초하는 기본가정들에 대하여 기록해야 한다. 또한 국가특성 값을 산정하기 위해 이용된 정보에 대한 메타데이터와 데이터 배출원을 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

보고기록은 새로운 계수(즉, 평균과 불확도)을 포함하여야한다. 그리고 국가특성 계수와 Tier 1 기본값과 보고된 국가와 비슷한 환경을 가진 지역에서의 Tier 2 계수간의 차이에 대한 인벤토리 보고에 대한논의를 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 만약 다른 배출계수와 변수와 방법이 각기 다른 년도에 이용되었다면, 이들 변화에 대한 이유가 설명되고 기록되어야 한다. 한편, 인벤토리 기관은 관리행위, 기후 그리고/또한 토양타입에 대한 국가특성 분류작업을 설명하여야 한다. 그리고 새로운 분류에 기초한 인벤토리 산정에 대한 개선사항에 대하여 기록하는 것이 권장된다.

예를 들면, 초지상태는 Tier 1 단계들 (즉, 명목상, 향상된, 퇴화된 그리고 심각하게 퇴화된) 이상으로 추가 카테고리로 세분화되어야 할 것이다. 그러나 축적량의 변화 또는 배출계수가 새로운 카테고리 사이에서 상당한 차이가 있다면, 이러한 세분화는 단지 인벤토리 산정을 향상시킬 뿐이다.

배출과 흡수의 경향을 논의할 때, 구별화(distinction)는 활동도 수준의 변화와 연도별 방법의 변화들 사이에서 만들어 져야 한다. 그리고 이들 변화에 대한 이유가 증거자료로 첨부되어야 한다.

Tier 3

Tier 3 인벤토리는 낮은 단계의 Tier 접근에서의 배출/흡수 경향과 활동도 데이터에 대한 비슷한 기록을 필요로 한다. 그러나 부가적인 기록은 국가특성 산정시스템의 구조와 이에 근거하는 기초에 대한 설명을 포함하여야 한다. 측정에 기초한 인벤토리와 병행하여, 샘플링 계획과 실험과정과 데이터 분석기술을 기록하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 모델을 이용하는 Tier 3 접근의 경우, 모델버전에 대하여 첨부하고, 모델 설명을 제공하며 모든 모델의 입력파일, 배출원 코드와 실행 가능한 프로그램에 대한 영구적인 복사본을 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

별첨 6A.1 초지 무기토양의 탄소 배출량과 흡수량에 대한 기본 축적량 변화 계수들의 산정

기본 토양 탄소(C) 축적량 변화계수는 세 가지의 일반적인 초지조건(퇴화된)에, 명목상으로 관리된, 개선된 초지에 대한 경험적인 연구의 전 지구적 자료묶음으로부터 계산된 표6.2에 제시되어 있다. 부가적인 입력계수는 개선도니 초지에 대한 적용으로서 포함되었다. 관리개선은 여기서 비옥화 (유기 또는 무기), 콩과 식물의 파종, 더 많은 종의 초본, 관개의 제한으로서 간주된다. 과도하게 방목된 초지와 열약하게 관리된 (즉, 어떠한 개선 관리도 실시되지 않음) 열대 목초지는 퇴화된 초지로 분류되었다. 개선되지 않은 자연적 또는 통합된 초지는 명목상 초지 분류로 포함되었다. 어떠한 종류의 관리개선행위가 진행된 초지는 중간의 탄소(C) 투입율을 가진 개선된 초지로 분류되었다. 다수의 관리개선행위가 실행된 개선된 초지에 대하여, 탄소(C) 투입율은 높은 것으로 고려되었다. 실험적인 데이터(참고문헌 목록에 언급됨)는 고정된 또는 임의의 영향 모두를 고려하는 선형 혼합-영향모델(linear mixed-effects models)로 분석되었다. 고정된 영향은 깊이, 관리가 변화한 이래 년 수와 관리 변화의 종류(예. 경작감소 vs 비 경작)를 포함한다. 깊이의 경우, 우리는 데이터를 수집하지 않았으며, 자료 묶음의 별 지점에서의 깊이 증가에 따른 각 탄소(C) 축적량 측정을 포함하였다 (예, 0-5 cm, 5-10 cm, 10-30 cm). 이와 유사하게, 우리는 동일한 연구로부터 다른 시간지점에서 수집된 데이터는 수집하지 않았다. 결과적으로, 임의의 영향은 시계열 데이터와 동일한 연구에서의 각기 다른 깊이를 대표하는 데이터 지점들에 상관관계를 고려하여 이용되었다. 만약 중요한 경우, 국가차원의 임의적 영향은 국가특성(불확도 기본 값 포함)에 전 지구적 기본 값을 고려하는 것과 관련한 추가적인 불확도를 평가하기 위하여 이용된다. 계수들은 토양의 위에서 30cm에 대한 20년의 관리행위에 대한 영향을 위하여 산정되었다. 가변성은 각 계수 값에 대하여 계산되었으며 정상 밀도와의 확률분포함수를 작성하기 위하여 단순오차확대공식(simple error propagation equations)과 병행하여 이용될 수 있다.

참고문헌

Anderson, D.J., Perry, R.A. and Leigh, J.H. (1972). Some perspectives on shrub/environment interactions. In: McKell C.M., Blaisdell J.P., Goodon J.R. (eds), Wildland Shrubs Their Biology and Utilization. USDA Forest Service, General Tech. Report INT-1.

Armentano, T.V. and Menges, E.S. (1986). Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. Journal of Ecology 74: 755-774.

Conant, R.T. and Paustian, K. (2002). Potential soil carbon sequestration in overgrazed grassland ecosystems. Global Biogeochemical Cycles 16: pp. 90_1-90_9.

Conant, R.T., Paustian, K., and Elliott, E.T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. Ecological Application 11: 343-355.

Falloon, P. and Smith, P. (2003). Accounting for changes in soil carbon under the Kyoto Protocol: need for improved long-term data sets to reduce uncertainty in model projections. Soil Use and Management 19:265-269.

Follett, R. F., Kimble, J.M. and Lal, R. (2001). The potential of U.S. grazing lands to sequester soil carbon. Pages 401-430 in R. F. Follett, J.M. Kimble, and R. Lal, editor. The Potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M.,

Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds).Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.

Kauffman, B., Cummings, D.L. and Ward, D.E. (1998). Fire in the Brazilian Amazon. 2. Biomass, nutrient pools and losses in cattle pastures. Oecologia, 113 pp 415-427.

McGill, W. B. (1996). Review and classification of ten soil organic matter models. In: Powlson D.S., Smith P., and Smith J.U. (eds.). Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-Term Datasets. Springer-Verlag, Heidelberg: pp. 111-132.

McKeon, G.M., Hall, W.B., Henry, B.K., Stone, G.S. and Watson, I.W. (2004). Pasture Degradation and Recovery in Australia's Rangelands: Learning from History. Queensland Department of Natural Resources, Mines and Energy. pp. 256.

Monte, L, Hakanson, L., Bergstrom, U., Brittain, J., and Heling, R. (1996). Uncertainty analysis and validation of environmental models: the empirically based uncertainty analysis. Ecological Modelling 91:139-152.

Naeth, M.A., Bailey, A.W., Pluth, D.J., Chanasyk, D.S., and Hardin, R.T. (1991). Grazing impacts on litter and soil organic matter in mixed prairie and fescue grassland ecosystems of Alberta. Journal or Range Management 44 pp 7-12.

Nusser, S.M. and Goebel, J.J. (1997). The National Resources Inventory: a long-term multi-resource monitoring programme. Environmental and Ecological Statistics 4:181-204.

Ogle, S.M., Breidt, F.J., Eve, M.D. and Paustian, K. (2003). Uncertainty in estimating land-use and management impacts on soil organic carbon storage for U.S. agricultural lands between 1982 and 1997. Global Change Biology 9:1521-1542.

Ogle, S.M., Breidt, F.J. and Paustian, K. (2006). Bias and variance in model results associated with spatial scaling of measurements for parameterization in regional assessments. Global Change Biology 12:516- 523.

Ogle, S.M., Conant, R.T. and Paustian, K. (2004). Deriving grassland management factors for a carbon accounting approach developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change. Environmental Management. 33:474-484.

Ojima, D.S., Parton, W.J., Schimel, D.S., Scurlock, J.M.O. and Kittel, T.G.F. (1993). Modeling the effects of climatic and CO2 changes on grassland storage of soil C. Water, Air, and Soil Pollution 70: pp. 643-657.

Powers, J. S., Read, J. M., Denslow, J. S. and Guzman, S. M. (2004). Estimating soil carbon fluxes following land-cover change: a test of some critical assumptions for a region in Costa Rica. Global Change Biology 10:170-181.

Smith, J.E. and Heath, L.S. (2001). Identifying influences on model uncertainty: an application using a forest carbon budget model. Environmental Management 27:253-267.

Smith, P., Powlson, D.S., Smith, J.U. and Elliott, E.T. (eds) (1997). Evaluation and comparison of soil organic matter models. Special Issue, Geoderma 81:1-225.

Vanden Bygaart, A.J., Gregorich, E.G., Angers, D.A., et al. (2004). Uncertainty analysis of soil organic carbon stock change in Canadian cropland from 1991 to 2001. Global Change Biology 10:983-994.

Veldkamp, E. (2001). Changes in soil carbon stocks following conversion of forest to pasture in the tropics. In: Holland E.A. (ed.): Notes from Underground: Soil Processes and Global Change. NATO ASI Series Berlin: Springer.CHANGE IN CARBON STOCKS IN SOILS (REFERENCES USED FOR ANALYSIS OF MINERAL SOIL EFAULT FACTORS IN ANNEX 6A.1)

Abril, A. and Bucher, E.H. (1999). The effects of overgrazing on soil microbial community and fertility in the Chaco dry savannas of Argentina. Applied Soil Ecology 12:159-167.

Aina, P.O. (1979). Soil changes resulting from long-term management practices in Western Nigeria. Soil Science Society of America Journal 43:173-177.

Arnold, P.W., Hunter, F. and Gonzalez Fernandez, P. (1976). Long-term grassland experiments at Cockle Park. Annales Agronomiques 27:1027-1042.

Banerjee, M.R., Burton, D.L., McCaughey, W.P. and Grant, C.A. (2000). Influence of pasture management on soil biological quality. Journal of Range Management 53:127-133.

Bardgett, R.D., Frankland, J.C. and Whittaker, J.B. (1993). The effects of agricultural practices on the soil biota of some upland grasslands. Agriculture, Ecosystems and Environment 45:25-45.

Barrow, N.J. (1969). The accumulation of soil organic matter under pasture and its effect on soil properties. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry 9:437-445.

Biondini, M.E., Patton, B.D. and Nyren, P.E. (1998). Grazing intensity and ecosystem processes in a northern mixed-grass prairie, USA. Ecological Applications 8:469-479.

Cantarutti, R.B., Brage, J.M., Boddey, R.M. and Resende, S.d.P. (1995). Caracterizacao do status de nitrogenio em solosob pastagm de Brachiaria humidicola pura e consorciada com Desmodium ovalifolium cv. Itabela. Pages 733-735 in Proceedings of the XXV Congresso Brasileiro do Ciencia do Solo, Micosa, MG, Brazil.

Carr, S.C.M., and Turner, J.S. (1959). The ecology of the Bogong high plains II. Fencing experiments in grassland C. Australian Journal of Botany 7:34-83.

Carter, M.R., Angers, D.A. and Kunelius, H.T. (1994). Soil structural for and stability, and organic matter under cool-season perennial grasses. Soil Science Society of America Journal 58:1194-1199.

Cerri, C.C., Volkoff, B. and Andreaux, F. (1991). Nature and behavior of organic matter in soils under natural forest, and after deforestation, burning and cultivation, near Manaus. Forest Ecology and Management 38:247-257.

Chone, T., Andreuz, F., Correa, J.C., Volkhoff, B. and Cerri, C.C. (1991). Changes in organic matter in an

Oxisol from the central Amazonian forest during eight years as pasture determined by 13C isotopic composition. Pages 397-405 in J. Berthelin, editor. Diversity of Environmental Biogeochemistry. Elsiver, Amsterdam.

Chuluun, T., Tieszen, L.L. and Ojima, D. (1999). Land use impact on C4 plant cover of temperate east Asian grasslands. Pages 103-109 in K. Otsubo, editor. NIES Workshop on Information Bases and Modeling for Land-use and Land-cover Changes Studies in East Asia. Center for Global Environmental Research.

Desjardins, T., Andreauz, F., Volkoff, B. and Cerri, C.C. (1994). Organic carbon and 13C content in soils and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. Geoderma 61:103-118.

Eden, M.J., McGregor, D.F.M. and Viera, N.A.Q. (1990). Pasture development on cleared forest land in northern Amazonia. The Geographical Journal 156:283-296.

Escobar, C.J. and Toriatti Dematte, J.L. (1991). Distribution of organic matter and natural carbon-13 in an Ultisol in the Amazon piedmont. Pasturas Tropicales 13:27-30.

Feigl, B.J., Melillo, J. and Cerri, C.C. (1995). Changes in the origin and quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondonia (Brazil). Plant and Soil 175:21-29.

Fisher, M.J., Tao, I.M., Ayarza, M.A., Lascano, C.E., Sanz, J.I., Thomas, R.J. and Vera, R.R. (1994). Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. Nature 371:236-238.

Frank, A.B., Tanaka, D.L., Hofmann, L. and Follett, R.F. (1995). Soil carbon and nitrogen of Northern Great Plains grasslands as influenced by long-term grazing. Journal of Range Management 48:470-474.

Franzluebbers, A.J., Stuedmann, J.A., Schomberg, H.H. and Wilkinson, S.R. (2000). Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA. Soil Biology and Biochemistry 32:469-478.

Franzluebbers, A.J., Nazih, N., Stuedmann, J.A., Fuhrmann, J.J., Schomberg, H.H. and Hartel, P.G. (1999). Soil carbon and nitrogen pools under low- and high-endophyte-infected tall fescue. Soil Science Society of America Journal 63:1687-1694.

Garcia-Oliva, F., Casar, I., Morales, P. and Maass, J.M. (1994). Forest-to-pasture conversion influences on soil organic carbon dynamics in a tropical deciduous forest. Oecologia 99:392-396.

Goh, K.M., Stout, J.D. and Rafter, T.A. (1977). Radiocarbon enrichment of soil organic matter fractions in New Zealand soils. Soil Science 123:385-391.

Jackman, R.H. (1964). Accumulation of organic matter in some New Zealand soils under permanent pasture I. Patterns of change of organic carbon, nitrogen, sulphur, and phosphorous. New Zealand Journal of Agricultural Research 7:445-471.

Kohn, G.D., Osborne, G.J., Batten, G.D., Smith, A.N. and Lill, W.J. (1977). The effect of topdresed superphosphate on changes in Nitrogen : Carbon : Sulphur : Phosphorous and pH on a red earth soil during a long term grazing experiment. Australian Journal of Soil Research 15:147-158.

Koutika, L.S., Bartoli, F., Andreux, F., Cerri, C.C., Burtin, G., Chone, T. and Philippy, R. (1997). Organic matter dynamics and aggregation in soils under rain forest and pastures of increasing age in the eastern Amazon Basin . Geoderma, 76, 87-112.

Loiseau, P. and Grignani, C. (1991). Status of organic nitrogen and fate of mineral nitrogen in mid-mountain pastures. Agronomie 11:143-150.

Lovell, R.D., Jarvis, S.C. and Bardgett, R.D. (1995). Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes. Soil Biology and Biochemistry 27:969-975.

Lytton Hitchins, J.A., Koppi, A.J. and McBratney, A.B. (1994). The soil condition of adjacent bio-dynamic and conventionally managed dairy pasture in Victoria, Australia. Soil Use and Management 10:79-87.

Malhi, S.S., Harapiak, J.T., Nyborg, M., Gill, K.S. and Flore, N.A. (2002). Autumn and spring

applications of ammonium nitrate and urea to bromegrass influence total and light fraction organic C and N in a thin Black Chernozem. Canadian Journal of Soil Science 82:211-217.

Malhi, S.S., Nyborg, M., Harapiak, J.T., Heier, K. and Flore, N.A. (1997). Increasing organic C and N in soil under bromegrass with long-term N fertilization. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49:255-260.

Manley, J.T., Schuman, G.E., Reeder, J.D. and Hart, R.H. (1995). Rangeland soil carbon and nitrogen responses to grazing. Journal of Soil and Water Conservation 50:294-298.

Moulin, A.P., McCartney, D.H., Bittman, S. and Nuttall, W.F. (1997). Long-term effects of fertilizer on soil carbon in a pasture soil.

Naeth, M.A., Bailey, A.W., Pluth, D.J., Chanasyk, D.S. and Hardin, R.T. (1991). Grazing impacts on litter and soil organic matter in mixed prairie and fescue grassland ecosystems of Alberta. Journal of Range Management 44:7-12.

Neill, C., Melillo, J.M., Steudler, P.A., Cerri, C.C., Moraes, J.F.L.d., Piccolo, M.C. and Brito, M. (1997). Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the Southwestern Brazilian Amazon. Ecological Applications 7:1216-1225.

Nyborg, M., Malhi, S.S., Solberg, E.D. and Izaurralde, R.C. (1999). Carbon storage and light fraction C in a grassland dark gray chernozem soil as influenced by N and S fertilization. Canadian Journal of Soil Science 79:317-320.

Oberson, A., Friesen, D.K., Tiessen, H., Morel, C. and Stahel, W. (1999). Phosphorus status and cycling in native savanna and improved pastures on an acid low-P Colombian oxisol. Nutrient Cycling in Agroecosystems 55:77-88.

Reiners, W.A., Bouwman, A.F., Parsons, W.F.J. and Keller, M. (1994). Tropical rain forest conversion to pasture: Changes in vegetation and soil properties. Ecological Applications 4:363-377.

Ridley, A.M., Slattery, W.J., Halyar, K.R. and Cowling, A. (1990). The importance of the carbon cycle to acidification of grazed animal pasture. Australian Journal of Experimental Agriculture 30:529-537.

Rixon, A.J. (1966). Soil fertility changes in a redbrown earth under irrigated pastures. Australian Journal of Agricultural Research 17:303-316.

Russell, J.S. (1960). Soil fertility changes in the long term experimental plots at Kybybolite, South Australia. I.

Changes in pH, total nitrogen, organic carbon and bulk density. Australian Journal of Agricultural Research 11:902-926.

Schuman, G.E., Reeder, J.D., Manley, J.T., Hart, R.H. and Manley, W.A. (1999). Impact of grazing management on the carbon and nitrogen balance of a mixed-grass rangeland. Ecological Applications 9:65-71.

Shiel, R.S. (1986). Variation in amounts of carbon and nitrogen associated with particle size fractions of soils from the Palace Leas meadow hay plots. Journal of Soil Science 37:249-257.

Skjemstad, J.O., Catchpoole, V.R., Feuvre, R.P.l. and Le Feuvre, R.P. (1994). Carbon dynamics in Vertisols under several crops as assessed by natural abundance 13C. Australian Journal of Soil Research 32:311- 321.

Smoliak, S., Dormaar, J.F. and Johnston, A. (1972). Long-term grazing effects on Stipa-Bouteloua prairie soils. Journal of Range Management 25:246-250.

Trumbore, S.E., Davidson, E.A., Barbosa De Camargo, P., Nepstad, D.C. and Martinelli, L.A. (1995). Belowground cycling of carbon in forests and pastures of Eastern Amazonia. Global Biogeochemical Cycles 9:515-528.

Veldkamp, E. (1994). Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. Soil Science Society of America Journal 58:175-180.

Walker, T.W., Thapa, B.K. and Adams, A.F.R. (1959). Studies on soil organic matter. 3. Accumulation of carbon, nitrogen, sulphur, organic and total phosphorous in improved grassland soils. Soil Science 87:135-140.

Wang, Y. and Chen, Z. (1998). Distribution of soil organic carbon in the major grasslands of Xilinguole, Inner Mongolia, China. Acta Phytoecologica Sinica 22:545-551.

Wood, K.M., and Blackburn, W.H. (1984). Vegetation and soil responses to cattle grazing systems in the Texas rolling plains. Journal of Range Management 37:303-308.

제7장

습지

저자

이탄습지 절

Dominique Blain (캐나다), Clark Row (미국), Jukka Alm (핀란드), Kenneth Byrne (아일랜드), and Faizal Parish (Global Environment Centre, 말레이시아)

침수지 절

LULUCF에 대한 IPCC Good Practice Guidance에 기초한 절

부록 2 영구적인 침수지로 전환된 토지에서 이산화탄소(CO_2) 배출량의 산정이 가능한 접근법 : 미래 방법의 개발 기준

Éric Duchemin (캐나다), Jari T. Huttunen (핀란드), Alain Tremblay (캐나다), Robert Delmas (프랑스), and Carlos Frederico Silveira Menezes (브라질)

부록 3 침수지에서 메탄(CH_4) 배출량: 미래 방법의 개발 기준

Éric Duchemin (캐나다), Jari T. Huttunen (핀란드), Alain Tremblay (캐나다), Robert Delmas (프랑스), and Carlos Frederico Silveira Menezes (브라질)

부저자(contributing authors)

Tatiana Minayeva (러시아), Luis Pinguelli Rosa (브라질), and Andrey Sirin (러시아)

목 차

7 습지.....7.5
7.1서론.....7.5
7.2 관리되는 이탄습지.....7.9
7.2.1 이탄습지로 유지되는 이탄습지.....7.9
7.2.1.1 이탄습지로 유지되는 이탄습지에서의 CO_2 배출.....7.10
7.2.1.2 이탄습지로 유지되는 이탄습지에서 non-CO_2 배출.....7.17
7.2.1.3 불확도 평가.....7.21
7.2.2 이탄 추출을 위해 전환된 토지.....7.22
7.2.2.1 이탄 추출을 위해 전환된 토지에서 CO_2 배출.....7.22
7.2.2.2 관리되는 이탄습지로 전환된 토지에서 non-CO_2 배출.....7.24
7.2.2.3 불확도 평가.....7.24
7.3 침수지.....7.25
7.3.1 침수지로 유지되는 침수지.....7.25
7.3.2 침수지로 전환된 토지.....7.25
7.3.2.1 침수지로 전환된 토지에서의 CO_2 배출.....7.26
7.3.2.2 침수지로 전환된 토지에서 non-CO_2 배출.....7.27
7.3.2.3 불확도 평가.....7.27
7.4 완전성, 시계열 일관성, 품질보증/품질관리.....7.27
7.4.1 완전성.....7.27
7.4.2 일관성 있는 시계열 개발.....7.27
7.4.3 품질보증과 품질관리 (QA/QC).....7.28
7.4.4 보고와 기록.....7.28
7.5 미래 방법의 개발.....7.29
참고문헌.....7.30

식

식 7.1 습지에서 CO_2 배출.....7.8
식 7.2 이탄 추출 동안 이탄습지에서의 CO_2 배출.....7.10
식 7.3 관리되는 이탄습지에서 CO_2-C 배출 (Tier 1).....7.10
식 7.4 관리되는 이탄습지에서 토양의 CO_2-C 배출.....7.13
식 7.5 관리되는 이탄습지 밖에서의 CO_2-C 배출.....7.13
식 7.6 관리되는 이탄습지에서 CO_2-C 배출 (Tier 2와 3).....7.14
식 7.7 이탄 추출 동안 이탄습지에서 NO_2 배출.....7.18
식 7.8 이탄 추출을 위하여 배수되고 있는 이탄습지에서의 CO_2-C 배출.....7.22
식 7.9 이탄 추출을 위하여 배수되고 있는 이탄습지의 토양에서 CO_2-C 배출.....7.23
식 7.10 영구적인 침수지로 전환된 지역에서 살아있는 바이오매스의 연간 탄소 축적량의 변화.....7.26

그 림

그림 7.1 이탄으로 유지되는 이탄에서 CO_2-C와 N_2O 배출량 산정을 위한 의사결정도.....7.12

표

표 7.1 관리되는 습지로부터 배출되는 주요 온실가스에 대해 설명하고 있는 절들.....7.5
표 7.2 다른 이용을 위해 관리되는 습지에서의 배출에 대한 안내.....7.6
표 7.3 인간이 만든 습지에 대한 람사 분류.....7.7
표 7.4 기후대에 따른 이탄 추출을 위해 관리되는 지역에서의 CO_2-C 에 대한 배출계수들과 이와 연관된 불확도.....7.15
표 7.5 CO_2 C의 부피와 무게자료에 대한 전환계수.....7.16
표 7.6 관리되는 이탄습지에서 N_2O 배출을 위한 기본 배출계수.....7.20

7 습지

7.1 서론

본 장은 관리되는 습지에서 온실가스 배출을 예측하고 보고하는 데 안내를 제공한다. 습지는 연중 또는 부분적으로 물로 포화되거나 덮여있는 지역이며 다른 임지, 농경지, 초지 카테고리에 들어가지 않는 지역을 포함한다. 관리되는 습지는 수면이 인위적으로 변화된 습지 또는 인간 활동 (예, 강에 댐을 건설)에 의하여 만들어진 곳으로 한정될 것이다. 관리되지 않는 습지에서의 배출은 측정되지 않는다.

아래 목록을 위한 방법들이 제시된다:

- 에너지, 원예, 그리고 다른 목적을 위한 이탄의 생산을 목적으로 흡수되거나 배수된 이탄습지 (7.2절). 산정방법과 토지이용, 토지이용변화 및 산림에 대한 우수실행지침 (*GPG-LULUCF*)에 대한 IPCC 보고서에 본질적으로 동일하지만, 이제 원예용 토탄의 사용에서 배출되는 것도 포함한다.
- 모든 육지에서 영구적으로 범람된 지역으로 전환된 곳에서 이산화탄소 배출을 포함한다. 범람된 지역은 수면이 실질적으로 증가가 발생하지 않는 한, 규제되는 호수와 강은 배제한다.

단순성을 위해, 이 절의 나머지 부분에서는 이탄 추출을 위해 관리되는 이탄습지들을 이탄습지로, 그리고 저수지에서 물에 잠긴 지역을 침수지로 언급할 것이다. 표 7.1은 평가의 범위와 이 장의 상응하는 절을 명시하고 있다.

표 7.1
관리되는 습지로부터 배출되는 주요 온실가스에 대해 설명하고 있는 절들

토지이용 카테고리/온실가스	이탄습지	침수지
습지로 유지되는 습지		
이산화탄소(CO_2)	7.2.1.1절	안내 없음[1]
메탄(CH_4)	안내 없음[2]	부록[3]
아산화질소(N_2O)	7.2.1.2절	안내 없음[3]
습지로 전환된 토지		
이산화탄소(CO_2)	7.2.2.1절	7.3.2.1절과 부록 2
메탄(CH_4)	안내 없음[2]	부록 3
아산화질소(N_2O)	7.2.2.2절	안내 없음[3]

주:
[1] 침수지로 남아 있는 침수지에서의 이산화탄소(CO_2) 배출은 토지이용과 토지이용변화 (예, 토양) 침수지의 상류에 대한 탄소(C) 축적량 변화 예측으로 다루어진다.
[2] 배수 이후, 전환과 이탄 추출 동안 이탄습지에서 발생하는 매탄은 무시할만하다.
3 임지에서 아산화질소(N_2O) 배출은 농업적 또는 다른 유출수와 폐수에서의 간접적인 아산화질소(N_2O) 산정에 포함된다.

습지는 종종 임지와 초지 또는 농경지 관리와 같은 다른 목적으로 관리된다. 다른 종류의 습지의 온실가스 균형에 대한 지식의 과학적인 수준은 여전히, 일반적으로, 낮고 불확실하지만 이 영역은 지속적으로 더 연구되고 있다. (예, Boreal Env. Res. 11, 2006). 표 7.2는 이러한 관리되는 습지에 상대적인 안내들을 어디에서 찾는지 나타낸다.

표 7.2
다른 이용을 위해 관리되는 습지에서의 배출에 대한 안내

토지이용 카테고리	가이드라인이 제시된 권/절
습지가 이미 전환되었거나 전화되는 과정:	
농경지, 딸기와 기타 진달래과의 열매를 위한 소택지 포함	제4권, 제5장 (5.3절)
관리되는 초지	제4권, 제6장 (6.3절
관리되는 임지, 국가적 정의에 따른 배수되거나 배수되지 않은 산림 습지 포함.	제4권, 제4장 (4.3절)
벼 경작	제4권, 제5장 (5.5절)

적절한 방법이 없기 때문에 습지의 어떤 이용들에 대해서는 다루어지지 않는다. 이것들은 오수 관리지, 산업 폐수지, 수생 연못, 이전에 배수된 습지가 다시 범람하거나, 또는 습지 복원 (7.5절 미래 개발방법 참조)을 포함한다. 이러한 활동들이 상당히 많은 국가들은 이들이 온실가스 배출 또는 저감에 미치는 기여도를 평가하는 연구를 고려해야만 한다. 비점 농업폐수 오염원(비료나 살충제와 같은)의 정화를 위한 관리되는 습지로부터 아산화질소(N_2O)의 배출은 토양 개량을 통한 간접 배출에 포함 된다 (제4권 제11장).

습지의 대부분의 생태적인 분류는 습지에 대한 람사협약을 포함한다. 심지어 인간 활동들에 교란받거나 또는 인위적으로 만들어진 많은 지역들이 습지로 여겨진다. 람사협약에서 채용된 습지 분류 체계는 관리 이슈를 다루기 위하여 널리 사용된다. 표 7.3은 람사협약에서 습지 분류와 관계된 선택한 정의에 대한 보고와 관련이 있다.

표 7.3
인간이 만든 습지에 대한 람사 분류

람사 분류	IPCC 용어에 상응하는 습지의 하위 카테고리	방법론 안내
양식장	침수지	없음[1]
연못	침수지	없음[1]
관개지 (경작되면)	농경지	없음[2]
계절적으로 침수되는 농지	벼 경작	있음 (제4권, 제5장)
염전	---	없음[1]
저수지	침수지	있음 (본 장)
웅덩이 (부분적인)	이탄 추출을 위해 관리되는 이탄습지	있음 (본 장)
폐수 처리 지역	"인공 습지" 또는 폐기물 절	없음[3]
운하, 배수로, 도랑.	---	없음[3]

주:
[1] 이러한 배출원들에 대한 적합한 기본 방법들이 없다.
[2] 농경지 장은 이러한 배출원을 포함한다.
[3] 운하, 강, 호수, 바다, 그리고 배수로 또는 도랑에서 방류되는 폐수의 메탄(CH_4)과 아산화질소(N_2O) 배출은 새로운 습지들에 대한 추가적인 배출이 없어도, 제5권 제3장에 다루어진다. 질소비료의 누수로인해 배출된 아산화질소(N_2O)는 제4권 제11장에서 다루어진다.
출처: Ramsar, 1996.

습지에서의 온실가스 배출과 흡수

습지는 생물학적, 지화학적 과정, 그리고 결과적인 온실가스 배출과 흡수가 기후와 영양 염류 유용성뿐만 아니라 물의 포화 정도에 의하여 조절된다.

다른 생태계에서와 마찬가지로, 대기권에서 또는 대기권으로의 순 탄소(C) 유동은 광합성으로 대기에서 얻어지는 탄수와 분해로 배출되는 것 사이의 밸런스에 의한 결과이다. 탄소의 흡수와 분해되어 배출되는 양은 기후, 영양 염류의 유용성, 물 포화도, 산소 유용성에 의하여 영향을 받는다. 산소가 풍부한 호기성 조건에서, 많은 육상 생태계에서 존재하는, 분해 과정은 이산화탄소(CO_2)를 배출; 혐기성 조건에서는 메탄(CH_4) 배출이 우세하다 (Moore and Knowles, 1989).

대부분의 습지에서 총 일차 생산의 탄소의 90%가 대기 중으로 분해에 의하여 돌아간다 (Cicerone and Oremland, 1988). 썩지 않은 물질은 수체바닥으로 가라앉아 이전에 퇴적된 물질 위에 쌓인다.

포화된 조건[1] 또는 침수된 환경에서, 호기성 박테리아와 다른 분해 유기체들의 활동이 산소가 희박하기 때문에 제약된다. 혐기성 (산소-고갈) 조건은 수체의 아래에서 공통적으로 발견되며 이러한 유기체들로부터 유기물질이 분해 되는 것을 방지한다. 다른 박테리아, 메탄산화세균, 황 그리고 다른 것들은 최소한 유기물의 부분을 분해할 수 있다. 이것은 메탄과 다른 기체의 배출을 야기한다.

1 토양입자와 공극 사이에 물이 채워질 때 토양이 포화되어, 혐기적인 상태가 된다.

만약 메탄이 수체 또는 산화된 토양의 상위 층을 통하여, 확산된다면, 여전히 또 다른 박테리아의 집단들, 메탄산화세균은 메탄이 탈출하기 전에 부분적으로 그것을 이산화탄소로 산화시킨다. 일반적으로 습지들은 메탄의 자연적인 공급원으로 연간 55-150 Tg의 메탄(CH_4)을 배출 한다 (Watson *et al.*, 2000).

일반적으로 물 포화된 생태계로부터 아산화질소(N_2O) 배출은 외부의 질소가 지속적으로 공급되지 않는 한 매우 작다. 습지 특히 이탄습지들은 물이 빠질 때, 아산화질소(N_2O) 배출율은 무기화된 질소의 공급, 즉 토양 비옥도에 의해 조절된다. 영양이 풍부한 조건에서는 pH, 온도, 그리고 수위 같은 다른 요인들이 무기 질소의 질산화 과정과 그것의 아산화질소(N_2O)로 이어지는 감축을 조절한다 (Klemedtsson *et al.*, 2005; Martikainen *et al.*, 1995).

요약하면, 범람으로 인한 습지의 창출은 토양 유기 물질의 증가된 산화로 인하여 영양 온실가스 배출의 패턴에 영향을 미치며, 영양이 풍부한 습지에서 아산화질소(N_2O) 배출을 증가시킨다.

반대로, 침수에 의한 습지 창출은 보다 많은 메탄(CH_4) 배출과 보다 적은 이산화탄소(CO_2)를 배출하게끔 온실가스 배출의 유형을 변화시킨다. 기후와 저수지 특성들에 의하여, 이산화탄소(CO_2)와 메탄(CH_4) 둘 모두 침수된 유기물질의 썩고, 침수된 토양 유기물질과 다른 용존 유기물질 입자가 분해 되면서 배출될 수 있다.

두 가지 유형의 관리되는 습지에 대한 방법적인 쟁점은 본 장의 상응하는 절에서 논의된다.

무엇을 보고할 것인가에 대한 요약

습지에서의 전체 이산화탄소(CO_2) 배출은 관리되는 습지의 두 가지 유형에서의 배출의 합으로 예측된다 (식 7.1).

식 7.1
습지에서 CO_2 배출

$$CO_{2\_W} = CO_{2\_W peat} + CO_{2\_W flood}$$

여기서:

CO_{2_W} = 습지로부터 CO_2 배출, Gg CO_2 yr^{-1}

CO_{2_Wpeat} = 이탄 생산을 위하여 관리되는 이탄습지로부터 CO_2 배출, Gg CO_2 yr^{-1}

CO_{2_Wflood} = 침수지로 바뀌진 토지에서의 CO2 배출, Gg CO_2 yr^{-1}

유기토양, 포화된 토양과 물로 덮인 표면의 속성으로 인하여, 이산화탄소(CO_2) 배출량 산정방법은 일반적으로 배출계수들과 범람에 앞선 토지의 바이오매스 축적량에 대한 정보의 발달에 의존한다. 어떤 활동들, 예로 식생 흡수와 이어지는 이탄 추출을 위하여 전환되고 있는 토지연소, 탄소(C) 축적량변화로 산정될 수 있는 배출량을 산출한다. 이 경우의 참조는 제2장에서 포괄적인 방법으로 제공된다.

아산화질소(N_2O) 배출을 위한 기본적인 산정방법은 이탄 추출을 위한 관리되는 이탄습지에서만 제공된다.

7.2 관리되는 이탄습지

습지에서 매해 고사 유기물의 생성이 분해 되는 양을 초과할 때 이탄이 축적된다. 이탄 축적의 발달 패턴은 기후, 수문에 따라 달라지고 어떤 지역에 대한 이탄습지 유형의 천이는 복잡할 수 있다 (Mitsch and Gosselink 2000). 탄소 포집은 일년에 20에서 50 kg ha^{-1} 정도 밖에 되지 않을 것이다 (*Watson et al.*, 2000). 이것은 곡식 수확량과 비교해 다소 작다. 많은 이탄 퇴적물은 수천 년간 축적되며 많은 부분이 8,000년보다 더 이전, 빙하 쇠퇴기 이래로 축적되어왔다.

이탄습지의 생산 단계는 3단계를 가진다 (Canadian Sphagnum Peat Moss Association, 2004; Nilsson and Nilsson, 2004):

(1) 이탄 추출을 준비하는 토지 전환: 토지 전환은 그 지역의 물을 빼내기 위해 주요한 그리고 이차적인 배수 도랑을 설치하는 것으로 시작된다. 일단 수위가 내려가기 시작하면, 표면의 바이오매스량, 어떤 나무들과 관목들 이탄 생성 식물의 그리고 살아있는 층은 흡수되고 파괴된다. 이 단계는 수년이 걸릴 수도 있다. 이탄 추출 지역들은 또한 다른 목적으로 사전에 배수되기도 한다. 일반적으로 이것의 단지 배수 패턴의 어떤 향상 또는 순화를 필요로 한다. 이 과정에서의 주요한 온실가스 유동은 흡수된 바이오매스량과 배수된 이탄의 분해에서의 이산화탄소(CO_2)의 배출이다. 본 단계 이탄습지로 전환된 토지에 해당하며, 7.2.2절에서 다루어진다.

(2) 추출: 매해 추출 한 가지 형태는 표면의 이탄을 입자로 '제분'되거나 분해되어 여름 동안에 건조된다. 풍건된 이탄 입자들은 그리고 나서 수집되고 저장고로 이동된다. 추출의 더 오래된 유형은 이탄 퇴적물의 표면을 작은 블록으로 깍은 후에 건조되도록 둔다. 추출의 기술과 관계없이 건조율과 연간 이탄 생산은 건조한 날씨조건이 빈번할수록 증가한다. 이탄 퇴적물의 추출은 경제적인 깊이에 도달하기 이전에 20년에서 50년 동안 지속될지도 모른다. 이 단계의 주요한 온실가스 배출은 이탄의 분해로부터, 생산지에서 (배수되고 노출된 이탄) 또는 생산지 밖에서 (추출된 이탄이 다른 곳에서 사용됨) 생겨난다. 이 단계는 *이탄습지로 유지되는 이탄습지*에 해당하며 7.2.1절에서 다루진다.

(3) 버려짐, 복원 또는 다른 용도로의 전환: 이탄 추출은 그것이 퇴적물로부터 이탄을 추출하는 것이 더 이상 경제적이지 않을 때 멈추어진다. 일반적으로 이러한 지역에서 온실가스 배출은 계속되며, 그 땅이 다른 용도로 전환되지 않는 한, 7.2.1절의 안내를 따라서 보고 되어야 한다. 복원된 이탄습지에서의 온실가스 배출과 저감은 예측하는 방법이 주어지지 않기 때문에, 광범위한 복원된 이탄습지를 가지고 있는 국가들은 온실가스 예측 방법을 개발을 지원하기 위한 과학적 정보들을 개발하거나 모으는 것을 고려할 수 있다 (절 7.5 미래 방법 개발 참조). 다시 임지로 만들어지고 경작되는 잘려진 이탄습지들은 임지로 *전환된 토지* (제4장 4.3절)와 *농경지로 전환된 토지* (제5장 5.3절)로 보고 되어야 한다.

추출이 진행되는 이탄습지들 (예, 이탄습지로 유지되는 이탄습지)은 다른 장들과 유사하지만 위에 언급된 이탄 생산의 일반적인 절차들과는 대조적으로 먼저 고려될 것이다.

7.2.1 이탄습지로 유지되는 이탄습지

본 절은 활발하게 이탄 추출이 진행 중인 이탄습지들로부터 배출을 다룬다. 이탄의 사용은 넓게 분포 한다: 약 절반 정도가 에너지를 위해 사용되고, 나머지들은 원예, 경관, 산업 폐수 처리, 또는 다른 목적들로 사용 된다 (International Peat Society, 2004). 퇴적물로부터 이탄을 추출하는 기술

은 유사하다. 모든 생산지 발생하는 온실가스 배출의 발생원은 이탄의 마지막 사용과 관계없이 이 카테고리에서 보고되어야 한다. 생산지 밖에서 이탄의 에너지 사용으로 인한 배출은 에너지 절에서 보고되어야 하며 본 절에서는 고려되지 않는다.

7.2.1.1 이탄습지로 유지되는 이탄습지에서의 CO_2 배출

이탄 추출이 진행 중인 토지에서 이산화탄소(CO_2) 배출을 산정하는 것은 두 가지 기본 요소를 가지고 있다: 첫째, 추출 단계에서 이탄 퇴적물의 현장 배출, 생산지 밖에서 이탄을 원예용 (비-에너지)으로 사용할 때 배출 (식 7.2). 이탄 추출은 더 이상의 탄소(C) 포집을 막는 식생 흡수로부터 시작하기에(절 7.1) 단지 이산화탄소(CO_2) 배출만이 고려된다.

식 7.2
이탄 추출 동안 이탄습지에서의 CO_2 배출

$$CO_{2_{WW_{peat}}} = \left(CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{off-site}}} + CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{on-site}}} \right) \bullet \left(\frac{44}{12} \right)$$

여기서:

$CO_{2WWpeat}$ = 이탄 추출 동안 이탄습지에서의 CO_2 배출, Gg CO_2 yr^{-1}

CO_2-$C_{WWpeatoff\text{-}site}$ = 원예용으로 흡수된 이탄에서 CO_2-C 배출, Gg C yr^{-1}

CO_2 $C_{WWppeaton\text{-}site}$ = 배수된 이탄 퇴적물에서 생산지에서 CO_2-C 배출, Gg C yr^{-1}

생산지 밖에서 CO_2 C 배출은 추출되고 흡수된 이탄의 원예용 (비-에너지) 사용과 연관이 있다. 생산지 밖에서 에너지 용도로 사용된 배출은 에너지 절에서 보고되어야 하므로 여기에 포함되지 않는다.

이탄의 최종 사용과는 관계없이, 생산지에서의 배출 예측을 위한 방법의 선택, 배출계수, 그리고 이용 자료는 영양 수준(풍부함과 빈약함)과 긴밀히 연관된 이탄의 유형을 위하여 자료가 분해되는 한, 적절한 기후 지역인 한 같아질 수 있다.

방법의 선택

그림 7.1은 이탄습지로부터 온실가스 배출을 예측하기 위한 의사결정도를 제시한다.

Tier 1

기본 방법론은 생산지에서의 이산화탄소(CO_2) 배출(이탄 생산의 단계간의 구별 없이)과 이탄의 원예사용 (식 7.3~7.5)을 다루기 위하여 제공된다.

식 7.3
관리되는 이탄습지에서 CO_2 C^2 배출 (Tier 1)

$$CO_2\text{-}C_{WW_{peat}} = CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{off-site}}} + CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{on-site}}}$$

여기서:

$CO_{2WWpeat}$ = 관리되는 이탄습지에서의 CO_2 -C 배출, Gg C yr^{-1}

CO_2 $C_{WWppeaton-site}$ = 이탄 퇴적물 (모든 생산단계)에서의 배출, Gg C yr^{-1}

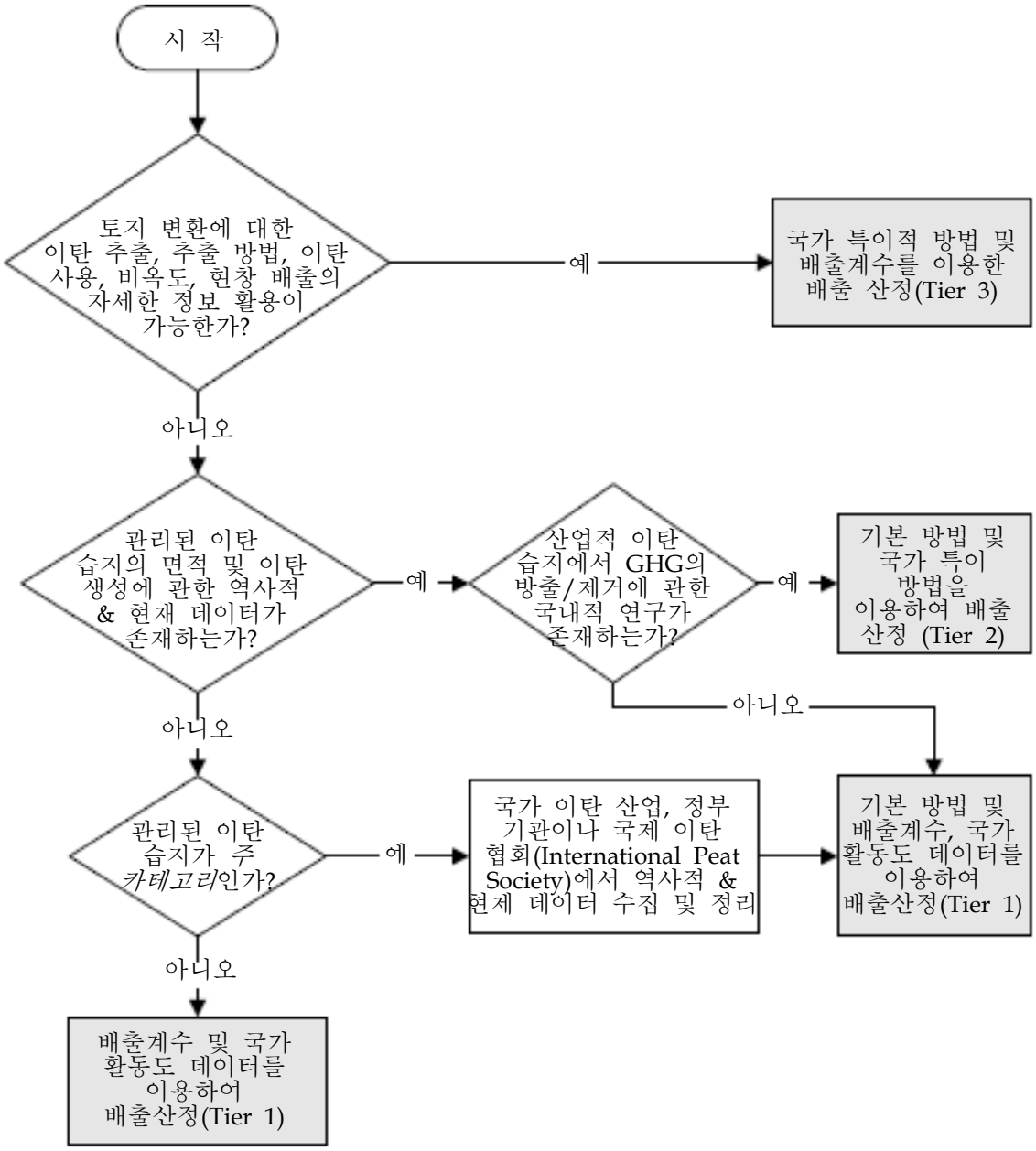
CO_2 $C_{WWppeatoff-site}$ = 원예용을 위하여 흡수된 이탄에서의 배출, Gg C yr^{-1}

식 7.4는 관리되는 이탄습지의 전체 면적에 적용된다. 버려진 이탄습지가 다른 용도로 사용되어 배출이 임지와 농경지와 같은 새로운 토지 이용에 적용되어야만 하는 경우가 아닌 한, 식 7.4.의 적용은 이탄습지와 버려진 이탄습지로 전환된 토지를 포함한다.

Tier 1 방법론은 바이오매스 흡수로부터 배출을 고려한다. 관리되는 이탄습지의 전체 면적이 증가할 때, 이탄습지로 전환이 생겨난다. 이탄 추출을 위한 이탄습지의 전환은 식생 흡수를 포함할 수 있다. 식 7.4의 용어 $\triangle C_{WW\ peat\ B}$ 는 식 2.16 (이 권의 2장)을 사용하면서 $\triangle C_{conversion}$으로 예측된다. 관리되는 이탄습지에서 살아있는 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 다른 변화들은 0으로 가정한다.

2 CO_2-C는 CO_2로 배출된 탄소(C)를 지칭한다.

그림 7.1 이탄으로 유지되는 이탄에서 CO_2-C와 N_2O 배출량 산정을 위한 의사결정도



주:

1: 주 카테고리와 의사결정도 이용에 대한 논의를 위해 제1권 제4장 "방법론 선택과 주 카테고리의 확인" 참조 (제한된 자원에 대한 4.1.2절 참조)

식 7.4
관리되는 이탄습지에서 토양의 CO_2-C 배출

$$CO_2\text{-}C_{WW_{peat}} = CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{off-site}}} + CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{on-site}}}$$

여기서:

CO_2-$C_{WWpeaton\text{-}site}$ = 이탄 퇴적물의 CO_2-C 배출 (모든 생산 단계에서), Gg C yr^{-1}

$A_{peatRich}$ = 이탄 추출을 위해 관리되는 부영양의 이탄 토양의 면적(모든 생산 단계에서), ha

$A_{peatPoor}$ = 이탄 추출을 위해 관리되는 빈 영양의 이탄 토양의 면적 (모든 생산 단계에서), ha

$EF_{CO2peatRich}$ = 이탄 추출을 위해 관리되거나 또는 추출 이후에 버려진 부영양의 이탄 토양에 대한 CO_2 배출계수들 톤 C ha^{-1} yr^{-1}

$EF_{CO2peatPoor}$ = 이탄 추출을 위해 관리되거나 또는 추출 이후에 버려진 빈영양의 이탄 토양에 대한 CO_2 배출계수, 톤 C ha^{-1} yr^{-1}

$\Delta C_{WW\ peat\ B}$ = 식생 흡수로 인한 바이오매스의 탄소 축적량 변화에서 CO_2-C 배출, Gg Cyr^{-1}

현장 밖의 배출 예측은 연간 이탄 생산 자료 (부피나 완전히 건조된 무게 어느 것이든)로 유도된다(식 7.5). 원예용 이탄의 모든 탄소는 추출하는 해에 배출되는 것으로 가정된다. 국가들은 보다 수준의 Tier에서 이 가정을 수정할지도 모른다.

식 7.5
관리되는 이탄습지 밖에서의 CO_2-C 배출

$$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{off-site}}} = \frac{(Wt_{dry\_peat} \bullet Cfraction_{wt\_peat})}{1000}$$

or

$$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{off-site}}} = \frac{(Vol_{dry\_peat} \bullet Cfraction_{vol\_peat})}{1000}$$

여기서:

CO_2-$C_{WWpeatoff\text{-}site}$ = 원예용으로 흡수된 이탄 밖에서의 CO_2-C 배출, Gg C yr^{-1}

Wt_{dry_peat} = 추출된 이탄의 풍건된 무게, 톤 yr^{-1}

Vol_{dry_peat} = 추출된 이탄 풍건된 부피, m^3 yr^{-1}

$Cfraction_{wt\_peat}$ = 완전히 건조된 이탄의 무게별 탄소 비율, 톤 C (공기 건조된 이탄 톤)$^{-1}$

$Cfraction_{vol\_peat}$ = 완전히 건조된 이탄의 부피별 탄소 비율, 톤 C (공기 건조된 이탄 m^3)$^{-1}$

Tier 2

Tier 2 계산은 지역적으로 중요한 전략과 우세한 생태적 역동성을 반영하기 위해 공간적으로 흩어진 국가 특이적인 배출계수들과 변수들을 사용한다. 이용 자료와 배출계수들을 추출 방법(예, 이탄

을 건조하고 추출하기 위해 사용되는 기술들), 이탄 비옥도, 이전 식생 피복에 영향을 받는 구성, 지역 기후에서 풍건된 이탄의 탄소 비율에 따라 세분하는 것이 적절 할 수 있다. 일반적으로 이탄 습지에 대한 배수는 이탄의 산화와 이산화탄소(CO_2)로서 탄소(C) 손실뿐만 아니라 압축과 침강을 야기한다. acrotelm (이탄의 상위 산화된 곳)은 특히 이탄 구조가 변화되었을 때, 수분 함량의 부피상의 계절적인 변화에 취약하다 (Waddington & Price, 2000). 따라서 이탄 토양의 탄소 축적량의 변화는 측정되기 어렵고 이러한 토양에서 이산화탄소(CO_2) 배출을 정확하게 예측하지 못하는 경향이 있다. 그러므로 자료가 주의 깊게 보정되지 않는 한 그러한 방법은 추천되지 않는다.

Tier 2 방법은 이탄습지를 이미 상업적인 이탄을 생산하고 있는 곳에서 이탄 추출을 위해서 전환되고 있는 이탄습지를 구별하는 것을 포함한다. 7.2.2절은 이탄 추출을 위하여 전환된 토지에 대한 예측 방법을 기술하고 있다. 바이오매스 흡수로 이산화탄소(CO_2) 배출량을 이중 계산하지 않도록 주의를 기울여야 한다.

Tier 3

Tier 3 방법은 관리되는 이탄습지에서 이산화탄소(CO_2) 배출과 흡수의 역동성(부지 특성의 영향, 이탄 유형과 깊이, 추출 방법, 절 7.2의 초기에 서술된 이탄 추출의 단계 등을 포함하여)을 재현하고 종합적으로 이해하는 것을 포함한다. 이 방법은 알려진 현장의 이산화탄소(CO_2) 공급원을 포함한다 (식 7.6). 식 7.6의 용어 $CO_2\text{-}C_{WWpeatextraction}$은 Tier 1 (바이오매스 용어라기 보단, 지금은 $CO_2\text{-}C_{WWpeatconversion}$에 포함된)에서 보고 된 생산지에서 배출에 해당한다. 건조되고 있는 이탄의 저장소에서 배출 ($CO_2\text{-}C_{WWpeatstockpiling}$)은 좀 더 불확실하다. 높은 기온은 저장된 이탄이 파여진 지역보다 더 많은 이산화탄소를 배출하게 만들지도 모른다. 하지만 안내를 제공할 만큼 자료가 현재는 충분하지 않다. 버려진 이탄습지에서 CO_2 배출 패턴은 복원 기법, 토양 호흡과 식생 재생장율에 따라서 달라진다 (Petrone *et al.*, 2003; Waddington & McNeil, 2002; Komulainen *et al.*, 1999); 이들 패턴은 그러므로 다소 조사지 특이적이다. 단계2 에서처럼, 토양 탄소 축적량 변화에 대한 직접적인 측정은 추천되지 않는다. 중요한 이탄 추출 산업과 복원 노력들이 있는 국가에서는 식 7.6의 세 가지 현장 이산화탄소(CO_2)발생원을 독립적으로 기록하도록 착수해야 한다.

식 7.6

관리되는 이탄습지에서 CO_2-C 배출 (Tier 2와 3)

$$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{on-site}}} = \begin{pmatrix} CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{conversion}}} + CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{extraction}}} + \\ CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{stockpiling}}} + CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{post}}} \end{pmatrix}$$

여기서:

$CO_2\text{-}C_{WWpeaton\text{-}site}$ = 이탄 퇴적물의 CO_2-C 배출, Gg C $y^{r\text{-}1}$

$CO_2\text{-}C_{WWpeatconversion}$ = 이탄 추출을 위해 전환된 토지에서 CO_2-C 배출, Gg C $yr^{r\text{-}1}$

$CO_2\text{-}C_{WWpeatextraction}$ = 이탄 추출 지역의 표면에서의 CO_2-C 배출, Gg C $yr^{r\text{-}1}$

$CO_2\text{-}C_{WWpeatstockpiling}$= 현장 밖 흡수에 앞서 이탄 저장소에서의 CO_2-C 배출, Gg C $yr^{r\text{-}1}$

$CO_2\text{-}C_{WWpeatpost}$ = 버려지고 잘려진 이탄습지의 토양에서 CO_2-C 배출, Gg C $yr^{r\text{-}1}$

배출계수의 선택

Tier 1

Tier 1 방법의 적용은 기본 현장 배출계수 $EF_{CO2peatPoor}$과 $EF_{CO2peatRich}$, 무게별 또는 부피별 생산 자료로부터 현장 밖의 배출량을 예측하기 위하여 무게별($Cfraction_{wt\_peat}$) 또는 부피별 ($Cfraction_{vol\_peat}$) 이탄의 기본 탄소 비율의 적용을 각각 필요로 한다. $EF_{CO2peatPoor}$과 $EF_{CO2peatRich}$의 기본 값이 표 7.4에 주어져 있다. 이탄의 기본 탄소 비율은 표 7.5에 나와 있다. 아한대에서는 빈 영양 소택지가 우세한 반면, 온대 지역에서는 부영양 fen와 mires가 보다 흔하다. 이탄습지의 종류는 이탄의 최종 사용처로부터 추론될 수 있다: 빈 영양 소택지에 우점하는 물이끼 이탄(sphagnum peat)은 원예용으로 선호되지만, 부영양 늪에서 보다 흔한 사초과 이탄(sedge peat)은 에너지 생산에 보다 적합하다. 부영양과 빈영양 이탄습지들의 면적에 대한 정보를 가지고 있지 못한 아한대 국가들은 빈영양 이탄습지들을 위한 배출계수를 사용해야 한다. 그러한 자료를 가지고 있지 않은 온대 국가들은 부영양 이탄습지를 위한 배출계수를 사용해야만 한다. 열대 지역에는 단지 한 가지 기본 계수가 제공된다. Tier 1 방법을 사용하는 열대 국가들은 토양 비옥도에 의한 이탄습지 면적을 반드시 구분할 필요가 없다.

표 7.4
기후대에 따른 이탄 추출을 위해 관리되는 지역에서의 CO_2 C에 대한 배출계수들과 이와 연관된 불확도

기후대	배출계수 (톤 C ha^{-1} yr^{-1})	불확도[a] (톤 C ha^{-1} yr^{-1})	참고/주석[b]
아한대와 온대			
빈 영양 $EF_{CO2peatPoor}$	0.2	0~0.63	Laine and Minkkinen, 1996; Alm *et al.*, 1999; Laine *et al.*, 1996; Minkkinen *et al.*, 2002
부 영양 $EF_{CO2peatRich}$	1.1	0.03~2.9	Laine *et al.*, 1996; LUSTRA, 2002; Minkkinen *et al.*, 2002; Sundh *et al.*, 2000
열대			
$EF_{CO2peat}$	2.0	0.06~7.0	온대 (빈 영양)와 열대 사이의 상대적인 차이에 의하여 계산됨

[a] 자료의 내재하는 범위

[b] 아한대와 열대 수치들은 유기성 토양이 이탄 추출로 전환된 조건은 거의 가볍게 배수된다는 조건을 가정하면서 방형구 상체 비교 (paired plot measurements) 측정들의 수단으로 개발되었다. 유럽의 이탄습지들로부터의 대부분 자료는 반드시 생산중은 아니다.

표 7.5
CO_2 C의 부피와 무게자료에 대한 전환계수

기후대	$Cfraction_{wt\_peat}$ [톤 C (완전히 건조된 토탄 톤)$^{-1}$]	$Cfraction_{vol\_peat}$ (완전히 건조된 토탄 톤 C m^{-3})
아한대와 온대		
빈영양	0.45	0.07
부영양	0.40	0.24
열대		
열대 부식토	0.34	0.26

US Geological Survey (2004)로부터 계산됨: 평균 용적 밀도, 전형적인 수분 함량과 탄소 함량을 조사함. 풍건된 이탄들의 35-55% 수분에 근거함.

Tier 2와 3

배출계수들의 불확도는 지역의 기후와 추출 방법 아래에서 추출된 이탄의 수분 함량과 탄소 비율을 측정함으로서 연간 기후 변이를 고려함으로서 줄여질 수 있다. 공간적으로 개별적인 이산화탄소(CO_2) 흐름 측정들은 생산지에서 용존 유기 탄소의 샘 또는 지표수 유출을 통한 탄소 손실을 보정하는 보다 정확한 배출계수를 개발하기 위하여 사용되어져야 한다. 아한대에서 겨울 배출은 순 연간 배출의 10-30%를 차지할 수 있고 (Alm *et al.*, 1999), 반드시 예측되어야 한다. 이탄 저장소로부터 개별적인 이산화탄소(CO_2) 흐름 측정, 버려지고 복원된 이탄 추출 지점은 나아간 불확도 예측을 줄이는 것을 보조할 수 있다. 문헌은 드물고 이탄의 종류, 환경 조건 그리고 추출 방법들이 유사할 때 국가들은 자료를 공유하도록 권장된다.

활동자료의 선택

모든 단계들은 이탄 추출을 위하여 관리되는 이탄습지 면적($A_{peatRich}$ 또는 $A_{peatPoor}$)과 풍건된 이탄의 무게 또는 부피에 대한 생산 자료(Wt_{dry_peat} 또는 Vol_{dry_peat})를 필요로 한다.

Tier 1

기본 방법은 다른 용도로 전환되지 않은 상업적인 이탄습지들을 포함하여, 이탄이 현재 추출되고 있는 전체 면적에 대한 예측값을 가지고 있다고 가정한다. 온대와 아한대 지역에서, 이러한 지역들은 배출계수의 선택에 대한 조언들과 일치하는 기본 가정을 가지고, 가능한 곳에서, 부영양과 빈영양으로 구분되어야 한다. 추가적으로, 연간 추출되는 이탄의 양(건량 또는 부피에 의한)은 생산지 밖에서의 이산화탄소(CO_2) 배출을 예측하기 위하여 반드시 알아야 한다.

이탄 추출지와 생산에 대한 국제적인 자료 묶음은 질과 일관성에서 변화한다. 생산과 면적 자료들의 출처는 같지 않을 수 있으며, 출처와 국가들 사이에서 다른 정의와 연도들은 일치 않을 가능성이 많다. 이탄 추출은 이탄 건조를 위하여 건조하고 맑은 날들에 의지하기 때문에, 적합한 여름 날씨에 따라서 연간 생산량이 달라진다. 생산지 밖에서 배출을 예측하기 위한 목적으로 최종 사용, 즉 원예용 이탄과 연소용 이탄에 따라서 이탄 생산 자료가 구분되어야 한다. 이 장의 예측 방

법은 원예용 이탄의 생산량을 필요로 한다. 만일 최종 사용에 따라서 생산되는 이탄의 양을 구분하기 불가능하다면, 이탄 연소에서 배출은 가장에서 생산된 이탄의 우세한 최종 이용에 상응하는 조사 목록 절에서 계산되어야 한다. 유용한 면적 자료는 Joosten (2004); Joosten & Clarke (2002); Sirin & Minayeva (2001); Lappalainen (1996); 그리고 Wetlands International (http://www.wetlands.org/)의 발간된 목록들에 발견할 수 있다. 이탄 생산 자료는 World Energy Council (2004) (이탄연소에 대해)와 the United States Geological Survey (http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/peat/)에 있다. 부가적인 정보는 the International Peat Society (http://www.peatsociety.org/) 또는 the International Mire Conservation Group (http://www.imcg.net/)에서 얻을 수 있다.

면적 또는 생산 자료가 없을 때, 지역 산업 기업체에서 제공되는 연간 생산율에 동일한 기본 전환 계수들을 사용하여 다른 것으로부터 유도될 수도 있다. 성숙하고 산업화된 이탄 산업체에서, 블록으로 자르는 방법은 연간 ha당 1,750 톤의 풍건된 이탄을 생산할 수 있다. 반면에 진공 방법 (vacuum method)은 연간 ha당 100 톤을 추출 할 수 있다 (Cleary, 2005). 풍건된 이탄은 35%에서 55%의 수분을 함유 한다 (World Energy Council, 2004).

Tier 2와 3

높은 단계들을 사용하는 국가들은 국가적인 이탄 생산 자료와 그에 상응하는 이탄 면적을 얻어야 한다. 아한대와 온대 지역에서, 이러한 면적 자료들은 상응하는 적절한 배출계수에 토양 비옥도에 의해 분류될 필요가 있다. 그러한 자료의 가능한 출처들은 국가적인 에너지 통계들이고, 이탄 추출 기업, 이탄 산업 연합들, 경관 산업 연합, 그리고 토지 이용 또는 지질 조사를 담당하는 정부이다. 이탄 비옥도에 의하여 계층화되기 어려우면, 국가들은 전문가의 판단에 의존할 수 있다. 아한대 기후는 소택지의 빈영양화를 촉진하고, 온대와 해양성 기후는 부영양 이탄습지들의 형성을 촉진하다. 국가 특이적인 활동 자료들의 개발에 대한 우선권은 다음을 포함 한다: 1) 이탄 추출을 위하여 사전에 관리되는, 그리고 적절하다면 영양 상태에 의해 분류된 현재 유기 토양의 면적 2) 이탄 생산 자료; 3) 이탄 추출의 시기에 조건을 반영하는 지역 수분 함량; 4) 국가 특이적인 탄소 함량, 가능하면 이탄의 종류에 따라서.

보다 자세한 예측 방법은 배수 또는 사전의 이탄 추출의 영향이 여전히 존재하는 버려진 지역을 포함하여 그리고 허락한다면, 다른 이탄 추출 방법, 이탄 종류, 추출 깊이에 따라서 지역들을 구별하여, 이탄 추출의 각 세 단계에서의 면적 결정을 필요로 할 것이다. 만일 부지 복원이 진행 중이면, 국가들은 이탄 추출을 위하여 이전에 관리되는 복원된 유기 토양의 면적을 개별적으로 보고하고 이들 지역에서의 배출과 저감을 예측하도록 권장된다. 추가적으로, 원예용 이탄의 생산이 현저한 경우 시간에 따른 분해 곡선을 얻기 위해서 생산지 밖에서 추출된 이탄의 경로에 대하서 감시하는 자료들을 만들 수 있다.

7.2.1.2 이탄습지로 유지되는 이탄습지에서 non-CO_2 배출

메탄

이탄습지들이 이탄 추출 준비를 위하여 배수될 때, 메탄 생선 박테리아는 혐기성 조건에서만 살아남을 수 있기 때문에 메탄의 자연적인 발생은 크게 줄어들지만 완전히 없어지진 않는다 (Strack *et al.*, 2004). Tier 1에서 메탄 배출은 이러한 배수된 이탄습지에서 중요하지 않다고 가정된다. 보다

높은 단계에서 국가들은 지형적으로 낮은 곳과 배출 도랑에서 메탄 배출의 패턴을 조사하도록 격려된다. 이것은 이렇게 관리되는 이탄습지에서 전체 온실가스 배출의 상당한 부분을 차지할 수도 있다 (Sundh et al., 2000).

질소 산화물

부지 비옥도에 따라서 이탄 퇴적물은 비활성 상태의 상당한 양의 유기 질소를 포함할 수도 있다. 배수는 박테리아가 질소를 질산으로 전환시키도록 허락한다. 그리고 그때 질산은 표현으로 새어나가 아산화질소(N_2O)로 환원된다. 배수 이탄습지에서 배출된 아산화질소(N_2O)의 잠재적인 양은 이탄의 질소 함량에 좌우된다. C:N 비율이 25를 넘을 때, 아산화질소(N_2O) 배출은 중요하지 않게 고려될 수 있다 (Klemedtsson *et al.*, 2005).

현재는 원예용 이탄의 현장 밖 사용에서 유기 물질의 분해로 배출되는 N_2O를 구분할 수 있는 예측 기법이 없다. 질소 비료들은 사용되기 전에 원예용 이탄으로 일반적으로 첨가되며, 이 공급원은 아산화질소(N_2O) 배출 패턴을 지배할 것이다. 비료의 사용으로 인해 배출되는 아산화질소(N_2O)를 이중 계산하는 것을 막기 위하여, 이탄 추출을 위하여 관리되는 토지에서의 아산화질소(N_2O) 배출을 예측하기 위한 기본 접근은 원예용 이탄에서의 유기 질소 분해에서 발생하는 배출을 배제한다.

방법의 선택

그림 7.1의 의사결정도를 사용하여 아산화질소(N_2O) 배출을 위한 적절한 방법의 단계를 결정하라.

Tier 1

배수된 습지에서의 N_2O 배출 예측을 위한 Tier 1은 농업이나 임업을 위해 배수된 유기 토양에 대해 기술된 것과 유사하다. 하지만 배출계수는 일반적으로 보다 작다. 기본 방법은 부영양 이탄습지들만을 고려한다.

식 7.7

식 7.7 이탄 추출 동안 이탄습지에서 NO_2 배출

$$N_2O_{WW_{peatExtraction}} = \left(A_{peatRich} \bullet EF_{N_2O\text{-}N_{peatRich}}\right) \bullet \frac{44}{28} \bullet 10^{-6}$$

여기서:

N_2O WWpeat Extraction = 이탄 추출을 위하여 관리되는 이탄습지들에서 직접적인 N_2O 배출, Gg N_2O yr^{-1}

$A_{peatRich}$ = 배수가 여전히 존재하는 버려진 곳을 포함하여 이탄 추출을 위하여 관리는 부영양의 이탄 토양의 면적, ha

$EF_{N2O\text{-}Npeat\ Rich}$ = 배수된 부영양 습지 유기 토양의 배출계수, kg N_2O-N ha^{-1} yr^{-1}

Tier 2

Tier 2에서는, 이용 자료들이 이탄 종류, 비옥도, 이탄 추출의 단계, 그리고 배수 활동이 시작된 시점에부터 걸린 시간과 같은 부가적인 요소들에 의하여 구분된다. 상응하는 배출계수들은 국가 특이적이고, 이탄 추출, 배수 깊이, 이탄의 단면에서 C:N 비율의 변화를 고려한다.

Tier 3

Tier 3은 부지 특성의 영향, 이탄의 종류와 깊이, 추출 기법, 절 7.2의 처음에 묘사된 이탄 추출 단계 등을 포함하여 관리되는 이탄습지에서 아산화질소(N_2O) 배출과 저감의 역동성에 대한 종합적인 이해와 재현을 포함한다. 이 방법은 모든 적절한 아산화질소(N_2O) 출처를 포괄한다. 생산지에서와 생산지 밖에서 배출 모두 고려될 것이고 공동의 추출과 이용 조건에서 이탄 분해율을 반영한다. 방법은 이산화탄소(CO_2) 배출의 예측 절차와 일치해야 하며, 국가적인 조건을 대표할 수 있는 독립적인 측정들에 대하여 보정되고 실증되어야만 한다.

배출/흡수 요인들 선택

Tier 1

Tier 1을 위한 기본 배출계수들은 표 7.6에 제공된다.

Tier 2와 3

Tier 2를 적용하는 국가들은 국가 특이적인 배출계수를 개발한다. 이 계수들은 이탄 추출 과저에서 진행되는 배출과 이탄습지로 토지 전환된 동안의 배출율을 구별할 수 있을 것이다. 단계 2와 3은 부지 특성, 이탄 종류와 깊이, 추출 기법, 이탄 추출의 단계 또는 기타 관련 있는 요소를 반영하는 국가 특이적인 배출 자료를 요구한다. 이탄의 종류는 그 분해와 계속되는 아산화질소(N_2O) 배출에 특히 적절하다. 현재 문헌 자료는 드물고, 결과들은 때때로 상충된다. 환경 조건과 추출 방법이 유사할 때 국가들은 비교할만한 자료들을 공유하도록 장려된다.

표 7.6
관리되는 이탄습지에서 N_2O 배출을 위한 기본 배출계수

기후대	배출계수 EF_{N2O} (kg N_2O-N ha^{-1} yr^{-1})	불확도 범위 (kg N_2O-N ha^{-1} yr^{-1})	참고 / 주석
아한대와 온대 기후			
빈영양 유기토양	무시할만함	무시할만함	Alm *et al.*, 1999; Laine *et al.*, 1996; Martikainen *et al.*, 1995; Minkkinen *et al.*, 2002; Regina *et al.*, 1996
부영양 유기토양	1.8	0.2~2.5	
열대 기후	3.6	0.2~5.0	제11장 표 11.1에서 온대와 열대의 아산화질소(N_2O) 배출계수(EF)의 상대적 차이에 기초하여, 열대지역의 값이 북쪽 기후대에서 보다 2배 정도 된다.
유럽의 이탄습지들에 대한 대부분의 자료들이 반드시 저 생산을 나타내는 것은 아니다. 기후대는 제3장에 기술된 대로이다.			

활동자료의 선택

Tier 1

같은 토지 이용 자료가 관리되는 이탄습지에서 이산화탄소(CO_2)와 아산화질소(N_2O) 배출 예측을 위하여 사용되어야 한다. 이러한 자료들은 얻는 정보들은 위의 7.2.1절 에서 제공된다. Tier 1을 사용하는 아한대와 온대 지역의 국가들에 있어서, 면적 자료는 토양 비옥도에 의하여 분류되어야 한다. 왜냐하면 부영양 이탄 토양만이 고려되기 때문이다. 만일 이탄 비옥도에 따라서 분류 할 수 있는 정보가 없다면, 전문가의 판단에 의존할 수 있다. 아한대 기후들은 소택지 또는 늪의 빈 영양화를 촉진하고, 온대와 해양성 기후는 부영양 이탄습지를 형성을 촉진한다. 낮은 비옥도를 가진 이탄습지들은 일반적으로 산성이다 (낮은 pH). Tier 1에서, 이탄 추출을 위하여 전환되고 있는 토지와 이탄습지로 남아 있는 이탄습지 둘 모두 유일한 기본 이산화탄소(CO_2)와 아산화질소(N_2O) 배출계수를 사용하기에, 질소 함량과 유기 탄소(C)와 질소(N)의 생물적 활용도가 깊이 따라서 달라지면서 추가적인 불확도가 야기된다.

Tier 2와 3

국가 특이적인 이용 자료의 개발을 위하여 우선적으로 이탄 추출을 위하여 관리되는 유기 토양의 면적, 적절하다면 영양 상태에 근거한 분류, 그리고 연간 이탄 생산 자료를 포함한다. 보다 자세한

예측 방법은 배수 또는 사전의 이탄 추출의 영향이 여전히 존재하는 버려진 지역을 포함하여 그리고 허락한다면, 다른 이탄 추출 방법, 이탄 종류, 추출 깊이에 따라서 지역들을 구별하여, 이탄 추출의 각 세 단계에서의 면적 결정을 필요로 할 것이다. 만일 부지 복원이 진행 중이면, 국가들은 이탄 추출을 위하여 이전에 관리되는 복원된 유기 토양의 면적을 개별적으로 보고하고 이들 지역에서의 배출과 저감을 예측하도록 권장된다. 추가적으로, 원예용 이탄의 생산이 현저한 경우 시간에 따른 분해 곡선을 얻기 위해서 생산지 밖에서 추출된 이탄의 경로에 대하서 감시하는 자료들을 만들 수 있다 (7.2.1절 참조).

7.2.1.3 불확도 평가

배출계수

이산화탄소(CO_2)와 아산화질소(N_2O) 둘 다에 대하여 Tier 1 예측 단계에서 핵심적인 불확도는 기본 배출계수(표 7.4와 7.6)와 풍건된 이탄의 수분 함량과 같은 다른 요소들이다. 배출계수와 변수들은 온대와 아한대 지역에서 적은 (10보다 적은) 자료 점에서만 개발되었다. 배출계수들의 표준편차는 쉽게 평균의 100%를 넘지만, 기저의 확률 함수 (underlying probability function)는 비정상이기 쉽다. 이탄 특이적인 중력과 그 수분 유지 수용력에서의 변이는 이러한 불확도의 중요한 요소를 차지한다. 이탄 특성에 따라서 강수량의 연간 변이는 유기물 분해율을 25%에서 100%까지 변화시킬 수 있다 (Waddington *et al*, 2002). 이탄 수분 함량과 이탄 질의 변이는 풍건된 이탄의 탄소 함량에서 25% 불확도를 차지한다. 일반적으로 국가들은 표준 편차보다는 범위를 사용하도록 권장된다.

많은 유기 토양들은 배수되어 농업과 임업과 같은 다른 용도로 전환되어왔다. 이러한 토양들은 보다 비옥한 부지에 많을수록 배출계수는 높다. 배수에 추가하여, 관리 활동들은 토양특성을 따라서 유기물의 분포를 변화시키고 결과적으로 온실가스 배출 패턴에 영향을 준다. 이처럼, 다른 관리체계 아래에서 유기 토양에서 온실가스 배출 패턴은 다를 것으로 예상된다. 국가 특이적인 계수들이 개발될 때, 국가들은 충분한 수의 표본과 표준 편차를 최소한 하는 기술을 사용해야 한다. 이상적으로 모든 국가에서 정의된 변수들에 대해서 확률밀도함수 (probability density function) (예, 평균과 분산 예측값을 제공하는)가 유도되어야 한다. 최소한, 단계 2 접근은 각 국가 특이적인 변수들에 대한 오차 범위를 제공해야 한다. 그러한 자료는 몬테-카를로 (Monte-Carlo) 시뮬레이션과 같은 향상된 불확도 분석에 사용될 수 있다.

Tier 3에서는 배출 계수와 그와 연관된 확률 밀도 함수들이 전체 카테고리에 대한 평균과 신뢰 구간을 만들기 위하여 (몬테-카를로 (Monte-Carlo)와 같은) 개선된 절차들로 함께 사용된다. 과정에 기반한 모델은 원칙적으로 보다 현실적인 예측을 제공하지만, 측정치들에 의하여 보정되고 검증될 필요가 있다. 모델의 사용으로부터 생기는 불확도는 유사한 절차들에 정량화될 필요가 있다. 그러한 부석을 개발하기 위한 조언에 대해 제1권 제3장의 *가이드라인*을 참조하라.

활동자료

관리되는 이탄습지에 대하여 모여진 이용 자료를 사용한 국가들은 유럽과 북미에서 50%의 불확도의 요소들을 factor (?)해야 한다. 하지만 나머지 국가들은 계수 2를 factor (?)해야 한다. 만일 관리되는 이탄습지 면적들이 전체 (관리되거나 관리 되지 않는) 이탄습지 또는 생산량에 근거한다면 이탄 생산이 좋은 날씨 조건에 강하게 좌우되므로 불확도는 더 커질 수 있다. 단계 2와 3에서 적절한 생태-기후 변수들과 관리 체계로 인한 이탄습지 면적의 공간적 분포, 이탄의 최종 사용에 대

한 정보, 최근에 전환된 이탄습지와 생산이 진행 중인 습지, 그리고 복원 중인 것과의 구분이 보다 정확한 예측을 가능하게 할 것이다.

7.2.2 이탄 추출을 위해 전환된 토지

Tier 1 접근에서 이용 자료들은 이탄 추출중인 이탄습지 (이탄습지로 남아 있는 이탄습지)와 이탄 추출을 위한 전환되고 있는 것을 구분하지 않는다 (이탄 추출의 3가지 단계에 대한 서술은 7.2절의 앞 단락 참조). 그러한 접근을 사용하는 국가들은 방법적인 안내를 위하여 7.2.1절을 참고해야만 한다. Tier 2 방법을 사용하는 국가들은 구별을 해야만 한다. 이 절은 이탄 추출을 위하여 배수되고 전환된 이탄습지들에 대한 구체적인 안내를 제공한다.

7.2.2.1 이탄 추출을 위해 전환된 토지에서 CO_2 배출

7.2절의 서론에 서술하였듯이, 이탄 추출 과정은 3단계를 가진다. 그 첫째 단계는 (만일 그 지역이 다른 목적을 위하여 이미 배수되지 않았다면) 집중적인 배수 활동으로 특징화되는, 하지만 실제 이탄 추출은 없는 이탄 추출을 위한 개발 또는 전환이다. 이러한 전환 단계는 전형적으로 2에서 5년 정도 지속된다. 이 *안내서*의 다른 토지 이용 전환과는 대조적으로 이탄 추출을 위하여 전환되고 있는 토지에서 추천되는 기본 전환 기간은 5년이다.

이탄 추출을 위해 깎여지고 배수되는 토지에서 온실가스 배출은 현재 이탄 추출이 진행 중인 토지 또는 다 사용 되서 버려진 곳의 배출과는 현저하게 다르다. 전환 과정에서 중요한 배출은 이탄 습지 생태계의 살아있는 바이오매스의 흡수와 파괴와 배수 동안의 토양에서 생겨난다. 이러한 토지들이 아직 생산 단계에 있지 않기 때문에 이탄 추출은 없고, 따라서 추출된 이탄의 생산지 밖에서의 배출 또한 없다.

식 7.8은 이탄 추출을 위해 토지 전환 동안에 발상하는 주요 CO_2-C 배출원을 나타낸다.

식 7.8
이탄 추출을 위하여 배수되고 있는 이탄습지에서의 CO_2-C 배출

$$CO_2\text{-}C_{LW_{peat\_on\text{-}site}} = \left(-\Delta C_{WW_{peat_B}}\right) + \left(-\Delta C_{WW_{peat_{DOM}}}\right) + CO_2\text{-}C_{LW_{peat\_drainage}}$$

여기서:

$CO_2\text{-}C_{LWpeat\_on\text{-}site}$ = 이탄 추출을 위하여 전환되고 있는 토지에서 CO_2-C 배출, Gg C yr^{-1}

$\Delta C_{WWpeat\ B}$ = 살아있는 바이오매스의 탄소(C) 축적량 변화에서 CO_2-C 배출, Gg C yr^{-1}

$\Delta C_{WWpeatDOM}$ = 고사 유기물 집합소에서 탄소(C) 축적량의 변화로 인한 CO_2-C 배출, Gg C yr^{-1}

$CO_2\text{-}C_{LWpeat\ drainage}$ = 배수동안 토양으로부터 CO_2-C 배출, Gg C yr^{-1}

방법의 선택

Tier 2

배수 동안의 토양에서 배출을 제외하고, 절차들의 어떠한 것도 이 이 카테고리에만 있는 양만을 예측하기 위한 것은 아니다. 만일 미리 흡수된 식생이 임지 또는 초지라면, 임지 또는 초지가 농경지로 전환에서 오는 살아있는 바이오매스에서의 배출에 대한 예측 절차들이 5장 5.3절에서 논의된다. 식생 흡수에 불이 쓰이는 곳에서 non-CO_2 가스의 배출, 예를 들어 메탄(CH_4)과 아산화질소(N_2O) 또한 나타날 것이다. 이러한 배출들은 2장에서 제공되는 조언들을 따라서 예측들 수 있다. 만일 국가 특이적인 배출 요소들이 있다면, 바이오매스 태우기와 안탄 바이오매스와 죽은 유기 물질의 분해는 예측될 수 있다. 배수가 되는 지역의 면적은 이탄 비옥도, 이탄 종류, 그리고 이전 토지 이용 또는 토지 피복에 따라서 나눠질 수 있다. 국가들은 배출계수를 그에 따라서 개선할 수 있을 것이다.

식 7.9는 배수동안에 토양에서 배출을 예측하기 위한 일반적인 접근을 제공한다. 개념적으로 이것은 관리되는 이탄습지에 CO_2-$C_{ww\ peat\ on\text{-}site}$을 결정하기 위하여 사용된 식 7.6과 동일하다.

식 7.9
이탄 추출을 위하여 배수되고 있는 이탄습지의 토양에서 CO_2-C 배출

$$CO_2\text{-}C_{LW_{peat\_drainage}} = \left[\frac{\left(A_{drained\_peat_{Rich}} \bullet EF_{CO_2 drained\_peat_{Rich}}\right) + \left(A_{drained\_peat_{Poor}} \bullet EF_{CO_2 drained\_peat_{Poor}}\right)}{1000} \right]$$

여기서:

CO_2-$C_{LW\ peat\ \_drainage}$ = 이탄 추출을 위하여 전환된 지역의 토양에서 CO_2-C 배출, Gg C yr^{-1}

$A_{drained\ peatRich}$ = 배수되고 있는 부 영양 이탄 토양의 면적, ha

$A_{drained\ peatPoor}$ = 배수되고 있는 빈 영양 이탄 토양의 면적, ha

$EF_{CO2drained\ peatRich}$ = 배수되고 있는 부영양 이탄 토양에서 CO_2-C 배출계수, tonnes C ha^{-1} yr^{-1}

$EF_{CO2\ drained\ peatPoor}$ = 배수되고 있는 빈영양 이탄 토양에서 CO_2-C 배출계수, tonnes C ha^{-1} yr^{-1}

Tier 3

Tier 3 방법은 이탄의 유용과 비옥도의 영향, 물질 층 또는 소생된 소택지와 같은 부지 특성의 영향, 해당된다면 이전 토지이용 또는 토지 피복을 포함하여 *이탄 추출을 위하여 전환되고 있는 토지*에서의 이산화탄소(CO_2) 배출과 저감의 역동성에 대한 종합적인 이해와 재현을 포함한다. 이 방법은 전체 집합소에서 탄소의 거동, 전환에서 집합소 사이의 탄소(C) 이동 (예, 바이오매스에서 죽은 유기 물질로)을 포함하며, 즉시 그리고 연기된 배출을 구분한다. 저장고에서 변화에 기초한 예측들은 용존 유기 탄소의 새어나감으로 인한, 유출수를 통한 죽은 유기 물질의 손실, 또는 메탄 배출의 형태의 탄소 손실에 대하여 교정되어야 한다.

배출/흡수 계수들의 선택

Tier 2

Tier 2를 사용하는 국가들은 토지 전환에서의 배출율과 이탄 추출 단계에서 지속되는 배출을 구별하기 위하여 국가 특이적인 배출계수, $EF_{CO2\ drained\ peat\ Rich}$ 와 $EF_{CO2\ drained\ peat\ poor}$을 개발할 것이다. 배출계수를 이탄의 종류, 그것의 비옥도, 그리고 배수 깊이, 이전 토지 이용 또는 토지 피복, 그리고 기후대에 따라서 세분화할 수 있을 것이다.

Tier 3

Tier 3 하에서, 모든 변수들은 국가 특이적이다. 문헌은 드물고, 국가 특이적인 배출계수와 자료를 유도하는 것은 *좋은 전략*이다. 자료는 유사한 환경적 조건을 가진 국가들 사이에서 공유되어야만 한다.

활동자료의 선택

Tier 2

요구되는 기본 이용 자료들은 이탄 추출을 위해 전환된 유기 토양의 면적과 영양 상태 (비옥도)에 의하여 구분된 것이다. 가능한 면적 자료의 출처는 이탄 추출 회사, 이탄 산업 연합, 토지 정보를 담당하는 정부 기관이다. Tier 2에서 국가들은 초기 토지 이용, 이탄 종류, 전환되고 있는 토지의 이탄 비옥도에 기초한 정보들을 포괄할 수 있다. 이러한 정보들은 국가 이탄습지 목적의 정규 갱신에서 얻어질 수 있다.

Tier 3

Tier 3에서 필요한 초기 토지 이용, 이탄의 종류, 이탄 추출을 위해 전환되고 있는 지역의 이탄 비옥도에 대한 자세한 정보는 예측 기법에 따라서 정의될 수 있다.

7.2.2.2 관리되는 이탄습지로 전환된 토지에서 non-CO_2 배출

7.2.1.2절 "*이탄습지로 남아 이탄습지에서* non-CO_2 배출"의 방법론에 대한 논의는 생산지 밖에서 원예용 이탄의 분해에서 non-CO_2 배출의 예외와 함께 여기에 적용될 것이다; 왜냐하면 토지 전환과 준비 단계 동안 이탄 추출이 없기 때문이다. 보다 높은 단계에서, 메탄 배출은 배수되고 있는 토지에서 무시할 만하다고 더 이상 가정되지 않을 수 있다. 7.2.1절의 식 7.2는 또한 아산화질소(N_2O) 배출을 예측하기 위한 기본 접근을 서술하고 있다.

7.2.2.3 불확도 평가

배출계수

7.2.1.3절의 배출계수 불확도에 대한 논의를 참조하라.

이전의 토지 이용에 영향을 받는, 전환 이전의 식생 피복의 탄소 함량에 추가된 불확도는 이산화탄소(CO_2) 예측 불확도에 포함되어야만 한다. 배출의 불확도 확률 분포는 정상적이지 않은 경향이

있으므로, 여기에서는 정규 로그 분포의 간격이 기본 불확도로 가정 된다 (표 7.4와 제7.6장 참조). 대칭적인 표준 편차 대신에 이러한 범위를 사용하는 것이 권장된다.

7.3 침수지

침수지는 인간 활동이 (일반적으로 수위 조정을 통하여) 물로 뒤덮힌 지표면의 양에 변화를 일으킨 곳의 수체로 정의된다. 침수지의 예는 수력 생산, 관개, 운하를 위한 저수지를 포함한다. 이전에 범람된 생태계와 비교하여, 수 지역의 실질적인 변화를 가지지 않는 조절되는 호수와 강들은 침수지로 고려되지 않는다. 어떤 논은 토지의 범람시켜서 경작하지만, 벼농사의 독특한 특성으로 인하여, 논은 제5장 농경지의 안내서에서 다루어진다.

침수지는 침수 전의 토지 이용, 기후, 관리 체계와 같은 많은 특성들에 따라서 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4) 그리고 아산화질소(N_2O)의 상당량을 배출한다. 배출은 시공간적으로 달라진다.

특히 열대지역에서 범람으로 메탄(CH_4) 발생이 증가한다는 증거가 있지만, 메탄 배출의 높은 시공간적 변이는 모든 기후대에 대한 기본 배출계수 개발을 막아왔다. 메탄 배출에 대한 유용한 정보는 부록 3에 있다.

유역에서 상당한 양의 유기 또는 무기 질소의 유입이 있는 침수지에서 아산화질소(N_2O) 배출은 일반적으로 매우 느리다. 그러한 투입은 토지이용 전환, 폐수 처리 또는 비료 사용과 같은 유역에서 인간 활동에서 대체로 비롯한다. 이러한 인간이 만들어낸 출처의 온실가스 계에서 이미 포착된 아산화질소(N_2O) 배출을 이중 계산하는 걸 막기 위해서, 또한 문헌에서 침수지에서 아산화질소(N_2O) 배출의 매우 제한적이라는 분위기로 인하여, 이 절은 이들 배출을 더 이상 고려하지 않는다.

7.3.1 침수지로 유지되는 침수지

*침수지로 유지되는 침수지*에 대해서 어떤 방법도 주어지지 않는다. 위에서 설명한대로, 침수지에서 발생하는 이산화탄소(CO_2)와 아산화질소(N_2O) 배출은 이미 다른 절에서 기술된 방법들로 다루어졌다고 가정한다. 침수지*로 전환된 토지*에 대한 기본 방법은 범람으로 인한 이산화탄소(CO_2)배출 예측에 대한 안내를 제공한다. 부록 3에 메탄 발생에 대한 유용한 정보가 주어지지만, 현재로서 기본 방법으로 추천할 수 없다. 침수지에서 메탄 발생에 대한 보고를 찾고 있는 국가들은, 가능한 곳에서 국내 배출계수를 개발해야만 한다. 그러한 계수들에 대한 안내는 부록 2 박스 2a.1에 주어져 있다.

7.3.2 침수지로 전환된 토지

이미 설명된 이유로 인하여, 이 절은 침수지로 전환된 토지에서의 이산화탄소(CO_2) 배출예측에 대한 안내만을 제공한다.

7.3.2.1 침수지로 전환된 토지에서의 CO_2 배출

방법과 배출계수의 선택

영구적인 침수지로의 토지 전환으로 인한 탄소(C) 축적량 변화를 예측하기 위한 방법들이 식 7.10에 주어져 있다. 전환 이전의 토지의 탄소(C) 축적량은 이 권의 다른 절에서 다양한 토지이용 카테고리들에서 묘사된 살아있는 바이오매스를 위한 방법을 따라서 예측될 수 있다. 여기에서는 전환 이후에 탄소(C) 축적량이 0으로 가정한다.

식 7.10
영구적인 침수지로 전환된 지역에서 살아있는 바이오매스의
연간 탄소 축적량의 변화

$$\Delta C_{LWflood_{LB}} = \left[\sum_i A_i \bullet (B_{After_i} - B_{Before_i})\right] \bullet CF$$

$$CO_{2\_LWflood} = \Delta C_{LWflood_{LB}} \bullet \frac{-44}{12}$$

여기서:

$\triangle C_{LWfloodLB}$ = 침수지로 전환된 토지의 바이오매스의 연간 탄소 축적량의 변화, 톤 C yr^{-1}

Ai = 초기 토지이용 i에서 범람지역으로 매년 전환된 지역의 면적, ha yr^{-1}

$B_{After}i$ = 범람 지역으로 전환 직후의 바이오매스, 톤 d.m. ha^{-1} (기본값 = 0)

$B_{Before}i$ = 범람 지역으로 전환되기 직전의 바이오매스, 톤 d.m. ha^{-1}

CF = 건중량의 탄소 비율 (기본값 = 0.5), 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$

CO2_LWflood = 범람된 지역으로 전환된 지역에서 연간 CO_2 배출, 톤 CO_2 yr^{-1}

침수 이전에 전환된 토지에 남아 있던 탄소가 범람 이후에 수년 동안 배출될 수 있다.

이 시점에서 침수지로 토지 전환으로 인한 토양에서 탄소(C) 축적량 변화에 대한 안내는 주어지지 않는다.

탄소(C) 축적량 변화 방법은 범람 이전에 존재했던 바이오매스의 모든 탄소가 배출되고, 이것은 과장 예측이 될 수 있다. 국가들은 모델, 측정 그리고 연관된 변수에 근거한 보다 높은 단계의 국가 특이적인 방법을 개발하도록 장려된다. 가능한 접근들이 부록 2에 주어져 있다. 모델과 측정에 기반 한 국가 특이적인 방법의 개발에 대한 일반적인 조언은 제2장 2.5절에 있다.

침수지로 전환된 토지에서 non-CO_2 가스의 배출은 부록 3에서 다루어진다.

활동자료의 선택

국가들은 배수 유역 피복 분석, 국가적인 댐 자료, International Commission on Large Dams (ICOLD, 1998) 또는 World Commission on Dams report (WCD, 2000)로부터 그들의 침수지를 얻을 수 있다.

7.3.2.2 침수지로 전환된 토지에서 non-CO_2 배출

침수지로 전환된 토지에서 메탄(CH_4) 가스의 배출에 대한 정보는 부록 3에서 다루어진다.

7.3.2.3 불확도 평가

큰 댐 (>100km^2)으로 가두어진 침수지에 대한 국가적인 통계 정보가 있어야 하며, 10% 이내에 오차 범위로 정확할 것이다. 댐에 대한 국가적인 자료묶음이 없을 때, 그리고 다른 정보가 사용될 때, 특히 넓은 침수지를 가진 국가들에게, 댐으로 가두어진 침수지 면적은 아마도 50% 이상의 불확도를 가질 것이다. 비록 통계적인 추론이 (자료가 있는 곳에서) 저수지의 크기 분포에 근거하여 가능할지라도 위치, 종류 그리고 작은 댐의 기능에 대한 자세한 정보는 얻기 힘들지도 모른다. 저수지들은 자료의 활용성에 영향을 주는 많은 이유들로 만들어진다. 그리고 결과적으로 표면적에 대한 불확도는 국가 특이적인 조건에 달려있다.

바이오매스 축적량에 대한 불확도는 제4, 5, 6장에서 다루어진다.

7.4 완전성, 시계열 일관성, 품질보증/품질관리

7.4.1 완전성

완전한 온실가스 조사 목록은 이러한 습지의 종류들이 국가 영토에서 나타나는 한 절 7.2와 7.3에서 서술한 것처럼 관리되는 습지의 두 가지 유형에서 배출 예측을 포함한다.

다른 토지 카테고리에서처럼 국가들은 관리되는 습지의 동태를 감시하도록 그리고 다른 카테고리에 있는 토지와 이중 계산하는 것을 피하도록 권장된다. 저주지 면적의 크기를 기록하는 것은 *좋은 전략*이다. 일단, 이탄습지가 이탄 추출 아래 있으면, 심지어 이탄 추출 이용이 중지된 이후에도 관리되는 이탄습지로 남는다. 토지를 다시 범람시키거나 이전의 배수 수준으로 수면을 회복하는 것은 이탄습지의 상태를 변화시키지 않는다. 복원된 이탄습지에 대한 추가적인 논의는 7.5 절 "미래 방법 개발"을 참조하라.

발전된 방법과 자료를 사용하는 국가들은 다른 AFOLU 장이나 이 *안내서*의 다른 권에서 이미 해당하는 온실가스 배출을 보고하지 않도록 주의해야 한다. 특히 습지는 비점 오염원 유출물과 높은 영양 함량 가진 퇴적물을 받는다; 유기 또는 무기성 질소, 그리고 이들 습지로부터 배출된 유기 탄소는 임지, 농경지, 또는 폐기물 절에 예측 방법이 이미 포함되어 있었을 수 있다. 그러한 탄소 또는 질소의 비점 오염원의 증거가 있을 때, 관련된 온실가스 배출이 적절한 조사 목록 절과 카테고리 아래에서 보고 되도록 하는 것이 *좋은 전략*이다; 국가들은 편중된 예측을 피하기 위하여 유용한 정보를 개발, 저장, 사용하도록 권장 받는다.

7.4.2 일관성 있는 시계열 개발

시계열에서의 일관성에 대한 일반적인 조언은 1권 5장 (시계열 일관성)에서 발견될 수 있다. 배출 예측 방법은 시계열의 모든 해에 같은 수준의 공간 분포에 일관성 있게 적용되어야만 한다. 더욱이, 국가 특이적인 자료가 사용될 때, 국가적인 조사 기관들은 같은 측정 기법 (표본조사, 전략, 방

법 등)을 전체 시계열에 걸쳐 사용해야만 한다. 만일 이것이 가능하지 않다면, 1권 5장에 있는 내간 기술과 재계산의 조언대로 따라야 한다. 조사년 사이의 배출 차이는 예를 들어, 이탄습지 또는 침수지의 면적의 변화를 나타내면서, 배출계수를 개선하면서 설명되어야 한다.

7.4.3 품질보증과 품질관리 (QA/QC)

품질보증/품질관리 절차는 이 보고서 1권 6장에 약술된 대로 개발되고 이용되어야 한다. 부가적인 카테고리 특이적인 질적 관리와 질적 보증 이용에 대한 개발은 특히 높은 단계의 방법이 이러한 배출원 카테고리에서 배출을 정량화할 때 적용될 수 있다 (제1권 6장). 국가 특이적인 배출계수가 사용되고 있는 곳에서 그것들은 높은 질적 실험 자료, 개발된 정밀한 측정 프로그램에 근거해야 하며, 적절하게 기술되어야 한다.

현재는 이탄 추출을 위하여 관리되는 유기 토양에서의 배출 예측을 교차 검증하는 것이 불가능하다. 하지만 조사 기관은 배출 예측이 절적 관리를 견딜 수 있도록 보장해야 한다.

- 보고 된 국가 특이적인 배출계수들을 기본값과 과학 논문에 출판된 값, 또는 다른 국가에서 보고 된 값과 교차로 검증하기
- 실제 자료의 정확성을 이탄 산업체의 자료와 이탄 생산량으로 검토하기
- 비교할 만한 상황의 다른 국가들과 비교하여 개연성 예측을 평가하기

7.4.4 보고와 기록

본 *가이드라인*의 제1권, 8장에 약술된 국가적인 배출/흡수 인벤토리 산정을 위해 필요한 모든 정보를 기록하고 얻는 것이 적합하다.

배출계수

새로운 국가 특이적인 배출계수, 변수들, 그리고 모델의 과학적인 근거와 추가하여 (신뢰성 고려에 취약한) 기업과의 통신들은, 최대한 서술되고 기록되어야 한다. 기록할 때 자료 수집과 예측의 빈도, 정확성 예측, 배출 단계에서 중요한 변화의 이유를 다루어야 한다.

활동자료

계산에 사용된 모든 이용 자료들의 출처(자료 출처, 자료묶음과 토양 지도 참고서)와 추가하여 (신뢰성 고려에 취약한) 기업과의 통신들은, 기록되어야 한다. 기록할 때 자료 수집과 예측의 빈도, 정확성 예측, 배출 단계에서 중요한 변화의 이유를 다루어야 한다.

경향 분석

연간 배출의 유의미한 변동은 설명되어야 한다. 이용 수준의 변화와 해마다 달라지는 배출계수, 변수들, 방법들은 구분되어야 한다. 만일 다른 배출계수들, 변수들, 방법들이 다른 해에 적용된다면, 이러한 이유에 대하여 설명되고 기록되어야 한다.

7.5 미래 방법의 개발

다른 형태의 관리되는 습지, 특히 복원 또는 창출된 습지는 상당한 양의 온실가스를 배출하거나 포집할 수 있다. 복원된 습지는 과거에 아마도 다른 목적을 위하여 배수되었다가 최근에 배수 이전의 수준으로 수위를 올려서 기능하는 습지 생태계로 복원된 곳이다. 최근 수많은 국가들에서, 공공의, 비영리 프로그램이 과거의 습지들을 복원하고 육지로부터 다른 습지들을 만들기 시작했다. 주요한 목적은 농경지와 주거지에서 호수, 하구, 만과 바다에서 부영양화, 조류번식, 그리고 무산소대(hypoxi dead zone)를 일으키는 하수를 줄이는 데 있다. 다른 중요한 이점은 홍수 피해 저감, 해안선과 삼각주 보호, 짠물의 침투 지체시키기, 대수층 물 공급, 야생동물, 조류, 그리고 어류 서식처 증진 등이다.

많은 기능적인 습지 복원은 1990년부터 이루어졌다. 기술적인 문헌은 북아메리카, 유럽, 아시아, 호주, 뉴질랜드, 특히 삼각주에 15개 국가들의 프로그램이나 프로젝트를 서술한다. 이 문헌은 습지 생태계가 복원될 수 있지만, 가변적인 자연 습지 생태계의 유사성가 가변적인 시간을 가지고 이루어진다. 현재, 습지 복원과 건설의 전 세계적인 면적에 대한 유용한 기록물이 없다. IPCC Special Report on Land Use, Land-Use Change and Forestry는 복원이 가능한 최대 지역을 30에서 250 Mha로 예측하고 있다 (Watson *et al.*, 2000).

이러한 *가이드라인*을 준비하는 시간에, 관측한 자료에 근거한 출판된 연구들은 너무 최근이고 어떤 주요한 온실가스 (이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O))에 대한 기본 배출계수를 개발하기에 너무 제한적이다. 유역 내 생지화학적 흐름에 대한 보다 나은 이해가 비료 적용과 폐수 처리에 의한 배출을 이중 계산하는 것을 피해하기 위하여 필요할 것이다. 따라서 복원된 또는 인공 습지에서 온실가스 배출과 저감 예측은 더 개발되는 영역으로 남아 있다.

메탄(CH_4) 배출의 증가는 유기 토양이 다시 물에 젖을 때 일어날 것으로 예상된다. 임지 피목에서 다시 물에 젖은 유기 토양에서 메탄(CH_4) 배출의 첫 근사치는 온대와 아한대에서 0에서 60 kg CH_4 ha^{-1} yr^{-1} 그리고 열대에서 280에서 1,260 kg CH_4 ha^{-1} yr^{-1}이다 (Bartlett and Harriss, 1993). 하지만 단기간에 이러한 배출이 그들의 배수 이전 수준으로 돌아가진 않을 수 있다 (Tuittila *et al.*, 2000; Komulainen *et al.*, 1998).

비점오염원의 침수지 (저수지)에 대한 영향은 또한 거의 기록되지 못한 채로 있다. 국내 접근들을 사용하는 선진화된 국가들은 점검을 하고, 이상적으로 무게 균형을 사용하여, 유역 안에서 배출된 모든 탄소(C)와 질소(N)의 거동이 적절하게 계산되도록 해야 한다. 아시아의 저수지에서 관측치의 부족은 침수지에 이산화탄소(CO_2) 배출을 개발하는데 사용되는 표본 자료의 두드러진 틈이다. 이 *가이드라인*의 미래 개정판에서는 이 영역에서 보다 많은 정보를 포괄하는 것이 가능할 것이다.

참고문헌

7.2절: 이탄 추출을 위해 관리되거나 전환된 이탄습지

Alm, J., Saario, S., Nyk□nen, H., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (1999). Winter CO2, CH4, and N2O fluxes on some natural and drained boreal peatlands. Biogeochemistry 44: 163-186.

Bartlett, K.B. and Harriss, R.C. (1993). Review and assessment of methane emissions from wetlands. Chemosphere 26:261-320.

Canadian Sphagnum Peat Moss Association (2004). Harvesting Peat in Canada http://www.peatmoss.com/

Cicerone, R.J. and Oremland, R.S. (1988). Biogeochemical aspects of atmospheric methane. Global Biogeochemical Cycles 2: 288-327.

Cleary, J., Roulet, N.T. and Moore, T.R. (2005). Greenhouse gas emissions from Canadian peat extraction, 1990-2000: A life-cycle analysis. Ambio 34(6):456-461.

IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M.,

Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds).Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan. International Peat Society (2004). Environmental Assessment of Peat Production www.peatsociety.fi

Joosten, H. (2004). The IMCG Global Peatland Database. http://www.imcg.net/gpd/

Joosten, H. and Clarke, D. (2002). Wise Use of Mires and Peatlands.Internation Mire Conservation Group and International Peat Society, Saarijarvi, Finland, 304 p.

Klemedtsson, L., Von Arnold, K., Weslien, P. and Gundersen, P. (2005). Soil CN ratio as a scalar parameter to predict nitrous oxide emissions. Global Change Biology 11:1142-1147

Komulainen, V.-M., Nyk□nen, H., Martikainen, P.J. and Laine, J. (1998). Short-term effect of restoration on vegetation change and methane emissions from peatlands drained for forestry in Southern Finland. Can. J. For. Res. 28:402-411.

Komulainen, V-M., Tuittila, E-S., Vasander, H. and Laine, J. (1999). Restoration of drained peatlands in southern Finland : initial effects on vegetation change and CO2 balance. J. Appl. Ecol. 36:634-648.

Laine, J. and Minkkinen, K. (1996). Effect of forest drainage on the carbon balance of a mire--a case study. Scandinavian Journal of Forest Research. 11: 307-312.

Laine, J., Silvola, J., Tolonen, K., Alm, J., Nyk□nen, H., Vasander, H., Sallantaus, T., Savolainen, I., Sinisalo, J. and Martikainen, P.J. (1996). Effect of water-level drawdown on global climatic warming--northern peatlands. Ambio. 25: 179-184.

Lappalainen, E. (1996). Global Peat Resources.International Peat Society Saarijarvi, Finland, 368 p.

LUSTRA (2002). Land-use Strategies for Reducing Net Greenhouse Gas Emissions. Annual Report 2002 Uppsala, Sweden.162 p.

Martikainen, P.J., Nyk□nen, H., Alm, J. and Silvola, J. (1995). Change in fluxes of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide due to forest drainage of mire sites of diferent trophy, . Plant and Soil 169: 571-577.

Minkkinen, K., Korhonen, R., Savolainen, I. and Laine, J. (2002). Carbon balance and radiative forcing of Finnish peatlands 1990-2100 the impact of forestry drainage. Global Change Biology 8: 785-799.

Mitsch, W.J. and Gosselink, J.G. (2000). Wetlands.3rd ed, . Wiley, New York, 920 p.

Moore, T.R. and Knowles, R. (1989). The influence of water table levels on methane and carbon dioxide emissions from peatland soils. Canadian Journal of Soil Science 69 (1): p. 33-38. Nilsson, K. and Nillson, M. (2004). The Climate Impact of Energy Peat Utilsation in Sweden--the Effect of

Former Land-Use and After Treatment. IVL Swedish Environmental Research Institute. Report B1606. Stockholm, 91 p.

Petrone, R.M., Waddington, J.M. and Price, J.S. (2003). Ecosystem-scale flux of CO2 from a restored vacuum harvested peatland. Wetlands Ecology and Management 11:419-432.

Ramsar (1996). The Ramsar Convention definition of "wetland" and classification system for wetland type. Appendix A of Strategic framework and guidelines for the future development of the list of wetlands of international Importance of the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971). Available at www.ramsar.org/key_guide_list_e.htm.

Regina, K., Nykänen, H., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (1996). Fluxes of nitrous oxide from boreal peatlands as affected by peatland type, water table level and nitrification capacity. Biogeochemistry 35: 401-418.

Sirin, A and Minayeva, T. eds (2001). Peatlands of Russia: towards the analyses of sectoral information GEOS, Moscow, 190 pp. (in Russian).

Strack, M., Waddington, J.M. and Tuittila, E.-S. (2004). Effect of water table drawdown on northern peatland methane dynamics: implications for climate change. Global Biogeochemical Cycles 18, GB4003.

Sundh, I., Nilsson, M., Mikkala, C., Granberg, G. and Svensson, B.H. (2000). Fluxes of methane and carbon dioxide on peat-mining areas in Sweden. Ambio. 29: 499-503. US Geological Survey (2004). US Minerals Yearbook. www.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/peat

Waddington, J.M. and McNeil, P. (2002). Peat oxidation in an abandoned cutover peatland. Can.J.Soil Sci. 82:279-286.

Waddington, J.M., Warner, K.D. and Kennedy, G.W. (2002). Cutover peatlands: a persistent source of atmospheric CO2. Global Biogeochemical Cycles 16(1) 10:1029é2001GB001398

Waddington, J.M. and Price, J.S. (2000). Effect of peatland drainage, harvesting, and restoration on atmospheric water and carbon exchange. Physical Geography 21(5):433-451.

Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo D.J. and Dokken D.J. (Eds.) (2000). Special Report of the IPCC on Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Cambridge University Press, UK. pp 375

World Energy Council (2004).
http://www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/peat/peat.asp

7.3절: 침수지

Bartlett, K.B. and Harriss, R.C. (1993). Review and assessment of methane emissions from wetlands. Chemosphere 26:261-320.

International Commission on Large Dams (ICOLD) (1998). World register of Dams 1998. Paris.

International Comittee on large Dams (Ed.). Metadatabase.

Komulainen, V-M., Tuittila, E-S., Vasander, H. and Laine, J. (1999). Restoration of drained peatlands in southern Finland : initial effects on vegetation change and CO2 balance. J. Appl. Ecol. 36:634-648.

Tuittila, E-S., Komulainen, V-M., Vasander, H., Nyk□nen, H., Martikainen, P.J. and Laine, J. (2000). Methane dynamics of a restored cut-away peatland. Global Change Biology, 6: 569

Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J. and Dokken, D.J. (Eds.) (2000). Special Report of the IPCC on Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Cambridge University Press, UK. pp 375

WCD (2000). Dams and Development a new framework for Decision-Making, The report of the World Commission on Dams, Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA, 356 p.

제8장

주거지

저자

Jennifer C. Jenkins (미국), Hector Daniel Ginzo (아르헨티나), Stephen M. Ogle (미국), and Louis V. Verchot (ICRAF/미국)
Mariko Handa (일본) and Atsushi Tsunekawa (일본)

목 차

8 주거지.....8.5
8.1 서론.....8.5
8.2 주거지로 유지되는 주거지.....8.6
8.2.1 바이오매스.....8.7
8.2.1.1 방법의 선택.....8.7
8.2.1.2 배출/흡수 계수의 선택.....8.9
8.2.1.3. 활동자료의 선택.....8.12
8.2.1.4 불확도 평가.....8.14
8.2.2 고사 유기물.....8.15
8.2.2.1 방법의 선택.....8.15
8.2.2.2 배출/흡수 계수의 선택.....8.16
8.2.2.3. 활동자료의 선택.....8.17
8.2.2.4 불확도 평가.....8.18
8.2.3 토양탄소.....8.18
8.2.3.1 방법의 선택.....8.19
8.2.3.2 축적량의 변화와 배출계수의 선택.....8.20
8.2.3.3 활동자료의 선택.....8.20
8.2.3.4 불확도 평가.....8.21
8.3 주거지에서 전환된 토지.....8.22
8.3.1 바이오매스.....8.23
8.3.1.1 방법의 선택.....8.23
8.3.1.2 배출/흡수 계수의 선택.....8.24
8.3.1.3 활동자료의 선택.....8.24
8.3.1.4 불확도 평가.....8.26
8.3.2 고사 유기물.....8.26
8.3.2.1 방법의 선택.....8.26
8.3.2.2 배출/흡수 계수의 선택.....8.27
8.3.2.3 활동자료의 선택.....8.28
8.3.2.4 불확도 평가.....8.30
8.3.3 토양탄소.....8.30

8.3.3.1 방법의 선택.....8.30
8.3.3.2 축적량의 변화와 배출계수의 선택.....8.31
8.3.3.3 활동자료의 선택.....8.32
8.3.3.4 불확도 평가.....8.33
8.4 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고.....8.33
8.4.1 완전성.....8.33
8.4.2 일관성 있는 시계열 개발.....8.34
8.4.3 인벤토리의 품질보증/품질관리.....8.34
8.4.4 보고와 기록.....8.34
8.5 미래 방법의 개발기준.....8.35
참고문헌.....8.37

식

식 8.1 주거지로 유지되는 주거지 안의 바이오매스 저장고 내의 연간 탄소 변화.....8.7
식 8.2 수관면적의 총합에 근거한 연간 바이오매스 증가량.....8.8
식 8.3 단일개체 수목을 기준으로 연간 바이오매스 성장률.....8.8

표

표 8.1 도시의 수관의 성장률에 대한 Tier 2a의 수관면적 기준값.....8.11
표 8.2 수종에 의한 도시 내의 나무 한 그루당 Tier2 b의 연평균 탄소 축적량 기본값.....8.11
표 8.3 식생이 덮인 비율에 대한 잠재적인 자연식생(PNV) (Kuchiler, 1969)의 유형별 기본 활동자료.....8.13
표 8.4 주거지에서 전환된 토지에서 흡수된 바이오매스의 탄소 축적량 기본값.....8.24

8 주거지

8.1 서론

본 장에서는 주거지로 분류된 토지의 탄소축적변화량, 바이오매스의 변화 및 고사 유기물(DOM)과 연관되는 온실가스 배출 및 흡수기작, 토양탄소를 평가하기 위한 방법론을 제공한다. 주거지는 토지자체가 이미 다른 토지이용 범위에 포함된 상태라도 크기에 제약 없이 사회의 기본 제반시설 다시 말하면, 주거, 교통, 상업, 생산(상업, 제조) 등을 목적으로 개발된 토지로 3장에서 정의한바 있다. 토지이용 카테고리에서 주거지는 토양, 잔디나 정원수와 같은 초본류 및 다년생 식물, 전원지역에서 볼 수 있는 교목, 주택정원, 도시지역을 모두 포함한다. 예를 들어, 주거지는 길가부지, 주거지역(전원 및 도시), 상업적인 목적으로 깔아놓은 잔디, 공적 및 사적인 정원, 골프 코스, 운동을 위한 부지, 공원을 모두 포함하며, 어떤 토지이용 카테고리에도 포함되지 않는 특별지구, 마을 등의 토지와 관련하여 기능적으로 때로는 행정상의 토지를 포함한다. 3장에서 살펴본 6개 토지이용 카테고리의 정의와 보고 된 지침을 살펴 보기 바란다.

지구상 육지면적의 약2%는 도시이며, 30억 이상의 인구와 주거가 포함되어 있다. 전 세계 인구의 반 이상이 도시에 살고 있으며, 이 수는 50년 안에 두 배가 될 것이라 추정 한다 (Crane and Kinzig, 2005). 인구밀도 및 경계선을 기준으로 도시로 분류된 지역들은 앞서 서술한 기준을 이용하여 주거지로서 분류될 수 있다. 밀도가 낮은 주거지들은 행정적으로 정의된 도시의 경계의 범위를 넘어 확장할 수 있으며, 많은 지역들이 빠른 속도로 확장되고 있다 (Elvidge *et al.*, 2004; Gallo *et al.*, 2004; Theobald, 2004). 원래 전원지역이었던 공간 내에서 심지어 토지이용의 측면에서 빠르게 변하지 않는다 할지라도 주거적 이용으로 정해진 토지는 경관의 중요한 부분이 될 수 있다. 원래는 주거지였던 곳이 산림, 농경지, 초지 등으로의 변화는 탄소의 축적과 흐름에 중요한 영향을 끼칠 수 있다 (Imhoff *et al.*, 2000; Milesi *et al.*, 2003).

주거지에서의 식생을 경작하는 것은 득이 될 수도 있고 실이 될 수도 있으며 상대적으로 탄소의 변형을 야기할 수 있다. 예들 들어, 가지치기나 잔디를 깎으면서(바이오매스의 손실) 잘려져 나간 잎이나 가지들은 바닥에 남겨지거나 (부엽토로 변형), 고체쓰레기로의 폐기되거나 (폐기물로 변형) 소각 (배출) 될 수 있다. 관련된 온실가스 배출은 현재 지침의 적절한 부분에서 다루어 진다. 예를 들어 제2장 5단락(폐기물) 표2.3은 국가적 단위에서 자치도시의 고형폐기물의 처리흐름을 묘사함에 있어 국가단위의 통계에서 나무/뜰 폐기물을 포함한다. 주거지 내의 나무로부터 땔감을 위해 흡수된 바이오매스와 연료로서의 이용된 것은 에너지 부문에서 설명된다. 증가에 따른 변환 및 관리의 그물 효과는 반면 연소 및 부식으로 손실이 있을 수 있고 또 다른 한편으로는 주거지 내의 전체 탄소(C) 수지를 결정한다.

주거지에 남아있는 토양과 고사 유기물 또는 주거지에서 변형된 토지는 이산화탄소의 흡수원일지도 모르며, 이것은 초기 토지이용, 표층의 상태, 개발, 현 관리, 특히 영양분과 물의 이용, 길, 건물 및 관련된 제반시설에 산재되어 있는 식생의 타입과 그 양 따라 좌우된다(Goldman *et al.*, 1995; Jo, 2002; Pouyat *et al.*, 2002; Qian and Follett, 2002; Kaye *et al.*, 2004; Kaye *et al.*, 2005).

*1996 가이드라인*은 전원지역의 주거지에 서식하는 수목의 지상부분의 바이오매스를 보완하였다.

*2006 가이드라인*은 *GPG-LULUCF* 내에서 앞의 지침들과는 다르며 그 내용은 다음과 같다.

- 검토 및 세부 방법론들이 본문에서 부록으로 이동되었으며, 온실가스 배출의 원천 및 흡수 영역으로 고려되었다.
- 검토 및 방법론들이 제1장에서 묘사된 다섯 개의 바이오매스 저장고를 포함하여 확장되어 왔다.
- Tier 1의 기본방법들이 제시 된다;
- Tier 2,3을 위한 적절한 부가자료는 *GPG-LULUCF*와 여기 포함된 이래로 공시되어 왔다.
- 개발에 대한 확장된 검토와 국가 고유 Tier 2와 Tier 3 방법론 및 계수를 적용하는 것이 포함되어야 하며, 더 구체화된 활동자료도 함께 포함된다.

주거지에서 추정된 탄소 풀(pools)은 지상 및 지하 바이오매스, DOM, 토양이다. 8.2, 8.3절은 각각 주거지로 유지되는 주거지를 위한 탄소(C) 축적변화량을 추정하며, 주거지로 전환된 토지의 탄소 축적량을 추정하는 방법을 설명한다. 두 번째 절의 방법론은 어떤 타입의 토지이든 주거지*로 전환된 토지*에 넓게 적용될 수 있다.

8.2 주거지로 유지되는 주거지

이 절에서는 최종 수집 자료를 토대로 주거지로 이용되어져 온(예, 도시 내의 공공 및 사적부지, 마을, 다른 주거지의 형태) 전원 구성의 모든 종류를 언급한다. 이 단원에서 이산화탄소의 배출 및 흡수기작은 바이오매스 (목본류 및 다년생 식물로 구성)의 탄소축적량 변화, 2장의 2.3식에서 요약된 DOM, 토양의 하위카테고리에 의해 평가된다.

주거지 내에서의 바이오매스 저장고는 목본류 및 초본류로 구성된다. 목본류의 바이오매스를 위해 탄소축적량의 변화는 관리활동으로 인한 바이오매스의 증감의 다름에 따라 계산된다. 주거지로 유지되는 주거지 안의 초본류(잔디 및 정원식물)의 바이오매스를 위해 바이오매스의 탄소축적량은 일반적으로 0으로 가정될 수 있다.

주거지 내의 DOM 저장고는 목본류 및 초본류에서 유래한 죽은 나무, 리터 등을 포함한다. 목본 식생을 위해 저장고내의 변화는 수목으로부터 굵은 또는 미세한 낙엽층이 생산되는 정도로 측정될 수 있다. 초본류에서는 연간 DOM 생산량은 갈(thatch)의 축적으로 추정되며 가지치기 등으로 나온 정원 쓰레기의 생산량으로 계산 할 수 있다. 쓰레기와 관련된 온실가스의 배출은 제5권 (제5권 : 폐기물)에서 평가되고 그 결과 이 장에서의 방법들은 연생산량만 설명하며 현장에서 합리적으로 예측할 수 있다.

토양의 탄소(C) 저장고는 낙엽층과 유기물의 다른 형태로부터 유입된 탄소(C)의 균형에 따라 시간이 변하며, 탄소(C) 유출은 분해 및 침식, 침출로 발생된다. 토양의 탄소(C) 함량에 따른 주거지 관리에 미치는 영향을 평가하는 것은 도시, 마을 내 토지의 큰 비중을 차지하거나 높은 비율의 주거지 확장과 함께 국가 내에서 특히 중요해질 것이다. 무기토양에서 토양 내 탄소(C) 함유량이 주거지의 토지이용 및 관리에 미치는 영향은 자연지역 같은 대조군의 상태와 비교해 볼 때 주거지 피복분류 간의 축적량의 차이로 측정 될 수 있다. 일반적으로 주거지에서 유기토양이 적음에도 불구하고 높은 분해율로 배수(drain)될 때 탄소가 이러한 토양으로부터 배출된다. 농업의 목적으로 배수를 하는 것도 이와 유사한 원리이다(Armentano, 1986). 부가하여 이탄은 주거지를 개발하는 동안 유기토양으로부터 생성되며 이것은 또한 대기 중으로 배출될 것이다.

8.2.1 바이오매스

8.2.1.1 방법의 선택

주거지로 유지되는 주거지 안의 탄소축적변화량의 추정은 제2장의 식2.7을 따른다. 이 방법은 가지치기나 고사 등의 결과로 탄소축적량의 손실정도를 계산함으로서 그 변화를 예측하는 방법이다. 이 방법은 증가 및 감소의 상대적 정도에 따라 좌우되며 주거지 내의 탄소축적량의 연평균변화가 음이 될 수도 있고 양이 될 수도 있다.

주거지로 유지되는 주거지 안의 바이오매스는 다음 세 부분의 바이오매스변화량의 합이다.: 식8.1에서 설명한 수목, 관목, 초본식생(예, 잔디 및 정원 식물)이다.

식 8.1
주거지로 유지되는 주거지 안의 바이오매스 저장고 내의 연간 탄소 변화

$$\triangle C_B = \triangle C_{Trees} + \triangle C_{Shrubs} + \triangle C_{Herbs}$$

여기서:

$\triangle C_B$ = 주거지로 유지되는 주거지 안의 바이오매스의 증가로 축적된 연간 탄소량, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_{Trees}$ = 주거지로 유지되는 주거지 안의 수목의 증가로 축적된 연간 탄소량, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_{Shrubs}$ = 주거지로 유지되는 주거지 안의 관목의 증가로 축적된 연간 탄소량, 톤 C yr^{-1}

$\triangle C_{Herbs}$ = 주거지로 유지되는 주거지 안의 초본식생의 증가로 축적된 연간 탄소량, 톤 C yr^{-1}

적절한 활동자료 및 배출계수의 유효성에 따라 여러 가지 방법을 아래와 같이 이용할 수 있다. 2장의 그림 2.2 또한 바이오매스 내의 탄소의 변화를 추정하기 위해 적절한 Tier를 증명하기 위한 지침을 제공한다.

Tier 1

Tier 1은 주거지로 유지되는 주거지 안의 살아있는 바이오매스내의 탄소축적에 변화가 없다고 가정한다. 만약 주거지로 유지되는 주거지 안의 카테고리가 중요한 카테고리로 정해진다면 국가는 적절한 활동자료를 수집해야 하며, 그 지역에 적절한 배출계수를 개발시켜야 하며 Tier 1이나 Tier 2를 선택해야 한다.

Tier 2

주거지로 유지되는 주거지 안의 바이오매스의 변화를 평가하기 위해 Tier 2에는 두 가지 선택사항이 있다. Tier 2a는 흡수인자로 그 지역의 덮인 식생의 구역 단위마다 탄소축적변화량을 이용한다. Tier 2b는 흡수인자로 식물의 개체 단위마다 탄소(C) 축적변화량을 이용한다. 방법의 선택은 활동자료의 유효성에 좌우될 것이다. Tier 2a와 Tier 2b는 식2.7 (획득-손실 방법)의 $\triangle C_G$를 추정하기 위한 방법을 제공한다.

주요 식생타입은 수목, 관목, 초본류(잔디나 정원식물)이다. 여기에 소개된 방법들은 주거지로 유

지되는 주거지에서 연간 초본류 바이오매스의 변화량(다년식생 및 일년생 초본류)을 0으로 둔다. 초본 바이오매스의 생장은 식생의 번성 및 사망률로부터 손실이 같다. 국가는 적절한 수목을 선정하기위해 선택할 수 있으며, 각 타입은 종, 기후대, 계절에 따라 분류되어 질 수 있거나 만약 유용한 데이터가 존재한다면 적절한 다른 기준을 선택할 수도 있다.

Tier 2a : 수관면적방법 (Crown cover area method)

식 8.2는 수관면적법을 설명한다. 이 식은 수관면적의 유용한 총합 자료가 존재 시 이용할 수 있다. (j) 분류(class), (i) 주거지*로 유지되는 주거지*

식 8.2
수관면적의 총합에 근거한 연간 바이오매스 증가량

$$\Delta C_G = \sum_{i,j} AT_{i,j} \bullet CRW_{i,j}$$

여기서:

$\triangle C_G$ = 주거지로 유지되는 주거지의 바이오매스 증가량에 기인한 연간 탄소축적량, 톤 C yr^{-1}

$AT_{i,j}$ = 다년생[1] 수목타입(j)의 class I의 총 수관면적, ha

$CRW_{i,j}$ = 다년생수목타입(j)의 class I의 생장비율에 근거한 수관면적,톤 C(ha 수관)$^{-1}$ yr^{-1}

Tier 2b : 단일개체성장방법 (Individual plant[2] growth method)

다음 식8.3은 이용 가능한 주거지로 유지되는 주거지 안의 넓은 분포종들 중에서 목본류(woody plant)의 수 데이터가 있을 때 이용할 수 있는 방법이다. 전원지역내의 단일개체수목이 성장 후 수관범위가 약 50m^2라고 가정했을 때, Tier2a 와 2b로 이용된 방법으로 전환된 수목을 위한 추정이 가능하다 (cf. Akbari, 2002).

식 8.3
단일개체 수목을 기준으로 연간 바이오매스 성장률

$$\Delta C_G = \sum_{i,j} NT_{i,j} \bullet C_{i,j}$$

여기서:

$\triangle C_G$ = 주거지로 유지되는 주거지 안의 생 바이오매스의 증가에 기인한 연간 탄소 축적율, 톤 C yr^{-1}

$NT_{i,j}$ = 다년생 타입(j)내의 개별종 개체수(i)

$C_{i,j}$ = 다년생 타입(j)에 대한 연평균탄소축적률, 톤 C yr^{-1} / 개체 당

1 다년생 수목에 대한 인용값은 별도로 명시된 것이 없으면 임목을 포함한다.

2 초본류에 대한 인용값은 별도로 명시된 것이 없으면 임목을 포함한다.

Tier 3

Tier 3은 공원, 전원지대, 도시주거지역, 도로 등 다른 주거지 형태를 위한 분해된 정도의 요인을 더 자세한 측정을 위해 위의 방법(식 8.2, 8.3)들 및 Tier 2 방법을 근거로 접근하거나 식2.8을 근거로 접근할 수 있다. 탄소축적변화량은 두 점으로 측정되며 증감여부를 설명한다. 이 방법을 위한 일반적 접근법을 산림특이적 바이오매스 확장 (Forest-specific biomass expansion; BEFs)라 지칭하며, 주거지에는 적용되지 않는다. 주거지로 유지되는 주거지 안의 바이오매스의 변화를 추정하기 위해 비축차 방법(stock difference method)을 이용하기를 원하는 국가들은 흉고(breast height)에서의 개체의 수목 둘레를 근거로 식물의 상대성장을 측정하는 방법(allometric method)을 고려해야 하는데(Jenkins *et al*., 2004), 이는 위에서 설명한 바와 같이 열린 공간에서 성장하는 나무에 적절하게 조정된 것이어야 한다. 이러한 방법은 수목의 바이오매스를 평가하기 위한 산림특이적 BEFs보다 나은 방법이다.

8.2.1.2 배출/흡수 계수의 선택

도시에 성장하는 수목 및 관목에 적용되도록 만들어진 식물의 상대성장식이 별로 없다 (Nowak, 1996; Jo, 2002). 따라서 연구자들은 산림 내 임목을 위해 만들어진 식을 적용해 왔으며, 일반적으로 지름이 산림에서 성장하는 임목보다 낮은 지상부바이오매스가 존재하는 도시 내 임목의 상대성장을 고려할 목적으로 계수 (0.80, [Nowak, 1994; Nowak and Crane, 2002])를 이용해 바이오매스 결과를 조정 한다 (Nowak, 1996). 몇몇 관목 종을 위해 상대성장을 측정하는 식이 존재하지만 도시에 흔히 적용되진 않았다(Smith and Brand, 1983; Nowak et al., 2002 초지의 잎 생체량 추정). 수목의 지하부 바이오매스는 Cairns *et al*(1997)에 의해 정의되고, Nowak *et al*(2002)에 의해 도시에 적용된 바와 같이 지상부 바이오매스에 뿌리-지상부 비 (Root-shoot ratio)를 곱하여 산출할 수 있다. 예를 들어 제4장(임지)을 보면 뿌리:지상부(R)(지상부 바이오매스에 대한 지하부 바이오매스의 비로도 불린다.)은 산림을 구성할 때 종종 이용된다. 관심지대의 적절한 뿌리-지상부 비는 주거지의 변형 없이 적용됨을 가정할 수 있다.

주거지에서 수목의 성장과 죽음은 지역의 공기질, 대기강하, 대기 내 이산화탄소의 증가, 불침투성 포장 지표에 의한 근권(root zone)의 공기투과의 감소와 같은 도시의 상태에 의해 영향을 받을 수 있다(예, Pouyat *et al*., 1995; Idso *et al*., 1998; Idso *et al*., 2001; Gregg *et al*., 2003; Pouyat and Carreiro, 2003). 그러므로 그 가치와 식은 알맞은 범위에서 주변 환경과 수목의 상태를 고려하여 주거지 내의 수목의 성장률을 예견하곤 하였다.

나무가 우거진 곳에서의 축적된 탄소(C)는 입목 바이오매스의 저장고로서 주거지 내의 연간 바이오매스 증가 정도로 볼 때 가장 큰 부분을 차지한다. 하지만 그 유효성이 증가하고 있는 반면 자료가 희박한 실정이다. 예를 들어 Nowak and Crane(2002)는 미국과 경계부분에 있는 도시들 내의 수목의 순 연간 탄소 저장능이 600～32,200 톤 C yr^{-1} 범위에 있다고 추정하였다. Jo(2002)는 한국의 3개의 도시의 연간 탄소처리의 양이 2,900～40,300 톤의 범위에 있다는 것을 알아냈다. Brack(2002)은 오스트레일리아 켄버라에서 수목에 의한 탄소처리의 양이 2008년에서 2012년 사이에 6000 톤 C yr^{-1}에 달할 것이라고 추정했다.

미국 내 10개 도시의 산림 바이오매스의 탄소축적량을 측정결과 150 ～ 940kgC $ha^{-1}yr^{-1}$의 범위로 나왔으며 (Nowak and Crane, 2002) 한국에서 세 도시의 산림 바이오매스 내의 연간 탄소저장능

이 530 ~ 800kgC $ha^{-1}yr^{-1}$범위로 측정되었다(Jo, 2002). 미국 콜로라도 내의 도시의 잔디 내에 있는 수목은 1,590kgC $ha^{-1}yr^{-1}$의 탄소를 저장하였다 (Kaye *et al.*, 2005). 수관면적 단위당 연간 탄소 축적량을 평가함에 약간의 오차는 여전히 존재한다. Nowak and Crane(2002)는 0.12 ~ 0.26 kg C m^{-2} 수관 yr^{-1}범위 내에서 연간 탄소가 처리된다는 것을 밝혔다. 반면 Brack(2002)는 켄버라에서 연간 탄소(C) 처리능을 추정하기 위해 모델을 이용하여 2008년에서 2012년 사이에 0.27 kg C ha^{-1} yr^{-1}이 될 것이라 추정했다.

Tier 1

이 방법은 바이오매스의 성장에 기인하여 탄소축적변화량은 살아있거나 장작, 부러진 가지 들 죽은 바이오매스가 흡수(예. 수확, 가지치기)되면서 탄소저장능이 감소되어 완전히 상쇄된다고 가정한다. 그러므로 Tier 1에서 $\triangle C_G = \triangle C_L$ 이 되며, 식 2.7에서 $\triangle C_B = 0$이다.

Tier 2

임목들

Tier 2는 CRW_{ij} (식 8.2)와 C_{ij} (식 8.3)을 위한 변수값으로 불린다. 수목의 바이오매스를 위해 흡수 인자의 기준값은 일반적으로 2.9 톤 C (수관부 ha)$^{-1}$$yr^{-1}$로 Tier 2a(표8.1)에 적합하다. 이것은 10개의 미국 내 도시들의 표본을 기준으로 평가되며, 일반적으로 1.8~3.4 톤 C (ha 수관)$^{-1}$ yr^{-1} 의 범위의 값을 가진다 (Nowak and Crane, 2002). 국가의 환경에 적합한 값이 또한 개발될 수 있다. Tier 2b를 이용하면 흡수계수는 C_{ij}이다. 표8.2는 Tier 2b에서 이용한 수종의 종류를 위해 탄소축적비의 기준값을 제공한다. 이것은 식물의 상대성장을 측정하는 식과 미국의 도시지역으로부터 얻은 한정된 야외 조사 자료를 근거로 추정하며, 이것은 단지 다 자란 나무 뿐 아니라 모든 크기의 수목에 대한 평균값이다. Tier 2a와 2b 방법으로 수목의 지상부와 지하부의 총 결합된 바이오매스 양을 측정할 수 있다. 지하부의 바이오매스를 얻으려면 뿌리:지상부 즉 0.26을 이용하여 개별적으로 추정할 수 있다(Nowak *et al.*, 2002).

Tier 2a와 2b를 위해 수목군락의 평균 수명이 20년보다 적거나 같으면 0으로 $\triangle C_L$값을 고정하기로 한다. 이것은 도시의 수목이 약20년의 활발한 생장기간 (active growing period; AGP)을 가질 때 탄소의 순 흡수원이 된다는 가정을 근간으로 하며, 수종, 식생밀도, 지역에 따라 달라진다. 이에 따라, 이 방법은 바이오매스 내의 탄소(C) 축적율이 수명에 따라 느려질 수 있다는 것을 가정하며, 그러므로 AGP보다 수명이 긴 수목의 경우 바이오매스 내의 탄소의 생산이 가지치기나 수목의 고사 등으로 상쇄되는 것으로 추정된다. AGP보다 수명이 긴 수목들은 $\triangle C_{G_{wood}} = \triangle C_{L_{wood}}$ 에 의해 조심스럽게 예측해 볼 수 있다. 국가들은 주변 환경에 따라 AGP를 규정할 수 있다.

이 밖의 다년생 수목 유형

국가들은 어떤 다년생 수목이라도 그들만의 $CRW_{i,j}$(식8.2) 및 $C_{i,j}$(식8.3)값을 개발할 수 있다. 이러한 구성요소(즉, $CRW_{ij} = 0$, $C_{ij} = 0$)의 어떤 변화도 없이 이 하나의 가설은 적용될 수 있다.

Tiers 2a와 2b는 둘 다 초본류의 바이오매스가 변하지 않는다고 가정한다. 이 방법을 이용하여, $\triangle C_{GHerbs} = \triangle C_{LHerbs}$, $\triangle C_B$는 목본류의 바이오매스 증감의 차이만 근간으로 한다.

Tier 3

Tier 3을 위해 국가들은 식생의 타입에 따른 바이오매스를 증가시키는 국가 환경에 적합한 요소를 개발해야 한다. 국가고유의 변수와 생물의 성장율에 관한 식은 그 국가의 기후대와 국가 내 주요 거주 지역에 서식하는 고유종을 근간으로 하여야 한다. 만약 국가고유 바이오매스 증가계수가 건

조된 성분만으로 바이오매스를 평가하여 발생되었다면 0.5 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$인 기준치 탄소부분(carbon fraction)값이나 환경에 더욱 적합한 탄소(C) 분율값을 이용하여 탄소(C) 단위의 전환이 요구된다.

고차의 Tier를 근거로 $\triangle C_L$ 은 국가 환경에 더 적합한 값을 위해 평가되고 수정되어져야 한다. 예를 들어, 국가들은 수명에 관한 자료 뿐 아니라 어떤 특정종의 탄소가 주거지역 수목 내에서 감소된다는 자료를 가질 수도 있다. 이러한 경우에서 국가들은 기간을 줄이고 그것의 개발을 위해 이용된 원리와 수단을 개발해야 한다.

만약 국가가 비축차 방법 (식2.8)을 수용한다면, 대표할만한 표본과 바이오매스내의 탄소(C) 축적량의 변화를 평가하기 위해 주기적인 측정법이 있어야 한다.

표 8.1
도시의 수관의 성장률에 대한 Tier 2a의 수관면적 기준값

지역	수관면적에 대한 연간 탄소 축적율 기준값 [톤 C (ha crown cover)$^{-1}$yr^{-1}
미국 (포괄적 기준)	2.9[a]
오스트레일리아	3.6[b]

[a] Nowak and Crane 2002, 미국 10개 도시의 평균
[b] Brack 2002; 컨버라에서의 모델링 분석

표 8.2
수종에 의한 도시 내의 나무 한 그루당 Tier 2b의 연평균 탄소 축적량 기본값

광범위한 식생종의 분류	나무 한 그루당 연평균 탄소축적량 기본값 (톤 C yr^{-1})
미루나무(Aspen)	0.0096
연단풍나무(Soft maple)	0.0118
혼합 활엽수(Mixed hardwood)	0.0100
활엽단풍나무(Hardwood maple)	0.0142
곱향나무(Juniper)	0.0033
삼나무/낙엽송(Cedar/larch)	0.0072
미송(Douglas fir)	0.0122
젓나무/햄락(True fir/Hemlock)	0.0104
소나무(Pine)	0.0087
가문비나무(Spruce)	0.0092

출처 : D. Nowak (2002; 개인 교신)

8.2.1.3. 활동자료의 선택

Tier1

어떤 활동자료도 필요하지 않다.

Tier2

Tier 2의 방법 수행에 필요한 활동자료는 다년생 (식8.2) 내의 각각의 종을 위한 수관면적 $AT_{i,j}$ 또는 개별 식생의 종수 $NT_{i,j}$ 이다. 수관면적은 자연적으로 잎이 퍼진 정도의 가장 외곽부분을 위에서 바라보았을 때 지상에 덮인 정도로 정의된다. Tier 2a를 위해 수관면적 자료($AT_{i,j}$)는 도시지역의 항공사진으로부터 얻을 수 있으며, 사진해설, 이미지 추출, 면적측정에 관한 전문가적 지식이 이용가능하다. 수관면적 값은 외곽선 내의 식생(목본 및 관목)의 총면적을 위해 수관의 비율을 배가시키는 방법인 식8.2를 이용을 위해 총 수관면적으로 전환되어야 한다.

만약 자료가 수관면적비를 결정하기에 용이하지 않다면 기준치 활동자료를 이용할 수 있다. 이 접근법은 다른 생물권 내에서 발견된 주거지에 유리하며, 잠재력 있는 자연식생 또는 PNV에 의해 한정된다(Kuchler, 1969). 이 기준이 되는 활동자료는 수관비, 총 녹지대, 차양 녹지대(canopy greenspace)값과 유사한 값을 가지는 것으로 보고 되었다 (Nowak *et al.*, 1996)(표 8.3). 예를 들어, PNV가 산림인 지역에서 발견된 주거지에서 PNV가 사막인 지역에서 발견된 주거지 보다 수관비율이 실질상 높게 나타났다(표8.3). 표8.3에서 총 녹지대가 차지하는 비율은 식생과 토양으로 덮인 육지면적의 비율이다 (즉, 불투성 지표 및 수원은 아니다). 그리고 차양녹지대(canopy greenspace)는 수목으로 덮여지는(총 녹지대면적에 대한 차양된 부분에 대한 비로 계산된다) 녹지대의 비율이다. 수관으로 덮인 부분에 대한 기준치는 주거지역을 곱해서 계산해야 하며, 식8.2의 간단한 버전인 표8.1의 기준치 성장률과 함께 이용되어져야 하며, 이를 통해 수목의 연간 타입에 따른 연간 탄소축적율을 평가할 수 있다. 표8.3은 총 녹지대비율 및 차양녹지대비율 자료의 경우 Tier 2 접근법으로 바이오매스 탄소저장능을 평가할 때는 필요치 않지만, 검증에는 유용할 수 있다.

Tier 2b를 위해 식물군락자료 및 광범위한 식물 종의 분류자료를 그 도시의 식생을 다루는 자치단체로부터 구할 수도 있고 표본채취방법을 이용할 수도 있다.

Tier3

Tier 3에 의하면 수집된 활동자료의 타입은 어떤 방법론적 접근을 하냐에 따라 다르다. 만약 비축차 방법을 이용한다면, 다른 기후, 경제발전지표에 대한 원격탐사기술을 이용하여 식생타입이 다른 지역(공원, 전원지대, 도시 주거지, 도로, 운동장 등)을 분석하고 평가할 필요가 있다. 높은 Tier가 이용될수록 더 분해가 세분화 될수록, 활동자료가 될 것이며, 더 세밀한 분석법이 될 것이다. 이를 위해 제3장, 별첨 3A.3에서 언급한 지역 표본법(sampling method)이 이용될 수 있다.

표 8.3
식생이 덮인 비율에 대한 잠재적인 자연식생(PNV) (Kuchiler, 1969)의 유형별 기본 활동자료

잠재적인 자연식생(PNV)	수목이 덮인 비율 (±S.E.)	총 녹지대 비율 (±S.E.)	차양녹지대의 비율 (±S.E.)
산림	31.1(±2.6)	58.4(±2.9)	50.9(±3.3)
초지	18.9(±1.5)	54.8(±2.1)	32.9(±2.3)
사막	9.9(±2.4)	64.8(±4.2)	16.9(±4.6)
출처 : Nowak *et al.* (1996)			

바이오매스 저장량의 변화를 평가하기 위한 방법의 단계별 요약

Tier 1

Tier 1 방법론은 주거지 내의 주거지 안의 바이오매스 탄소축적변화율 없다고 가정한다.

Tier 2

방법 A: 수관면적방법(Crown cover area method)

단계 1 : 주거지 내의 다년목본 종류에 따른 각각의 수관면적의 총합을 구한다. 만약 모든 종류에 대해 자료가 이용가능하지 않다면, 수목만 적용할 수 있고, 다른 종류는 0으로 처리한다. 수목이 덮인 정도에 대한 기준치 활동자료는 표 8.3을 이용하여 적용될 수 있다. 예를 들어 PNV가 초지인 지역에서의 주거지를 위한 총 수관면적을 평가하기 위해 주거지의 총 토지면적의 18.9%를 배가시킨다. 이것은 표 8.3에서 나온 PNV가 초지인 지역 내의 주거지를 위한 평균 수관비이다. 수목을 포함한 전 식생의 총 수관면적은 (총 녹지면적 = 녹지면적비 × 저주지면적) 으로 계산되며, 다른 다년식생종류의 분산된 수관은 총 녹지면적과 수관면적의 차이로 계산된다.

단계2 : 식 8.2를 이용하여 다년식생의 각 유형에 따른 $\triangle C_G$를 계산한다. 단계 1에서 얻은 수관면적값은 다년생 수목의 타입을 위해 이용되어야 한다. 국가들은 표 8.1로부터 수목을 위한 CRW의 기준값을 적용할 수 있으며, 국가 고유의 $CRW_{i,j}$ 값을 개발 적용해야 한다. 기준값은 식생의 구성을 위한 CRW만 이용가능하다. 만약 다년식생타입별 CRW값이 존재하지 않고 개발될 수조차 없다면, 또는 이러한 타입에 대한 활동자료가 존재하지 않는다면 0값으로 둘 수 있으며, 바이오매스 성장에 대한 수목성분만 평가된다.

단계 3 : 제2장의 식 2.7을 이용하여 식생구성을 위한 $\triangle C_L$을 계산한다. 식생의 수목구성을 위해 군락의 평균수명이 활발성장기간(AGP; 단락8.2.1.2)보다 적거나 같을 때 이 값을 0으로 두는 것이 좋다. 만약 수목의 평균수명이 AGP보다 길면, $\triangle C_G = \triangle C_L$ 로 가정하거나 상황에 따른 자료를 이용한다. 국가에서 자료가 부재 시 관목과 초본류를 위한 $\triangle C_G = \triangle C_L$를 가정한다.

단계 4 : 주거지*로 유지되는 주거지*에서 바이오매스의 탄소(C) 총 변화율을 정량화하기 위해 제2장의 식2.7에서 $\triangle C_G$ 및 $\triangle C_L$값을 이용한다.

방법 B: 개별 식생의 성장방법 (Individual plant growth method)

단계 1 : 각 다년생 식생 유형별 (예. 수목, 관목, 초본) 주거지*로 유지되는 주거지* 안의 식생 수를 추정한다. 만약 모든 타입에 대한 자료가 이용가능하다면 최소한의 접근법으로 수목자료만 이용한다. 다른 다년생 식생의 수는 0으로 둔다. 이 방법에는 고정된 활동자료 값이 없다.

단계 2 : 매년 고립된 탄소(C)의 양을 추정하기 위해 식 8.3을 이용 식물(C_{ij})당 탄소(C) 증가의 적절한 비율을 곱해준다. 수목에 대한 기준값 C_{ij}는 표 8.2에서 찾을 수 있으며, 관목 및 초본 종을 위한 기준값은 존재하지 않는다. 국가는 만약 그 값이 타당하다면 선택할 수 있으며, 그렇지 않을 시 빠진 값을 0으로 두고 수목에 대한 추정만 제공한다.

단계 3 : 식 8.2에서 탄소의 총합 $\triangle C_G$ 는 주거지*로 유지되는 주거지* 안에 존재하는 모든 종의 각 다년생 수목 유형별로 격리되었다.

단계 4 : 바이오매스 내의 탄소(C) 저장량의 연간 변화를 평가하기 위해 제2장의 식 2.7 내의 $\triangle C_G$의 추정값을 이용한다. 수목에서 수목개체의 평균수명이 활발성장기간(AGP)보다 적거나 같으면 $\triangle C_L$ = 0으로 두며, 수목의 평균수명이 AGP (8.2.1.2절)보다 크면 $\triangle C_G$ = $\triangle C_L$ 로 가정하거나 상황에 따른 자료를 이용한다.

Tier 3

Tier 3 방법은 다음과 같이 Tier 2 방법 보다 더 상세한 정보를 요구 한다:

- 주거지(주거적, 여가적, 산업적 등) 내의 다른 토지이용
- 가장 중요한 식생종의 성장과 수명에 대한 자세한 평가와 모델
- 가지치기되거나 고사목 및 DOM 저장고에서 양도된 다른 바이오매스의 운명
- 국가 환경에 적합한 다른 항목들

8.2.1.4 불확도 평가

Tier 1

불확도의 평가는 요구되지 않는다. 그 이유는 살아있는 바이오매스의 변화를 0으로 두기 때문이다.

Tier 2와 3

살아있는 바이오매스 내의 탄소축적변화율의 어떠한 평가에 대한 전반적인 불확도는 그 자체의 구성기간의 개별적 불확도의 합이 될 것이다. 이것은 도시타입별 토지이용 범위 내 그리고 공공 및 사적인 공간 내에 서식하는 식생의 지위의 강도 및 빈도의 이질성에 영향을 받을 것이다. 불확도는 도시 및 전원지역의 주거지에서 탄소축적변화율을 측정함에 있어 한정된 경험으로부터 높아

질 것이다. 몇몇 연구들은 방법과 견해를 달리하여 도시들의 탄소(C) 흡수원을 측정했지만 전반적인 탄소축적변화율의 측정의 불확도가 평균치에 대해 30-50% 보다 덜 나올 일은 없을 것이다.

8.2.2 고사 유기물

대부분의 탄소축적변화율은 고사 유기물(DOM)과 연관이 있으며 이것은 주거지 내의 식생범위의 변화와도 관련이 될 것이다. 방법들은 두 타입의 DOM 저장고를 위해 제공되었다: 1) 고사목 2) 낙엽층. 이 단원의 첫 장은 이러한 저장고의 세부적인 정의를 제공한다.

고사목은 야외에서 측정하고 낙엽층의 전환, 토양, 대기로의 배출과 관련하여 불확도 측정하기 위한 많은 실질적인 문제를 가지고 있는 다양한 저장고다. 고사목의 양은 최종 교란, 교란 시 유입된 양, 자연사망률, 부패속도, 관리에 따라 달라진다.

낙엽층 축적은 연간 낙엽량과 상관관계가 있으며, 이것은 모든 잎, 잔가지 및 과실, 꽃, 나무껍질까지 포함하고 여기에 연간 분해율을 빼준다. 낙엽층의 양은 마지막으로 교란된 시점과 교란의 종류에 영향을 받는다. 수목과 초본류 채취, 화재, 방목초지 등은 낙엽층의 구성성분을 급격하게 바꿔버린다. 그러나 그 영향을 명백히 밝힌 연구는 거의 드물다.

다년초본식생군락에서 잔디는 토양의 표층의 얇은 층으로 축적된다. 이 층의 깊이는 축적과(잔디생산량) 분해의 균형에 따라 달라진다. 이 층의 기능이 알려졌지만 (Raturi *et al.*, 2004) 경관수준에서 DOM 저장고내의 탄소 축적의 전반적인 영향으로 출간된 데이터가 전무한 상태이다. 그 결과 주거지 내의 DOM 안의 잔디의 잠재적 중요성을 위한 지침서에서는 유입과 유출이 같다고 가정하며, 그러므로 탄소(C)축적변화율이 0이다.

주거지 내에서 고사목의 축적비율을 출판한 연구가 없다. 그럼에도 불구하고 몇몇 연구들은 주거지 내의 잎의 낙엽층 생산량을 설명해 왔다 (Jo and McPherson, 1995). 탄소 흐름에 대한 유일하게 측정된 자료(Kaye *et al.*, 2005)에서 미국 콜로라도 주거지 잔디내의 잎과 관목의 낙엽층 양이 총 49 g C m^{-2} yr^{-1}로 나타났으며, 지상부 생산량 (383 g C m^{-2} yr^{-1})의 약 13%가 된다고 밝혔다. 주거지 내의 토양호흡율의 비가 일반적으로 자연경관상태와 비교했을 때 꽤 높아진 이래로 (Koerner and Klopatek, 2002; Kaye *et al.*, 2005) 낙엽의 분해 속도가 빨라질 수 있다. 그러므로 보수적인 관점에서 DOM의 낙엽층 축적비를 0으로 둔다.

8.2.2.1 방법의 선택

DOM 내의 탄소축적변화량의 추정에는 고사목과 낙엽층의 탄소축적변화량의 측정이 필요하다 (제2장 식2.17). 각 DOM 저장고는 분리하여 처리되어야 하나 각 저장고의 방법은 같다. 제2장 그림 2.3의 의사결정도는 적절한 Tier을 선택하는데 도움을 준다.

Tier 1

Tier 1은 고사목과 낙엽층은 평형상태로 가정하며, 저장고에 대한 탄소축적변화량의 측정이 필요치 않다. 각 나라들이 경험하는 주거지 내의 수관에서의 중요한 변화들은 Tier 2와 3 방법론에 의거하여 정량화하기 위해 국가적 자료를 개발 장려되어야 한다.

Tier 2와 3

Tier 2와 3은 고사목과 낙엽층의 수관의 변화에 따른 탄소(C)의 변동을 계산하기 위해 따르는 방법이다. 두 방법은 탄소(C) 축적변화율을 측정하기 위해 고안되었다.

방법 1 (**획득-손실 방법**으로도 불린다. 제2장 식 2.18): 이것은 주거지 카테고리들의 면적과 고사목 및 낙엽층의 저장의 유입 유출의 연평균 이동량을 평가하기 위해 이용한다. 이 방법은 다른 기후, 생태지역, 주거지의 종류, 교란 수계, 관리 수계, 고사목 및 낙엽층 탄소저장고에 영향을 주는 그 밖의 다른 요소들이 평가에 요구된다. 또한 다른 주거지 타입에 따른 헥타르 당 고사목 및 낙엽층에서 배출된 바이오매스의 양과 동시에 고사목 및 낙엽층 저장 내로 유입된 바이오매스의 양이 요구된다.

방법 2 (**비축차 방법**으로도 불린다. 제2장 식 2.19): 이 방법은 두 기간(t_1 ,t_2)에 고사목 및 낙엽층의 축적량과 주거지의 면적을 평가하기 위해 이용된다. 수목과 낙엽층 탄소(C) 축적 변화량은 두 방법 모두 기간에 따른 탄소(C) 축적량을 구분함으로서 얻어진다. 비축차 방법은 국가적으로 실행 가능한 법으로 주거지 내에서 주기적인 조사가 필요하다. 이 방법은 Tier 3 방법과 함께 더욱 적합한 법이다. Tier 3 방법은 국가고유의 배출요인을 가진 국가 및 상당한 자료를 보유하고 있는 국가에서 이용되어 왔다. 국가에서 채택된 방법은 그 주거지를 위해 영구적인 표본구성의 세밀한 연구 또는 모델이 근간이 될 수 있다.

8.2.2.2 배출/흡수 계수의 선택

탄소 분율: 고사목 및 낙엽층의 탄소 부분은 다양하며, 특히 낙엽층은 분해단계에 영향을 받는다. 0.50 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$은 두 경우에서 기준치로 이용될 수 있다.

Tier 1

배출계수가 불필요하다.

Tier 2

만약 국가 또는 지역단위 값이 몇몇 주거지 카테고리에서는 이용가능하지 않다면, 다른 주거지 카테고리를 위한 기준치 값과 함께 DOM에 대한 국가 수준의 자료를 이용하는 것이 좋다. 살아있는 수목 및 초지로부터 탄소의 이동을 위한 국가 고유값은 수확잔여물과 분해(획득-손실 방법의 경우)로 얻거나 비축차 방법의 경우 DOM 저장고내의 순 변화량을 추정하여 얻었다. 이것은 자국의 확장인자, 주거지 타입, 바이오매스이용비, 사망률, 관리 및 수확, 관리 및 수확 행위로 인한 손상된 식생의 양을 고려하여 구할 수 있다.

Tier 3

국가들은 그들만의 방법론과 DOM 내의 변화량을 추정하기 위한 계수를 개발해야 한다. 이러한 방법론들은 위에서 구체적으로 살펴본 Tier 1, 2로부터 나올 수 있거나 다른 모델링 또는 샘플링 법 (제3장 별첨 3A.3)을 근간으로 구할 수 있다.

8.2.2.3. 활동자료의 선택

활동자료는 주요 주거지 타입에 의해 요약된 주거지*로 유지되는 주거지* 내의 지역들로 구성된다. 총 주거지 면적은 이장의 다른 단락에 보고된 것들과 주거지로 유지되는 주거지의 바이오매스 단락과 명백히 일치하여야 한다. DOM 내의 변화량은 국가의 토양, 기후자료, 식생목록, 다른 지형자료를 함께 이용할 때 잘 평가될 수 있다.

DOM의 탄소 축적 변화량을 산정하기 위한 방법의 단계별 요약

Tier 1

Tier 1은 DOM의 유입과 유출이 같다고 가정한다. 그러므로 고사목 및 낙엽층의 탄소축적량의 연간변화가 없고 앞으로의 평가에도 필요하지 않는다.

Tier 2 또는 3 (방법 1, 획득-손실 방법)

각 DOM 저장고는(고사목 및 리터) 분리되어 저치되었으나 각 저장고의 방법은 동일하다.

단계 1: 평가될 대표지역에 이용된 카테고리를 결정한다. 카테고리는 주거지 타입의 정의로 구성된다. 면적자료는 제3장에서 언급한 방법을 이용하여 얻을 수 있다.

단계 2: 각 카테고리를 위한 고사목 또는 낙엽층의 평균 유입과 유출량에 대한 과학적 연구들로부터 값을 정한다. 이러한 저장고로부터 유입 및 유출에 대한 기준값(default factor)은 존재하지 않기 때문에 국가들은 지역적으로 이용 가능한 자료들을 이용해야 한다. 유입으로부터 유출량을 구하는 방법을 이용하여 DOM 저장고 내의 순 변화량을 계산한다. 음수값은 순 축적량이 감소한다는 것을 의미 한다 (식 2.18).

단계 3: 각각의 카테고리에 대한 DOM 순 탄소축적변화량을 결정한다. 고사목 및 낙엽층 내의 순 변화량을 추정하기 위해 고사목 및 낙엽층의 탄소 부분(carbon fraction)에 대한 DOM 축적변화량을 곱한다.

단계 4: 카테고리 내의 DOM 순 탄소(C) 축적 변화량에 대한 각 카테고리 대표면적을 배가시켜주는 방법으로 각각의 카테고리에 대한 DOM 총 탄소(C) 축적 변화량을 결정한다.

단계 5: 전 카테고리에 대한 DOM 내의 총 변화량의 합을 이용해 DOM 내의 총 탄소축적변화량을 추정한다.

Tier 2 또는 Tier 3 (방법 2, 비축차 방법)

각각의 DOM 저장고는 분리되어 처리되어야 하나 방법은 동일하게 적용한다.

단계 1: 위의 단계 1에서 설명한 주거지 카테고리와 면적을 구한다.

단계 2: 일정한 시간간격을 두고 조사를 한다. DOM의 초기 평균탄소축적량(t_1)과 최종 평균탄소축적량(t_2)를 추정한다. 이 계산된 값을 이용하여 t_2지점의 DOM 축적량에서 t_1지점의 DOM 축적량을 뺀 후 시간간격의 차이를 나누어주면 순 연간 DOM 축적량이 계산된다. 이 결과 음의 값이 나오면 DOM 축적이 감소되고 있음을 알 수 있다(식 2.19).

단계 3: DOM의 탄소(C) 분율에 각 카테고리의 순 DOM 축적변화량을 곱하여 DOM 순 탄소(C) 축적변화량을 구한다.

단계 4: 각각의 활동 카테고리를 위해 DOM 순 탄소(C) 축적량에 각 활동 카테고리의 대표면적갑을 곱하여 DOM 탄소(C) 저장고의 총 변화량을 결정한다.

단계 5: 모든 활동 카테고리들을 통한 DOM 내의 총 변화량의 합계를 이용하여 DOM 내의 총 탄소(C) 축적 변화량을 구한다.

8.2.2.4 불확도 평가

저장고가 안정되어 있다는 가정 하에 Tier 1을 이용 불확도를 평가할 필요는 없다. Tier 2와 3가지 평가를 위해 토지면적 측정 시 정확도의 정도, 탄소의 증감, 탄소축적정도는 불확도와 연관된다. 면적자료와 불확도의 평가는 제3장에서 언급된 방법으로 하면 되고, 이 방법은 다른 접근법들과 관련하여 기본 불확도를 제공한다.

8.2.3 토양탄소

주거지 내의 토양은 이전의 토지이용, 개발에 의한 토양의 채취, 관리, 구체적으로는 영양분, 물, 제반시설과 관련된 도로, 건물, 식생분포의 양 및 종류에 영향을 받는다(Goldman *et al.*, 1995; Pouyat *et al.*, 2002; Jo, 2002; Qian and Follett, 2002; Kaye *et al.*, 2004). 토양의 탄소(C)가 주거지 관리에 미치는 영향에 대하여 극히 소수의 연구만이 당시 수행되었으며, 대부분의 연구는 북미지역에 초점을 두었다 (예. Pouyat *et al.*, 2002). 예를 들어 선진국과 후진국의 주거지에 대한 연구 같은 큰 차이가 있을 것 같은 연구들이 잘 수행되지 못했었다.

토양의 탄소(C)가 주거지 관리에 미치는 영향을 평가하는 것은 특히 도시의 비율이 상대적으로 큰 국가나 도시의 팽창 속도가 큰 국가에서 중요할 것이다. 무기토양을 위해 토양의 탄소(C) 축적이 주거지의 토지이용과 관리에 미치는 영향은 대조군지역과 비교하여 주거지 관리 등급들 사이에서 축적된 정도의 차이로 평가될 수 있다. 주거지의 관리 등급은 잔디(예, 골프장), 도시 수목지대, 정원, 쓰레기 지대, 불모지, 제반시설(도로, 집, 건물)을 포함할 수 있다. 일반적으로 주거지 개발을 위해 유기토양이 쓰이는 양은 적지만 탄소(C)는 강한 분해로 배수될 때 이러한 토양으로부터 배출되며 이것은 농업의 목적으로 배수할 때의 영향과 유사하다(Armentano and Menges, 1986).

제2장 2.3.3절에서 알아본 토양의 탄소(C) 축적 변화량을 평가하기 위한 일반적인 자료 및 지침서는 주거지를 다루는 구체적인 지침과 함께 진행하기 전에 재검토되어야 한다. 주거지에 대한 총 토양의 탄소(C) 축적 변화량은 제2장의 식 2.24를 이용하여 계산되어야 하며, 이 식은 무기토양 및 유기토양을 위해 토양의 유기탄소(C) 축적 변화량과 결합한다. 그리고 Tier 3의 경우에 한해 토양의 무기탄소(C) 저장고의 변화량이 결합된다.

다음 단락은 주거지 내의 토양의 탄소축적변화량을 평가하기 위한 특별 지침을 제공한다. 토양의 무기탄소에 대한 일반적 논의는 추가정보 없이 주거지 내에 제공된다.

토양의 탄소(C) 축적 변화량을 추정하기 위해 주거지로 유지되는 주거지와 연관된다. 국가들은 적절한 주거지역의 평가를 할 필요가 있으며, 기후에 따른 지역과 토양의 타입으로 구분한다. 더 세

밀한 평가는 조사와 주거지 관리 등급(예, 잔디, 도시수림지대, 정원, 쓰레기 지역, 불모지, 제반시설)을 결정하기 위해 원격탐사를 이용 주기적인 분석을 근간으로 행해질 수 있다.

인벤토리들은 Tier 1 ,2, 3 방법을 이용하여 개발될 수 있다. Tier 3은 더 자세한 자요가 요구된다. 또한 국가들이 이 자료카테고리 내에 없는 부분을 위한 평가를 위해 다른 Tier를 이용하는 것도 가능하다. Tier 3접근법을 이용한다면, 이것은 토양의 무기탄소저장고와 함께 무기 및 유기토양을 포함한다. 제2장의 그림 2.4, 2.5는 무기토양 및 유기토양 내의 탄소축적변화량을 평가하기 위해 적절한 Tier를 찾기 위한 의사결정도이다.

8.2.3.1 방법의 선택

무기토양

Tier 1

Tier 1 방법은 유입과 유출이 같다고 가정하여 주거지 토양 내의 탄소(C) 축적량의 변화가 없다고 본다.

Tier 2

Tier 2 방법은 무기토양을 위한 제2장의 식 2.25를 이용한다. 이것은 특정 국가 및 지역의 대조군 탄소축적량 또는 축적의 변화에 관계하는 인자, 적절히 분산된 토지이용활동자료 및 환경자료들이 개입된다.

Tier 3

Tier 3은 토양의 탄소축적량을 측정하는 발전된 방법으로 역학모델이나 관리/모니터링 네트워크와 같은 주거지 등급과 연관이 된다. 만약 주거지 내의 토양의 탄소축적량을 측정하기 위해 어떤 모델이나 관리시스템을 개발해 왔다면, Tier 3 방법을 고려해야 할 것이다. 이것은 주거지 내 토양의 탄소축적이 카테고리의 주요근원으로 적용될 때 고려되어져야 한다. Tier 3 방법에 부가된 지침이 제2장 2.3.3절에서 명시되었다.

유기토양

Tier 1과 Tier 2

주거지가 깊은 유기토양에 건설되지는 않을 것이다. 그러나 만약 필요하다면 2장에서 본 식2.26을 이용하여 산정될 수 있다. Tier 2를 이용한 접근법은 배출계수 및 주거지 피복분류를 추정하기 위한 국가고유의 정보에는 적합하지 않을 것이다. 그러나 고정된 카테고리보다 기후나 토양 같은 더 구체적인 분류를 이용하기 위해 Tier 2법은 적합하다.

Tier 3

유기토양을 위한 Tier 접근법은 역학모델, 측정 네트워크를 통합하는 더 자세한 관리 시스템이 포함될 것이다. Tier 3의 부가적인 지침은 제2장 2.3.3절에서 언급되었다.

8.2.3.2 축적량의 변화와 배출계수의 선택

무기토양

Tier 1

Tier 1 방법은 주거지 내의 토양의 탄소(C) 축적에 있어 유입과 유출이 같다고 가정하여 주거지 내의 탄소저장변화가 없다고 가정한다.

Tier 2

고정값이 적용되지 않으면서 Tier 2방법은 국가고유의 탄소(C) 축적에 관한 계수의 평가를 요구한다. 제2장의 식 2.25는 탄소축적량의 변화와 관련하여 토지의 이용, 토지이용 범위 내의 관리, 유입의 정도를 이용한다. 인벤토리는 주거지와 관련된 관리등급을 정의해야 한다.; 대조군지역의 상태와 비교하여 각각의 등급에 대한 탄소저장을 토대로 토지이용(F_{LU})에 대한 탄소축적변화량을 도출한다. 관리계수(F_{MG})는 관리된 (운동장, 경관적 이용) 토지이용의 방법을 구체화하기 위해 도움을 주며, 유입계수(F_I)는 살수, 거름을 주는 등 탄소의 유입에 대한 관리의 영향을 나타낼 수 있다.

Tier 3

Tier 3은 토지이용과 관리의 영향을 알기위해 샘플링 전략과 그에 따라 주기적인 샘플링과 함께 세밀한 과정모델 및 자료의 수집이 요구된다. 제2장 2.3.3.1절을 참고한다.

유기토양

Tier 1

만약 토양이 배수되고 이탄이 흡수되지 않았다면, 농경지와 유사한 주거지 내의 심한 배수로 인해 경작된 유기토양에 의해 배출계수를 이용하여 배출된 양이 계산될 수 있다. 만약 이탄이 흡수되었다면, 탄소가 유출되었다고 가정해야 한다 (제5장, 농경지 참조).

Tier 2

배출계수는 Tier 2 방법으로 국가자체의 실험에 의해 얻어질 수 있다. 특정 주거지 관리등급 또는 기후에 따른 지역의 세밀한 분류, 탄소 손실률의 차이에 따른 새로운 카테고리의 가정으로 구해진 배출계수를 위해 *좋은 방법(good practice)*이다. 부가적인 지침은 제2장 2.3.3.1절에 언급하였다.

Tier 3

이 방법은 위에서 무기토양에 대해 제시한 방법과 동일하다.

8.2.3.3 활동자료의 선택

무기토양

Tier 1

Tier 1 방법은 유입과 유출이 같다는 추정아래 주거지 내의 탄소(C) 축적량의 변화가 없다고 가정한다.

Tier 2

Tier 2에서 활동자료는 필요에 따라 위에서 설명한 탄소축적에 관여하는 인자에 대한 기후, 토양 타입, 관리등급 등이 세분된 주거지역들로 구성된다. 지자체 자료도 다양한 관리구분(예, 쇼핑지대, 분양 토지, 비즈니스지대, 공원, 학교 등)의 비율을 평가하기 위해 유용하게 이용될 수 있다. 주거지 등급(잔디, 도시 산림지대, 불모지, 정원, 쓰레기 지대, 제반시설)의 대략적인 분배를 위한 국가 전문가들을 활용한다. Tier 2 방법은 기후에 따른 지역구분, 토양의 타입을 포함하여 세분화된 등급이 개입될 수 있으며, 개발되어온 탄소(C) 축적 변화 계수와 관련되어 제공된다.

Tier 3

역학모델의 적용을 위한 활동데이터와 직접 측정된 인벤토리들은 모델 및 샘플링 디자인에 따라 기후, 토양, 지형, 관리수계로 나타날 수 있다.

유기토양

Tier 1

제5장의 표 5.6 또는 제6장의 표 6.3에 상응한 기후 지역에 의해 구분된 주거지 내의 경작된 유기토양의 총면적이 필요하다. 위의 표 8.3으로부터 얻은 녹지대 면적비에 총 도시면적을 곱해줌으로서 기준값을 구할 수 있다.

Tier 2

유기토양을 위한 Tier 2 방법은 관리등급의 더 세분한 자료가 개입될 것이며, 배수 또는 기후지역들의 미세하게 나눠진 등급이 요구될 것이다. 세분화하는 것은 제안된 등급에 대한 탄소의 손실비의 차이를 증명한 경험적 자료를 근거로 되어져야 한다.

Tier 3

무기토양에서 제시된 것과 동일하다.

8.2.3.4 불확도 평가

토양의 탄소 인벤토리의 불확도는 Tier 1과 2와 관련된다. 1)토지이용과 관리활동, 2) 대조군 무기토양의 탄소(C)의 축적정도 3) 탄소변화와 배출계수. Tier 3의 불확도는 모델의 구조와 계수에 따라 달라지거나 측정오류, 샘플링방법에 따라 영향을 받는다. 불확도는 일반적으로 더 잦은 샘플링과 국가자체의 자료로 평가된 높은 단계의 Tier를 이용함으로서 줄일 수 있다.

대조군의 탄소(C) 저장능과 배출계수의 불확도는 제2장의 표 2.3, 제5장의 표 5.5와 5.6, 제6장의 표 6.2와 6.3에 설명하였다. 토지이용과 관리 자료의 불확도는 인벤토리 편집자에 의해 평가될 필요가 있고, 단순오류확장식 (simple error propagation equation)과 같이 적절한 방법을 이용하여 대조군의 탄소(C) 저장능과 고정된 인자를 위한 불확도도 함께 포함된다.

만약 활동자료 (예, FAO 자료)를 위한 총 토지이용면적 통계치를 이용하면 인벤토리 작성자는 토지이용추정(±50%)을 위한 고정된 불확도 값을 적용해야 할 수도 있다. 그러나 인벤토리 작성자를 위해 고정된 값을 이용하기 보다는 국가고유자료를 통한 불확도를 구하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

무기토양 대조군의 고정된 탄소저장과 유기토양의 배출계수들은 특정 국가에 적용될 때 높은 불확도값을 가질 수 있다. 고정값은 토지이용 및 관리영향 또는 대조군에서의 탄소저장에 대해 국제적 평균값을 의미하며, 지역의 고유값과 차이가 날 수도 있다(Powers *et al.*, 2004; Ogle *et al.*, 2006). Tier 2 방법을 이용하여 국가고유인자를 구하거나, Tier 3의 국가고유평가시스템의 개발로 편향을 줄일 수 있다. 높은 수준의 Tier접근법을 위해 아래의 원리는 국가 내 또는 토양의 탄소(C)에 따른 토지이용 및 관리의 영향을 받는 이웃한 지역을 조사해야 할 것이다. 기후지역들 간의 변이, 토양의 타입 같은 토지이용 및 관리의 영향에 따른 차이를 국가 내에서도 계산함으로서, 비록 인자 추정의 정확성이 떨어지는 한이 있어도, 편향은 최소화 할 수 있다 (Ogle *et al.*, 2006). 편향은 탄소축적변화를 기록함에 있어서 더 문제화 될 수 있다. 왜냐하면 불확실한 범위를 반드시 기록되지는 않기 때문이다 (즉, 인자들 사이에서 의미 있는 결과가 나왔을 때, 탄소(C) 축적 변화량의 참값이 보고 된 불확도 범위 밖에 있을지도 모른다).

토지이용활동 통계치의 정확성은 표본지역의 추가 또는 추가적인 피복 상태를 조사하기 위한 원격탐사기법과 함께 개발된 또는 확장된 지역을 중심으로 이루어진 조사로 개선될 수 있다. 이때 국가적 단위에서 불확도를 최소화하기 위해 충분한 표본채취와 함께 토지이용 및 관리활동의 대부분을 측정함으로서 분류를 하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법을 위해 오차를 줄이기 위한 목적으로 국가고유자료는 인벤토리분석에 포함되어야 한다. 예를 들어, Ogle *et al*(2003)은 미국만의 고유인자를 위해 확률밀도함수(probability density functions)를 추정하고 또한 농업 토양을 위한 대조군의 탄소축적량을 알기 위해 국가고유자료를 활용했다. 이것은 대조군지역의 탄소축적량 및 토지이용과 관리 활동자료 같은 인자들 사이의 의존도를 평가하기에 적합하다. 특히, 토지이용과 관리 활동자료는 공통적으로 강한 의존도를 보인다. 왜냐하면 주로 관리를 하는 일이 시 · 공간적으로 연결되기 때문이다.

Tier 3은 더욱 복잡하고, 단순오류확장식은 결과를 평가함에 있어 불확도와 연계되어 효과적이지 않을지도 모른다. 몬테 카를로 분석법도 가능은 하지만(Smith and Heath, 2001), 모델이 많은 매개 변수(어떤 모델들은 수백 개의 매개변수를 가질 수 있다)를 가지고 있을시 수행하기 어려울 수 있다. 왜냐하면 결합확률밀도함수(joint probability density functions) 매개 변수들 사이에서 공분산(covariance)과 마찬가지로 변화를 정량화하기 위해 수행되어져야 한다. 또한 경험에 기초한 접근법(Monte *et al.*, 1996)같은 다른 방법들을 이용할 수 있는데, 이것은 측정값과 모델 값 사이의 관계를 통계적으로 평가하기 위해 모니터링 네트워크로부터의 계산치를 이용한다(Falloon and Smith, 2003). 모델링과는 대조적으로 측정을 기본으로 한 Tier 3 방법 내의 불확도는 샘플 변화, 측정오류, 그 밖의 불확도와 관련된 다른 요소들로부터 직접 결정할 수 있다.

8.3 주거지에서 전환된 토지

주거지에서 산림지역, 농경지, 초지 등으로의 전환은 온실가스의 배출 및 흡수에 기인한다. 토지이용전환과 연관된 탄소축적변화량을 평가하는 방법들은 제2, 4, 5, 6장에서 언급되었다. 의사결정나무(제 1장의 그림 1.3)와 같은 기본 방법들은 주거지에서 전환된 산림지역, 농경지, 초지 내의 탄소축적변화량을 평가하기 위해 적용될 수 있다.

이전 토지이용카테고리에서 탄소(C)축적정도에 따라 주거지에서 전환된 토지는 첫해에 상대적으로 탄소의 빠른 손실이 있을 수 있으며, 그 다음해에 탄소(C) 저장고내에서 점차적인 증가를 보일 수도 있다. 예를 들어, 주거지에서 전환된 산림지역은 일반적으로 탄소축적량의 점진적인 증가로

인해 갑작스러운 변화를 겪을 것이다. 만약 이전 토지이용에서 탄소(C) 축적량이 주거지보다 낮았다면, 이런 갑작스러운 변화가 첫해에는 일어나지 않을 것이다. 예를 들어, 주거지에서 전환된 버려진 농경지는 오직 점진적인 탄소의 증가만이 있을 것이고 초기의 갑작스러운 변화는 없을 것이다.

이 성명된 방법들은 1년 안에 변화에 대한 영향을 평가하고 다음해에 주거지로 유지되는 주거지를 위한 위에서 설명한 방법을 적용하는 것이 때때로 간소화 되어져 왔다. 하지만 그 토지 지역은 전환되는 기간에 바뀐 상태가 유지되어야 한다. 반면, 토지이용 모형의 일관성을 유지하는데 많은 어려움이 있을 것이다.

접근법 1이 토지이용 부분 표현에 있어서 가장 간단한 형태로 이용되고 (3장을 볼 것), 이전 토지이용도를 추정할 수 있는 충분한 자료가 없는 경우에는 총 주거면적만이 시간의 함수로 표현되고 이전 토지이용에 대한 정보는 알려지지 않을 것이다. 이러한 조건 아래에서 토지의 전환(B_{before}) 전의 바이오매스 축적량은 평가될 수 없고, 식 2.16은 적용될 수 없다. 이러한 경우 주거지에서 전환된 토지는 주거지에 남겨진 토지와 함께 추정되어야 하며, 다른 토지이용 변화와 마찬가지로 주거지에서의 전환으로부터 배출 및 흡수된 양은 토지이용변화 매트릭스를 이용하여 일괄적으로 적절히 할당하는 것보다 남아있는 카테고리들 내의 계단 변화(step changes)를 통해 추정할 수 있을 것이다. 사실상 전환은 경관수준에 걸쳐 계단 변화 형태로 나타난다. 이것은 각 부문 간의 조정을 통해 총 토지 기본량이 일정하게 유지하도록 하는데 특별히 중요한데, 이는 토지 이용의 변화에 의해 각 인벤토리 구축 년에 걸쳐 일부 토지 지역이 없어지거나 늘어나는 것이라는 점에서 더욱 그러하다.

8.3.1 바이오매스

8.3.1.1 방법의 선택

주거지의 변화로부터 발생한 살아있는 바이오매스의 즉각적인 변화를 추정하기 위해 일반적 접근법은 제2장 식2.15,2.16에 설명되었다. 전환의 결과로 인한 연평균 바이오매스 증가량은 전환 직후(B_{After}) 주거지 토지이용카테고리 내의 바이오매스 양과 전환 전(B_{Before}) 이전 카테고리에서의 바이오매스 양의 차이에 의해 나타난다.

이 방법은 다른 토지이용전환을 위한 지침서 내의 접근법을 따른다.: 토지 전환으로 인한 바이오매스 내의 연 탄소(C) 축적 변화량은 전환 전(B_{Before}) 시스템에서의 바이오매스 양과 전환 후(B_{After}) 주거지 내의 바이오매스 양 사이의 탄소(C) 변화량의 차이에 주거지의 연간 변환된 면적을 곱한 식 2.16을 이용하여 추정된다.

Tier 1

첫해에 주거지의 토지이용에 있어 발생된 변화를 알기 위해 Tier 1 방법은 가장 일반적인 접근법으로 B_{After}를 0으로 둔다. 이것은 주거지의 발달과정이 총 감소된 탄소축적량에 의해 기인되어진다는 것을 의미한다. 이를 위해 인벤토리 해($\triangle C_G$)동안 증가된 양과 주거지에서 전환된 토지내의 순 탄소축적변화량을 얻기 위해 손실부분을 더해줄 필요가 있다.

Tier 2

Tier 2에서 국가고유 탄소축적량은 국가 환경에 세심하게 맞춘 방법으로 분리된 활동자료로 적용될 수 있다. 높은 Tier에서 토지이용 면적 또는 주거지에서 다른 타입 (8.2절에서 설명한 토지이용 및 토지이용 피복타입의 예)으로 전환된 토지피복타입의 면적은 기록되어져야 한다. 왜냐하면 그 지역이 전환 전·후 모두 탄소의 양에 영향을 주기 때문이다. 주거지 토지이용 또는 토지피복 유형은 탄소(C)의 밀도를 달리할 수 있다.

Tier 3

Tier 3에서 국가들은 저장-차이법 또는 다른 발전된 산정방법을 이용할 수 있으며, 이것은 가능하다면 국가 또는 고유생물군계를 근거로 B_{After}에 대한 더 자세한 정보를 포함하며, 복잡한 모델과 세밀하게 분리된 활동자료가 개입될 지도 모른다.

8.3.1.2 배출/흡수 계수의 선택

Tier 1

Tier1 방법은 전환 전·후 토지이용의 바이오매스 추정을 요구한다. 그러므로 이것은 주거지에서 전환할 부지가 준비되었을 때 총 바이오매스 양이 없다고 가정하며, 전환직후의 바이오매스 기준값을 0 톤 ha^{-1}로 둔다. 표8.4는 전환전(B_{Before})의 바이오매스를 위한 기준값을 제공한다.

표 8.4
주거지에서 전환된 토지에서 흡수된 바이오매스의 탄소 축적량 기본값

토지이용 카테고리	전환 전(B_{Before})바이오매스 내의 탄소축적량 (톤 C ha^{-1})	오차범위[#]
임지	기후지역에 대한 산림타입의 범위내의 탄소저축적량은 제4장의 표 4.7에서 4.12를 참고한다. 축적량은 건물질로 환산한다. 탄소에서 건조중량으로 전환된 탄소 분율(CF) 0.5에 이 값을 곱한다.	4.3절 참고 (임지에서 전환된 토지)
초지	기후지역에 따른 초지타입별 범위내의 탄소축적량은 6장의 표6.4를 참고한다.	±75%
농경지	연간 수확물을 포함하여 농경지에 대해: 4.7 톤 C ha^{-1} 값이나 건물질 ha^{-1}을 이용한다.	±75%
[#] 중간값 정도에서 표준변차의 두 배 정도로 오차에 대한 근소한 평가를 나타낸다.		

Tier 2와 3

Tier 2는 국가고유자료로 고정값을 대신하며, Tier 3은 전환과정과 관련된 구체적인 모델링 또는 측정자료들이 개입된다.

8.3.1.3 활동자료의 선택

주거지에서 전환된 지역에서의 바이오매스 내의 변화량을 추정하기 위해 제3장에서 언급한 일반적 원리와 함께 산림청, 보전국, 지자체, 지도국으로부터의 얻어진 국가적 통계청 활동자료가 필요하다. 중복확인은 탈락 또는 중복계산 등을 피하기 위해 행해져야 한다. 자료는 일반적으로 기후 카테고리와 주거지타입에 따라 분리되어야 한다. Tier 3은 세밀한 토지분류, 기후, 시·공간 분석

과 함께 새 주거지의 설립에 대한 더 포괄적인 정보를 요구한다. 모든 변화는 총 전환기간에 일어나며, 주거지*로 유지되는 주거지*의 보고 된 전환기간 (기준값 20년)보다 긴 것을 포함해야 한다.

높은 Tier은 더욱 세분화됨을 요구하지만 *IPCC 가이드라인*과 함께 인벤토리를 위한 최소한 요구되는 점은 전환된 산림지역의 면적이 분리적으로 식별될 수 있어야 한다는 것이다. 왜냐하면 일반적으로 산림지역이 전환되기 전에 높은 탄소밀도를 가질 것이기 때문이다. 적어도 토지이용 변화 매트릭스에 대한 최소한의 지식, 따라서 제3장의 접근법 1, 2를 이용해 땅 면적을 추정하는 경우 산림지에서 주거지로 변경된 지역을 확인하기 위한 추가적인 보충 조사가 필요할 수도 있음을 의미한다.

수행을 위한 단계별 방법

Tier 1

토지이용카테고리 장(임지, 초지 등)으로부터 B_{Before}를 위한 기본값과 식 2.16의 B_{After}을 0으로 가정한 기준값을 이용한다.

단계 1: 주거지에서 전환된 각 토지타입을 위해 식 2.16을 적용한다.

단계 2: 모든 토지이용으로 바뀐 바이오매스를 합을 구한다.

단계 3: 토지의 전환으로 배출된 이산화탄소(CO_2) (단계 2에서 구한 합은 음의 수가 될 것이다.)의 양에 44/12를 곱한다.

Tier 2

Tier 2를 수행하기 위한 일반적 단계는 다음과 같다.

단계 1: 현재의 상태와 최종지역조사 사이의 변화를 평가하기 위해 지적도와 계획과 관련된 자료 또는 원격탐사 이미지 분석을 포함하여 제3장에서 언급한 방법을 이용한다.

단계 2: 녹지대의 비율을 근간으로 주거지 토지이용의 타입을 일차 근사치로 결정한다. 예를 들어, 낮음(녹지면적이 33%보다 적은 경우), 중간(녹지면적이 33 - 66% 사이의 경우), 높음(녹지면적이 66% 이상의 경우)등, 임시적으로 3개의 토지이용 분류를 나눠볼 수 있다. 각각의 분류는 8.2절에서 변화된 바이오매스의 양을 계산하기 위해 정의된 분류로 종 조사를 하여 얻어진 평균 탄소(C) 항목으로 할당될 수 있다.

단계 3: 단계 2에 따라 토지이용변환을 위한 토지이용변환면적 매트릭스를 그려본다.

단계 4: 정의된 토지이용 타입의 바이오매스 축적량을 구하는 식과 전환된 토지이용 타입 (B_{Before}와 B_{After}에서 얻어진)을 함께 평가한다. 토지이용변화 매트릭스의 각각의 차있는 공간에 식 2.16을 적용한다. 탄소(C) 축적 변화량을 합산하고, 이산화탄소의 배출 및 흡수로 얻어진 양에 44/12를 곱한다.

단계 5: 8.2.1.3절의 방법 A 또는 방법 B를 이용하여 $\triangle C_G$를 계산한다. *주거지로 유지되는 주거지* (방법의 선택은 이용 가능한 활동자료와 마찬가지로 배출 및 흡수인자에 따라 다르다.) 이때 식 2.15를 사용해야 할 것이다.

단계 6: 8.2.1.3절에서 설명된 방법으로 $\triangle C_L$을 계산한다.

단계 7: 바이오매스 증가 및 감소량, 식 2.15에서 주어진 토지이용변환에 의한 바이오매스의 변화 등을 추정하기 위해 주거지에서 전환된 토지이용의 결과로부터 살아있는 바이오매스 내의 탄소(C) 축적변화량을 계산한다.

8.3.1.4 불확도 평가

8.2.1.4절의 지침서를 참고한다.

8.3.2 고사 유기물

두 가지 DOM 저장고를 위해 방법들이 제공된다: 1) 고사목, 2) 낙엽층, 이 보고서에서 제1장은 이러한 저장고들의 정의를 제공한다.

어떤 토지는 갑작스러운 전환 없이 토지가 바뀔 수 있다. (예, 농경지는 주거지로부터 자연스럽게 전환된 버려진 땅이다). 이러한 경우, 단계1 방법은 적절하지 않을 것이며, DOM 저장고내의 점진적인 변화가 있을 것이다. 이러한 타입에서 변화가 일어날 때 총 변화는 단계2방법(Phase 2)으로 계산할 수 있다.

8.3.2.1 방법의 선택

DOM 내의 탄소(C) 축적 변화량을 평가하는 것은 고사목의 탄소(C) 축적 변화량과 낙엽층의 탄소 축적변화량의 각각의 측정이 요구 된다 (제2장의 식 2.17로 추론한다). 제2장의 그림 2.3 내의 의사결정도는 적절한 Tier를 선택하는데 도움을 준다.

Tier 1

Tier 1 고정값은 모든 고사목과 낙엽층 내의 전 탄소함량이 전환과정 중에 잃는다고 가정하며, 어떠한 축적도 고려하지 않는다.

Tier 2

Tier 2 방법은 Tier 1에서 이용된 것 보다 더욱 분산된 자료를 요구한다. Tier 2와 3으로 주거지에서 전환된 토지들로 인해 고사목내의 탄소축적량의 갑작스러운 변화는 식 2.23을 이용하여 평가될 수 있을 것이다. 이 식에서 $C_{0은}$ 0로 두고 T_{on}은 1년으로 설정한다. 전환기간 동안 종종 탄소의 증·감으로 인해 저장고가 비선형적 감소 또는 축적 곡선 (이들은 연속적인 변화 함수를 통해 Tier 3에서 표현될 수 있음)을 가짐에도 불구하고, Tier 2는 선형적 변화함수를 가정한다.

전환단계 동안 고사목 및 낙엽층의 탄소 변화량을 계산하기 위해 다음의 두 개의 방법이 제안된다.

방법 1 (**획득-손실 방법**이라고도 불린다. 제2장의 식 2.18) : 이 방법은 토지전환의 각 타입의 면적과 고사목 및 낙엽층의 연 평균 이동되어 들어가고 나가는 양을 추정한다. 이것은 다른 기후대, 생태지역, 주거지 타입, 교란 기간, 관리 기간에 따른 주거지에서 전환된 토지의

면적 추정을 요구한다. 또는 다른 주거지 타입에 따라 헥타르 당 고사목 및 낙엽층에서 빠져나간 바이오매스의 양과 마찬가지로 고사목 및 낙엽층으로 이동되어 들어온 바이오매스의 양이 영향을 주는 중요한 다른 요소들을 요구한다.

방법 2 (비축차 방법이라고도 불린다. 제2장의 식 2.19): 이 방법은 주거지에서 전환된 토지의 면적과 시간의 두 기간(t_1과 t_2)에서 고사목과 낙엽층을 추정하는 것이 개입된다. 인벤토리 연도를 위해 고사목 및 낙엽층의 저장 변화량은 두 측정 사이의 기간에 의해 저장변화량을 구분하여 얻어진다. 저장-차이법은 국가에 따라 융통성이 있으며, 주기적인 인벤토리를 가진다.

Tier 3

Tier 3 방법을 위해 국가들은 DOM 내의 변화를 평가하기 위해 그들만의 고유 방법론과 매개변수를 개발해야 한다. 이러한 방법론들은 위에서 구체적으로 언급한 방법 1,2에서 파생될 수도 있지만 다른 접근법이 근간이 될 수도 있다. 방법론은 명백하게 문서화되어야 할 필요가 있다. Tier 3 법은 증감 곡선의 실제 모양을 이용하거나 그것과 일관성이 있어야 한다. 이러한 곡선들은 보고된 해에 변화되고 있는 각각의 동일집단(cohort)에 적용되어 고사목과 낙엽 탄소 저장고의 추정에 이용되어야 한다.

8.3.2.2 배출/흡수 계수의 선택

탄소 분율: 고사목 및 낙엽층의 탄소(C)는 변동되기 쉬우며 분해 단계에 영향을 받는다. 수목은 낙엽층보다 훨씬 덜 변동 적이며, 0.50 톤 C (톤 d,m.)$^{-1}$값은 탄소(C) 분율로 사용될 수 있다. 주거지 내의 낙엽층값의 범위는 0.30~0.50 사이이다. 국가 또는 생태계 고유 자료가 이용 가능하지 않을 때 낙엽층을 위한 탄소(C) 분율 값을 0.40으로 제안한다.

Tier 1

주거지에서 전환된 토지내의 고사목 및 낙엽층의 탄소축적량은 전환되는 기간 동안 총 잃은 양으로 보고, 전환된 후의 주거지 내의 새 DOM의 축적이 없다고 가정한다. 전환 전의 산림 낙엽층을 위한 기준값은 2장의 표2.2에서 언급하였다. 그러나 대부분의 시스템에서 고사목 및 낙엽층을 위한 이용 가능한 기준값이 없다. 국가들은 평가를 하기 위해 노력해야 하며, 전환되지 전 시스템 내의 고사목 및 낙엽층을 잘 추정하기 위해 산림 및 농업관련 조사연구원으로 부터 얻은 지역자료를 이용해야 한다. 다른 정보들이 부재할 경우에는 표 2.2의 기준값을 이용한다. 산림지역이 아닌 모든 카테고리내의 고사목 및 낙엽층 저장고 내의 탄소축적량은 0으로 가정한다. 국가들은 주거지에서 다른 생태계로 전환된 토지에 대해 Tier 2,3 방법으로 영향을 정량화하기 위해 국내자료를 개발하도록 장려해야 한다.

Tier 2

다른 주거지 카테고리를 위한 고사목 및 낙엽층의 국가수준의 자료를 이용하는 것이 좋지만 만약 몇몇 전환된 카테고리를 위한 국가 및 지역수준의 값이 유용하지 않다면 기준값을 쓴다. 살아있는 수목 및 초지로부터 탄소의 이동을 위한 국가 고유값을 계산함으로서 얻어질 수 있으며 이 경우 증가-감소법 또는 비축차 방법으로 DOM의 순 변화량을 얻을 수 있다.

Tier 3

국가적 수준에서 분리된 DOM 탄소를 추정하는 것은 제3장의 부속서 3A.3의 원리로부터 주기적 샘플링과 함께 국가적 수준의 모델, 또는 온실가스 인벤토리 프로그램으로부터 국가적 인벤토리의 일부로서 결정되어져야 한다. 인벤토리 자료는 보든 주거지의 탄소저장고의 역동성을 잡아내기 위해 모델링연구가 함께 병행될 수 있다.

Tier 3 방법은 낮은 Tier보다 더 명백한 추정결과를 제공하며 각 탄소저장고사이의 연결을 강조한다. 몇몇 국가들은 교란 매트릭스를 개발해 오고 있다. 이것은 교란의 각 타입에 대한 다른 저장고들 사이에서 탄소의 재분배를 요구한다. 설계된 DOM 탄소 운영의 다른 중요한 변수들은 수목의 타입 및 미기후 조건에 따라 바뀔 수 있는 분해율과 부지 준비과정이다.

8.3.2.3 활동자료의 선택

활동자료는 바이오매스를 위해 이용된 것과 동일한 것으로 8.3.1.3 절에서 설명하였다.

DOM의 축적량 변화를 산정하기 위한 방법의 단계별 요약

Tier 1

단계 1: 이 평가에 이용된 토지이용의 카테고리와 매년 전환된 대표지역을 결정한다. 지역에 대한 자료는 제3장에 기술된 방법을 이용하여 구할 수 있다. 높은 Tier 단계는 더욱 세밀함을 요구하지만 인벤토리를 위해 최소한 IPCC 지침서가 요구된다. Tier 1을 이용 시 산림 전환지역의 면적은 분리하여 나타낸다.

단계 2: 각각의 활동 카테고리를 위해 전환에 앞서 헥타르 당 고사목 및 낙엽층 축적량을 결정한다(기준값을 위해 제2장의 표 2.2를 참고한다).

단계 3: 각각의 활동 카테고리를 위해 주거지의 특정 타입에 따른 헥타르 당 고사목 및 낙엽층의 축적량을 각각 결정한다. Tier 1을 위해 전화에 따른 고사목 및 낙엽층양은 0으로 가정한다.

단계 4: 최종 축적량에서 초기 축적량을 뺀 후 전환의 각 타입에 따른 헥타르 당 고사목 및 낙엽층의 순 변화량을 계산한다. 축적량의 감소로 음의 수가 나온다(식 2.23).

단계 5: 탄소(C) 분율(리터의 경우 0.40 톤 C(톤 d.m.)$^{-1}$, 고사목의 경우 0.50 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$)에 순 축적 변화량을 곱하여 톤 C ha^{-1} 단위당 각 축적량의 순 변화량을 전환한다.

단계 6: 보고기간 동안 전환된 토지면적에 각 순 탄소(C) 축적 변화량을 곱한다.

Tier 2와 3

단계 1: 해마다 전환된 대표지역 및 평가에 이용된 토지전환의 카테고리를 결정한다. 전환단계에서 토지를 계산할 때 각 카테고리 내에서 대표지역이 필요하다. 높은 Tier는 더욱 세밀함이 요구되지만 인벤토리를 위해 최소한 IPCC 지침서가 요구되며 이때 산림 전환지역의 면적은 분리하여 나타낸다.

단계 2: 갑작스러운 변화

- 이 평가에 이용된 활동 카테고리와 대표지역을 결정한다. 활동 카테고리는 전환의 타입에 따라 구분되어지며 가능하다면, 이전의 토지피복과 주거지 관리에서 자연을 이용한다. 예를 들어, 소를 키우는 목장에서 계절성 열대우림으로의 전환 시 외래종을 이용하는 것이다. 면적자료는 제3장에서 언급한 방법으로 얻을 수 있다.
- 각각의 활동 카테고리에서 전환에 앞서 헥타르 당 고사목 및 낙엽층 축적량을 각각 결정한다.
- 각각의 활동 카테고리에서 주거지에서 전환된 다음 해에 헥타르 당 고사목 및 낙엽층의 축적량을 결정한다.
- 최종 축적량에 초기 축적량을 빼서 전환의 각 타입별로 헥타르 당 고사목 및 낙엽층의 순 변화량을 계산한다.
- 탄소(C) 분율(리터의 경우 0.40 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$, 고사목의 경우 0.50 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$)에 순 축적변화량을 곱하여 톤 C ha^{-1} 단위당 각 축적량의 순 변화량을 전환한다.
- 보고된 해에 전환된 면적에 각각의 순 탄소(C) 축적 변화량을 곱한다.

단계 3: 점진적 변화

- 이 평가에 이용된 것과 동일한 집단(cohorts)과 카테고리, 대표지역을 결정한다. 카테고리는 전환의 타입에 따라 나누어지며, 가능하다면 이전의 토지피복과 주거지 타입에 따라 자연적 관리를 한다. 면적자료는 제3장에서 설명한 방법을 통해 얻을 수 있다.
- 아래 설명한 **획득-손실 방법** 또는 **비축차 방법 (아래 참조)**을 이용하여 활동 타입에 따라 고사목 및 낙엽층의 연간 저장변화량을 결정한다.
- 이전 인벤토리로부터 동일종(cohort)에서 고사목 및 낙엽층 축적량을 추정한다.
- 전환 이전의 순 축적변화량에 동일종의 고사목 및 낙엽층내의 저장변화량을 더하여 계산한다.
- 탄소(C) 분율(리터의 경우 0.40 톤 C(톤 d.m.)$^{-1}$, 고사목의 경우 0.50 톤 C(톤 d.m.)$^{-1}$)에 순 축적변화량을 곱하여 톤 C ha^{-1} 단위당 각 축적량의 순 변화량을 전환한다.
- 보고기간 동안 각각의 동일집단의 면적에 순 탄소축적변화량을 곱한다.

획득-손실 방법

- 고사목 및 낙엽층의 연 평균 유입량을 각각 추정한다.
- 고사목 및 낙엽층의 연 평균 감소량을 각각 추정한다.
- 유입량에서 유출되는 양을 빼서 고사목 및 낙엽층의 순 축적변화량을 계산한다.

비축차 방법

- 초기인벤토리의 고사목 및 낙엽층의 평균 축적량과 최종 인벤토리의 고사목 및 낙엽층의 평균 축적량을 이용하여 인벤토리 시간간격을 결정한다.
- 최종축적량에서 초기축적량을 뺀 후 인벤토리들 간의 년 수만큼을 나누어 줌으로서 고사목 및 낙엽층의 순 변화량을 계산한다. 이때 음의 값은 축적량의 감소를 의미한다.
- Tier 3 방법은 국가 및 지역 고유의 발전된 인자들을 요구한다. Tier 2 방법을 위한 고정된 계수는 존재하지 않으며, 최적의 사용 가능한 지역 자료를 이용해야 한다.

8.3.2.4 불확도 평가

Tier 1에서 불확도는 토지 내의 탄소축적량의 불확도와 같다. DOM의 변화량은 0으로 가정하며, 어떠한 연관된 불확도도 초기 전환 후의 Tier 1에 필요로 하지 않는다. Tier 2와 3법을 위해 불확도는 토지이용 평가의 정확도의 정도, 탄소의 저장 및 증감량, 연소된 탄소의 양을 포함한다. 면적 자료와 불확도의 평가는 3장의 방법으로 구해야 하며 이것은 다른 접근법과 연관된 고정된 불확도를 제공한다. 탄소 축적량 및 다른 매개 변수값과 연관된 불확도는 국가 고유자료가 이용가능하지 않을 경우 최소 세 가지 인자가 될 수 있다.

8.3.3 토양탄소

주거지에서의 토지의 전환은 이전의 산림지역, 농경지, 초지, 습지 등에서 도시의 팽창과 개발로 일어난다. 이러한 전환은 토양의 기계적 교란; 개발 단계에서의 토사량의 변화, 식생의 타입 및 양, 새로운 관리 체계 및 양분과 물을 적용에 의해 토양내의 탄소축적량을 변화시킨다.

*토양의 탄소축적변화량을 추정하기 위한 일반적인 자료 및 지침서를 2장 2.3.3절에 식을 포함하여 언급하였다. 주거지*에서 전환된 토지의 토양 내 총 탄소축적변화량은 식 2.24를 이용하여 계산하며, 이것은 무기 및 유기토양의 토양 유기탄소변화량을 통합한다. 그리고 Tier 3방법에서만 토양의 무기탄소저장고와 연관된 축적변화량을 통합한다.

주거지에서 변환된 토지와 관련하여 토양 내 탄소축적변화량을 계산하기 위해 국가들은 인벤토리 기간 동안 주거지에서 전환된 토지의 면적을 평가할 필요가 있다. 통합된 토지이용자료가 사용되고 그 이용된 자료들 중에 특별한 전환이 알려지지 않는다 해도, 토양의 유기탄소 축적 변화량은 주거지*로 유지되는 주거지안*에 제공된 방법들을 이용하여 계산될 수 있다. 그러나 인벤토리 내의 올 해 주거지에 대한 토지기초 면적은 초기 해와 다를 것이고, 변환의 역동성이 적게 표현될 것이다. 제3장 (토지의 일관적인 설명)은 총 토지면적내의 일관적인 관리의 중요성을 강조한다.

8.3.3.1 방법의 선택

인벤토리들은 Tier 1, 2, 3 방법을 이용하여 개발될 수 있다. 각 연속적인 Tier와 함께 이전 것보다 더 세밀함과 자원들을 요구한다. 국가들은 토양 내 탄소의 분리된 하위카테고리를 위한 평가를 하기 위해 다른 Tier들을 이용하는 것이 가능하다(즉, 무기 및 유기 토양 내의 유기탄소축적변화량, 무기탄소저장고와 연관하여 축적 변화량은 Tier 3에서 추정된다.) 의사결정도는 적절한 Tier의 선택을 돕기 위해 2.3.3.1절 (제2장) 내의 무기 (표 2.4) 및 유기토양 (표 2.5)의 탄소(C) 축적량의 변화를 추정하는데 이용된다.

무기토양

Tier 1

토양의 유기탄소축적량의 변화는 제2장의 식2.25를 이용하여 주거지에서 전환된 토지이용과 함께 무기토양에서의 탄소축적량을 측정할 수 있다. Tier 1에서 전환이전단계의 유기탄소 축적량

($SOC_{(0-T)}$)과 인벤토리 기간 중 마지막 해의 유기탄소(SOC_0)는 탄소(C) 축적량 기준값 (SOC_{REF})와 고정된 탄소축적변화량 계수들(F_{LU}, F_{MG}, F_I)로부터 결정된다. 산림지역 또는 이전의 토지이용 내에서 드러난 바닥의 면적은 토양의 탄소축적량을 포함하지 않는다(축적량을 0으로 가정한다). 연간 배출 및 흡수비율은 축적량의 차이에 저장변화계수의 시간 의존도(D)로 나눈다 (기본값 20년).

Tier 2

무기토양에 대한 Tier 2 방법 또한 제2장의 식 2.25를 이용한다. 그러나 국가 또는 지역고유 기준값 C , 축적변화량 인자, 분해 된 토지이용 활동의 가능성, 환경자료 등이 개입된다. 개발기간 동안의 토양 내 탄소의 흡수 또는 이동 및 축적은 주거지 내에서 특별한 쟁점이다. 개발단계 동안 토양 내 탄소(C)가 분해 되지 않고, 깊은 곳에 남아있게 되면 그 결과 다른 지역으로 이동되거나 이용하기 쉽게 형태로 변할 수 있다. Tier 2의 축적량 계수는 대기 중의 이산화탄소(CO_2) 내의 탄소(C)의 손실을 조절하기 위해 *좋은 방법(good practice)*이다.

Tier 3

Tier 3 방법은 더 세밀한 국가 고유모델 또는 고도로 분해된 토지이용 및 관리 자료에 따른 특정을 기초로 한 접근법이 연관되어 있다. 주거지에서 전환된 토지이용으로부터 토양의 탄소 변화량을 평가하기 위해 Tier 3은 적절한 방법이다. 산림지역, 초지, 농경지, 그 밖의 다른 토지로부터 전환을 나타낼 수 있는 모델, 자료, 모니터링 네트워크를 이용한다. Tier 3 방법은 바이오매스 제거 추정치 및 벌채 후의 식생 잔여물 (수목 쇄설물과 낙엽층을 포함) 처리에 통합되어야 하는데, 이는 제거와 잔재의 처리 (예, 연소와 토지 정리)가 토양 유기물로 유입되는 탄소와 분해 및 연소로 제거되는 탄소량에 영향을 미치기 때문이다. 모델은 국가 또는 지역 내의 특정 지역으로부터 실측한 값의 정당성을 입증해 주며 기후, 토양, 토지 전화 뒤의 토양 내 탄소의 축적량변화의 관리 등의 상호작용을 나타낸다.

유기토양

Tier 1과 2

인벤토리 기간 내의 유기토양에서 주거지에서 전환된 토지는 주거지로 유지되는 주거지와 같이 취급된다. 탄소(C)의 감소는 제2장의 식2.26을 이용하여 추정된다. 부가적으로 Tier 1과 2 접근법의 지침서는 8.2.3.1절에 언급하였다.

Tier 3

무기 토양에서 Tier3 방법은 국가고유 모델 또는 세밀하게 분리된 토지이용 및 관리 자료에 따라 측정을 기준으로 한 방법이 개입될 것이다.

8.3.3.2 축적량의 변화와 배출계수의 선택

무기 토양

Tier 1

탄소 축적량의 고정값은 제2장의 표 2.3에서 얻을 수 있으며 이전 토지이용을 위한 축적변화량과 관계된 인자는 여러 장을 통해(4.2.3.2절의 임지, 5.2.3.2절의 농경지, 6.2.3.2절의 초지, 9.3.3.2절의 기타 토지) 추정할 수 있다. 주거지에서의 전환 이후의 토지이용에 대한 고정된 축적변화량 인자들은 주거지로 유지되는 주거지를 위한 Tier 1 방법은 필요로 하지 않는다. 왜냐하면 고정값은 유입과 유출이 같다고 가정하며, 이것은 토양내의 순 탄소축적변화량이 없다고 보는 것이다. 그러나 전환과정 중 순 탄소축적변화가 일어날 지도 모르며 이때 다음의 가정을 이용한다.

(i) 포장된 거주 지역의 비율을 위해 이전의 토지이용에 대한 F_{LU}, F_{MG}, F_I 의 값에 0.8배를 한다 (즉, 이전 토지이용과 관련하여 토양 탄소(C)량의 20%는 교란 및 흡수, 재배치 등의 결과로 잃게 될 것이다).

(ii) 잔디가 있는 거주 지역의 비율을 위해 제6장의 표 6.2로부터 초지를 증진시키기 위한 적절한 값을 이용한다.

(iii) 경작된 토양(예, 원예를 위해 이용된)의 거주 지역의 비율을 위해 F_I의 값을 1로 보고, 5장의 표 5.5로부터 무 경작 (no-till) F_{MG}값을 이용한다.

(iv) 식림화 된 거주지의 비율을 위해 모든 축적량 변화계수를 1로 가정한다.

Tier 2

국가고유의 축적변화량에 관계하는 인자의 평가는 Tier 2 방법과 연관하여 아마도 가장 중요한 단계이다. 토지이용에 따른 토양의 유기탄소축적량의 차이는 토지이용계수(F_{LU})를 이용하여 대조군의 상태에 따라 계산된다. 유입계수(F_I)와 관리계수(F_{MG})는 주거지 관리 분류에서 나중에 정제되는 탄소축적량을 위해 이용된다. 이러한 탄소축적변화량과 관련된 인자를 어떻게 구해낼지에 대한 부가적인 지침은 8.2.3.2절의 *주거지로 유지되는 주거지*에 설명하였다. 다른 토지이용 부문을 위한 축적변화량 인자의 유도에 관한 자료는 적절한 절을 보면 된다 (제4장의 임지, 제5장의 농경지, 제6장의 초지, 제9장의 기타 토지) 또한 탄소(C) 축적량 인용값은 Tier 2 방법 내의 국가고유자료로부터 얻을 수 있으며, 토지 이용 (다시 말해 임지, 농경지, 초지, 주거지, 기타 토지)을 통해 구성되어야 한다. 그러므로 AFOLU를 위한 토양 내 탄소 인벤토리를 수행하는 다양한 조직들 사이에서 조화되어야 한다.

Tier 3

일정한 배출비율 계수 자체는 가변율에 따라 덜 평가될 것이며, 토지이용 및 관리의 영향을 더욱 정확히 잡아낸다. 제2장 2.3.3.1절의 앞으로의 논의될 내용을 참고한다.

8.3.3.3 활동자료의 선택

무기토양

Tier 1과 2

주거지에서 전환된 토지의 양은 기후지역 및 토양의 타입으로 세분화되며 Tier 1 수준에서 적절한

축적량을 평가하기 위해 필요하다. 이것은 적절한 기후 및 토양지도와 전환된 토지의 명백한 공간 자료를 함께 중첩시켜 보는 것을 근간으로 할 수 있다. 고정된 기후 및 토지의 분류에 대한 자세한 설명은 3장에서 제공되었다. 자료의 부재는 주거지 내의 고정된 지역이 포장된 것을 의미하고 이것은 표8.3 자료를 이용하여 총 면적에서 녹지가 아닌 부분의 비율을 평가해야 한다. 그리고 표 8.3은 산림지역 및 산림지대가 아닌 지역 내의 녹지면적의 비율을 이용할 수 있다. 만약 경작된 지역의 이용 가능한 자료가 없으면, 모두 잔디라고 가정할 수도 있다.

Tier 3

역학 모델 및 Tier 3을 기준으로 한 직접 측정법을 적용하기 위해 기후, 토양, 지형, 관리 자료들로 연합된 더욱 세밀한 자료들이 요구된다. 그러나 그것의 요구되는 정도는 모델 또는 측정디자인에 따라 달라질 수 있다.

유기토양

Tier 1과 2

인벤토리 기간 내의 유기토양의 주거지에서 전환된 토지는 주거지*로 유지되는 주거지*와 같은 방법으로 다뤄질 수 있으며, 활동자료의 지침서는 8.2.3.3절에서 논의되었다.

Tier 3

무기토양과 함께 Tier 3 방법은 Tier 1 또는 2 접근법과 비교하여 기후, 토양, 지형, 관리 자료가 연합된 더 세밀한 자료를 요구할 것이다. 그러나 그것의 요구되는 정도는 모델 또는 측정디자인에 따라 달라질 수 있다.

8.3.3.4 불확도 평가

8.2.3.4절의 지침서를 참고한다.

8.4 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고

8.4.1 완전성

토양 탄소 인벤토리로 시간에 따른 총면적의 변화를 추적하는 것이 *우수실행(good practice)*이고, 만일 Tier 2와 3 접근을 이용한다면, 그 인벤토리는 주요 관리 분류 (예, 잔디, 도시 산림지역, 정원, 쓰레기 지역, 불모지, 제반시설)와 연관하여 추적해야 한다.

거주지 인벤토리 방법론으로 나타내진 총 면적은 주거지*로 유지되는 주거지*와 시간기간 동안의 주거지에서 전환된 토지의 합이다. 이 인벤토리 방법론은 온실가스의 배출 및 흡수양이 주거지 관리에서 변화가 없거나 변화가 있어도 무의미한 변화로 일정시간을 통해 중요하지 않거나 일정하다고 여겨진 몇몇 주거지를 포함하지 않을 수 있다. 그러나 국가들은 국가 경계선 내에서 주거지 토지의 총면적을 시간에 따른 추적을 하는 것이 장려되었고 이산화탄소의 배출 및 흡수의 추정에 이용된 부분에 대한 명백한 자료를 보유하고 있어야 한다. 이 경우, 한 국가가 지역에 따른 차이를 설명하고 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

8.4.2 일관성 있는 시계열 개발

일관된 시계열을 유지하기 위해 토지이용 및 주거지 시스템의 정의, 탄소 인벤토리, 계산 방법을 포함하여 국가들은 전 시간기간 동안 같은 인벤토리 방법들을 적용할 것을 장려한다. 만약 변화의 명백한 자료를 유지하기 위해 인벤토리가 변화되었다면 전 인벤토리 기간을 통해 탄소축적변화량을 다시 계산한다. 이러한 환경에서 다시 계산하는 방법은 제1권 제5장에서 언급하였다. 일관된 평가와 보고 또는 관리는 인벤토리 전 기간을 통해 관리활동, 기후, 토양 타입의 일관된 정의를 요구한다.

8.4.3 인벤토리의 품질보증/품질관리

인벤토리의 품질을 조절하고 인벤토리 평가 및 자료에 대한 외부 전문가들의 검토를 실행하는 것이 *바람직하다 (good practice)*. 특히 주의할 점은 축적량과 배출계수들의 국가 자체 평가가 고려되었는지 보는 것이고, 그들은 양질의 자료와 검증할 수 있는 전문가들의 의견을 기준으로 보증된다.

주거지 방법론을 통한 QA/QC 점검은 다음을 포함한다.

주거지로 유지되는 주거지: 바이오매스의 축적량과 토양의 축적량 변화의 일관성 있는 보고가 *좋다 (good practice)*. 토양의 탄소(C) 축적 변화량은 계산되지만 바이오매스 양이 0으로 가정된 지역(예, 비 임지에서 바이오매스는 거의 없다), 바이오매스 양과 토양 축적량이 모두 바뀌는 지역 (예. 공원의 개발), 바이오매스 토양축적량 모두 바뀌지 않는 지역(예, 제반시설 및 불모지)이 포함될 수 있다. 투명도를 높이고 오차를 없애기 위해 축적량의 변화에 대한 고려 없이 총 주거지 면적을 보고하는 것은 좋다.

주거지에서 전환된 토지: 주거지에서 전환된 토지를 위한 총 면적은 바이오매스와 토양을 평가하는 법과 동일하게 본다. 바이오매스와 토양 저장고가 다른 레벨로 분산되면 지역 자료의 분산을 위해 같은 카테고리를 이용한다.

토양의 탄소(C) 축적 변화량을 평가하기 위해서는, 토지기초의 일부가 다른 토지 이용 부문으로 편입되거나 다른 부문에서 도입되지 않는다면, 총 지역들은 인벤토리 기간의 첫 해($year_{(0-T)}$)와 마지막 해($year_{(0)}$)에 걸쳐 각 기후-토양의 타입별로 동일할 것으로 예상된다. 궁극적으로 각 부문을 포괄하는 한 국가의 전 토지 기초의 총합은 인벤토리 기간 내 매년에 걸쳐 동일해야 한다.

8.4.4 보고와 기록

국가 인벤토리 평가를 위해 이용된 모든 자료의 유지를 위해 다음의 활동을 포함 한다: (ⅰ) 원자료, 데이터베이스는 국가 고유인자의 평가를 위해 이용된다. (ⅱ) 활동자료는 분류하거나 모으는데 이용된다. (ⅲ) 기후로서 지역을 분류라고 토양타입 (Tier 1과 Tier 2)은 명백하게 문서화 되어야 한다. Tier 3 방법을 위해 모델링을 이용하며 모델 버전을 문서화하며, 모델 해설을 제공하며, 부가하여 모든 모델에 쓰인 자료 및 코드, 실행 프로그램들은 영구적으로 복사를 해둔다.

표와 워크시트 작성

이 장에서 서술된 카테고리들은 제1권 제8장에 제시된 표를 이용하여 작성할 수 있다. 주거지 카테고리의 평가는 IPCC 지침서에 제시된 카테고리와 비교하면 다음과 같다.

- IPCC에서 보고된 카테고리 5A에서 주거지로 유지되는 주거지 내의 목본류 바이오매스의 이산화탄소(CO_2)의 배출 및 흡수, IPCC 보고서 카테고리 5B의 주거지에서 전환된 토지, 그리고 IPCC 보고서 카테고리 4E, 4F의 non-CO_2 가스;
- 이산화탄소(CO_2)에 대한 IPCC에 보고 된 카테고리 5D, 5E에서 주거지*로 유지되는 주거지*의 토양 내 이산화탄소(CO_2)의 배출 및 흡수, non-CO_2 가스에 대한 4D
- 바이오매스에 대한 IPCC의 보고 된 카테고리 5B에서 주거지에서 전환된 토지이용의 결과로 이산화탄소(CO_2)의 배출 및 흡수, 토양을 위한 IPCC의 보고 된 카테고리 5D와 5E, non-CO_2 가스를 위한 4D, 4E, 4F

주거지를 위한 온실가스의 배출 및 흡수를 계산하기 위한 워크시트는 별첨 1에 제공된다 (Tier 1 방법).

8.5 미래 방법의 개발기준

이 방법론은 허점이 존재한다. 왜냐하면 주거지 내의 온실가스의 유동 및 저장고에 대한 질적으로 이용 가능한 충분한 자료가 존재하지 않기 때문이다. 허점은 다음을 포함한다.

- non-CO_2 온실가스의 배출을 평가하기 위한 방법론 (아산화질소(N_2O)와 메탄(CH_4));
- 살아있는 바이오매스와 토양이 아닌 다른 곳의 탄소 축적량을 계산하는 방법론(특히, 고사목 및 리터에서);
- 잔디 및 잔디의 관리로부터 탄소축적량 및 유동에 대한 논의
- 정원 및 다른 초본식생으로부터 탄소축적량 및 유동에 대한 논의
- 정착된 토지의 다른 분류를 위한 일반화된 방법론

Non-CO_2 온실가스. 아산화질소(N_2O)는 자연 상태와 비교할 때 도시지역이 더 높다는 몇몇 증거가 존재한다 (Kaye *et al.*, 2004). 이 결과는 자연 상태에 따라 다르며, 관리체제는 일반적으로 정착된 지역에 적용한다.

고사목과 낙엽층. 고사목은 떨어지거나 잘린 가지 또는 나무의 종류거나 아직 살아있는 개체로 대체되지 않는 죽어 서 있는 수목이라 할 수 있다. 이러한 고사목은 타거나 고형 폐기물로 처리, 퇴비로 이용 또는 분해 된다. 이 물질은 살아있는 바이오매스의 기간으로부터 사라진다고 방법론에서는 취급된다. 왜냐하면 고사목은 주거지 내에서 분해로 인해 현장에 남는 것 보다 현장 밖으로 이동 되는 경우가 대부분이다. 이때 매립되는 비율, 퇴비화로 처리되는 비율, 아니면 분해로 현장에 남겨지는 비율 등을 설명할 수 있는 더 세밀한 방법론을 개발해야 한다. 매립 또는 퇴비화

되는 비율은 수확된 수목의 부산물(HWP)이나 폐기물로서 취급될 것이다. 이것은 지침서의 다른 부분에서 언급하였다.

잔디와 잔디의 관리. 잔디의 바이오매스는 뿌리, 그루터기, 갈(thatch)과 지상부로 구성된다. 잔디 생산성의 평가가 많이 연구되어져 왔음에도 불구하고(Falk, 1976; Falk, 1980; Qian *et al.*, 2003), 잔디 바이오매스의 총체적 축적에 관한 정보는 적다. 잔디의 지상부와 지하부의 구성은 또한 관리 및 목초지 체제에 따라 달라진다. 왜냐하면 주거지 내에서 잔디가 덮여있는 토지를 정량화하는 활동자료가 부족한 것과 마찬가지로 이 주제에 대한 일반적인 자료가 부족하기 때문이다. 현재 잔디 시스템에 의해 흡수된 탄소의 양을 설명하는 자세한 방법론도 없다. 잔디 생산성, 전환 등의 부가적인 자료와 함께 더 자세한 방법론이 요구된다. 물론 잔디에 의해 덮인 주거지의 비율과 관리체제의 정보를 포함하여 이 방법론을 수행하기 위한 활동자료가 요구된다.

정원과 다른 초지식물. 잔디와 유사한 상황으로 연간 바이오매스 축적량 및 지상부 및 지하부가 다른 정원 식생의 배치를 설명한 정보가 존재하지 않는다. 활동 자료는 식생의 타입에 따라 덮인 주거지역의 비율과 관리체제에 대한 자료를 포함된 더 자세한 방법론의 수행이 요구된다. 주로 정원 식생이기 때문에 개인 정원에서 그것들을 채취하는 것은 접근의 제약이 따르며, 교란이 될 수도 있는 등 부가적인 어려움이 산재 한다 (cf. Jo and McPherson, 1995).

토지 분류. 더 자세한 방법론은 주거지 내의 토지분류의 정의의 구성으로부터 이용할 수 있고, 기후, 토착종, 전형적인 주거지 체제에 관계없이 어떤 국가에도 적용될 수 있다. 이것은 산림지대, 초지, 농경지, 습지와 같은 다른 토지이용과 대등할 정도로 주거지를 만들 것이며, 측정할 수 있고 객관적인 매개변수에 근거하여 쉽게 정의된다. 몇몇 연구가 이 방법으로 적용되었다 (Theobald, 2004). 그러나 최근의 분류는 일관적이지 않다. 수목의 수관 단위당 탄소의 흡수비율이 일관적인 동안 예를 들어, 거주 지역 당 탄소의 저장비는 그 지역 내의 수목 및 잔디가 덮인 양에 따라 달라진다. 이러한 토지의 분류는 국가들이 주거지 내에서 포괄적으로 분류된 지역 내에서의 관리 변화의 결과로 탄소축적변화량을 설명하는 것이 가능하게 될 것이다. 예를 들어, 하나의 구성이 개발될 때 그 구성에 포함되지 않은 지역 내에 남아있는 외래종이 탄소저장능이 다른 조경수들과 같이 교체될 수도 있다.

참고문헌

Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO_2 emissions from power plants. Environmental Pollution 116:S119-S124.

Armentano, T.V. and Menges, E.S. (1986). Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. Journal of Ecology 74:755-774. 1986.

Brack, C.L. (2002). Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest. Environmental Pollution 116:S195-S200.

Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. and Baumgardner, G.A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia 111:1-11.

Crane, P. and Kinzig, A. (2005). Nature in the metropolis. Science 308:1225-1225.

Elvidge, C.D., Milesi, C., Dietz, J.B., Tuttle, B.T., Sutton, P.C., Nemani, R. and Vogelmann, J.E. (2004). U.S. constructed area approaches the size of Ohio. EOS - Transactions of the American Geophysical Union 85:233-234.

Falk, J. (1980). The primary productivity of lawns in a temperate environment. Journal of Applied Ecology 17:689-696.

Falk, J.H. (1976). Energetics of a suburban lawn ecosystem. Ecology 57:141-150.

Gallo, K.P., Elvidge, C.D., Yang, L. and Reed, B.C. (2004). Trends in night-time city lights and vegetation indices associated with urbanization within the conterminous USA. International Journal Of Remote Sensing 25:2003-2007.

Goldman, M.B., Groffman, P.M., Pouyat, R.V., McDonnell, M.J. and Pickett, S.T.A. (1995). CH4 uptake and Navailability in forest soils along an urban to rural gradient. Soil Biology and Biochemistry 27:281-286.

Gregg, J.W., Jones, C.G. and Dawson, T.E. (2003). Urbanization effects on tree growth in the vicinity of New York City. Nature 424:183-187.

Idso, C., Idso, S. and Balling, R.J. (1998). The urban CO2 dome of Phoenix, Arizona. Physical Geography 19:95-108.

Idso, C., Idso, S. and Balling, R.J. (2001). An intensive two-week study of an urban CO2 dome. Atmospheric Environment 35:995-1000.

Imhoff, M., Tucker, C., Lawrence, W. and Stutzer, D. (2000). The use of multisource satellite and geospatial data to study the effect of urbanization on primary productivity in the United States. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 38:2549-2556.

IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tr□anton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds).Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.

Jenkins, J., Chojnacky, D., Heath, L. and Birdsey, R. (2004). Comprehensive database of diameter-based biomass regressions for North American tree species. General Technical Report NE-, USDA Forest Service Northeastern Research Station, Newtown Square, PA.

Jo, H. (2002). Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea. Journal of Environmental Management 64:115-126.

Jo, H. and McPherson, E. (1995). Carbon storage and flux in urban residential greenspace. Journal of Environmental Management 45:109-133.

Kaye, J., Burke, I., Mosier, A. and Guerschman, J. (2004). Methane and nitrous oxide fluxes from urban soils to the atmosphere. Ecological Applications 14:975-981.

Kaye, J.P., McCulley, R.L. and Burke, I.C. (2005). Carbon fluxes, nitrogen cycling, and soil microbial communities in adjacent urban, native and agricultural ecosystems. Global Change Biology 11:575-587.

Koerner, B., and Klopatek, J. (2002). Anthropogenic and natural CO2 emission sources in an arid urban environment. Environmental Pollution 116:S45-S51.

Kuchler, A. (1969). Potential natural vegetation. US Geological Survey Map, Sheet 90, Washington, DC.

Milesi, C., Elvidge, C.D., Nemani, R.R., and Running, S.W. (2003). Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States. Remote Sensing Of Environment 86:401-410.

Nowak, D. (1996). Estimating leaf area and leaf biomass of open-grown deciduous urban trees. Forest Science 42:504-507.

Nowak, D. and Crane, D. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the United States. Environmental Pollution 116:381-389.

Nowak, D., Crane, D.E., Stevens, J.C. and Ibarra, M. (2002). Brooklyn's urban forest. General Technical Report NE-290, USDA Forest Service Northeastern Research Station, Newtown Square, PA.

Nowak, D.J., Rowntree, R.A., McPherson, E.G., Sisinni, S.M., Kerkmann, E.R. and Stevens, J.C. (1996). Measuring and analyzing urban tree cover. Landscape and Urban Planning 36:49-57.

Pouyat, R. and Carreiro, M. (2003). Controls on mass loss and nitrogen dynamics of oak leaf litter along an urban-rural land-use gradient. Oecologia 135:288-298.

Pouyat, R., Groffman, P., Yesilonis, I. and Hernandez, L. (2002). Soil carbon pools and fluxes in urban ecosystems. Environmental Pollution 116:S107-S118.

Pouyat, R.V., McDonnell, M.J. and Pickett, S.T.A. (1995). Soil characteristics of oak stands along an urban-rural land-use gradient. Journal of Environmental Quality 24:516-526.

Qian, Y., Bandaranayake, W., Parton, W., Mecham, B., Harivandi, M. and Mosier, A. (2003). Long-term effects of clipping and nitrogen management in turfgrass on soil organic carbon and nitrogen dynamics: The CENTURY model simulation. Journal of Environmental Quality 32:1695-1700.

Qian, Y. and Follett, R. (2002). Assessing soil carbon sequestration in turfgrass systems using long-term soil testing data. Agronomy Journal 94:930-935.

Raturi, S., Islam, K.R., Carroll, M.J. and Hill, R.L. (2004). Thatch and soil characteristics of cool- and warmseason turfgrasses. Communications In Soil Science And Plant Analysis 35:2161-2176.

Smith, W.B. and Brand, G.J. (1983). Allometric biomass equations for 98 species of herbs, shrubs, and small trees. Research Note NC-299, USDA Forest Service North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN.

Theobald, D.M. (2004). Placing exurban land-use change in a human modification framework. FronTiers in Ecology and the Environment 2:139-144.

제9장

기타 토지

저자

Jennifer C. Jenkins (미국), Hector D. Ginzo (아르헨티나), and Stephen Ogle (미국)

목 차

9 기타 토지.....9.4
9.1 서론.....9.4
9.2 기타 토지로 유지되는 기타 토지.....9.4
9.3 기타 토지에서 전환된 토지.....9.4
9.3.1 바이오매스.....9.4
9.3.1.1 방법의 선택.....9.5
9.3.1.2 배출/흡수 계수의 선택.....9.6
9.3.1.3 활동자료의 선택.....9.6
9.3.1.4 불확도 평가.....9.7
9.3.2 고사 유기물.....9.7
9.3.3 토양탄소.....9.8
9.3.3.1 방법의 선택.....9.8
9.3.3.2 축적량의 변화와 배출계수의 선택.....9.9
9.3.3.3 활동자료의 선택.....9.9
9.2.3.4 불확도 평가.....9.10
9.4 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고.....9.10

9 기타 토지

9.1 서론

본 권의 제3장은 나지, 암석, 빙하를 포함한 기타 토지에 대해 정의하며, 이 밖의 5개의 토지이용 카테고리에 포함되지 않은 모든 토지들은 4장에서 8장 사이에서 다루었다. 기타 토지의 경우 많은 부분 관리에서 제외되었으며, 이 경우 탄소(C)의 축적량의 변화 및 non-CO_2의 배출 및 흡수량이 측정되지 않았다. 지침서는 기타 토지에서 전환된 토지의 경우를 제공한다. 왜냐하면 탄소(C) 축적량의 변화와 non-CO_2 배출에 관여하는 토지의 전환에서 임지으로부터의 전환이 가장 중요하기 때문이다. 이러한 토지로부터 배출 및 제거된 양은 다음 설명된 방법에 따라 계속적으로 평가되어야 한다. 이 장은 기타 토지로부터 전환을 추적하고 전 토지지역의 일관성 있는 검토가 가능하게 한다.

9.2 기타 토지로 유지되는 기타 토지

기타 토지에서 전환된 토지의 배출 및 흡수량은 아래에서 설명한 방법을 이용하여 산정한다. 이것은 전환 후 기타 토지로 남아있는 토지에 대해서도 적용된다. 기타 토지로 유지되는 기타 토지의 모든 지역은 제3장에서 설명한 토지이용 변환 매트리스가 포함되어야 한다. 주거지의 개발로 인해 나지에서 전환된 토지로부터의 배출은 주거지 토지이용 카테고리 내에 포함되어야 한다 (제8장 주거지).

9.3 기타 토지에서 전환된 토지

이 단원에서는 다른 지역에서 전환된 토지에서의 탄소(C) 축적 변화량을 평가하기 위한 방법론을 제공한다. 만약 전혀 발생하지 않으면 일반적으로 주 카테고리에 들지 않을 것이다. 그러나 토지는 탄소저장 및 배출과 함께 벌채로 인한 분해 등의 결과로 다른 지역으로 전환될 수 있다. 제1장의 그림 1.3의 의사결정도는 다른 지역에서 전환된 지역을 위한 적절한 Tier를 찾기 위해 이용할 수 있다.

토지이용변환과 연관된 탄소축적변화량을 평가하기 위한 기본 식은 제2장의 2.3.1.2절에 언급하였다. 이 기본 방법은 다른 지역에서 전환된 임지, 농경지, 초지, 습지, 주거지에서의 탄소(C)축적변화량을 평가하기 위해 적용될 수 있다. 방법론의 확장은 다른 토지 분류의 전환기간에 따라 이러한 토지지역의 후처리를 위해 제공된다.

9.3.1 바이오매스

이 방법은 전환에 앞서 바이오매스 내의 탄소(C) 축적량의 평가를 요구하며, 토지이용 조사 기간 동안 전환된 토지의 평가에 근거한다. 다른 지역으로의 전환의 결과로 식생이 완전히 제거되었다고 가정한다. 전환 이후의 바이오매스 내에 남아있는 탄소(C)가 없다는 것이다. 탄소(C) 저장고의

초기 및 최종 바이오매스 사이의 차이는 토지이용 전환에 기인한 탄소(C)축적변화량을 계산하여 이용한다. 다음해에 다른 지역 안에서 축적 및 손실된 바이오매스 양은 0으로 고려된다. 그림 2.2는 바이오매스 내의 탄소(C) 축적 변화량을 산정하기 위해 적절한 Tier를 찾기 위한 의사결정도를 제공한다.

9.3.1.1 방법의 선택

기본 방법 (제2장 식 2.16)은 다른 지역에서 전환된 토지의 바이오매스 내의 탄소(C) 축적 변화량을 평가하는 방법을 제공한다. 지역단위 당 평균 탄소(C) 축적 변화량은 초기의 토지이용으로부터 살아있는 바이오매스의 제거로 인한 탄소(C) 축적 변화량과 같다고 산정한다.

Tier 1

Tier1 방법은 2장의 식 2.16의 접근법을 따른다. 지상부의 바이오매스 양은 제거되며 연간 다른 토지에서 변환된 토지에 전환 전(B_{BEFORE}) 토지의 바이오매스 내의 평균 탄소(C)함량을 곱하여 계산한다. 이 경우 식 2.16의 B_{AFTER}는 고정값 0으로 둔다. Tier1 계산에서 고정값을 두는 것은 바이오매스 내(지역으로부터 제거된 산림수확물보다는 적다)의 전체 탄소(C)량이 현장 안팎에서의 분해 과정에도 불구하고 대기 중으로 즉시 배출된다고 보는 것이다.

Tier 2

Tier2 방법은 다른 지역에서 전환되기 전(즉, 식 2.16의 B_{BEFORE})의 탄소(C)축적량과 관련된 국가고유자료를 이용하여 얻을 수 있다. B_{AFTER}는 0으로 남겨둔다. 부가하여 Tier2를 토대로 탄소(C)의 손실은 산불 또는 수확 등의 특별한 변환과정으로 할당될 수 있다. 이 방법은 non-CO_2 온실가스의 배출의 더욱 정확한 평가를 위해 이용된다. 제거된 바이오매스는 때때로 나무연료 및 나무 생산품으로 이용된다. 제2장의 2.4절은 바이오매스의 연소로부터 온실가스 non-CO_2 배출을 산정하기 위한 방법으로 제공된다. 제12장은 수확된 수목생산물 내의 탄소(C) 축적량을 위한 평가기술의 가이드라인을 제공한다.

Tier 3

Tier 3 방법은 Tier 2 방법보다 다음과 같은 더 자세한 자료정보를 요구한다.

- 지상참조 분할된 면적의 연간 전환은 기타 토지로 전환되는 각각의 토지이용으로 이용된다.
- 탄소(C) 밀도는 지역고유정보에 근거한다.
- 바이오매스 저장값은 인벤토리 및 모델로 인한 평가로 근거로 한다.
- Tier 3 방법은 탄소(C) 축적량의 동적인 움직임 및 전환에 따른 온실가스의 배출량을 추적하는데 이용할 수 있다. 고도의 분해로 인한 관리가 없는 상태의 식생이 유지되는 토지는 일반적으로 탄소(C) 함량이 지속적으로 감소될 것이다. 그렇지 않을 경우, 국가들은 제3장에 의거하여 토지가 다른 토지이용카테고리에 있는지 고려해 보아야 한다.

9.3.1.2 배출/흡수 계수의 선택

Tier 1

고정된 매개변수는 제한된 자료 내에서 국가들이 전환전의 바이오매스 축적량을 평가하기 위해 제공된다. 이 방법은 초기 토지이용을 위한 전환 전(B_{BEFORE})의 탄소 (C)저장량의 평가를 요구하며, 전환 후(B_{AFTER})의 탄소(C)축적량은 0으로 가정한다. 이 보고서의 제4, 5, 6, 7, 8장에서 제공된 표들에서 다른 토지이용내의 평균 지상부와 지하부 비율을 제공하며, 이것은 전환 전의 탄소(C)축적량을 평가하는데 이용될 수 있다.

Tier 2

Tier 2 방법은 다양한 토지이용 카테고리 내에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 지속적인 연구를 통한 국가고유자료가 요구된다. 위에서 언급한 고정된 탄소(C) 저장값은 Tier 2 방법에서 몇몇 변수에 적용될 수 있다. 바이오매스의 연소로부터 배출에 대한 고정된 변수들은 제2장의 2.4절에서 언급하였다. 그러나 인벤토리 편집자는 산정의 정확성을 증가하기 위해 고가고유 계수를 개발하여야 한다. B_{AFTER}은 0으로 한다.

Tier 3

Tier 3에 따라 모든 모델의 매개변수는 국가 고유화 되어야 하며, 인벤토리에서 나온 분산된 레벨 및 바이오매스 축적량이 이용되어야 한다.

9.3.1.3 활동자료의 선택

모든 Tier는 다른 토지에서 전환된 토지의 평가를 요구하며 토지이용 조사와 토지이용변화 매트릭스내의 전환에 이용된 기간은 일관되어야 한다. 제3장은 대표하는 토지자료의 다른 타입으로의 이용에 대한 지침을 제공한다. 같이 분산된 지역의 평가는 다른 지역에서 전환된 토지의 탄소(C)축적변화량의 산정으로 바이오매스와 토양에 이용되어야 한다. 높은 단계의 Tier는 지역의 전문성을 요구한다.

Tier 1

Tier 1 방법을 위해 다른 지역에서 전환된 토지이용 카테고리의 활동자료가 필요하다. 만약 국가들이 이러한 자료를 가지고 있지 않으면 부분적 샘플 및 전문가 의견을 토대로 역사적 평가를 통해 전체를 산정해 볼 수 있다. 다른 지역에서 전환된 임지는 특히 중요하다.

Tier 2

Tier 2 방법으로 인벤토리 작성자는 다양한 토지이용카테고리로부터 실제 지역 평가를 이용해야 한다. 토지 지역 전역의 형태는 주기적인 원격탐사기법을 통해 토지이용 및 피복 패턴의 분석하거나 혼합 인벤토리 시스템(hybrid inventory system)을 이용해 알아낼 수 있다. (제3장 별첨 3A.3은 샘플링 지침을 제공한다).

Tier 3

이용된 활동자료는 다른 지역에서 전환된 모든 토지이용카테고리의 총 평가를 아우를 수 있어야 하며, 국가내의 다른 상태의 조건지역을 설명하기 위해 분해 될 수 있어야 한다. 활동자료를 분할하는 것은 행정상, 생물상, 기후, 또는 이런 변수들이 조합된 경계(국가, 지방 등)에 따를 수 있다.

많은 경우 토지전환에 있어서 자료들은 주기적인 샘플링이나 토지이용 및 토지의 피복에 대한 원격탐사기법으로 이용 가능할 수 있다.

9.3.1.4 불확도 평가

Tier 1

Tier1에 따라 불확도의 근원은 전환 이전의 임지 또는 다른 지역 내의 바이오매스 탄소(C)축적량의 세계 및 국가적 평균값의 이용을 들 수 있고, 다른 지역에서 전환된 지역의 대강의 평가로 기인된다. 지역은 3장에서 나온 방법을 이용하여 산정되어야 한다. 탄소(C) 축적량은 지침서 내의 그들의 평가와 관련하여 불확도를 가질 것이다. 다른 평가들의 부재로 평가된 CO_2 배출의 ±75%수준의 고정된 불확도를 가정될 수 있다.

Tier 2

다른 토지에서 전환된 토지를 위한 실제지역의 평가는 더욱 명백한 계산과 지역의 중복계산을 피하기 위해 전문가의 의견을 따른다. Tier 2 방법은 최소 몇몇의 국가 고유값을 이용하며, 이것은 평가의 정확도를 향상시킬 것이다. 국가 고유값이 개발될 때 인벤토리 편집자는 충분한 샘플링 자료와 최소한의 오차를 위한 기법을 이용해야 한다. 가능밀도함수(Probability density function)는 모든 국가변수에서 나올 수 있다. 이러한 자료는 몬테-카를로(Monte-Carlo)시뮬레이션과 같은 더 발전된 불확도 분석법으로 이용될 수 있다. 이 보고서의 제1권 제3장에서 이러한 분석의 개발에 대한 지침을 추론해 볼 수 있다. Tier2 접근법은 최소한 각 국가고유변수를 위한 오차범위를 제공해야 한다.

Tier 3

활동자료는 토지 전환에 관계된 지역의 불확도의 평가를 위한 기준을 제공한다. 배출/제거 인자들의 결합과 활동자료,불확도와 관련된 것들은 몬테-카를로(Monte-Carlo) 법을 이용하여 조정할 수 있다.

9.3.2 고사 유기물

Tier 1과 2

Tier1과 2에서는 다른 토지에서 전환 후 바이오매스와 고사 유기물 내에 남아있는 탄소(C)의 양이 없다고 가정한다. 모든 바이오매스 탄소(C) 축적량은 전환기간에 나온다고 가정하며 따라서 DOM의 축적은 없다. Tier 1로 다양한 토지이용카테고리내의 DOM은 산정되지 않고 따라서 DOM과 관련하여 가라앉음으로서 배출 및 제거가 없는 것이다. 만약 국가들이 Tier2를 이용하여 토지이용카테고리를 위한 DOM 축적량을 평가하면, 모든 DOM이 다른 지역에서 전환된 해에 배출되었다고 가정한다.

Tier 3

Tier3에서 평가는 DOM의 국가 고유자료를 이용해야 한다.

9.3.3 토양탄소

다른 토지로부터 전환된 토지를 위해 인벤토리 편집자들은 다른 토지와 관련하여 초기토지이용에서 무기토양 내 탄소(C)축적변화량을 산정해야 한다. 암석지대와 같이 불침투성 표면 지대로 전환할 경우, 다른 토지에서의 토지의 전환은 이전에 토양이 가지고 있던 유기탄소(C)의 배출의 결과일 것이다.

제2장 2.3.3절 (식 포함)에서 제공된 탄소(C)축적변화량을 평가에 대한 일반적인 정보 및 가이드라인과 아래에서 설명될 지침의 고려와 함께 진행 전에 검토될 필요가 있다. 초지에서 전환된 토지에 대한 총 탄소(C) 축적 변화량은 식 2.24를 이용하여 평가된다. 이 단원은 무기토양에서 유기탄소(C)축적변화량의 산정에 대한 특별한 지침을 제공한다. 유기토양에서 변화량은 극히 적다. 왜냐하면 "기타 토지"에서는 배수의 가능성이 없기 때문이다. 그러나 토양의 무기탄소(C)와 함께 유기탄소(C)의 저장변화를 산정하기 위한 방법론이 제2장 2.3.3절에서 제공되었다.

9.3.3.1 방법의 선택

이전보다 더 자세한 자료를 요구하는 연속적인 Tier와 함께 인벤토리는 Tier 1, 2, 3 방법을 이용하여 개발 될 수 있다. 의사결정도는 적절한 tier의 선택과 함께 인벤토리 편집자를 보조하여 무기토양에 사용할 목적으로 제공되었다. Tier 1 방법을 따르면 토양 탄소(C) 축적량이 전환 후 0이 될 때까지 감소한다. 이러한 경우가 아니면 토지는 기타 토지 이용의 하나 카테고리로 분류되어야 한다. Tier 2에서 토지에서 탄소(C)축적량을 위한 국가 고유 평가는 다른 토지로 전환되어 왔으며, 토양 내의 탄소(C) 저장의 흐름은 국가고유자료를 이용하여 Tier 3에서 산정될 수 있다.

무기토양

Tier 1

제2장의 식 2.25를 이용하여 토양 내 유기탄소(C)량의 변화는 다른 지역에서 전환된 토지이용의 영향에 따른 무기토양에 의해 산정된다. 연간 배출(배출원) 및 제거(흡수)되는 비율은 초기해와 최종해의 저장의 차이로 인해 산정된다. 보통 20년으로 본다.

Tier 2

무기토양을 위한 Tier 2 방법은 또한 식 2.25에서 이용되지만 국가 및 지역고유의 대조군 탄소(C) 축적량 및 저장변화인자 및 더 세분화된 토지이용 활동자료 및 환경자료가 개입된다.

Tier 3

Tier 3 방법은 더 세밀한 국가 고유모델 또는 고도로 분해된 토지이용 및 관리 자료에 따른 특정을 기초로 한 접근법이 개입 될 것이다. 기타 토지에서 전환된 토지이용으로부터 토양의 탄소(C) 변화량을 평가하기 위해 Tier3은 적절한 방법이다. 임지, 초지, 농경지, 그 밖의 가능성 있는 주거지로부터 전환을 나타낼 수 있는 모델, 자료, 모니터링 네트워크를 이용한다. Tier 3 방법은 바이

오매스의 제거 및 벌채 후의 수목 쇄설물 및 낙엽층을 포함한 식생 잔여물의 처리의 평가와 함께 통합적이 되어야 한다. 식생 잔여물의 제거 및 처리의 정도는 토양 내의 유기물형태로 탄소(C)의 유입에 영향을 줄 것이고, 분해 및 연소로 탄소(C)의 감소에 영향을 줄 것이다.

9.3.3.2 축적량의 변화와 배출계수의 선택

무기토양

Tier 1

첫 해의(전환 전) 토양의 유기탄소(C) 축적량($SOC_{(0-T)}$)은 토양의 유기탄소(C)축적량(SOC_{REF}) 기준치와 토지이용 시스템(F_{LU})의 저장변화계수들에 의해 계산된다. 전환기간에 대한 계수 20년의 마지막에서 탄소(C) 저장 기준값은 0으로 가정한다. 다른 토지이용 부문을 위한 첫 해의 저장변화량에 따라 특정정보를 위한 적절한 절 (4.2.3.2절의 임지, 5.3.3.2절의 농경지, 6.2.3.2절의 초지, 8.2.3.2절의 주거지)을 참고한다.

Tier 2

Tier 2 방법은 국가고유자료로서 탄소(C)축적량 기준치와 저장변화계수들((SOC_{0-T}), $F_{LU,}$ F_{MG}, $F_{I)}$ 를 이용하여 수행될 수 있다. 총 기간 20년의 마지막 시점에 국가고유 탄소(C)저장기준치가 적용될 수 있다. 결과적으로 배출 및 제거되는 양을 0으로 둔다. 다른 토지이용 부문을 위한 첫 해의 저장변화량에 따라 특정정보를 위한 적절한 절 (4.2.3.2절의 임지, 5.3.3.2절의 농경지, 6.2.3.2절의 초지, 8.2.3.2절의 주거지)을 참고한다.

기준값은 모든 토지이용 부문에서 일정해야 하며, AFOLU를 위해 토양 내의 탄소(C) 인벤토리를 수행하기 위한 다양한 조직들 간의 화합이 요구된다.

Tier 3

모델에 쓰이는 변수들은 3장에서 언급한 대표적 샘플링법을 통한 토양 인벤토리의 적용과 함께 국가고유자료 및 토양의 축적량을 이용하여 결정될 것이다.

9.3.3.3 활동자료의 선택

무기토양

Tier 1과 2

탄소(C) 축적량 변화를 평가하기 위한 목적으로 다른 지역에서 전환된 토지이용에 대한 평가는 주요 기후지역 및 토양의 타입에 따라 나뉘어져야 한다. 만약 이러한 정보들이 축적되지 않았을 때 초기 접근은 이용 가능한 토지피복/토지이용 지도(IGBP_DIS 같은 국제적 모델이용)와 UNEP로부터 제공되는 세계 기후데이터의 FAO 토양지도와 같은 토양 및 기후 지도를 함께 중첩해 보는 것이다. 기후 및 토양분류안의 기준값은 제3장에서 언급하였다. 토양의 타입은 분류학 및 조직자료를 근거로 구분되며 기후지역은 평균 연중온도, 강수량, 고도, 잠재 증발량 등을 근거로 분류된다. 활동자료에 대한 특정부분의 정보를 위해 각 토지이용카테고리에 대한 절을 참고 한다 (4.2.3.2절의 임지, 5.3.3.2절의 농경지, 6.2.3.2절의 초지, 8.2.3.2절의 주거지).

제3장의 접근법 2 또는 3으로 모인 활동 자료들은 *기타 토지에서 전환된 토지*에 대해 이전 토지

이용을 결정하기 위한 기준을 제공한다. 그러나 최소한의 기본 형태에서는 분산된 자료(접근법 1)는 특정 전환을 나타내 주지 않는다. 이러한 경우 다른 지역에서의 전환은 *기타 토지로 유지되는 기타 토지*로 보고 될 것이다. 이로서 전 기간을 걸쳐 일관성을 유지하기 위해 토지이용카테고리들 간 조정하는 것이 특히 중요하다는 것을 알 수 있다.

Tier 3

Tier 3에서 역학 모델 및 직접 측정에 근거한 인벤토리의 적용은 Tier 1, 2와 비교하여 기후, 토양, 지형, 관리데이터가 결합된 상세한 자료가 요구된다. 그러나 실제 요구되는 사항들은 모델 및 측정 디자인에 따라 달라진다.

9.2.3.4 불확도 평가

다른 토지에서 전환된 토지의 토양 탄소(C)축적변화량의 평가에 불확도는: (ⅰ) 전환 이전의 토지이용 및 관리활동에 대한 불확도; (ⅱ) 무기토양만을 위한 Tier 1, 2 방법을 이용한 탄소(C) 저장양의 기준값에 대한 불확도; (iii) Tier 1 또는 2 방법의 저장변화/배출계수들에 대한 불확도다. 제3장의 표 3.7은 측정지역의 다른 접근법들과 연관된 불확도 범위의 기준값을 제공하며, 탄소(C) 축적량에 대한 불확도는 Tier 1에서 ±50%를 초과할 수 있다.

9.4 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고

완전성

인벤토리 방법론에 의해 전환된 다른 토지의 총 면적은 전 인벤토리 기간 동안 *기타 토지에서 전환된 토지* 및 *기타 토지로 유지되는 기타 토지*의 합이다. 인벤토리 편집자는 국가 경계 내의 기타토지로 분류된 토지의 총 면적의 시간의 흐름에 따른 추적이 장려되며, 탄소(C) 축적변화량을 평가하기 위해 이용된 부분의 자료들을 보유해야 한다. 배출 및 제거에 대한 인벤토리에 대한 자료가 충분하지 않아도 경계권 안의 모든 토지 지역 보고는 포함되어야 한다.

일관성 있는 시계열 개발

일관성 있는 시계열을 유지하기 위해 토지이용을 위한 정의, 탄소(C) 인벤토리 내에 포함된 지역, 계산 방법 등을 포함하여 보고 된 시간을 통틀어 동일한 인벤토리 방법의 적용 등은 좋은 지침이다. 이러한 조건아래 재계산을 위한 지침은 제1권 제5장에서 언급하였다. 일관성 있는 평가와 “기타 토지"의 보고는 또한 인벤토리 전 기간에 걸쳐 기후 및 토양유형의 일반적 정의를 요구한다.

인벤토리의 품질보증/품질관리 (QA/QC)

품질관리를 조절하고 인벤토리의 계산 및 자료에 대한 외부 전문가의 검토를 수행한다. 특히 주의할 점은 양질의 데이터와 증명할 수 있는 전문가 의견을 토대로 한 보장을 위해 축적량 계수 및 배출계수에 대한 국가고유평가를 고려해야 한다.

보고와 기록

국가 인벤토리 평가에 이용된 모든 자료를 보관하고 기록한다. 자료에 대한 메타데이터와 자료의 원천은 국가고유변수 평가에 이용되며 문서화 되어야 한다. 그리고 평균 및 분산 평가를 제공한다. 실제 데이터베이스와 진행과정들은 국가고유인자들이 기록되어야 하는 것을 평가하기 위해 자료 공정 (예. 통계 프로그램)에 이용된다. 활동자료와 정의들은 카테고리화 및 자료의 분해에 이용되고 이것은 반드시 문서화 및 보관되어야 한다.

표와 워크시트 작성

본 장에서 서술된 카테고리들은 제1권 제8장에 제시된 표를 이용하여 기록 될 수 있다. *기타 토지에서 전환된 토지*의 결과로 토양으로부터 배출 및 제거된 이산화탄소(C)를 평가는 IPCC 보고서의 카테고리 5D에서 설명하였다. 워크시트는 기타 *토지에서 전환된 토지*에서의 이산화탄소(CO_2)의 배출 및 흡수량을 계산하기 위해 별첨 1에 제공하였다.

제10장

가축 및 분뇨관리로 인한 배출

저자

Hongmin Dong (중국), Joe Mangino (미국), and Tim A. McAllister (캐나다)
Jerry L. Hatfield (미국), Donald E. Johnson (미국), Keith R. Lassy (뉴질랜드), Magda Aparecida de Lima (브라질), and Anna Romanovskaya (러시아)

부저자(contributing authors)

Deborah Bartram (미국), Darryl Gibb (캐나다), and John H. Martin, Jr. (미국)

목 차

10 가축 및 분뇨관리로 인한 배출.....10.7
10.1 서론.....10.7
10.2 가축 개체수와 사료 특성묘사.....10.7
10.2.1 가축 카테고리와 하위 카테고리를 정의하는 단계.....10.7
10.2.2 방법론의 선택.....10.8
10.2.3 불확도 평가.....10.28
10.2.4 종이 없는 가축의 특성 묘사: 특수한 배출량 산정 방법.....10.28
10.3 장내발효에 의한 메탄 배출량.....10.29
10.3.1 방법론의 선택.....10.30
10.3.2 배출계수의 선택.....10.32
10.3.3 활동자료의 선택.....10.41
10.3.4 불확도 평가.....10.41
10.3.5 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고와 기록.....10.42
10.4 분뇨 처리에 의한 메탄 배출량.....10.43
10.4.1 방법론의 선택.....10.44
10.4.2 배출계수의 선택.....10.46
10.4.3 활동자료의 선택.....10.59
10.4.3 불확도 평가.....10.60
10.4.5 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고와 기록.....10.62
10.5 분뇨 처리에 의한 N_2O 배출량.....10.65
10.5.1 방법론의 선택.....10.66
10.5.2 배출계수의 선택.....10.71
10.5.3 활동자료의 선택.....10.76
10.5.4 관리된 토양으로부터 N_2O 배출량 기록을 위한 조정.....10.81
10.5.5 불확도 평가.....10.84
10.5.6 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고와 기록.....10.86
10.5.7 워크시트의 활용.....10.88
첨부 10A.1 장내 발효에 대한 메탄 기본 배출계수의 기초가 되는 자료.....10.90
첨부 10A.2 분뇨 처리에 대한 메탄 기본 배출계수의 기초가 되는 자료.....10.95
참고문헌.....10.103

식

식 10.1 연평균 개체 수.....10.9
식 10.2 유지에 필요한 순 에너지를 계산하기 위한 계수.....10.16
식 10.3 유지를 위한 순 에너지.....10.18
식 10.4 활동을 위한 순 에너지 (소, 물소).....10.19
식 10.5 활동을 위한 순 에너지 (양).....10.19
식 10.6 성장을 위한 순 에너지 (소, 물소).....10.21
식 10.7 성장을 위한 순 에너지 (양).....10.21
식 10.8 수유를 위한 순 에너지 (육우, 젖소, 물소).....10.22
식 10.9 양의 수유를 위한 순 에너지 (우유 생산이 알려진).....10.22
식 10.10 양의 수유를 위한 순 에너지 (우유 생산이 알려지지 않은).....10.23
식 10.11 일을 위한 순 에너지 (소, 물소).....10.23
식 10.12 양모를 생산하기 위한 순 에너지 (양).....10.23
식 10.13 임신을 위한 순 에너지 (소, 물소, 양).....10.24
식 10.14 사료에서 유지를 위해 사용가능한 순 에너지와 소화 가능한 에너지 소비량의 비 10.25
식 10.15 사료에서 성장을 위해 사용가능한 순 에너지와 소화 가능한 에너지 소비량의 비 10.25
식 10.16 소/물소와 양의 총 에너지.....10.26
식 10.17 성장하고 있는 소와 다 성장한 소의 건물질 섭취량 산정.....10.27
식 10.18a 성숙한 육우의 건물질 섭취량 산정.....10.27
식 10.18b 성숙한 젖소의 건물질 섭취량 산정.....10.27
식 10.19 가축 카테고리의 장내 발효 배출량.....10.35
식 10.20 가축의 장내 발효에 의한 총 배출량.....10.35
식 10.21 가축 카테고리의 장내 발효에 의한 CH_4 배출계수.....10.39
식 10.22 분뇨 처리로부터의 CH_4 배출량.....10.46
식 10.23 분뇨 처리에 대한 CH_4 배출계수.....10.52
식 10.24 휘발성 고형물 배설율.....10.53
식 10.25 분뇨 처리로부터 직접적인 N_2O 배출량.....10.67
식 10.26 분뇨 처리로부터 휘발에 기인한 N 손실량.....10.68
식 10.27 분뇨 처리로부터 N 휘발에 기인한 간접적인 N_2O 배출량.....10.70

식 10.28 분뇨 처리 시스템으로부터 침출에 기인한 N 손실량.....10.71
식 10.29 분뇨 처리 시스템으로부터 침출에 기인한 간접적인 N_2O 배출량.....10.71
식 10.30 연간 N 배출률.....10.72
식 10.31 연간 N 배출률 (Tier 2).....10.73
식 10.32 소의 N 섭취율.....10.73
식 10.33 소의 N 잔류 비율.....10.75
식 10.34 관리되는 토양, 사료, 연료, 또는 건설 용도로 사용가능한 관리된 분뇨의 N 10.82

그 림

그림 10.1 가축 개체 수 특성묘사에 대한 의사결정도.....10.10
그림 10.2 장내발효에 의한 CH_4 배출량 산정을 위한 의사결정도.....10.31
그림 10.3 분뇨관리에 의한 CH_4 배출량 산정을 위한 의사결정도.....10.45
그림 10.4 분뇨 처리에 의한 N_2O 배출량 산정을 위한 의사결정도 (주 1).....10.69

표

표 10.1 대표적인 가축 카테고리.....10.13
표 10.2 다양한 가축 카테고리에 대한 대표적인 사료 소화능력.....10.17
표 10.3 소, 물소, 양의 일일 총 에너지 섭취량을 산정하는데 사용되는 식들의 개요...10.18
표 10.4 유지에 필요한 순 에너지를 계산하기 위한 계수 (NE_m).....10.20
표 10.5 동물의 사육 상황에 따른 활동 계수.....10.20
표 10.6 양에 대한 NE_g를 계산하는데 사용되는 상수.....10.22
표 10.7 식 10.13에서 NE_p를 계산하는데 사용되는 상수.....10.24
표 10.8 식 10.17과 10.18에서 건물질 섭취량의 산정을 위해서 소에게 제공되는 전형적인 사료의 NE_m 함량 예.....10.28
표 10.9 장내 발효에 대해 제안된 배출량 인벤토리 방법.....10.33
표 10.10 Tier 1 방법에 대한 장내 발효 배출계수.....10.34
표 10.11 소에 대한 Tier 1의 장내 발효 배출계수.....10.35
표 10.12 소/물소의 CH_4 전환 계수 (Y_m).....10.38
표 10.13 양의 CH_4 전환 계수 (Y_m).....10.39
표 10.14 기온별 소, 돼지, 물소의 분뇨 처리 메탄 배출계수.....10.48

표 10.15 기온별 양, 염소, 낙타, 말, 노새, 나귀, 가금류[a]의 분뇨 처리 메탄 배출계수.....10.50
표 10.16 사슴, 순록, 토끼, 털이 있는 동물의 분뇨 처리 메탄 배출계수.....10.51
표 10.17 분뇨관리 시스템에 대한 온도별 MCF 값.....10.55
표 10.18 분뇨 처리 시스템의 정의.....10.61
표 10.19 질소 배출율의 기본 값.....10.74
표 10.20 다른 가축 종/카테고리에 의해 잔류된 가축의 사료 섭취량에서 질소 비율에 대한 기본 값.....10.75
표 10.21 분뇨 처리로부터 직접적인 N_2O 배출계수 기본값.....10.78
표 10.22 분뇨 처리로부터 NH_3와 NO_x 휘발로 인한 질소 손실량 기본값.....10.82
표 10.23 분뇨 처리로부터 총 질소 손실량 기본값.....10.85
표 10A.1 표 10.11에서 젖소에 대한 Tier 1의 장내 발효 CH_4 배출계수를 산정하기 위한 자료.....10.91
표 10A.2 표 10.11에서 다른 소에 대한 Tier 1의 장내 발효 CH_4 배출계수를 산정하기 위한 자료.....10.92
표 10A.3 물소에 대한 Tier 1의 장내 발효 CH_4 배출계수를 산정하기 위한 자료.....10.94
표 10A-4 젖소에 대한 분뇨 처리 메탄 배출계수 유도.....10.96
표 10A-5 다른 소에 대한 분뇨 처리 메탄 배출계수 유도.....10.97
표 10A-6 물소에 대한 분뇨 처리 메탄 배출계수 유도.....10.98
표 10A-7 판매용 돼지에 대한 분뇨 처리 메탄 배출계수 유도.....10.99
표 10A-8 번식용 돼지에 대한 분뇨 처리 메탄 배출계수 유도.....10.100
표 10A-9 다른 동물에 대한 분뇨 처리 메탄 배출계수 유도.....10.101

10 가축 및 분뇨관리로 인한 배출량

10.1 서론

이 장에서는 가축의 장내발효로부터 발생하는 메탄과 분뇨 처리로부터 발생하는 메탄과 아산화질소의 배출을 산정하는 방법을 제공한다. 가축에서 배출되는 이산화탄소(CO_2)는 연간 순 이산화탄소(CO_2)의 배출이 0이라고 가정-식물에 의해서 광합성 되는 이산화탄소(CO_2)가 호흡으로 소비된 만큼 대기 중으로 돌아간다-하기 때문에 산정하지 않는다. 탄소(C)의 일부분은 메탄(CH_4)의 형태가 되고 이러한 이유 때문에 메탄(CH_4)은 따로 고려해야 한다.

가축 사육은 장내발효로부터 메탄(CH_4)을 발생하고, 가축분뇨 처리시스템으로부터 메탄(CH_4)과 아산화질소(N_2O)를 발생시킬 수 있다. 되새김질을 하는 소화 시스템을 가지고 있는 소는 메탄(CH_4) 배출율이 높고 개체수가 많기 때문에 많은 국가에서의 주요한 메탄(CH_4) 배출원이다. 가축은 많은 숫자와 장내 발효 시스템의 높은 메탄 배출율 때문에, 메탄의 주요 소스로 알려 있다. 분뇨관리로부터의 아산화질소(N_2O) 배출은 사용된 관리시스템에 따라 다양하게 나타나고 시스템으로부터의 다른 형태의 질소 손실에 기인한 간접적인 배출을 발생시킬 수도 있다. 분뇨관리시스템으로부터의 질소 손실의 계산은 또한 관리된 토양에 분뇨 적용 또는 사료로 사용되거나 연료, 건설 목적으로 사용가능한 질소의 양을 결정하는데 중요한 단계이다. - 배출은 제11장, 11.2절 (관리된 토양으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출)에 계산되어 있다.

가축으로부터의 메탄(CH_4)과 아산화질소(N_2O) 배출을 산정하기 위한 방법을 사용하려면 가축의 하위 카테고리의 정의, 연간 개체수가 필요하다. 더 높은 tier의 방법을 위해서는 사료 섭취량과 사료 특성묘사가 필요하다. 가축의 하위 카테고리를 정의하고 개체 수 자료를 개발하고 사료의 특성을 묘사하기 위한 절차는 10.2절(가축 개체수와 사료 특성묘사)에 설명되어 있다. 다양한 가축의 카테고리에 대해 제안된 사료소화계수(feed digestibility coefficients)는 장내발효와 분뇨로부터의 배출을 계산할 때 사용하기 위한 사료 투입량의 산정을 돕기 위해 제공되었다. 10.2절에 나타난 것처럼 조정된 가축 특성묘사를 다음의 배출원 카테고리를 통해 일관성을 보증하는데 사용된다:

- 10.3절 - 장내발효로부터의 메탄(CH_4) 배출;
- 10.4절 - 분뇨관리로부터의 메탄(CH_4) 배출;
- 10.5절 - 분료관리로부터의 아산화질소(N_2O) 배출(직접적, 간접적);
- 제11장, 11.2절 - 관리된 토양으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출(직접적, 간접적)

10.2 가축 개체수와 사료 특성묘사

10.2.1 가축 카테고리와 하위 카테고리를 정의하는 단계

*우수 실행 방안(Good practice)*은 각각의 배출원 카테고리에 대한 배출량 산정을 위한 적절한 방법을 정의하고 각각의 가축 종을 위해 정의된 세부적인 요구사항에 대한 특성묘사에 근거를 두는 것이다. 국가에 의해 사용된 가축 특성묘사는 각각의 배출원 카테고리의 필요가 배출량 산정과정 동안 평가됨에 따라 반복법을 경험할 것이다 (그림 10.1. 가축 개체 수 특성묘사를 위한 의사결정도 참조). 이 단계는 다음과 같다:

- **각각의 배출원 카테고리에 적용 가능한 가축 종을 정의하라:** 하나 이상의 배출원 카테고리에 기여하는 가축종은 첫 번째로 리스트에 들어가야 한다. 이러한 종들은 전형적으로 소, 물소, 양, 염소, 돼지, 말, 낙타, 노새/당나귀, 가금류이다.
- **각각의 관련된 배출원 카테고리를 위한 배출량 산정방법을 검토하라:** 장내발효와 분뇨관리의 배출원 카테고리를 위해서 배출원 카테고리에 대한 각각의 종을 위한 배출량 산정방법을 정의하라. 예를 들어 소, 물소, 양으로부터의 장내 발효는 각각 배출의 추세 또는 수준이 Tier 2 또는 tier 3 배출량 산정치와 맞는지 아닌지를 평가하기 위해 조사되어야 한다. 유사하게 소, 물소, 돼지, 가금류로부터의 분뇨 처리 메탄 배출은 Tier 2 또는 Tier 3 배출량 산정치가 적절한지 아닌지를 결정하기 위해서 조사되어야 한다. 기존의 인벤토리 산정치는 이러한 평가를 집행하기 위해서 사용될 수 있다. 인벤토리가 최신의 것으로 개발되지 않았다면 Tier 1 배출 산정치는 이러한 평가를 진행하기 위한 초기 산정치를 제공하기 위해서 계산되어야 한다. 방법론의 선택에 대한 일반적인 이슈에 대해 참고하려면 제1권 제4장 (주 카테고리의 방법론적 선택과 정의)을 보라.
- **각각의 가축 종에 대해 요구되는 가장 세부적인 특성묘사를 정의하라:** 각각의 배출원 카테고리하의 각각의 종에 대한 평가에 기초하여 각각의 종에 대한 각각의 배출량 산정치를 지지하는데 요구되는 가장 세부적인 특성묘사를 정의하라. 전형적으로 '기본적인' 특성묘사는 장내발효와 분뇨 배출원이 모두 Tier1 방법으로 산정되었다면 모든 관련된 배출원 카테고리에 걸쳐서 사용될 수 있다. Tier2 방법이 장내 발효와 분뇨 둘 중의 하나에라도 사용되었다면 모든 관련된 배출원에 걸쳐 '향상된' 특성묘사가 사용되어야 한다.

10.2.2 방법론의 선택

Tier1: 가축 개체수에 대한 기본적인 특성묘사

Tier1에 대한 기본적인 특성묘사는 대부분의 국가에서 대부분의 동물 종에게 충분할 것 같다. 이 접근법을 위해서 배출량 산정을 지지하기 위해서 다음의 가축 특성묘사를 수집하는 것은 *우수 실행 방안* 이다:

가축 종과 카테고리: 기본 배출계수치를 가지고 있는 모든 가축 개체들의 완전한 리스트는 만약 이 카테고리들이 국가와 관련이 있다면 반드시 개발되어야 한다(예: 젖소, 다른 소, 물소, 양, 염소, 낙타, 야마, 알파카, 사슴, 말, 토끼, 노새와 당나귀, 돼지, 가금류). 사용가능한 자료가 있다면 더 세부적인 카테고리가 사용되어야 한다. 예를 들어 가금류를 더 세분화한다면(예: 알 낳는 닭, 구이용 영계, 칠면조, 오리, 다른 가금류) 이러한 다른 개체들의 폐기물 특성이 다양하기 때문에 더 정확한 배출량 산정을 할 수 있다.

연간 개체 수: 가능하다면 인벤토리 작성자는 공식적인 국가 통계자료 또는 산업계의 자료로부터 얻은 개체 수 자료를 사용해야 한다. 국가 통계 자료가 사용가능하지 않다면 Food and Agriculture Organisation(FAO) 자료가 사용될 수 있다. 주기적인 출산과 도축은 개체수를 증가시키거나 감소시킬 수 있다. 이러한 사실은 개체 수 자료도 이에 따라 수정할 것을 요구한다. 국가 통계 기관이나 다른 자료원으로부터 받은 개체 수 자료를 수정한 것도 포함하여 연간 개체수를

산정하는데 사용된 방법을 충분히 문서화하는 것은 중요하다.

연간 평균 개체 수는 사용가능한 자료와 동물 개체수의 성질에 의존하는 다양한 방법으로 산정된다. 정적인 동물(예: 젖소, 돼지, 산란 닭)의 개체수의 경우 연간 평균 개체수의 산정은 한번의 동물 인벤토리 자료에 관련된 자료를 얻는 것만큼 간단할 것이다. 그러나 개체수가 증가하는 동물(예: 구이용 영계, 칠면조, 육우, 판매용 돼지와 같이 고기로 사용되는 동물)에 대한 연간 평균 개체수의 산정은 그 이상의 평가가 요구된다. 개체수가 증가하는 대부분의 동물은 제 수명의 일부분만을 산다. 이러한 동물들은 인간의 섭취를 위해서 도축되었거나 자연적인 원인으로 죽었을지라도 개체 수에 포함되어야 한다. 식 10.1은 가축 개체수의 연간 평균을 산정한다.

식 10.1
연평균 개체 수

$$AAP = Days\_alive \bullet \left(\frac{NAPA}{365}\right)$$

여기서:

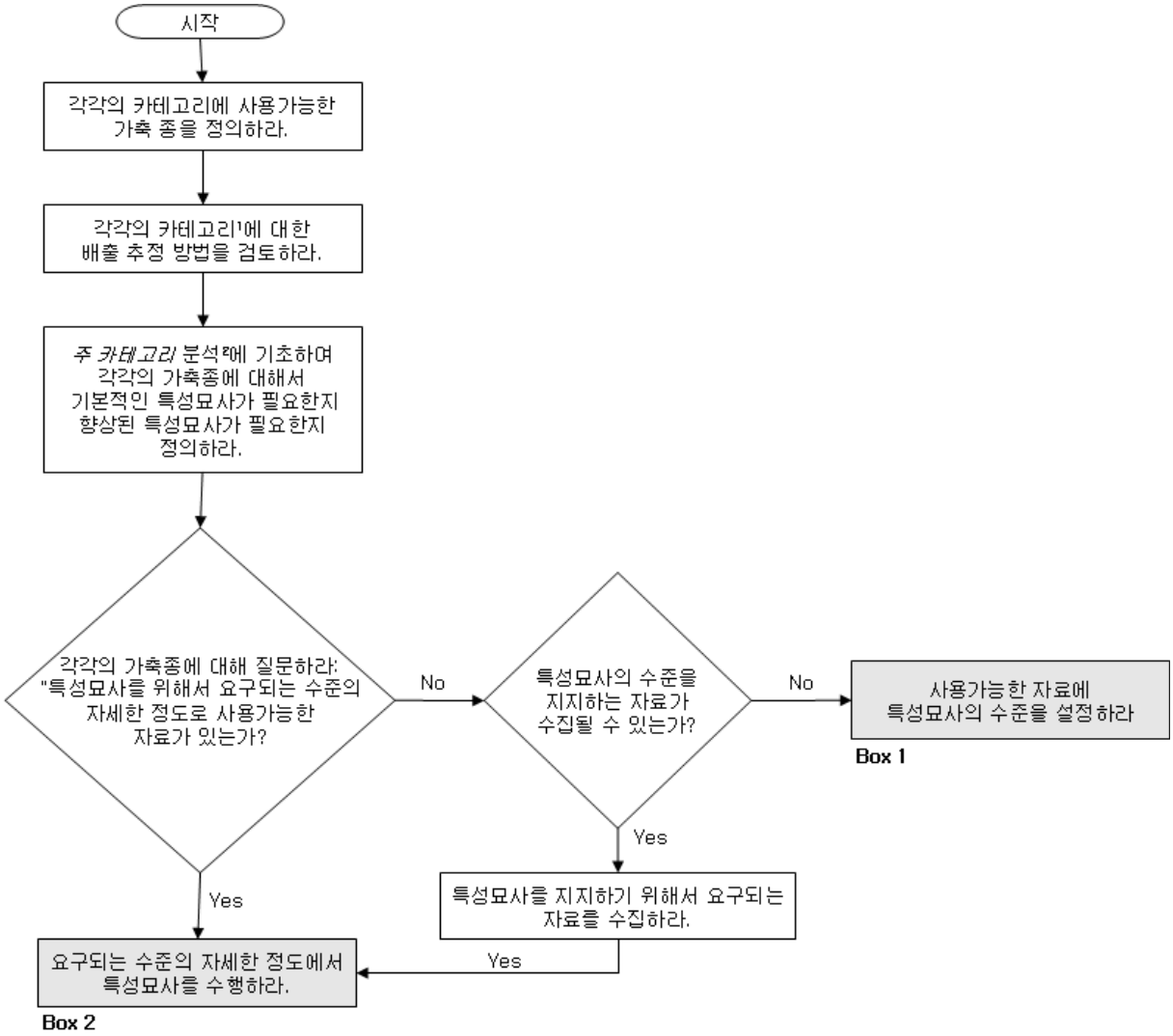
AAP = 연평균 개체 수

NAPA = 연간 생산되는 동물 수

전형적으로 구이용 영계는 도축할 때까지 60간 사육한다. 한 해의 코스 동안 키워지고 도축되는 동물의 숫자에 따른 연평균 개체수의 산정은 각각의 동물이 365일 동안 살았다고 가정할 경우 개체수를 상당히 과대산정할 수 있다. 대신에 키우는 동물의 숫자를 연간 사육 사이클의 숫자로 나눈 것에 따라 연평균 개체수를 산정할 수 있다. 예를 들어 구이용 영계가 전형적으로 60동안 키워진다면 운영은 연간 약 6번의 싸이클이 운영될 것이다. 그러므로 연간 60,000마리의 닭을 사육한다면 연평균 개체 수는 9,863마리가 된다. 예에 대한 식은 다음과 같다:

연평균 개체 수 = 60일 • 60,000/365일/연 = 9,635마리

그림 10.1 가축 개체 수 특성묘사에 대한 의사결정도



주:

1: 이 카테고리들은 다음을 포함 한다: 장내 발효로부터의 메탄(CH_4) 배출, 분뇨 처리로부터의 메탄(CH_4) 배출, 분뇨 처리로부터의 아산화질소(N_2O) 배출

2: *주 카테고리*와 의사결정도의 사용에 대한 논의를 위해서는 제1권 제4장 "주요한 카테고리의 방법론적 선택과 정의"(4.1.2절은 제한된 자원에 관해 써있음)를 참고한다.

젖소와 우유 생산: 젖소 개체 수는 다른 소와 다르게 산정된다(표 10.1을 보라). 젖소는 인간이 섭취하기 위하여 상업적인 양의 우유를 생산하는 성숙한 암소로 정의된다. 이 정의는 FAO Production Yearbook에 보고 된 젖소 개체 수에 대응한다. 어떤 국가들에서 젖소의 개체 수는 다음과 같은 두 가지의 잘 정의된 부분으로 구성된다; (i) 상업적 운영에서 생산량이 많은(개선된) 품종; 과 (ii) 전통적인 방법으로 관리되는 생산량이 적은 소. 이 두 부분은 조합될 수 있고 또한 두 가지의 젖소 카테고리를 정의함에 의해서 분리되어 평가될 수 있다. 그러나 젖소 카테고리는 원칙적으로 고기를 위해 사용될 송아지를 생산하는 소 또는 노동력 제공용으로 쓰이는 소는 포함하지 않는다. 생산성이 낮고 다용도로 쓰이는 소는 다른 소 카테고리에 들어가야 한다.

우유를 생산하는 물소는 젖소와 유사한 방법으로 카테고리화 되어야 한다.

젖소의 평균 우유 생산량에 대한 자료가 또한 요구된다. 우유 생산량 자료는 Tier 2 방법을 사용하여 장내 발효에 대한 배출계수를 산정하는데 사용된다. 이러한 자료는 젖소 한 마리당 연간 생산하는 우유의 킬로그램이라는 단위로 표현된다. 두 개 또는 그 이상의 소의 카테고리가 정의된다면 각각의 카테고리에 대해 소 한 마리당 평균 우유 생산량이 요구된다.

Tier 2: 가축 개체 수에 대한 개선된 특성묘사

Tie r2 가축 특성묘사는 다음에 관한 세부적인 정보를 요구 한다:

- 가축 하위카테고리에 대한 정의;
- Tier1에 따르는 연간 개체수의 산정을 고려한 하위카테고리별 가축 개체수;
- 각각의 하위카테고리의 전형적인 동물에 대한 사료 공급 산정

가축 개체수 하위카테고리는 동물들의 상대적으로 동질적인 하위 그룹을 만드는 것으로 정의된다. 개체들을 이러한 하위카테고리로 나눔에 의해서 전체 가축 개체수안에서의 연령 구성과 동물 성과(performance)의 국가에 특수한 변이(variation)가 반영될 수 있다.

Tier2 특성묘사 방법론은 장내 발효로부터 메탄 생산을 산정하는데 사용되는 사료 공급을 더욱 정확히 산정하기 위해서 동물, 동물 생산성, 식이요법(diet)의 질, 관리 환경을 정의하려고 시도한다. 동일한 사료 공급 산정은 분뇨 처리로부터의 CH_4와 N_2O 배출의 정확성과 일관성을 향상시키기 위해서 분뇨와 질소 배출율의 조화된 산정을 하는데 제공되어야 한다.

가축 하위카테고리의 정의

가축 개체수를 연령과 생산 유형, 성별에 따라 각각의 종에 대해 하위카테고리로 구분하는 것은 *우수 실행 방안*이다. 이것을 행하는데 대표적인 가축 카테고리는 표 10.1에 나타나 있다. 그 이상의 하위카테고리 또한 가능하다:

- 소와 물소 개체수는 적어도 세 가지의 주요한 하위카테고리로 분류되어야 한다: 성숙한 젖소, 다른 성숙한 소, 자라고 있는 소. 배출량 산정 방법의 자세한 수준에 의존하여 하위 카테고리는 동물이나 사료 특성에 따라서 그 이상으로 분류될 수 있다. 예를 들어 자라고 있는/살찌우

고 있는 소는 곡물이 높은 비중을 차지하는 식이 요법으로 건조장에서 자라는 것과 단지 목장에서만 자라는 소로 분류할 수 있다.

- 소와 물소에 대해 이용되는 것과 유사한 하위구분은 양을 분류하는데도 사용될 수 있다. 예를 들어 자라고 있는 양은 목장에서 자란 양과 사육장에서 자란 양으로 분류될 수 있다. 동일한 접근법이 염소에도 적용될 수 있다.
- 돼지의 하위카테고리는 생산 상태에 기초하여 분리될 수 있다. 예를 들어 자라고 있는 돼지는 집약적인 생산 시설에서 키워진 것과 놓아기르는 상태에서 자란 것으로 구분할 수 있다.
- 가금류의 하위카테고리는 생산 상태에 기초해 구분될 수 있다. 예를 들어 가금류는 사육장에서 기른 것과 놓아기르는 것으로 구분할 수 있다.

규모가 큰 국가 또는 지역적으로 차이점이 있는 국가들을 위해서 지역들을 명명하고 그러한 지역 안에서 카테고리들을 정의하는 것을 유용할 것이다. 지역적인 하위구분은 기후, 사료 공급 시스템, 식이 요법, 분뇨 처리에서의 차이를 나타내는 것에 유용할 것이다. 그러나 이러한 더 이상의 구분은 이러한 가축 카테고리에 따른 사료 공급과 분뇨 처리 용법에 관한 수반하는 세부적인 자료가 사용가능할 때 유용하다.

표 10.1
대표적인 가축 카테고리[1,2]

주 카테고리	하위 카테고리
성숙한 젖소 또는 성숙한 젖을 생산하는 물소	• 한번 이상 송아지를 낳은 우유 생산 능력이 높은 암소 • 한번 이상 송아지를 낳은 우유 생산 능력이 낮은 암소
다른 성숙한 소 또는 성숙한 젖을 생산하지 않는 물소	암컷: • 고기용 송아지를 낳기 위한 암소 • 하나 이상의 목적으로 사용되는 암소: 우유, 고기, 노동력 수컷: • 새끼를 낳는 용도로 사용되는 수소 • 노동력을 제공하기 위해서 사용되는 거세한 수소
자라고 있는 소 또는 물소	• 젖을 떼기 전의 송아지 • 젖을 떼고 있는 송아지 • 젖을 뗀 후 성장하고/살찌우고 있는 소 또는 물소 • 90% 농도 이상이 함유된 식단으로 사육장에서 키우는 소
성숙한 암양	• 새끼를 낳고 양모를 생산하는 암양 • 상업적인 젖의 생산이 우선적인 목적인 암양
다른 성숙한 양 (1년 이상	• 더 이상의 하위카테고리는 없음
자라고 있는 양	• 거세하지 않은 수컷 • 거세한 수컷 • 암컷
자라고 있는 돼지	• 어린 것 • 다 큰 것 • 새끼를 낳는 용도로 사용할 어린 암퇘지 • 새끼를 낳는 용도로 사용할 어린 수퇘지
닭	• 구이용 영계 • 건조 시스템으로 분뇨를 관리하는 곳 (예: 층층이 쌓인 양계장에서 알을 낳는 닭 • 습윤 시스템으로 분뇨를 관리하는 곳 (예: 늪에서 알을 낳는 닭 • 알을 낳거나 고기용으로 키우는 놓아먹이는 닭
칠면조	• 사육장에서 키우는 알을 낳는 칠면조 • 사육장에서 키우는 고기용 칠면조 • 놓아먹이는 고기용 칠면조
오리	• 알을 낳는 오리 • 고기용 오리
기타(예)	• 낙타 • 노새와 당나귀, • 라마, 알파카, • 모피 생산용 동물, • 토끼 • 말, 사슴, 타조, 거위

[1]출처: IPCC 전문가 집단
[2]식품, 사료나 산업공정의 원료를 생산하는데 사용되는 가축 종들에 대한 배출량도 반드시 고려해야 한다.

정의된 대표적인 동물 카테고리 각각을 위해서 다음의 정보가 요구된다:

- 연 평균 개체수(Tier1을 위한 계산 당으로서 가축 또는 가금류의 수);
- 평균 젖소 사료 공급량 (일 당 MJ/또는 일당 kg (건물질);
- 메탄(CH_4) 전환 계수 (메탄(CH_4)으로 전환된 사료 에너지의 백분율)

일반적으로 일 평균 사료공급에 관한 자료는 특히 방목하는 가축에 대해서 사용가능하지 않다. 결과적으로 다음의 일반적인 자료는 각각의 대표적인 동물 카테고리에 대해서 사료 공급을 산정하기 위해서 수집되어야 한다:

- 무게(kg);
- 일당 평균무게 획득(kg)[1];
- 사육 상황: 사육장, 방목, 목장;
- 일당 우유 생산(kg/day)과 지방 함량(%)[2];
- 일당 수행된 일의 평균 양(hours day^{-1});
- 한 해 동안 태어난 암컷의 백분율[3];
- 양모의 성장;
- 새끼의 수;
- 사료 소화능력(%);

사료 섭취량 산정

Tier 2의 배출량 산정은 각각의 하위 카테고리의 대표적인 동물에 대한 사료 공급을 요구한다. 사료 공급은 전형적으로 총 에너지(예: MJ) 또는 건물질 (예. kg)의 형태로 측정된다. 건조중량은 완전한 식단에서 물의 함량에 대해 수정한 후의 소비된 사료의 양 (kg)이다. 예를 들어 70%의 건조중량을 포함하고 있는 10kg의 식단의 소비는 건조중량을 7kg공급했다는 뜻이다. 소, 물소, 양에 대한 장내 발효 Tier 2 방법을 지지하기 위해서 (10.3절 참고) 자세한 자료 요구사항과 사료 공급을 산정하기 위한 식은 아래의 가이던스에 포함되어 있다. 식에 있는 상수는 전체적인 방정식의 형태를 단순화하기 위해서 조합되었다. 이러한 하위 섹션의 나머지는 전형적인 자료 요구사항과 소, 물소, 양에 대한 사료 공급을 산정하기 위해 사용되는 식을 나타낸다. 다른 종들을 위한 사료 공급은 각각의 국가별로 적합한 유사한 방법을 사용하여 산정될 수 있다.

사료 공급에 대한 모든 산정을 위한 *우수 실행 방안 (good practice)*은 다음과 같다:

- 각각의 하위카테고리에서 동물의 전형적인 식단과 행동을 설명하기 위해 자료를 수집하는 것
- 각각의 하위카테고리에 대해 동물의 행동과 식단으로부터 사료 공급을 산정하는 것

어떤 경우에는 식은 주기적으로 적용될 수 있다. 예로 가축이 한 시즌에 체중을 불리고 다른 시즌에 줄어드는 상황을 들 수 있다. 이 접근법은 Tier2의 더욱 정련된 범위(variation)를 요구하거나 더욱 복잡한 Tie r3 방법을 요구할 수 있다.

1 이것은 성숙한 동물에 대해서는 0으로 가정될 것이다.

2 우유 생산량 자료는 젖을 생산하는 동물에 대해서 요구된다. 이것은 자료가 사용가능한 곳에서는 새끼에게 우유를 제공하는 젖을 생산하지 않는 동물에 대해서 산정할 수 있다.

3 이것은 성숙한 암컷에만 관련된다.

하위 카테고리의 사료 공급을 산정하기 위해서 각각의 동물의 하위 카테고리에 대한 다음에 제시되는 동물의 행동자료가 필요하다:

- **무게 (W), kg:** 생체중 자료는 각각의 동물 하위카테고리에 대해서 수집되어야 한다. 생체 중에 관한 완전한 개체 수 조사를 수행하는 것은 비현실적이다. 그러므로 생체 중 자료는 대표적인 샘플 연구 또는 만약 이미 존재한다면 통계학적 자료베이스로부터 얻어져야 한다. 생체중과 도축 시 체중의 비교는 생체중 자료가 국가 상태를 대표하는지 여부에 대해 판정하는 유용한 수단이다. 그러나 도축시 체중 자료는 생체중 자료가 동물의 완전한 체중을 설명하는데 실패하는 곳에서는 사용되지 않는다. 게다가 생체중과 도축 시 체중 사이의 관계가 번식과 몸 상태에 따라서 다양하다는 것은 중요하다. 소, 물소, 성숙한 양에 대해서는 각각의 동물 카테고리(예: 성숙한 소고기용 암소)에 대한 연간 평균 무게가 필요하다. 어린 양에 대해서는 태어났을 때, 젖을 떼었을 때, 1살이 되었을 때, 또는 그 해에 도축이 발생했을 때에는 도축되었을 때의 체중이 필요하다.
- **일 당 얻은 평균 체중(WG), kg day^{-1}:** 평균 획득 체중에 대한 자료는 사육장 동물이나 어린 자라고 있는 동물에 대해서 수집되어야 한다. 성숙한 동물은 일반적으로 한해에 걸친 순 체중 획득 또는 손실이 없다고 가정한다. 성숙한 동물들은 빈번하게 건조한 시즌 또는 온도가 극단적일 동안에 체중이 줄고 다음의 시즌에서 체중이 는다. 그러나 이러한 체중 변화와 관련하여 증가된 배출은 작을 것이다. 체중 감소와 관련된 감소된 공급과 배출은 체중이 증가하는 시즌에 증가하는 공급과 배출로 균형이 맞춰진다.
- **성숙한(mature) 체중(MW), kg:** 목록에 기입되어 있는 그룹의 다 자란 동물의 성장을 위해 필요한 사료와 에너지를 포함하여 성숙한 체중성장 패턴을 정의하도록 요구받는다. 예를 들어 소 또는 물소의 사육(breed)이나 카테고리의 성숙한 체중은 일반적으로 골격의 발육이 완전히 끝났을 때의 체중으로 생각된다. 성숙한 무게는 사육(breed)에 따라 다양할 것이고 적당한 몸 상태일 때 동물의 체중을 반영해야 한다. 이것은 '참고 체중(reference weight)'(ACC, 1990)또는 '최종 수축 체중(final fhrunk body weight)'(NRC, 1996)이라고도 불린다. 성숙한 체중의 산정은 전형적으로 가축 전문가 또는 생산가들로부터 얻을 수 있다.
- **일당 평균 노동 시간의 숫자:** 노동용 동물의 경우 일당 평균 노동시간은 결정되어야 한다.
- **사육 상황:** 가장 정확하게 동물 하위카테고리를 나타내는 사육 상황은 아래에 있는 정의를 사용하여 결정되어야 한다(표 10.5). 사육 상황이 정의들 사이에 놓여 있다면 사육 상황은 자세히 설명되어야 한다. 이러한 자세한 정보는 장내 발효를 계산하는데 사용될 것이다. 왜냐하면 사육 상황 사이의 보간법이 가장 적절한 계수를 설정하기 위해서 필요하기 때문이다. 표 10.5는 소, 물소, 양을 위한 사육 상황을 정의한다. 가금류와 돼지를 위한 사육 상황은 사육장에서 키워지는 것으로 가정되고 결과적으로 활동 계수(C_a)는 이러한 상황에서 사료를 얻기 위해서 매우 적은 에너지가 소비되기 때문에 0으로 가정된다. 활동 계수는 방목을 하는 돼지나 가금류에 대해서는 개발되어 있지 않다. 그러나 대부분의 경우 이러한 가축 하위카테고리들은 국가적인 인벤토리의 작은 부분을 나타낼 것이다.
- **평균 겨울 온도(℃):** 세부적인 사료 공급 모델은 대기 온도, 풍속, 털과 조직 절연(hait and tissue insulation)과 발효열을 고려한다(NRC, 2001; AAC, 1990). 그리고 Tier3 적용에 더욱 적절할 것 같다. 북 아메리카 자료로부터 채택된 더 일반적인 관계는 더 추운 기후에서 개방형 사육장(open-lot)에서 비육된 소의 유지관리 요구사항을 위해서 식 10.3의 Cf_i를 다음 식

(Johnson, 1986)에 따라 조정할 것을 제안 한다:

식 10.2
유지에 필요한 순 에너지를 계산하기 위한 계수

$$Cfi\ (겨울) = Cfi + 0.0048 \bullet (20\text{-}℃)$$

여기서:

Cf_i = 표 10.4 (NE_m을 계산하기 위한 계수)에서 볼 수 있는 것과 같이 각각의 동물 카테고리 별로 다양한 계수, MJ day^{-1} kg^{-1}

℃ = 겨울 동안 일 평균 온도

겨울 동안의 평균 기온을 고려하여 유지를 위한 순 에너지(NE_m) 요구량은 북 아메리카 북부에서 30% 이상 증가할 것이다. 이러한 유지를 위한 사료 사용의 증가는 더 큰 메탄 배출과 관련 있다.

- **일평균 우유 생산 (kg day^{-1}):** 이러한 자료는 우유를 짜내는 암양, 젖소, 물소를 위한 것이다. 일평균 생산은 총 연간 생산을 365로 나눔에 의해서 계산되거나 연간 젖을 짜는 일수에 따라 일평균 생산이 보고 되거나 계절적인 생산을 시즌 당 젖을 짜내는 일수로 나누어 산정한다. 계절적인 생산 자료를 사용한다면 배출계수는 그 계절에 대해서 개발되어야 한다.
- **지방 함량 (%):** 우유의 평균 지방 함량은 인간의 소비를 위해서 젖을 짜내는 암소, 물소, 양에 대해서 요구된다.
- **연간 새끼를 낳는 암컷의 백분율:** 이건은 성숙한 소, 물소, 양에 대해서만 수집된다.
- **연간 낳는 새끼의 수:** 이것은 연간 다수의 새끼를 낳는 암컷 가축에 해당한다.
- **사료 소화능력 (DE%):** 배설되지 않은 사료에서 총 에너지(GE)의 비율은 소화 가능한 사료로 알려져 있다. 사료 소화가능성은 일반적으로 GE 또는 TDN (총 소화가능한 영양소)의 백분율로서 표현된다. 소화되지 않은 사료의 백분율은 배설되는 섭취량의 건조 중량의 백분율을 의미한다. 여러 가축 분류와 식단 유형에 따른 전형적인 소화가능성 값은 표 10.2에 가이드라인으로써 제시되어 있다. 반추동물의 작물 부산물을 먹일 경우와 방목했을 경우 평균적인 소화가능성의 범위는 45-55%이다. 좋은 목초지, 잘 보존된 꼴, 곡물이 보충된 꼴을 위주로 한 식단의 경우 55-75%이고, 사육장에서 곡물을 위주로 한 식단의 경우 75-85%이다. 식단 소화가능성의 변화는 동물의 요구량에 맞추기 위한 사료의 산정과 결과적으로 연관된 메탄 배출과 분뇨 배설의 양을 산정하는데 주요한 변화를 가져온다. 소화가능성, 섭취량, 성장은 상호의존적인 현상이라는 것을 강조하는 것은 중요하다. 예를 들어 낮은 소화가능성은 낮은 사료 섭취량과 성장의 감소를 이끈다. 반대로 높은 소화가능성을 가진 사료는 높은 섭취량과 성장의 증가를 결과로 한다. DE를 산정하는데 10%의 오차는 메탄 배출량을 산정할 때 12-20%로 확대될 것이고 분뇨 배설량(휘발성 고체)을 산정 할 때는 더 많은 (20-45%) 오차를 가져올 것이다.

소화가능성 자료는 계절적 변화를 고려하여 가축에 의해서 소비되는 지배적인 사료 또는 꼴에 대한 측정된 값에 기초하고 있어야 한다. 일반적으로 꼴의 소화가능성은 성숙도(maturity)가 증가함에 따라 감소하고 전형적으로 건조한 계절에 가장 낮다. 상당한 변화에 기인하여 소화가능성 계수는 사용가능한 지역의 과학적인 자료로부터 얻어야 한다. 소화가능성에 대한 완벽한 통계조사가 비현실적으로 보일지라도 연구로부터의 최소한의 소화가능성 자료라도 얻어야 한다. 소화가능성

자료를 개발하는 동안 중성세제섬유소 (NDF), 산성세제섬유소(ADF), 천연 단백질, 반 영양계수 (예. 알카로이드, 페놀, 재 %)의 존재에 대한 측정된 값과 같은 관련된 사료 특성 자료는 사용가능할 때 기록되어야 한다. NDF와 ADF는 반추동물 가축에 대한 사료의 영양이 되는 값을 지시하는데 사용되는 실험실에서 측정되는 사료 특성이다. 이러한 값들의 결정은 DE가 최근의 낙농업 NRC(2001)에서 정의된 것처럼 예측되는 것을 가능하게 할 것이다. 사료 속의 천연 단백질의 농도는 질소 배설을 산정하는 과정에서 사용될 수 있다 (10.5.2절).

- **양 한 마리당 연간 평균 양모 생산 (kg yr^{-1}):** kg으로 산정된 생산된 양모의 양 (세모(scouring)하기 전, 그러나 말린 후)은 양모 생산에 할당된 에너지의 양을 산정하는데 필요하다.

표 10.2
다양한 가축 카테고리에 대한 대표적인 사료 소화능력

주 카테고리	분류	소화능력 (DE%)
돼지	• 성숙한 돼지 - 사육장 • 자라고 있는 돼지 - 사육장 • 돼지 - 놓아먹임	• 70 - 80% • 80 - 90% • 50 - 70%[1]
소와 다른 반추동물	• 90% 농도 이상의 사료로 사육하는 사육장 동물 • 목장에서 먹이는 동물 • 질 낮은 꼴을 먹이는 동물	• 75 - 85% • 55 - 75% • 45 - 55%
가금류	• 구이용 영계 - 사육장 • 알 낳는 닭 - 사육장 • 가금류 - 놓아먹임 • 칠면조 - 사육장 • 거위 - 사육장	• 85 - 93% • 70 - 80% • 55 - 90%[1] • 85 - 93% • 80 - 90%

[1] 놓아먹인 돼지와 가금류에 의해 소비된 사료의 소화능력의 범위는 극단적으로 변이성이 높다. 왜냐하면 이러한 식단의 선택할 수 있는 성향 때문이다. 종종 이러한 분류들에게서 발생하는 분뇨의 양은 섭취하는 사료의 가능한 양에 제한을 받는 경향이 있고 소화능력의 정도에 반한다. 예를 들어 사료가 제한되지 않고 질이 높은 사료가 사용가능할 경우 소화능력은 사육장에서 키우는 조건하에 있을 경우와 유사하게 접근할 것이다.

총 에너지 계산

가축 생산성과 식단 자료는 사료 섭취량을 산정하기 위해서 사용된다. 사료 섭취량은 동물이 유지와 성장, 수유, 임신과 같은 활동을 위해서 필요로 하는 에너지의 양이다. 가축 생산성 자료에 근거해서 섭취량을 산정하는 국가에 특수한 방법을 잘 문서화하고 인지하고 있는 인벤토리 작성자를 위해서 국가에 특수한 방법을 사용하는 것은 *좋은 방법(good practice)*이다. 다음의 절은 소와 물소, 양의 주 반추동물 카테고리에 대한 총 에너지 섭취량을 산정하는 방법을 제공한다. 표 10.3에 나열된 식을 이 산정을 유도하는데 사용된다. 국가에 특수한 방법이 사용가능하지 않다면 섭취량은 표 10.3에 나열된 식을 사용하여 계산되어야 한다. 표에서 볼 수 있는 것처럼 분리된 식들이 양에 대한 순 에너지 요구량을 소, 물소와 비교하여 산정하는데 사용된다. GE를 계산하는데 사용된 식은 다음과 같다:

표 10.3
소, 물소, 양의 일일 총 에너지 섭취량을 산정하는데 사용되는 식들의 개요

대사 함수와 기타 산정치	소와 물소에 대한 식	양에 대한 식
유지(NE_m)	식 10.3	식 10.3
활동(NE_a)	식 10.4	식 10.5
성장(NE_g)	식 10.6	식 10.7
이유(NE_l)*	식 10.8	식 10.9와 10.10
노동력(NE_{work})	식 10.11	NA
양모 생산(NE_{wool})	NA	식 10.12
임신(NEp)*	식 10.13	식 10.13
소화 가능한 에너지 소비에 대한 유지를 위한 식단에서 순 사용가능한 에너지의 비 (REM)	식 10.14	식 10.14
소화가능한 에너지 소비에 대한 식단에서 성장을 위한 순 사용가능한 에너지의 비 (REG)	식 10.15	식 10.15
총 에너지	식 10.16	식 10.16

출처: 소와 물소 식은 NRC(1996)에 근거를 두고 있고 양에 관한 식은 AFRC (1993)에 근거를 두고 있다.
NA는 '적용 가능하지 않음'을 의미한다.
*새끼를 낳는 암컷에만 적용할 수 있다.

유지를 위한 순 에너지: (NE_m)은 동물이 체내 에너지가 증가하거나 줄어들지 않는 평형을 유지하는데 소요되는 에너지의 양인 유지를 위해 필요한 순 에너지이다 (Jurgen, 1988).

식 10.3
유지를 위한 순 에너지

$$NE_m = Cfi \bullet (무게)^{0.75}$$

여기서:

NE_m = 유지를 위한 순 에너지, MJ day^{-1}

Cf_i = 표 10.4에 나타난 것처럼 각각의 동물 카테고리에 대해 다양하게 나타나는 계수 (NE_m을 계산하기 위한 계수), MJ day^{-1} kg^{-1}

무게 = 동물의 생체중, kg

***활동을 위한 순 에너지*:** (NE_a)는 활동을 위한 순 에너지 또는 먹을 것과 물, 안식처를 어기 위해 동물이 필요로 하는 에너지이다. 이것은 사료 자체의 특성보다는 사료 제공 상황과 관련이 있다. 표 10.3에 나타나 있는 것처럼 소와 물소에 대한 NE_a를 산정하기 위한 식은 양에 대한 식과 다르다. 두 개의 식 모두는 계수 C_a에 대한 정의가 다른 경험식이다.

식 10.4
활동을 위한 순 에너지 (소, 물소)

$$NE_a = C_a \bullet NE_m$$

여기서:

NE_a = 동물의 활동을 위한 순 에너지, MJ day^{-1}

C_a = 동물의 사육 상황에 따르는 계수 (표 10.5, 활동 계수)

NE_m = 유지를 위해서 동물에 의해서 요구되는 순 에너지 (식 10.3), MJ day^{-1}

식 10.5
활동을 위한 순 에너지 (양)

$$NE_a = C_a \bullet (\text{무게})$$

여기서:

NE_a = 동물 활동을 위한 순 에너지, MJ day^{-1}

C_a = 동물의 사육 상황에 따르는 계수 (표 10.5), MJ day^{-1} kg^{-1}

무게 = 동물의 생체중, kg

식 10.4와 10.5를 위해서 계수 C_a는 앞에서 설명된 것과 같은 대표적인 동물의 사육 상황에 따른다. C_a의 값은 표 10.5에 나타난다. 이러한 사육 상황의 혼합적인 형태가 한 해 안에 발생한다면 그것에 따라서 측정되어야 한다.

표 10.4
유지에 필요한 순 에너지를 계산하기 위한 계수 (NE_m)

동물 카테고리	Cf_i (MJ d^{-1} kg^{-1})	비고
소/물소 (젖을 먹이지 않는)	0.322	
소/물소 (젖을 먹이는)	0.386	이 값은 수유기간 동안 유지를 위해 20% 더 높다.
소/물소 (수소)	0.370	이 값은 거세하지 않은 수컷의 유지를 위해 15% 더 높다.
양 (1년 까지)	0.236	이 값은 거세하지 않은 수컷의 유지를 위해 15% 더 높다.
양 (1년 이상)	0.217	이 값은 거세하지 않은 수컷의 유지를 위해 15% 더 높다.
출처: NRC (1996)과 AFRC (1993).		

표 10.5
동물의 사육 상황에 따른 활동 계수

상황	정의	C_a
소와 물소 (C_a의 단위는 무 차원)		
외양간	제한된 공간(예: 밧줄로 묶여 있거나 우리, 헛간)에서 사육되어 먹이를 얻기 위해서 매우 적은 에너지를 소비한다.	0.00
목장	충분한 꼴이 있는 제한된 공간에서 사육되어 먹이를 얻기 위해서 적당한 에너지를 소비한다.	0.17
방목	열려있는 땅 또는 언덕이 있는 곳에서 방목되어 먹이를 얻기 위해서 상당한 에너지를 소비한다.	0.36
양 (Ca의 단위 = MJ d^{-1} kg^{-1})		
집에서 키우는 암양	임신으로 인해서 마지막 기간 (50일) 동안으로 제한되어 있다.	0.0090
평평한 목장	하루에 1,000 m를 걷고 먹이를 얻기 위해서 매우 적은 에너지를 소비한다.	0.0107
언덕이 있는 목장	하루에 5,000 m를 걷고 먹이를 얻기 위해서 상당한 에너지를 소비한다.	0.0240
집에서 비육시키는 어린 양	비육을 위해서 집에서 키워진다.	0.0067
출처: NRC (1996)과 AFRC (1993).		

***성장을 위한 순 에너지*:** (NE_g)는 성장(예: 체중 증가)를 위해서 필요한 순 에너지이다. 식 10.6은 NRC(1996)에 기초를 두고 있다. 식 10.7은 Gibbs *et al.* (2002)에 기초를 두고 있다. 칼로리에서 줄

로의 전환을 위한 상수와 생체중에서 쭈그러들고 빈 체중으로 전환하는 상수는 식에 포함되어 있다.

식 10.6
성장을 위한 순 에너지 (소, 물소)

$$NE_g = 22.02 \cdot \left(\frac{BW}{C \cdot MW}\right)^{0.75} \cdot WG^{1.097}$$

여기서:

NE_g = 성장을 위해 필요한 순 에너지, MJ day^{-1}

BW = 개체군에서 동물의 평균 생체중 (BW), kg

C = 암컷은 0.8, 거세한 소는 1.0, 수컷은 1.2의 값을 갖는 계수(NRC, 1996)

MW = 적당한 몸 상태의 다 큰 암컷의 생 체중, kg

WG = 개체에서 동물의 일평균 얻는 체중, kg day^{-1}

식 10.7
성장을 위한 순 에너지 (양)

$$NE_g = \frac{WG_{lamb} \cdot (a + 0.5b(BW_i + BW_f))}{365}$$

여기서

NE_g = 성장을 위해 필요한 순 에너지, MJ day^{-1}

WG_{lamb} = 체중 증가량 (BW_f - BW_i), kg yr^{-1}

BW_i = 젖을 떼었을 때의 생체중, kg

BW_f = 1년이 되었을 때 생체중 또는 1년이 되기 전에 도축되었을 경우에는 도축되었을 때의 생체중, kg

a, b = 표 10.6에서 설명된 상수

어린 양은 그들이 보조적으로 우유를 목초 또는 공급되는 사료와 함께 섭취함에 따라 몇 주간의 기간이 끝나고 젖을 뗀다는 것에 주의하라. 젖 떼는 시간은 그들의 에너지 공급을 반 정도 우유에 의존하는 시간에 취해진다.

양을 위해서 사용되는 NE_g 식은 동물 종/카테고리에 따라 다양하게 나타나는 두 개의 실험적 상수 (a와 b)를 포함한다(표 10.6).

표 10.6
양에 대해 NE_g를 계산하는데 사용되는 상수

동물 종/카테고리	a ($MJ\ kg^{-1}$)	b ($MJ\ kg^{-2}$)
거세하지 않은 수컷	2.5	0.35
거세한 수컷	4.4	0.32
암컷	2.1	0.45
출처: AFRC(1993).		

수유를 위한 순 에너지: (NE_l)는 수유를 위한 순 에너지이다. 소와 물소에 대한 수유를 위한 순 에너지는 생산되는 우유의 양의 함수로 표현된다. 그리고 우유의 지방은 백분율로 표현된다(예: 4%) (NRC, 1989):

식 10.8
수유를 위한 순 에너지 (육우, 젖소, 물소)

$$NE_l = 우유 \bullet (1.47 + 0.40 \bullet 지방)$$

여기서:

NE_l = 수유를 위한 순 에너지, $MJ\ day^{-1}$

우유 = 생산된 우유의 양, 우유 $kg\ day^{-1}$

지방 = 우유의 지방 함량, 무게 기준 %

수유를 위해 요구되는 순 에너지(NE_l)를 산정하기 위한 두 가지 방법이 양에 대해서 나타나있다. 첫 번째 방법(식 10.9)은 생산된 우유의 양이 알려져 있을 때 사용된다. 그리고 두 번째 방법 (식 10.8)은 생산된 우유의 양이 알려져 있지 않을 때 사용된다. 일반적으로 암양의 우유 생산은 상업적인 우유 생산을 위해 알려져 있다. 그러나 자기 새끼에게 젖을 먹이는 암양의 경우는 알려져 있지 않다. 우유 생산량을 알 수 있을 경우 총 연간 우유 생산을 365로 나누어 일 평균 우유 생산을 kg/day로 산정 한다 (식 10.9). 우유 생산이 알려져 있지 않을 때 AFRC (1990)은 한 번 새끼를 낳을 때 우유는 어린양의 체중이 불어난 것의 5배 정도가 생산된다고 산정한다. 한 번에 여러 마리의 새끼를 낳았을 경우 총 연간 우유 생산량은 한 암양에게서 태어난 모든 어린양의 증가한 체중의 합의 5배정도라고 산정할 수 있다. 일평균 우유 생산량은 식 10.10에 나타나는 것처럼 이 결과 값을 365로 나누어 얻을 수 있다.

식 10.9
양의 수유를 위한 순 에너지 (우유 생산이 알려진 경우)

$$NE_l = 우유 \bullet EV_{milk}$$

여기서:

NE_l = 수유를 위한 순 에너지, $MJ\ day^{-1}$

우유 = 생산된 우유의 양, 우유 $kg\ day^{-1}$

EV_{milk} = 우유 1 kg을 생산하는데 필요한 순 에너지. 기본 값은 우유의 지방 함량이 7%(무게 단위로)일 때 이에 상응하는 4.6 MJ/kg (AFRC, 1993)이 사용될 수 있다.

식 10.10
양의 수유를 위한 순 에너지 (우유 생산이 알려지지 않은 경우)

$$NE_l = \left[\frac{(5 \bullet WG_{wean})}{365}\right] \bullet EV_{milk}$$

여기서:

NE_l = 수유를 위한 순 에너지, MJ day^{-1}

WG_{wean} = 태어나서 젖을 뗄 때까지 어린 양의 증가한 체중, kg

EV_{milk} = 우유 1 kg을 생산하는데 요구되는 에너지, MJ kg^{-1}. 기본 값으로 4.6 MJ kg^{-1}이 사용될 수 있다 (AFRC, 1993).

일을 위한 순 에너지: (NE_{work})는 일을 위한 순 에너지이다. 소나 물소의 노동력을 제공하기 위해 필요로 하는 에너지를 산정하기 위해서 사용된다. 다양한 저자들이 노동력을 제공하는데 요구되는 에너지 섭취량을 요약했다 (예, Lawrence, 1985; Bamualim과 Kartiarso, 1985; Ibrahim, 1985). 동물에 의해서 수행되는 일의 힘든 정도는 에너지 요구량에 영향을 미치고 결과적으로 에너지 요구량은 넓은 범위로 산정된다. Bamualim and Kartiarso에 의해서 개발된 값은 전형적인 노동력 제공 동물이 한 시간 분량의 일을 할 때 하루 NE_m의 약 10%가 필요하다는 것을 보여준다. 이 값은 다음과 같이 사용 된다:

식 10.11
일을 위한 순 에너지 (소, 물소)

$$NE_{work} = 0.10 \bullet NE_m \bullet 시간$$

여기서:

NE_{work} = 일을 위한 순 에너지, MJ day^{-1}

NE_m = 유지를 위해 동물이 필요로 하는 순 에너지(식 10.3), MJ day^{-1}

시간 = 하루 당 노동시간

양모 생산을 위한 순 에너지: (NE_{wool})은 양모를 일년 동안 생산하는데 양이 필요로 하는 일평균 순 에너지이다. NE_{wool}은 다음과 같이 계산 된다:

식 10.12
양모 생산을 위한 순 에너지 (양)

$$NE_{wool} = \left(\frac{EV_{wool} \bullet Production_{wool}}{365}\right)$$

여기서:

NE_{wool} = 양모 생산을 위해 요구되는 순 에너지, MJ day^{-1}

EV_{wool} = 생산된 양모 1kg의 에너지 값 (세모(scouring)하기 전이나 말린 후), MJ day^{-1}. 기본 값으로는 24MJ day^{-1} (AFRC, 1993)이 사용될 수 있다.

$생산_{wool}$ = 양 한 마리당 연간 양모 생산, kg yr^{-1}

임신을 위한 순 에너지: (NE_p)는 임신을 위해서 요구되는 에너지이다. 소와 물소에 대해서 281일의 임신 기간 동안 임신을 위해 요구되는 총 에너지는 전체 1년 동안 평균하여 NE_m의 10%로 계산된다. 양을 위해서 NE_p 요구량은 비록 백분율은 태어나는 어린양의 숫자에 따라서 다양하겠지만 147일의 임신 기간에 대해서 유사하게 산정 된다 (표 10.7, 식 10.13에서 NE_p를 계산하는데 사용되는 상수). 식 10.13은 어떻게 이러한 산정이 적용되는지를 보여준다.

식 10.13
임신을 위한 순 에너지 (소, 물소, 양)

$$NE_p = C_{pregnancy} \bullet NE_m$$

여기서:

NE_p = 임신을 위해서 요구되는 순 에너지, MJ day^{-1}

$C_{pregnancy}$ = 임신 계수 (표 10.7 참고)

NE_m = 유지를 위해 동물에 의해서 요구되는 순 에너지(식 10.3), MJ day^{-1}

표 10.7
식 10.13에서 NE_p를 계산하는데 사용되는 상수

동물 카테고리	$C_{pregnancy}$
소와 물소	0.10
양	
한 마리 임신	0.077
두 마리 임신 (쌍둥이)	0.126
세 마리 또는 그 이상 임신 (세 쌍둥이)	0.150

출처: NRC (1996)의 자료로부터 개발된 소와 물소에 대한 산정.
에너지 전환의 비효율성을 고려하여 AFRC (1993)의 자료로부터 개발된 양에 대한 산정

소와 양에 대해 GE를 계산하기 위해서 NE_p를 사용할 때 NE_p 산정은 일년에 임신을 실제로 경험하는 성숙한 암컷의 비율에 의해서 무게를 가해져야(weighted) 한다. 예를 들어 성숙한 암컷의 80%가 일년 동안 임신을 한다면 NE_p 값의 80%가 아래의 GE 식에서 사용될 것이다.

양을 위한 적절한 계수를 결정하기 위해서 한 마리를 임신하거나 쌍둥이, 세쌍둥이 이상을 임신한 암양의 비율이 $C_{pregnancy}$에 대한 평균값을 산정하는데 필요할 것이다. 이러한 자료가 사용가능하지 않다면 계수는 다음과 같이 계산될 수 있다:

- 일년에 태어나는 어린양의 숫자가 일년에 임신하는 암양의 숫자에 의해서 나누어 졌을 때 그 값이 1.0보다 작거나 같다면 한 마리를 임신했을 때의 계수가 사용되어야 한다.
- 일년에 태어나는 어린양의 숫자가 일년에 임신하는 암양의 숫자에 의해서 나누어 졌을 때 그 값이 1.0보다 크고 2.0 보다 작다면 계수는 다음과 같이 계산되어야 한다:

$$C_{pregnancy} = [(0.126 \bullet \textit{쌍둥이 출산 비율}) + (0.777 \bullet \textit{한 마리 출산 비율})$$

여기서:

쌍둥이 비중 = [(태어난 어린양/임신한 암양)-1]

한 마리 출산 비율 = [1-쌍둥이 비율]

사료에서 유지를 위해 사용가능한 순 에너지와 소화 가능한 에너지 소비량의 비율 (REM): (소, 물소, 양의 경우 REM은 다음 식을 사용하여 산정 된다 (Gibbs and Johnson, 1993):

식 10.14
사료에서 유지를 위해 사용가능한 순 에너지와 소화 가능한 에너지 소비량의 비

$$REM = \left[1.123 - \left(4.092 \bullet 10^{-3} \bullet DE\%\right) + \left[1.126 \bullet 10^{-5} \bullet (DE\%)^2\right] - \left(\frac{25.4}{DE\%}\right)\right]$$

여기서:

REM = 사료에서 유지를 위해 사용가능한 순 에너지와 소화 가능한 에너지 소비량의 비

DE% = 총 에너지의 백분율로 표현되는 소화 가능한 에너지

사료에서 성장을 위해 사용가능한 순 에너지와 소화 가능한 에너지 소비량의 비 (REG): (소, 물소와 양에 대한 식단에서 성장을 위해 사용가능한 순 에너지와 소화 가능한 에너지 소비량의 비는 다음 식을 이용하여 산정 한다 (Gibbs and Johnson, 1993).

식 10.15
사료에서 성장을 위해 사용가능한 순 에너지와 소화 가능한 에너지 소비량의 비

$$REG = \left[1.164 - (5.160 \cdot 10^{-3} \cdot DE\%) + [(1.308 \cdot 10^{-5}) \cdot (DE\%)^{2}] - \left(\frac{37.4}{DE\%}\right)\right]$$

여기서:

REG = 사료에서 성장을 위해 사용가능한 순 에너지와 소화 가능한 에너지 소비량의 비

DE% = 총 에너지의 백분율로 표현되는 소화 가능한 에너지

총에너지, GE: 식 10.16에서 볼 수 있는 것처럼 GE 요구량은 순 에너지 요구량과 사료 특성에 따른 에너지 이용도의 총합에 기초하여 유도된다. 식 10.16은 위에 나타난 식의 결과를 이용해서 소와 양의 GE 요구량을 계산하는 *우수 실행 방안 (good practice)*을 보여준다.

식 10.16을 이용하여 각각의 동물 카테고리에 관련된 것만 사용 된다 (표 10.3 참고).

식 10.16
소/물소와 양의 총 에너지

$$GE = \left[\frac{\left(\frac{NE_m + NE_a + NE_l + NE_{work} + NE_p}{REM} \right) + \left(\frac{NE_g + NE_{wool}}{REG} \right)}{\frac{DE\%}{100}} \right]$$

여기서:

GE = 총 에너지, MJ day^{-1}

NE_m = 유지를 위해 동물이 필요로 하는 순 에너지(식 10.3), MJ day^{-1}

NE_a = 동물 활동을 위한 순 에너지(식 10.4와 10.5), MJ day^{-1}

NE_l = 수유를 위한 순 에너지(식 10.8, 10.9, 10.10), MJ day^{-1}

NE_{work} = 일을 위한 순 에너지(식 10.11), MJ day^{-1}

NE_p = 임신을 위해 요구되는 순 에너지(식 10.13), MJ day^{-1}

REM = 식단에서 유지를 위해 사용가능한 순 에너지와 소화 가능한 에너지 소비량의 비(식 10.14)

NE_g = 성장을 위해 요구되는 순 에너지(식 10.6과 10.7), MJ day^{-1}

NE_{wool} = 일년 동안 양모 생산을 위해 요구되는 순 에너지 (식 10.12), MJ day^{-1}

REG = 식단에서 성장을 위해 사용가능한 순 에너지와 소화 가능한 에너지 소비량의 비(식 10.15)

DE% = 총 에너지의 백분율로 표현되는 소화 가능한 에너지

GE에 대한 값이 각각의 동물 하위카테고리에 대하여 계산 되었을 때 kg 단위의 일당 건조 중량 사료 섭취량(kg day^{-1})은 계산되어야 한다. 에너지 단위인 GE로부터 건조 중량 겁취량 (DMI)로 전환하기 위해서 사료의 에너지 밀도로 GE를 나눈다. 사료에 특수한 정보가 사용가능하지 않다면 건조 중량의 기본 값은 18.45 MJ kg^{-1}로 사용할 수 있다. 결과로써의 일당 건조 중량 섭취량은 성숙한 또는 자라고 있는 동물의 몸무게의 2%에서 3%정도가 되어야 한다. 우유를 많이 생산하는 소의 경우 섭취량은 몸무게의 4%를 초과할 수 있다.

단순화된 Tier 2 방법을 사용한 사료 섭취량 산정

체중과 산정된 사료의 순 에너지 발열량 (NE_{ma}) 또는 소화 가능한 에너지 값(DE%): 동물의 체중과 NE_{ma} 사료의 농도(NRC, 1996) 또는 DE%에 기초하여 성숙한 또는 자라고 있는 소에 대한 건조중량 섭취량을 예측하는 것이 가능 한다. 사료의 NE_{ma}은 건중량의 3.0에서 9.0 MJ kg^{-1}의 범위가 될 수 있다. 질이 높거나 적절하거나 낮은 식단에 대한 전형적인 값은 표 10.8에 나타난다.

이러한 성질은 또한 식단 질의 산정에 기초한 혼합된 식단에 대한 NE_{ma}을 산정하는데 또한 사용될 수 있다. 예를 들어 혼합된 곡물-짚 사료는 높은 질의 꼴 식단과 유사한 NE_{ma} 값을 갖는 것으로 가정될 수 있다.혼합된 곡물-짚단 식단은 적절한 질의 꼴과 유사한 NE_{ma} 값을 갖는다고 가정할 수 있다. 특수한 지리학적 지역의 영양사들은 지역적인 사료 식단의 대표성을 더 많이 갖는 NE_{ma} 값을 선택할 수 있는 조언을 제공할 수 있어야 한다.

자라고 있는 소와 다 자란 소의 건물질 섭취량은 다음의 식을 이용해서 산정 된다:

식 10.17
성장하고 있는 소와 다 성장한 소의 건물질 섭취량 산정

$$DMI = BW^{0.75} \cdot \left[\frac{(0.2444 \cdot NE_{ma} - 0.0111 \cdot NE_{ma}^{2} - 0.472)}{NE_{ma}} \right]$$

여기서:

DMI = 건물질 섭취량, kg day^{-1}

BW = 생체중, kg

NE_{ma} = 산정된 사료의 순 에너지 발열량 또는 표 10.18의 기본값, MJ kg^{-1}

성숙한 고기용 소에 대한 건조 중량 섭취량은 다음의 식을 이용하여 산정 된다:

식 10.18a
성숙한 육우의 건물질 섭취량 산정

$$DMI = BW^{0.75} \cdot \left[\frac{(0.0119 \cdot NE_{ma}^{2} + 0.1938)}{NE_{ma}} \right]$$

여기서:

DMI = 건물질 섭취량, kg day^{-1}

BW = 생체중, kg

NE_{ma} = 산정된 식단의 순 에너지 농도 또는 표 10.18의 기본 값, MJ kg^{-1}

낮은 질의 사료-종종 열대 지방의 꼴-를 섭취하는 성숙한 젖소에 대하여 다음의 대안적인 식이 DE%에 기초하여 건조 중량 섭취량을 산정하는데 사용될 수 있다 (NRC, 1989):

식 10.18b
성숙한 젖소의 건물질 섭취량 산정

$$DMI = BW^{0.75} \cdot \left[\frac{(0.0119 \cdot NE_{ma}^{2} + 0.1938)}{NE_{ma}} \right]$$

여기서:

DMI = 건물질 섭취량, kg day^{-1}

BW = 생 체중, kg

DE% = 총 에너지의 백분율로 표현되는 소화 가능한 에너지(전형적으로 질 낮은 꼴에 대해서는 45-55%)

식 10.17, 10.18a, 10.18b는 사료 섭취량을 예측하는 주요한 Tier2 방법에 대한 좋은 점검을 제공한다. '주어진 사료의 질에 대해 기대되는 섭취량은 무언인가?'를 물어봄으로써 그것들이 보여 질 수 있다. 그것들은 또한 BW와 식단의 질 (NE_{ma} 또는 DE%)로부터 DMI를 독립적으로 예측하는데 사용될 수도 있다. 이와 대조적으로, 주요한 Tier 2 방법은 산정된 요구량 (예. NE_m과 NE_g)을 만족시키기 위해서 얼마나 많은 사료가 섭취되어야 하는가에 기초해서 DMI를 예측하고 동물이 사실상 예측된 사료의 양을 섭취할 수 있는 생물학적인 용량은 고려하지 않는다. 결과적으로 단순화된 Tier2 방법은 주요한 Tier2 방법으로부터 유도된 DMI 값이 생물학적으로 실제적인지를 확인하는데 사용될 수 있다. 이러한 산정은 또한 건조 중량 섭취량이 성숙한 또는 자라고 있는 동물의 체중의 2%에서 3%이어야 한다는 것과 교차확인 할 수 있다.

표 10.8
식 10.17과 10.18에서 건물질 섭취량의 산정을 위해서
소에게 제공되는 전형적인 사료의 NE_{ma} 함량 예

사료 유형	NE_{ma} (MJ (kg 건물질)$^{-1}$)
높은 곡물 사료 > 90%	7.5-8.5
높은 질의 꼴 (예: 성장하는 콩과 풀)	6.5-7.5
적절한 질의 꼴 (예: 계절 중반의 콩과 풀)	5.5-6.5
낮은 질의 꼴 (예. 짚, 성숙한 풀)	3.5-5.5
출처: NRC (1996)에서 예측할 수 있는 모델로부터 얻은 산정, NE_{ma}는 또한 식 NE_{ma} = REM x 18.45 x DE%/100을 사용하여 산정될 수 있다.	

10.2.3 불확도 평가

자료를 수집하는 첫 번째 단계는 기존의 국가통계, 산업적인 출처, 연구자료, FAO 통계를 조사하는 것이어야 한다. 개체수와 관련된 불확도는 출처에 의존해서 다양하게 나타난다. 그러나 ±20% 내외여야 한다. 종종 국가적인 가축 개체 수 통계는 이미 불확도 산정을 이미 수행한 것이 있다. 이러한 경우 이 자료를 사용해야 한다. 이러한 출처로부터의 출간된 자료가 사용 가능하지 않다면 주요 산업계, 학계 전문가들과의 인터뷰가 수행되어야 한다. 소화가능성의 산정도 또한 총 에너지 섭취량의 Tier2 산정에서 특히 중요하다. 소화가능성 산정을 위한 불확도 산정은 ±20%만큼 높을 것이다. 제1권 제3장 (불확도)은 불확도 범위에 대한 전문가의 판단을 어떻게 이끌어내는지를 설명한다. 유사한 전문가가 유도한 프로토콜은 출간된 자료와 통계가 사용가능하지 않다면 가축 특성 묘사를 위해서 요구되는 정보를 얻기 위해서 사용될 수 있다.

10.2.4 종이 없는 가축의 특성 묘사: 특수한 배출량 산정 방법

어떤 국가들은 현재 Tier 1이나 Tier 2 배출량 산정 방법에 없는 가축을 키울지도 모른다(예: 야마, 알파카, 큰 사슴, 에뮤, 타조). 이러한 가축들로부터의 배출을 산정하는데 *우수 실행 방안 (good practice)*은 첫째로 그들의 배출이 그들의 특성을 묘사하고 국가에 특수한 배출계수를 개발할 만큼 충분히 의미가 있는 수준인지를 평가하는 것이다. 제1권 제4장 (방법론의 선택과 주 카테고리의 정의)은 국가 인벤토리 내의 개별 배출원 카테고리의 중요성을 평가하는 가이던스를 보여준다. 유

사한 접근법은 배출원 카테고리 내의 하위 배출원 카테고리(예: 종)의 중요성을 평가하는데 사용될 수 있다. 특수한 하위 종으로부터의 배출이 중요한 것으로 결정된다면 국가에 특수한 배출계수는 개발되어야 한다. 그리고 특성 묘사도 배출계수의 개발을 지원하기 위해서 수행되어야 한다. 이러한 특성 묘사되지 않은 종들로부터의 배출 수준에 대한 산정을 하는 연구는 장려되어야 한다. 동물들을 특성 묘사하기 위한 자료와 방법은 잘 문서화되어야 한다.

배출량 산정 방법이 이러한 동물들에 대해 사용가능하지 않음에 따라 '양적 계산의 순서'에 기초하여 대략적인 배출계수가 그들의 배출의 중요성을 평가하는데 적절할 것이다. 대략적인 배출계수를 개발하기 위한 한 접근법은 유사한 소화 시스템을 가지고 있는 동물을 위해 Tier 1 배출계수를 사용하는 것이고 동물의 체중의 비에 0.75 제곱을 하여 사용하는 것이다. Tier 1 배출계수는 소화 시스템에 따라 다음과 같이 분류될 수 있다:

- 반추 동물: 소, 물소, 양, 염소, 낙타
- 비 반추 초식동물: 말, 노새/당나귀
- 가금류: 닭, 오리, 칠면조, 거위
- 비 가금류 단일 위(胃) 동물: 돼지

예를 들어, 알파카에 대한 대략적인 장내 발효 메탄(CH_4) 배출계수는 양 (반추 동물 또한)에 대한 배출계수로부터 다음과 같이 산정될 수 있다:

$$\text{대략적인 배출계수} = [(\text{알파카 체중})/(\text{양 체중})]^{0.75} \bullet \text{양의 배출계수}$$

유사하게 타조에 대한 대략적인 분뇨 메탄 배출계수는 닭에 대한 Tier1 배출계수를 사용하여 산정될 수 있다. 이 방법을 사용하여 개발된 대략적인 배출계수는 동물로부터의 배출의 중요성을 평가하는데 만 사용될 수 있고 국가 인벤토리의 한 부분으로서 배출을 산정하는데 충분한 정확성을 가지고 있다고 고려해서는 안 된다.

10.3 장내 발효에 의한 메탄 배출량

메탄은 탄수화물을 혈액내로 흡수되도록 하기위해 미생물에 의해 작은 분자로 분해하는 소화 작용인 장내 발효의 부산물로서 초식동물에게서 생성된다. 배출되는 메탄의 양은 소화관의 형태, 나이, 동물의 체중, 그리고 섭취 사료의 양이나 질에 의해 달라진다. 반추동물(예. 소, 양)은 비반추동물(예. 돼지, 말)이 생산한 메탄과 함께 메탄발생의 근원이다. 이 반추동물은 섭취사료의 장내 발효를 활발히 촉진시키는 장의 구조를 가지고 있다.

소화 시스템

소화 시스템의 유형은 메탄 배출율에 있어 상당한 영향을 미친다. 반추동물은 미생물에 의한 사료의 강한 발효를 돕는 넓은 공간인 반추위를 소화관의 앞부분에 가지고 있는데, 이는 사료의 섬유소를 소화하는 능력을 포함하여 여러 가지로 영양적으로 유리하다. 주요 반추동물은 소, 들소, 염소, 양, 사슴, 낙타가 있다. 비반추동물인 말, 노새, 나귀와 단위 동물인 돼지의 소화시스템에서는 훨씬 적은 메탄생산 발효과정이 발생되기 때문에 반추동물에 비해 상대적으로 적게 메탄을 배출

한다.

사료 섭취량

메탄은 동물의 소화 시스템 내에서 사료의 발효에 의해 생성된다. 일반적으로 더 많은 사료의 섭취는 더 많은 메탄을 배출하게 된다. 하지만, 메탄 생성의 정도는 사료의 구성에 의해서도 영향을 받게 된다. 사료 섭취량은 동물의 크기, 성장률, 그리고 생산성(예. 우유 생산량, 양모 성장, 또는 임신)과 정의 상관관계를 가지고 있다.

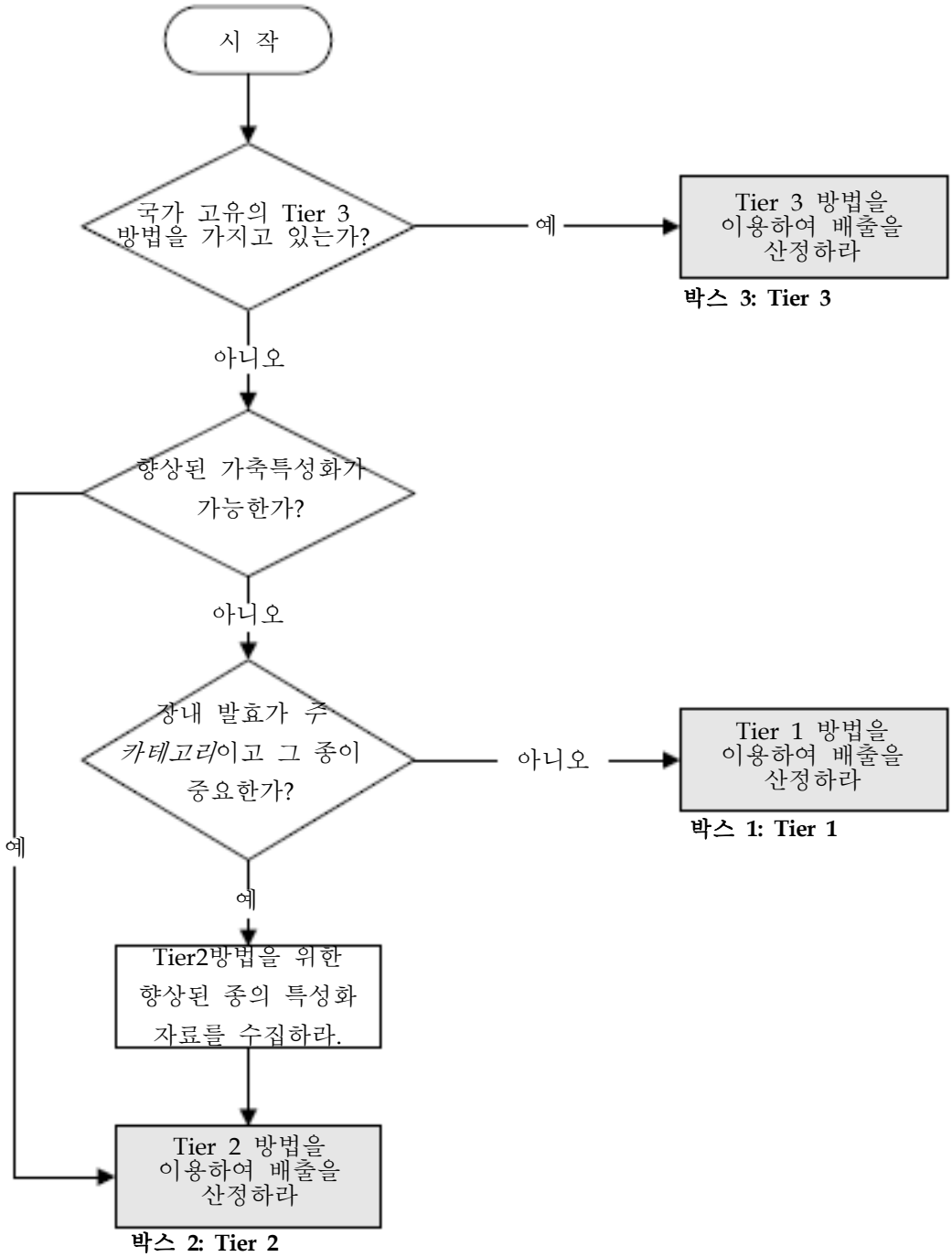
동물의 종에 따른 배출율의 차이를 반영하기 위해서는, 동물 개체군을 세부조직으로 나누어야 한다. 그리고 각 동물의 배출율은 각 세부조직별로 평가되어야 한다. 세부 조직의 개체 유형은 10.2절 (가축과 사료 특성)에 제공되어 있다. 세부 조직의 개체군에 의해 배출된 메탄의 양은 조직 내의 동물의 수에 따른 동물별 배출량의 증가에 의해 계산되었다.

자연의 야생 반추동물은 국가 배출량 산출원으로 고려하지 않았다. 배출량은 단지 가축으로 사육되는 동물(예. 사슴, 엘크, 들소)만 고려했다.

10.3.1 방법론의 선택

그림 10.2의 의사결정도에 따라 장내 발효 메탄 배출량을 산정하기 위한 방법을 선택하는 것이 좋다. 장내 발효에 의한 메탄 배출량을 산정하기 위한 방법에는 세 가지 기본단계가 요구된다.

그림 10.2 장내 발효에 의한 CH_4 배출량 산정을 위한 의사결정도



주:

1: 제1권 제4장의 "주 카테고리의 방법론적 선택과 정의"를 참고 한다 (제한된 자료에 대해서는 4.1.2.절을 참조).

2: 경험상, 가축 종이 배출원 카테고리의 25~30% 또는 그 이상의 배출원인이 된다면 중요하다.

단계 1: 10.2절에 나타난 것처럼 가축의 개체군을 세부그룹으로 나누고 각 그룹을 특징지어라. 국가 전문가들은 개체 수에 생산주기와 계절별 영향을 고려함으로서 측정된 연 평균을 사용함을 권장한다.

단계 2: 매년 각 동물별 메탄의 kg으로 각 세부그룹의 배출계수를 산출하라.

단계 3: 세부조직의 배출을 산정하기 위해서 세부그룹의 배출계수에 그 그룹의 개체수를 곱하고 전체 배출을 산정하기 위해서 세부그룹과 교차해서 합해라.

이 세 단계는 정교성과 복잡성에 있어 다양한 단계로 수행될 수 있다. 이번 장은 다음의 세 접근법을 제시한다.

Tier 1

문헌조사에서 가져왔거나 또는 더 세분화된 Tier2 방법론 사용에서 계산된, 기본 배출계수에 따른 단순화된 접근법. Tier 1 방법은 장내 발효가 주 배출원 카테고리가 아닌 나라들이나, 향상된 특성화 자료가 사용되지 않는 나라들은 대부분 동물 종에 적용하는 것이 적당하다. 대략의 장내 배출량이 주요 가축 카테고리로부터의 추정에 의해 나왔다면, Tier 1 방법을 고려해야만 한다.

Tier 2

총 에너지 섭취량과 특정 가축카테고리에 대한 메탄 환산계수에 있어서 상세한 국가특별 자료를 요구하는 더욱 복잡한 접근법. 장내 발효가 그 나라 총 배출량의 큰 부분을 나타내는 동물 카테고리의 주요 요인이라면 Tier 2 방법을 사용해야 한다.

Tier 3

가축 배출량이 특별히 중요한 나라들은 Tier2 방법을 넘어서 그들 산출 부가적인 나라별 정보를 통합하기를 바랄 것이다. 이 접근법은 상세한 사료 구성을 고려한 정교화된 모델 개발, 장내 발효로 일어난 산출물의 집합, 동물 개체군 또는 사료 량과 사료 질에 따른 계절별 변화량, 또한 적절한 완화 전략을 사용한다. 많은 이러한 산출들은 직접적이고 실험적인 방법으로부터 기인될 것이다. 자료가 이용 가능할 때, 비록 나라들이 아래 제시된 Tier2 방법을 넘어서기를 장려 받더라도, 이런 더 복잡한 분석은 여기서는 단지 간단히 논의될 것이다. Tier3 방법은 산출의 정확성과(또는) 정교함의 향상을 보증할 수 있도록 전문가 평가 간행물에서처럼 폭 넓은 수준의 국제적으로 전문가간의 상호 합의가 요구된다.

IPCC 배출계수 기본값을 가지고 있지 않은 가축 종(예. 라마, 알파카)의 개체군이 많은 나라들은 Tier2 방법과 비슷한 국가적인 방법을 개발하도록 장려되고 있으며, 문서로 입증된 연구보고에 기초하고 있다(가축에 의한 배출량이 중요하다고 결정된다면). 이 접근법은 10.2.4절, '종별 특수 배출량 산출 방법 없이 가축에 대한 특성화'에서 더 다루도록 한다.
표 10.9는 이 조사에 포함된 가축 배출량에 관해 제시된 접근법들을 요약한다.

10.3.2 배출계수의 선택

Tier1 장내 발효에 의한 메탄 배출량에 대한 접근

이 방법은 간소화되어 배출량을 산출하는데 오직 바로 이용 가능한 동물 개체군 자료만이 필요하다. 배출계수 기본값은 추천된 개체군의 각각의 하위조직에 따라 제시된다. 각 단계는 다음에 언

급된다.

단계 1: 동물 개체군

동물 개체군 자료는 10.2절에서 설명된 접근법으로 얻어야 한다.

단계 2: 배출계수

이 단계의 목적은 그 나라의 가축 특성에 가장 적합한 배출계수를 선택하는 것이다. 장내 발효에 대한 배출계수 기본값은 이전 연구로부터 얻어졌고, 이용이 용이한 범위가 정리되었다.
이 자료는 이 절의 마지막 첨부 10A.1에 제시된 장내 발효에 대한 배출계수 기본값을 산출하는데 사용되었다.

표 10.9
장내 발효에 대해 제안된 배출량 인벤토리 방법

가축	제안된 배출량 인벤토리 방법
젖소	Tier 2[a]/Tier 3
다른 소	Tier 2[a]/Tier 3
물소	Tier 1/Tier 2
양	Tier 1/Tier 2
염소	Tier 1
낙타	Tier 1
말	Tier 1
노새와 당나귀	Tier 1
돼지	Tier 1
가금류	개발되지 않았음
기타 (예: 야마, 알파카, 사슴)	Tier 1

[a]Tier 2 방법은 대규모 가축 개체수가 있는 국가들을 위해 추천된다. 추가적인 가축 하위그룹을 위해서 Tier2 방법을 이행하는 것은 카테고리 배출이 국가의 총 메탄 배출의 큰 비율을 차지할 때 바람직하다.

표 10.10은 소를 제외한 각 동물 종의 장내 발효 배출계수를 보여준다. 이 표에 의하면, 양과 돼지의 배출계수는 개발도상국과 선진국 별로 다양하다. 배출계수의 차이는 사료 섭취량과 사료의 특성 조건의 차이에 의해 발생한다(첨부 10A.1 참고). 표 10.11은 소의 장내 발효 배출계수를 나타낸다. 배출계수의 범위는 대표 지역별 상황으로 나타낸다. 표에 나타난 바와 같이, 배출계수들은 마리당 4가지 요인에 의해 달라진다.

표 10.11에서 제시된 배출계수 기본값은 기술된 각 지역 내 배출량의 확실한 견본인 반면, 배출계수는 각 지역 내에서 달라진다. 동물의 크기와 우유 생산량은 젖소 배출율의 중요한 결정요인이다. 생산등급이 낮은 상대적으로 작은 젖소들은 아시아, 아프리카, 인도아대륙에서 발견된다. 상대적으로 큰, 생산등급이 높은 젖소들은 북미와 서유럽에서 볼 수 있다.

동물크기와 개체군의 구성은 또 다른 소 배출률의 중요한 결정요인이다. 상대적으로 작은 다른 소들은 아시아, 아프리카, 인도아대륙에서 발견된다. 또한 이 지역들의 소들은 어리다. 북미, 서유럽,

오세아니아의 다른 소들은 더 크고, 어린 소들은 개체군의 작은 부분을 구성한다.

표 10.10과 10.11에서 배출계수를 선택하기 위해, 국가를 평가하는데 가장 적합한 지역을 선정해라. 무게, 성장률, 배출계수와 우유 생산량 같이 배출계수를 밝히는데 사용되는 기초적 동물 특성이 나라 안의 조건들과 유사하다는 것을 확인하기 위해 첨부 10A.1의 도표를 살펴라. 젖소의 연평균 우유 생산량에 대한 자료 수집은 젖소 배출계수를 고르는데 사용되어야 한다. 필요할 시, 마리당 연평균 우유 생산량 수집 자료를 사용한 표에서 보여주는 젖소 배출계수들 사이에 삽입해라.

다음해의 조사 목록에 같은 Tier1 배출계수를 사용하는 것은 생체중의 추세와 우유 생산량 의 증가와 같은 가축 생산성을 변화시키는 데에 참작되지 않음을 의미함을 주의하라. 만약 가축 생산성의 추세로부터 도출된 메탄 배출의 추세를 얻어내는 것이 중요하다면, 가축 배출량은 추세를 기초로 한 주요 원인 카테고리가 될 수 있을 것이고, Tier2 측정이 사용되어야 한다.

표 10.10
Tier1 방법[1]에 대한 장내 발효 배출계수
(KG CH_4 $HEAD^{-1}$ YR^{-1})

가축	선진국	개발도상국	생체중
물소	55	55	300kg
양	8	5	65 kg-선진국 45 kg-개도국
염소	5	5	40 kg
낙타	46	46	570 kg
말	18	18	550 kg
노새와 당나귀	10	10	245 kg
사슴	20	20	120 kg
알파카	8	8	65 kg
돼지	1.5	1.0	
가금류	계산하기에 불충분한 자료	계산하기에 불충분한 자료	
기타 (예. 라마)	결정될 것임[1]	결정될 것임[1]	

모든 산정은 ±30－50％의 불확실성을 가지고 있음

출처: 물소와 낙타에 대한 배출계수는 Gibbs and Johnson (1993)에서, 다른 가축을 위한 배출계수는 Crutzen *et al.* (1986)에서, 알파카는 Pinares-Patino *et al.*, 2003에서; 사슴은 Clark *et al.*, 2003에서 인용.

대략적인 배출계수를 개발하는 한 가지 접근법은 유사한 소화 시스템을 가지고 있는 동물에 대한 Tier 1 배출계수를 사용하는 것이다. 그리고 그 배출계수를 체중 비의 0.75를 제곱하여 곱한다. 생체중 값이 이러한 목적에서 포함되어 있다. 배출계수는 가축의 특성 묘사와 사료 특성 묘사에 기초해서 유도되어야 하고 지역적인 특성에만 의해서 제한 받아서는 안 된다.

단계 3: 총 배출량

총 배출량을 산출하기 위해서 선택된 배출계수는 관련된 동물 개체 수와 곱해야하고 (식 10.19) 총계를 내야한다. (식 10.20)

식 10.19
가축 카테고리의 장내 발효 배출량

$$Emissions = EF_{(T)} \bullet \left(\frac{N_{(T)}}{10^6} \right)$$

여기서:

배출량 = 장내 발효에 의한 메탄 배출량, Gg CH_4 yr^{-1}
$EF_{(T)}$ = 정의된 가축 개체 수에 대한 배출계수, kg CH_4 $head^{-1}$ yr^{-1}
$N_{(T)}$ = 가축 종의 두수/국가에서의 카테고리 T
T = 가축 종/카테고리

식 10.20
가축의 장내 발효에 의한 총 배출량

$$\text{Total } CH_{4\,\text{Enteric}} = \sum_i E_i$$

여기서:

총 $CH_{4\,장내발효}$ = 장내 발효에 의한 총 메탄 배출량, Gg CH_4 yr^{-1}
E_i = *i*번째 가축 카테고리와 하위 카테고리에 대한 배출량

표 10.11
소에 대한 Tier 1의 장내 발효 배출계수[1]

지역 특성	소 카테고리	배출계수[2] (kg CH_4 $head^{-1}$ yr^{-1})	비고
북아메리카: 고품질의 마초와 곡물을 사료로 먹이는 생산성이 매우 높은 상업 낙농 부문. 계절적으로 사료보충을 해주나, 주로 방목하는 별도의 식육용 암소군이 있음. 빨리 성장하는 사육용 거세한 수소/새끼를 안 낳은 암소는 사육지에서 곡물을 먹임. 젖소는 개체군에서 적은 부분을 차지.	젖소	121	1년에 1마리당 8,400 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	53	육우용 암소, 수소, 송아지, 성장촉진의 거세한 수소/새끼를 안 낳은 암소, 사육우 포함.

서유럽: 고품질의 마초와 곡물을 사료로 먹이는 생산성이 매우 높은 상업 낙농 부문. 젖소가 송아지 생산에도 사용됨. 매우 적은 전용 식육용 암소군이 있음. 곡물을 사료로 먹이는 사육지는 소수임.	젖소	109	1년에 1마리당 6,000 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	57	수소, 송아지, 성장촉진의 거세한 수소/새끼를 낳지 않은 암소 포함
동유럽: 주로 마초를 사료로 먹이는 상업 낙농 부문. 주로 방목하는 별도의 식육용 암소군이 있음. 곡물을 사료로 먹이는 사육지는 소수임.	젖소	89	1년에 1마리당 2,550 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	58	육우용 암소, 수소, 새끼 포함
오세아니아: 방목에 기초하는 상업 낙농 부분. 매우 광범위한 품질의 방목지에 주로 방목하는 별도의 식육용 암소군. 사육지에서 곡물로 사육하는 양이 증가하고 있음. 젖소는 개체군에서 적은 부분을 차지함.	젖소	81	1년에 1마리당 2,200 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	60	육우용 암소, 수소, 새끼 포함.
라틴아메리카: 방목에 기초하는 상업 낙농 부분. 목초지와 방목지에서 방목하는 별도의 식육용 암소군. 곡물을 사료로 먹이는 사육지는 소수임. 젖소가 아닌 소의 사육이 개체군의 커다란 부분을 차지함.	젖소	63	1년에 1마리당 800 kg의 평균 우유 식육용 암소, 수소, 새끼 포함.생산량
	다른 소	56	육우용 암소, 수소, 새끼 포함.
아시아: 적은 규모의 상업 낙농 부문. 대부분의 소는 농업지역에서 견인력과 약간의 우유를 제공하는 다목	젖소	61	1년에 1마리당 1,650 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	47	

적임. 방목 개체군은 적음. 모든 유형의 소가 대부분의 다른 지역보다 적음.			다목적 암소, 수소, 새끼 포함.
아프리카와 중동: 암소에 의한 생산량이 적고, 방목에 기초하는 상업낙농부문. 대부분의 소는 다목적용미며, 농업지역에서 견인력과 약간의 우유를 제공함. 일부 소는 매우 넓은 지역에서 방목함. 소는 대부분의 다른 지역보다 적음.	젖소	40	1년에 1마리당 475 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	31	다목적 암소, 수소, 새끼 포함.
인디아 대륙: 암소에 의한 생산량이 적고, 농작물 부산물 사료에 기초하는 상업 낙농부분. 어린 수소가 농업지역에서 견인력과 약간의 우유 제공. 방목하는 개체군 적음. 이 지역의 소는 모든 다른 지역에 비해 가장 적음.	젖소	51	1년에 1마리당 900 kg의 평균 우유 생산량
	다른 소	27	암소, 수소, 새끼 포함. 새끼가 개체군의 많은 부분을 구성

[a]배출계수는 소와 관련된 사료의 특성에 근거하여 추출되어야 하며, 단지 지역 특성에만 한정되어서는 안 된다.

[b]IPCC 전문가 집단의 값은 지역 내 평균값을 대표한다. 해당되는 지역에서는 더 구체적인 지역 우유 생산 데이터가 권장된다. 기존 값은 Tier 2 방법과 표 10A.1 및 10A.2의 자료를 이용하여 추출되었다.

Tier 2 장내 발효에 의한 메탄 배출량 접근법

이 방법은 더 세분된 가축 개체군 카테고리에 적용되고, 기본값 수치에 대한 배출계수를 산출하기 위해 사용된다. 이 방법에 대해 가장 중요하게 고려해야 할 사항은 배출계수의 개발과 자세한 활동자료의 수집이다.

단계 1: 가축 개체군

동물 개체군 자료와 관련된 활동도 자료는 10.2절에 묘사된 접근법으로 얻어야 한다.

단계 2: 배출 요인

Tier2 방법을 사용한다면, 1단계에서 나온 상세한 자료를 이용하여, 배출계수는 각 동물 카테고리별로 산출되어야 한다.

가축의 각 카테고리별 배출요인은 총 에너지 섭취량과 카테고리의 메탄 환산계수에 근거하여 산출된다. 총 에너지 섭취량 자료는 10.2절의 접근법을 이용하여 얻어져야한다. Tier2 방법 하에서 배출요인을 산출하기 위해서는 다음의 두 가지 하위단계가 완성될 필요가 있다.

1. 메탄 환산계수 (Y_m) 구하기

사료의 에너지가 CH_4로 전환되는 정도는 다른 사료와의 상효작용과 동물 요인에 따라 다르다. CH_4 환산계수가 국가 고유의 연구로부터 사용 불가능 하다면, 소와 물소에 대해서는 표 10.12의 소/물소 CH_4 환산계수에서 제공된 값을 이용할 수 있다. 이런 일반적 산출은 많은 선진국 및 개발도상국에서 발견된 일반적 사료 특성 및 생산 관행에 기초한 대략의 지도안이다. 좋은 품질의 사료(즉, 소화율이 높고 높은 에너지 값을 가지는)가 사용 가능하다면 낮은 범위의 계수를 이용해야한다. 저 품질의 사료가 사용가능하다면, 높은 범위가 더 적합하다. 0의 CH_4 환산계수는 젖만 섭취하는 모든 새끼들(예. 송아지뿐만 아니라 젖먹이 양)에 대해서 산정된다.

배출을 도출함에 있어 Y_m의 중요성 때문에, 다른 가축 및 사료 결합에 대한 Y_m의 산정을 개선시킬 목적으로 실질적인 연구가 진행되고 있다. 그러한 개선은 활용 가능한 데이터가 거의 희박한 열대 목초지에서 방목되는 동물들에게 가장 필요하다. 예를 들어, 방목지 외부에서의 Y_m 값을 다룬 최근 연구(Kurihara et al., 1999)가 표 10.12에 기술되어 있다.

표 10.12
소/물소의 CH_4 전환 계수 (Y_m)

가축 카테고리	Y_m[b]
사육지에서 사육된 소	3.0%±1.0%
젖소 (소 및 물소)와 그 새끼	6.5%±1.0%
주로 낮은 질의 농작 잔여물 및 부산물을 사료로 섭취하는 다른 소 및 물소	6.5%±1.0%
다른 소 또는 물소 - 방목	6.5%±1.0%

[a]90% 또는 그 이상 농축물을 섭취하는 경우
[b]±값은 범위를 나타낸다.
출처: IPCC 전문가 집단

장내 메탄 생성의 지역적, 국가적, 세계적 산출은 Y_m 및 이에 근거한 사료와 동물 특성의 영향, 이 두 가지의 작은 단위 결정사항에 달려있다. Y_m 측정의 전통적인 방법은 가 동물을 수용하는데 호흡 열량계를 사용하는 것을 포함한다(Johnson and Johnson, 1995). SF_6를 이용한 추적 기술은 각 동물로부터의 메탄 배출이 사육 또는 방목 조건 모두에서 산출 되는 것을 가능하게 해준다. 최근 측정에 대한 결과는 그 측정의 국가와 세계 목록을 위한 "단위 향상"을 검토하기도 한 Lassey(2006)에 의해 조사되었다.

Y_m에 대한 사료 특성 및 동물 속성의 영향을 조사하는 것 또한 중요하다. 그러한 영향은 동물의 축산 관행에 따른 Y_m의 다른 값을 정의하는 것 뿐 만 아니라, 배출 감소 전략을 꾀할 목적으로 메탄발생에 관련된 생물학적 기제를 더 잘 이해하는데 중요하다. 지금까지, 그러한 영향에 대한 연구는 모호하며, 그래서 결과적으로 문헌에서 Y_m 측정의 최근 조사에 의해 뒷받침된 표 10.12에서 보고된 값에는 분명히 나타난 변화가 거의 없다.

표 10.13은 사료 질에 상관없이, 모든 양에 대한 동일한 Y_m 값을 제안하나, 1살 경계로 어른 양과

새끼 양에 다른 값을 제안한다. 이러한 수치는 Lassey et al.(1997), Judd et al.(1999), 그리고 Ulyatt et al.(2002a, 2002b, 2005)에 의한 자료를 기초하고 있으며, 다른 연구자들(Murray et al., 1987; leuning et al.1999)의 측정과 일치하지만, 발견되는 모든 범위의 목초지를 다 다루지는 못할 것이다. 중간 값은 대부분 적용에 적합하지만, 저 품질 사료는 더 높은 한계 값이 더 적절하며, 높은 소화율의 고 에너지 사료는 더 낮은 한계 값이 이용될 것이다.

표 10.13
양의 CH_4 전환 계수 (Y_m)

카테고리	Y_m [b]
새끼 양 (1살 미만)	4.5%±1.0%
어른 양	6.5%±1.0%
[a]±값은 범위를 나타낸다.	

어떤 경우에는 특정한 가축유형에 대한 메탄 환산계수가 존재하지 않을지도 모른다는 것을 유의하라. 이런 경우에는, 가장 근접한 유형의 가축에서 보고되었던 메탄 환산계수가 보고될 수 있다 (이용될 수 있다). 예를 들어, 다른 소나 물소에 대한 메탄 환산계수가 낙타에 대한 환산계수를 산출하는데 적용될 수 있다.

2. 배출계수의 개발

각 동물 카테고리에 대한 배출계수는 다음의 방정식 10.21에 따라 개발되어야 한다.

식 10.21
가축 카테고리의 장내 발효에 의한 CH_4 배출계수

$$EF = \left[\frac{GE \cdot \left(\frac{Y_m}{100} \right) 365}{55.65} \right]$$

여기서:

EF = 배출계수,

GE = 총 에너지 섭취량

Y_m = 메탄 환산계수, 사료에서 메탄으로 환산된 총 에너지의 퍼센트

계수 55.65 (MJ/kg CH_4)는 메탄의 에너지 함량

이 배출계수 방정식은 배출계수가 1년(365일)동안 동물 카테고리에 따라 개발 되어진다는 것을 가정한다. 전형적으로 만 1년 간 배출계수가 사용되긴 하지만, 어떤 조건에서는 동물 계수가 좀 더 짧은 기간 동안 (예, 1년 중 우기동안 또는 150일 산의 사육지에서 사육기간 동안)으로 정해지기도 한다. 이 경우에 배출계수는 특정 기간 동안 산출될 것이며, 365일은 그 기간의 날짜로 대체될 것이다. 배출계수가 적용되는 기간의 정의는 10.2절에 설명되었다.

단계 3: 총 배출량

총 배출량을 산정하기 위해서는, 선택된 배출계수를 관련 된 동물 개체 수에 곱하고, 총계를 내야 한다. 위의 Tier1에서 언급한 바와 같이, 배출량 산출은 기가그람(Gg)으로 보고되어야한다.

장내 메탄 배출 인벤토리에 대한 Tier 2의 개선 가능성 또는 Tier 3 방법의 개발

배출량 다양성의 원인에 대한 정의와 높아진 정확성은 인벤토리 구성 목적의 핵심이다. 기존 Tier1 또는 2의 구성요소가 개선되든지 아니면 추가적 개선(Tier3)이 실행되던지, 국가 방법론에 있어서 개선이 권장된다.

기존 Tier1 와 Tier2의 장 메탄 배출계수와 산출 절차는 처음에 인벤토리 클래스 내의 각각의 동물들에 의한 일간 및 연간 총 에너지 소비를 산정하고, 사료(Y_m) 단위 당 CH_4 손실량 산정치를 곱하여 도출된다. 사료 섭취에 대한 Tier2의 예측과 Y_m에는 개선의 여지가 상당히 많이 있다. 사료 요구량 및 소비에 잠재적으로 영향을 미치는 것 중 고려되지 않은 인자는 다음을 포함한다.

- 유지요구에 있어 품종과 유전자형 변이
- 섭취와 유지 요구에 대한 더위와 추위 스트레스 효과
- 소비의 증가 수준에 따른 소화율 저하 또는 사료 섭취에 대한 사료 성분 제한

마찬가지로 Y_m의 변화를 조절하는 상호인자 다수는 Tier 2 방법에 포함되지 않는다.

- 소화율의 효과(DE%)
- 생체중과 관련이 있는 사료 건물 섭취량
- 사료 화학 성분
- 입자의 통과 및 소화 동역학, 또는 식물 미생물의 방어 성분
- 소화관 내의 미생물 개체군의 변화

소화율 효과(DE%)의 정확한 산출은 사료섭취량의 산출에 대단히 중요하며, 위에서 강조했듯이 배출량에 대해서도 마찬가지이다. 평균 사료 DE% 또는 TND%에서의 10% 오차는 초기 조건에 있어 12에서 20% 범위의 CH_4 오차를 발생시킬 것이다. 소비되는 사료의 양이 증가함에 따른 소화율의 저하는 고려되지 않는다. 예로, 비록 메탄 배출량 산출에서 초래한 오차의 일부가 매일 섭취량의 증가에 따른 Y_m의 감소로 보상될 지라도, 농후사료과 건초를 혼합해서 소비하는 북아메리카와 유럽의 생산성 높은 젖소의 사료섭취는 크게 평가되지 않을 것이다. 소화 기능 저하를 산출하는 방법은 기술되어있다(NRC, 1996; NRC, 2001).

Y_m의 산정을 개선시키려는 시도가 많이 있었다. 몇몇 연구자들은 소비되는 사료의 화학성분 또는 더 자세하게, 소화된 탄수화물과 Y_m의 기타 화학 성분과 관련된 모델을 개발해 왔다. 이런 모델들은 전형적으로 다양한 섭취 단계에서의 사료 입자와 화학성분의 각 장내 구획에서의 통과율 및 소화율과 H_2밸런스, 휘발성 지방산, 미생물과 메탄 산출량을 예측한다. 이런 접근법은 챔버와 SF_6 기술을 이용해 직접 축정한 것과 일치하는 Ym값을 얻었다.

문헌에는 프로피온산 최종산물 비율의 고산도와 높은 메탄산출량과의 식물세포벽 소화의 긍정적 관계에 대한 많은 예가 있다. 섬유질 탄수화물 소화가 시비의 여지없이 CH_4 산출의 가장 큰 유일

척도이긴 하지만, 소회된 섬유질마다의 CH_4은 일정하지 않다. 예를 들어, 대두피 또는 비트펄프가 섭취의 다양한 단계에서 유일한 사료로 먹여지고, 엄격히 측정 되었을 때 Ym은 8%~11% 까지 달라질 것이며, 무제한 섭취했을 때 측정하면 5%에서 6%가 될 것이다. 따라서 동일한 섬유기질의 장내 발효작용은 매우 다른 Y_m결과를 가져올 수 있다. 아마 더 복잡한 예측 모델 개발의 가장 힘든 제한은 그것들을 광범위한 국가 인벤토리에 적용시키기 어렵다는 점에 있다. 또 어려운 점은 이러한 사료섭취 또는 Y_m의 더 복잡한 모델을 끌어내는데 필요한 자료를 제공하는 것이다. 세부적인 탄수화물 분획, 통과율, 소화율은 말할 것도 없이, 국가의 한 지역의 하나의 가축에 대한 특성, 생산성, 그리고 소화율(DE%)을 정확히 정의하는 것이 종종 어렵다.

백신, 이온투과담체, 고도 불포화 식물유, 응축 타닌산 등 현재 진행 중인 완화 전략에 대한 세계적인 연구량은 Tier2 또는 Tier3의 인벤토리 편집에 어떻게 반영되어야 하는가를 다뤄야할 필요를 제시한다. 우선 인벤토리는 QA/QC 원리를 따르고 기술의 설명, 효능, 실제 조건에서의 유용성을 포함하는 동료평가를 거친 논문처럼 다방면의 국제적 인증을 받은 기술만을 반영해야 한다. 둘째, 인벤토리는 기술 도입의 증거가 동반되어야하고, 기술도입이 유효한 가축들에 의한 배출량에만 적용되어야 한다. 셋째, 새롭게 실행된 기술(처방된 진통제의 복용량 같은)에 관해서는, 주장되는 배출감소의 크기를 투명하게 하기위해, 완화 측정의 부재 시 배출의 계산도 인벤토리에 동반되어야 한다. 완화 측정는 동료평가를 거친 발간물에 의해 뒷받침되어야한다.

사료섭취 및 Y_m의 산정의 개선과 완화 접근을 고려하는 접근법은 권장되어야 하고, 예측 가능한 관계가 적용되는 지역, 생산 환경 등의 제한에 주위를 요해야한다.

10.3.3 활동자료의 선택

가축 개체군 자료는 10.2절에 설명된 접근법을 이용하여 얻어져야한다. 가축의 장내 배출을 산정하기 위해 장내 발효계수(표 10.10, 10.110) 기본값을 사용하려면 기본(Tier1) 가축 개체군 특성이면 충분하다. 총 에너지 섭취의 산정을 이용해 가축의 장내 배출을 산출하기 위해서는 Tier2 특성이 필요하다. 10.2절에서 언급한 대로, 가축 개체군의 특성화에서의 *좋은 방법(good practice)*은 가축 개체군 자료에 기초한 모든 배출원에 대해 활동도 자료를 제공하는 단일 특성화를 이루는 것이다.

10.3.4 불확도 평가

배출계수

Tier1 방법의 배출계수는 국가 고유의 자료에 근거한 것이 아니므로, 국가의 가축 특성을 정확하게 반영하지 못할 것이고, 그 결과 매우 부정확할 것이다. Tier 1 방법을 이용해 산정된 배출계수는 ±30%보다 더 정확하게 나오지 않을 것이고, ±50%까지 부정확할 수 있다. Tier2 방법에서의 불확도는 가축특성(예, 가축 카테고리의 동질성)의 정확성에 달려있고, 또한 국가 환경에 따라 정미에너지 접근법을 구성하는 여러 관계들안의 계수를 설명하는 방법의 범위에도 달려있다. Tier2 방법을 사용한 배출계수 산정은 대략 ±20%가 될 것이다. Tier2 방법을 사용하는 인벤토리 작성자는 불확도의 특정 환경을 반영하는 분석을 해야 한다. 이것이 이루어지지 않았을 경우, Tier2 방법에서의 불확도는 Tier1 방법에서의 것과 유사한 것으로 산정되어야 한다.

Tier3 방법의 배출계수 정확성을 개선시킬 수 있는 가능성은 있지만, 실행 가능한 방법을 개발하기 위해서는 과학적인 데이터의 본질적(실체적) 내용이 필요하다. Tier3 방법에서 신뢰 할 수 없

고, 비실체적인 데이터의 사용은 Tier2, 심지어 Tier1보다 더 열등한 선정을 초래할 수 있다. 많은 예에서, 가축으로부터의 메탄 배출의 직접 측정은 줄어들고 있고, 한정된 수의 사료 유형을 사용하여 측정이 이루어지고 있다. 가능성 있는 고통완화 조치에 대한 상당한 연구가 계속되고 있으나, 비 연구 상황까지 추정할 수 있는 정도까지 도달한 연구는 거의 없다. 배출 관련 과학에 대한 근본적인 연구가 계속해서 늘고 있으므로, Tier3 방법은 이론적으로 가장 낮은 불확도를 가져와야 한다.

활동자료

가축 및 사료 특성에 연관된 불확도가 더해질 것이다. 가축 및 사료 특성을 향상시키는 것은 종종 전체의 불확도를 감소시키는 데 가장 우선적인 일일 것이다. 사료 소화율(DE%)의 정확한 산정 또한 불확도를 줄이는 데에 결정적이다. 불확도의 선정은 가축 및 사료 특성에 대한 불확도 부문(10.2절 참조)에서 요약된 농업개체 조사 자료 good practice 접근법에서 이끌어낼 수 있다. 불확도를 산정하는 절차에 대한 일반 정보는 제1권 제 3장 (불확도)에 제시되어있다.

10.3.5 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고와 기록

완전성을 얻기 위해서는 국가에서 관리하는 모든 주요 동물 카테고리를 고려해야 한다. 기본값 자료가 활용 불가능하고, 가이드라인이 제공되지 않는 동물 인벤토리에 포함될 경우, 10.2절에서 제공된 일반원리를 동일하게 적용하여 배출량 산출을 해야 한다.

시간에 걸쳐, CH_4 환산계수에 대한 일괄적인 평가기준을 사용하도록 주의해야 한다. 어떤 경우, 시간이 지나면 메탄 환산계수를 변경해야할 이유가 생길수도 있다. 이러한 변화는 명백한 온실가스(GHG) 완화조치를 실행해서일 수도 있으며, GHG와 상관없이 사료의 상태나 다른 관리요소 같은 농업환경이 변했기 때문일 수도 있다. 변화의 원인과는 상관없이 배출량 산출에 이용되는 자료 및 메탄 환산계수는 농업 방법(관행)에서의 변화를 반영해야 한다. 시계열을 넘어 메탄 환산계수가 관리방법(관행)에서의 변화와 GHG 완화조치 실행으로 인한 영향을 받는다면, 인벤토리 편집자는 인벤토리 자료가 이런 방법을 반영하도록 해야 한다. 인벤토리 텍스트는 관리관행 또는 완화조치 실행이 어떻게 메탄 환산계수의 시계열에 영향을 미쳤는가를 완벽히 설명할 수 있어야 한다. 일관적인 시계열을 개발하기 위한 좋은 방법에 대한 일반적이 가이드라인은 제 1권 제 5장 (시계열 일관성)에 나와 있다.

제 1권 제 6장(QA/QC 및 확인)에서 약술한 것과 같이 QC검사를 실행하는 것은 *좋은 방법(good practice)*이다. 제 1권의 가이던스에 덧붙여, 배출원 카테고리와 연관된 상세 절차에 대해 아래에 약술한다.

활동자료 조사

- 인벤토리 편집자는 가축 자료 수집 방법을 평가해야 되는데, 특히 가축 하위종의 자료가 정확히 수집되고 모아졌는지 확인해야 한다. 자료가 합리적이고 기대에 부합되는지 확인하기 위해 이전 해의 자료와 교차검토를 해야 한다. 인벤토리 편집자는 자료 수집방법을 문서화하고, 잠재적인 편차 범위를 정의, 자료의 대표성을 구해야 한다. 개체군 모델링이 이 접근법을 지지하

는데 사용될 수 있다.

배출계수 검토

- Tier2와 Tier3 방법을 사용한다면, 인벤토리 편집자는 IPCC 기본값에 대해 국가 고유계수를 교차검토 해야 한다. 국가고유 계수와 기본값 계수 사이에 큰 차이가 있는 경우에는 그 이유를 설명하고 문서화해야 한다.

대외적 검토

- Tier 2와 Tier 3 방법이 사용된다면, 인벤토리 작성자는 업계, 학술 연구기관, 외연(外延) 전문가를 포함하여 국내외 전문가 평가를 받는 것이 권장된다.
- 평가결과에 대해서는 내부 문서화하여 관리하는 것이 중요하다.

투명성을 향상시키기 위해서는, 이러한 배출원 카테고리로부터의 배출 산출량은, 배출량 결정에 사용된 활동도 자료 및 배출계수와 함께 보고해야한다.

다음 정보는 문서화되어야 한다

- 카테고리 및 지역별 동물 개체 수 자료를 포함한 모든 활동도 자료
- 다음을 포함한 활동도 자료 문서화:
  (i) 계산에 이용된 모든 활동도 자료의 출처(예, 자료가 수집된 통계 자료베이스의 완전한 인용);
  (ii) 활동자료를 개발하는데 사용된 정보와 가정들.(정보활동자료가 데이터베이스로부터 직접적으로 사용이 불가능한 경우)
  (iii) 자료 수집 빈도 및 정확, 정밀성의 산정치.
- Tier 1 방법을 사용한 경우, 특정 동물 카테고리의 배출량 산정을 위해 이용된 모든 기본값 배출계수
- Tier 2 방법 사용 시 :
  (i) Y_m 값;
  (ii) 다른 연구에서 산정되거나 취한 DE 값;
  (iii) 참조를 포함 모든 이용 자료의 완전한 문서화.
- 국가 또는 지역 고유의 배출계수를 사용하거나 Tier3 과 같이 새로운 방법을 이용한 인벤토리의 경우, 이러한 배출계수에 대한 과학적 근거 및 새로운 방법의 원리를 철저하게 문서화해야 한다. 출처 및 불확도 크기 뿐 아니라 입력변수의 정의, 이러한 배출계수 및 방법이 유래된 원리 및 과정에 대한 설명이 문서에 포함되어야 한다.

10.4 분뇨 처리에 의한 메탄 배출량

이 절에서는 분뇨의 저장 및 처리하는 동안 및 목초지에 있는 분뇨로부터 발생되는 메탄(CH_4)을 산정하는 방법에 대해 설명한다. 여기서 '분뇨'라는 용어는 가축으로부터 발생된 대변과 소변 양자(즉, 고체 및 액체)를 종합적으로 일컫는다. 연료용으로 대변을 연소시키는 것과 관련된 배출은 제

2권(에너지) 또는 제5권(폐기물)에서 다뤄진다. 분뇨 저장 및 처리 과정 중 혐기성 환경(즉, 산소가 없는 환경)에서의 분뇨의 분해는 메탄(CH_4)을 발생시킨다. 이러한 환경은 대량의 동물이 한정된 지역에서 관리되고(예, 낙농장, 비육장(肥育場), 돼지농장, 가금류농장), 분뇨가 액상베이스시스템으로 처리되는 경우, 쉽사리 발생한다. 분뇨 처리 및 저장에 관련한 메탄(CH_4)의 배출은 '분뇨관리'에서 보고 된다.

메탄(CH_4) 배출에 가장 중요한 영향을 미치는 인자는, 발생되는 분뇨의 양과 혐기적으로 분해되는 분뇨의 비율이다. 전자는 동물 당 폐기물 발생율과 동물 수에 달려 있으며, 후자는 분뇨가 어떻게 관리되는지에 달려 있다. 분뇨가 액체 상태로 저장되고 처리되면(예, 저수지, 연못, 탱크, 구덩이), 분뇨는 혐기적으로 분해하고, 상당한 양의 메탄(CH_4)을 발생할 수 있다. 저장유닛의 온도와 계류시간은 메탄발생량에 큰 영향을 미친다. 분뇨가 고체상태(예, 퇴적 또는 더미)로 처리되거나, 목초지나 방목지에 퇴적되면, 분뇨는 덜 혐기적 환경에서 분해하게 되며, 메탄(CH_4)도 덜 발생된다.

10.4.1 방법론의 선택

가축분뇨로부터 메탄(CH_4) 배출을 산정하는 데는 세 가지 Tier가 있다. 어떤 Tier를 이용할 것인지 결정하기 위한 지침은 그림 10.3 의사결정도에서 보여준다.

Tier 1

배출을 산정하기 위해서, IPCC 배출 기본값 계수와 관련 있는 종/카테고리별 동물 개체 수 자료와 지역 기후 또는 기온만이 요구되는 간단한 방법. 일부 분뇨관리시스템으로부터의 배출은 온도에 매우 의존적이어서, 분뇨가 관리되는 지역의 연평균 기온을 산정하는 것이 *좋은 우수실행*(*good practice*)이다.

Tier 2

고유 가축의 종/카테고리가 국가 배출량의 큰 비율을 차지하는 경우, 분뇨 처리로부터의 메탄(CH_4) 배출량 산정을 위해서는 좀 더 복잡한 방법을 이용해야 한다. 이 방법은 국가의 조건에 고유한 배출계수를 개발하는데 사용될 동물 특성과 분뇨 처리법에 대한 자세한 정보를 필요로 한다.

Tier 3

가축에서 온실가스 배출이 특히 중요한 일부 국가들은 Tier 2 방법을 넘어서, 국가 고유의 방법론을 위한 모델을 개발하거나 측정에 기초한 접근법을 사용하기 원할지도 모른다.

선택된 방법은 자료 사용가능성 및 국가적 조건에 달려 있다. 분뇨관리시스템으로부터의 메탄(CH_4) 배출을 산정하는 *우수실행*(*good practice*)은 국가 고유의 정보를 이용하여 배출계수를 계산하는 것을 포함해 Tier 2 방법을 이용하는데 모든 노력이 수반되어야 할 것이다. Tier2 방법에 사용되는 모든 가능한 접근 방법을 다 이용한 후, 또는 배출원이 주 카테고리나 하위카테고리가 아닌 경우에만, Tier 1 방법을 사용해야 한다.

선택된 방법에 상관없이, 10.2절에서 설명한 대로, 동물 개체 수는 제일 먼저 다양한 동물당 분뇨 발생량을 반영하는 카테고리로 분류되어야 한다.

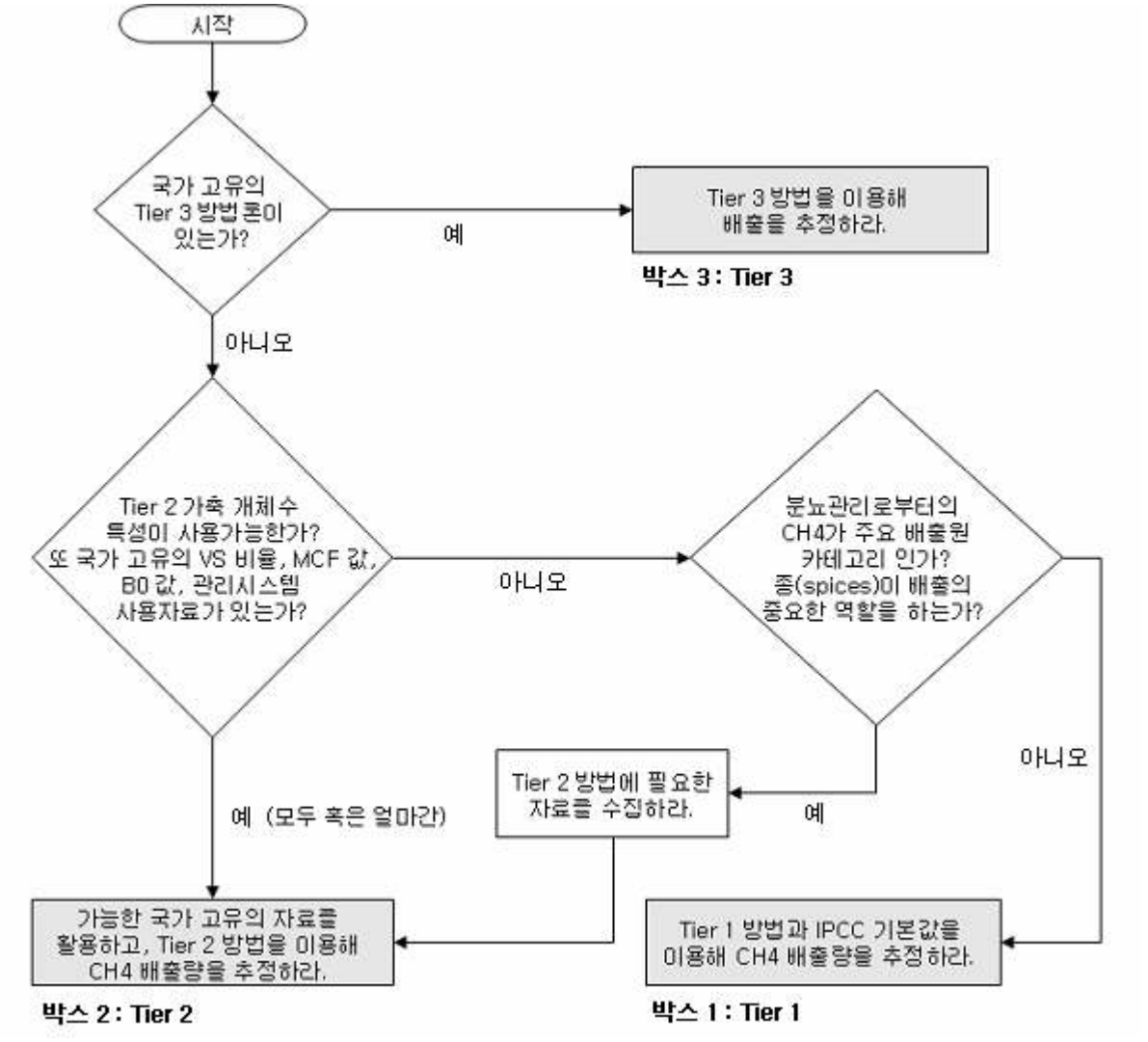
단계 1: 가축 개체 수 평가로부터 개체 수 자료를 수집하라 (10.2절 참조).

단계 2: 기본값을 이용하거나, 킬로그램 단위로 연간 가축별 메탄배출에 대해 각 가축 하위카테고리에 대한 국가 고유의 배출계수를 개발하라.

단계 3: 하위카테고리 배출을 산정하기 위해서, 가축 하위카테고리 배출계수와 하위카테고리 개체수를 곱한다. 그리고 주요 가축 종에 의한 총 배출을 산정하기 위해서는, 하위카테고리들의 총계를 내라.

단계 4: 국가 배출을 결정하기 위해서는, 정의된 모든 가축 종들의 배출량 총계를 내라.

그림 10.3 분뇨 처리에 의한 CH_4 배출량 산정을 위한 의사결정도



주:

1. 제1권 제4장의 "주 카테고리의 방법론적 선택과 정의"를 참조 한다 (제한된 자료에 대해서는 4.1.2.절을 참조).

2. 경험상, 가축 종이 배출원 카테고리의 25~30% 또는 그 이상의 배출원인이 된다면 중요하다.

식 10.22는 분뇨 처리로부터의 CH4 배출량 산정방법을 보여준다.

식 10.22
분뇨 처리로부터의 CH_4 배출량

$$CH_{4Manure} = \sum_{(T)} \frac{\left(EF_{(T)} \bullet N_{(T)}\right)}{10^6}$$

여기서:

$CH_{4Manure}$ = 정의된 개체 수에 대한 분뇨 처리과정에서 CH_4 배출량 (Gg CH_4 Yr^{-1})

$EF_{(T)}$ = 정의된 가축 개체 수에 대한 배출계수, (Kg CH_4 $head^{-1}$ yr^{-1})

$N_{(T)}$ = 국가의 가축 종/카테고리 (T)의 숫자

T = 가축의 종/카테고리

10.4.2 배출계수의 선택

배출계수를 결정하는 가장 좋은 방법은 국가에서 사용하고 있는 시스템을 대표하는 실제 시스템에서 자연적 환경을 방해하지 않는 방법으로 배출량 측정을 하는 것이다. 이러한 현지조사 결과는 배출계수를 산정하는 모델을 개발하는데 이용될 수 있다. 이러한 측정은 행하기 힘들고, 상당한 자원과 전문성을 요한다. 따라서, 이러한 접근방식은 정확성을 높이기 위해서 권장되기는 하지만, *우수실행*(*good practice*)에서는 요구되지 않는다. 이 절에서는 배출량을 산정하기 위해 선택된 방법(즉, Tier1 또는 Tier2)에 따른 배출계수의 선택과 함께, 배출계수를 산출하는 두 가지 대안을 제시한다.

Tier 1

Tier 1 방법 사용 시, 가축 카테고리 또는 하위카테고리별 메탄 배출계수가 사용된다. 연평균 기온에 의한 기본값 배출계수는 각각 권장 개체 수 하위 카테고리를 위한 표 10.14, 표 10.15 및 표 10.16에 제시한다. 이러한 배출계수는 기온에 의한 배출량 차이뿐 아니라, 분뇨의 휘발성 고형물 함량과 각 지역에서 사용하는 분뇨관리법의 범위를 나타낸다. 첨부 10A.2의 표10A-4에서 10A-9는 각 지역의 기저가 되는 가정을 보여준다. 분뇨관리로부터의 메탄배출을 산정하기 위해 Tier 1 방법을 이용하는 국가들은 이 표들의 지역변수를 검토해서, 그들의 동물 운영과 가장 부합하는 지역을 정하고, 그 지역의 기본값 배출계수를 이용해야 한다.

표 10.4는 기온 범주와 각 지역에 따른 소, 돼지, 물소의 기본값 배출계수를 보여준다. 배출계수는 가축분뇨가 관리되는 기후대의 연평균 기온에 의해 리스트 되어 있다. 여기서 기온자료를 사용가능한 지역에서는 기상학 통계에 근거를 두어야 한다. 국가는 기온대에 존재하는 동물 개체수의 퍼센티지를 산정해야 하며, 가중 평균 배출계수를 계산하여야 한다. 이것이 불가능하면, 전체국가의 연평균 기온을 이용할 수 있다. 그러나 이 방법은 기온변화(예, 액체/슬러리 시스템)에 매우 민감한 배출의 정확한 산정치를 얻을 수 없을 것이다.

표 10.15와 표 10.16은 기타 동물 종의 분뇨관리 기본값 배출계수를 보여준다. 표 10.15에서는 선진국과 개발도상국의 동물 사료섭취량과 사료특성의 일반적 차이를 반영하여 두 지역의 배출계수를 분리하여 보여준다. 이러한 배출계수는 가금류의 "산란계 (액상 분뇨저장)"를 제외하고, 목초지, 방목지, 건조장, 들판에 매일 뿌려지는 분뇨를 포함해 사실상 동물들의 모든 분뇨가 '건조' 분뇨 처리 시스템으로 처리된다는 사실을 반영해준다.

표 10.14
기온별 소, 돼지, 물소[a]의 분뇨 처리 메탄 배출계수
(KG CH_4 $HEAD^{-1}YR^{-1}$)

지역적 특성	가축 종	연 평균 온도(℃)[b]에 따른 CH_4 배출계수																			
		한대					온대											열대			
		≤10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	≥28	
북아메리카: 젖소, 돼지 분뇨에 액체 베이스 시스템을 주로 사용, 다른 소 분뇨는 보통 고체 상태로 관리되고 목초지나 방목지에 퇴적.	젖소	48	50	53	55	58	63	65	68	71	74	78	81	85	89	93	98	105	110	112	
	다른 소	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	판매용 돼지	10	11	11	12	12	13	13	14	15	15	16	17	18	18	19	20	22	23	23	
	번식용 돼지	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	31	32	34	35	37	39	41	44	45	
서유럽: 젖소, 돼지 분뇨에 액체/슬러리/구덩이 저장시스템을 주로 이용. 제한된 농토에 분뇨 퇴적 가능.	젖소	21	23	25	27	29	34	37	40	43	47	51	55	59	64	70	75	83	90	92	
	다른 소	6	7	7	8	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	24	25	26	
	판매용 돼지	6	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12	13	14	15	16	18	19	21	21	
	번식용 돼지	9	10	10	11	12	13	14	15	16	17	19	20	22	23	25	27	29	32	33	
	물소	4	4	5	5	5	6	7	7	8	9	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
동유럽: 분뇨의 대부분에 고체 베이스 시스템 이용. 가축 분뇨의 약 1/3 액체 베이스 시스템으로 관리.	젖소	11	12	13	14	15	20	21	22	23	25	27	28	30	33	35	37	42	45	46	
	다른 소	6	6	7	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16	18	19	21	23	23	
	판매용 돼지	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	10	10	10	
	번식용 돼지	4	5	5	5	5	6	7	7	7	8	8	9	9	10	11	12	16	17	17	
	물소	5	5	5	6	6	7	8	8	9	10	11	11	12	13	15	16	17	19	19	
오세아니아: 저수지를 이용하는 젖소를 제외하고, 소 분뇨의 대부분을 목초지나 방목지에서 고체상태로 관리.	젖소	23	24	25	26	26	27	28	28	28	29	29	29	29	29	30	30	31	31	31	
	다른 소	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	판매용 돼지	11	11	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
	번식용 돼지	20	20	21	21	22	22	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24	
라틴아메리카: 거의 모든 가축분뇨를 목초지나 방목지에서 고체상태로 관리. 물소 분뇨는 목초지나 방목지에서 퇴적	젖소	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
	다른 소	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	돼지	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
	물소	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	

표 10.14
기온별 소, 돼지, 물소[a]의 분뇨 처리 메탄 배출계수
(KG CH_4 $HEAD^{-1}YR^{-1}$)

지역적 특성	가축 종	연 평균 온도(℃)[b]에 따른 CH_4 배출계수																			
		한대					온대											열대			
		≤10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	≥28
아프리카: 가축 분뇨의 대부분을 목초지나 방목지에서 고체상태로 관리. 적지만 상당한 비율의 분뇨가 연료로 연소됨	젖소	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	다른 소	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	돼지	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
중동: 소 분뇨의 2/3 이상 목초지나 방목지에 퇴적. 돼지 분뇨의 약 1/3 액체 베이스 시스템으로 관리. 물소 분뇨는 연료로 연소 또는, 고체로 관리	젖소	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
	다른 소	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	돼지	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6
	물소	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
아시아: 소 분뇨의 약 절반은 건조 시스템에서 관리 나머지는 연료로 사용. 돼지분뇨의 약 40% 액체상태로 관리. 물소분뇨는 드라이로트에서 관리 후 목초지나 방목지에 퇴적	젖소	9	10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	23	24	26	28	31	31
	다른 소	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	돼지	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	7	7
	물소	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
인도아대륙: 소와 물소 분뇨의 약 절반 건조 시스템에서 관리 후 나머지는 연료로 사용. 돼지 분뇨의 약 1/3 액체상태로 관리.	젖소	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6
	다른 소	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	돼지	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6
	물소	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

출처: 이러한 배출계수 도출에 대해서는 첨부 10A.2의 표 10A4~10A8까지 참조
이러한 배출계수의 불확도는 ±30%이다.
[a] 기본값 배출계수를 선택할 때, 배출량 산정을 위한 분뇨관리시스템의 분류 및 동물 배설물 특성에 대해서는 첨부 10A.2의 뒷받침하는 표를 참고하라.
[b] 기온이 모든 지역에서 반드시 표시되지 않는다. 예를 들어, 동유럽이나 서유럽에는 주목할 만한 열대지역이 없다. 마찬가지로, 아프리카, 중동지역에도 주목할 만한 한대지역이 없다.
주: 주목할 만한 물소 개체수가 북아메리카, 오세아니아, 아프리카에 존재하지 않는다.

표 10.15
기온별 양, 염소, 낙타, 말, 노새, 나귀, 가금류[a]의 분뇨 처리 메탄 배출계수
(KG CH_4 $HEAD^{-1}YR^{-1}$)

가축	연평균 기온별(℃) CH_4 배출계수		
	한대(<15℃)	온대(15-25℃)	열대(>25℃)
양			
선진국	0.19	0.28	0.37
개도국	0.10	0.15	0.20
염소			
선진국	0.13	0.20	0.26
개도국	0.11	0.17	0.22
낙타			
선진국	1.58	2.37	3.17
개도국	1.28	1.92	2.56
말			
선진국	1.56	2.34	3.13
개도국	1.09	1.64	2.19
노새와 당나귀			
선진국	0.76	1.10	1.52
개도국	0.60	0.90	1.20
가금류			
선진국			
산란계(건조)[b]	0.03	0.03	0.03
산란계(습윤)[c]	1.2	1.4	1.4
식육용 닭(육계)	0.02	0.02	0.02
칠면조	0.09	0.09	0.09
오리	0.02	0.03	0.03
개도국	0.01	0.02	0.02

출처: 배출계수의 도출: 장내발효로부터의 배출계수를 도출하기 위해 사용된 사료 섭취량의 값 및 사료 소화성 (첨부 10A.1 참조); 선진국의 가금류 제외, 메탄 환산계수 (MCF), Woodbury and Hashimoto (1993)에서 보고 된 최대 메탄 발생량 (B_0) 값. 선진국의 가금류는 5개의 카테고리로 세분되었다. 산란계(건조 상태)는 "축사바닥 깔개가 없는" 배설물 관리 시스템의 산란계를 말한다. 산란계(습기 상태)는 혐기성 저수지 배설물 관리 시스템의 산란계를 말한다. 산란계에 있어서 휘발성 고형물(VS)은 USDA (1996)에서 보고 된 값이다; 대표적인 동물 집단 값은 ASAE (1999)에서 근거한 것이다; 산란계에 대한 B_0값은 Hill (1982)에 의해 보고된 값이다. 식육용 닭(육계)과 칠면조에 대한 B_0값은 Hill(1984)로부터 얻은 것이다; 대표적인 동물 집단 값은 ASAE (1999)에서 근거한 것이다; VS 값은 USDA (1996)에서 보고된 것이다. 오리에 대한 B0 값은 식육용 닭(육계)와 칠면조로부터 대체된 값이다; 대표적인 동물 집단 값은 MWPS-18에 근거한 것이다; VS 값은 USDA, AWMFH에서 근거한 것이다. 양, 염소, 말의 대표적인 집단과 선진국의 염소와 말의 VS 및 B_0 값은 첨부 1 국가의 GHG 인벤토리의 분석에 따라 갱신되었다. 산란계(습기 상태)를 제외하고, 모든 분뇨는 건조 시스템으로 관리된다고 가정한다. 이는 Woodbury and Hashimoto (1993)에서 보고 된 분뇨 처리 시스템 용례와도 일치한다.

[a] 기본값 배출계수를 선택할 때, 배출량 산정을 위한 분뇨관리시스템의 분류 및 동물 배설물 특성에 대해서는 첨부 10A.2의 뒷받침하는 표를 참고하라. 당신 국가의 지역적 특성과 가장 부합하는 지역의 배출계수를 선택하라.

[b] 건조 분뇨를 관리하는 산란계(産卵鷄)(layers) 운영

[c] 혐기성 저수지에서의 저장과 같이, 액체 상태로 분뇨를 관리하는 산란계(産卵鷄)(layers) 운영

표 10.16 사슴, 순록, 토끼, 털이 있는 동물의 분뇨 처리 메탄 배출계수	
가축	**CH_4 배출계수 (kg CH_4 $head^{-1}$ yr^{-1})**
사슴[a]	0.22
순록[b]	0.36
토끼[c]	0.08
털이 있는 동물(예, 여우, 밍크)[b]	0.68
이러한 배출계수의 불확도는 ±30%이다. [a] Sneath *et al.* (1997) [b] 노르웨이 농업대학교, 화학 및 생물공학 연구소, 미생물학과의 산정 [c] IPCC 전문가 집단의 판단	

Tier 2

Tier 2 방법은 분뇨관리가 주요한 배출원이고, 기본값 수치를 도출하기 위한 자료가 국가의 가축 및 분뇨 처리 조건과 잘 일치하지 않을 때, 적용할 수 있다. 소, 물소, 돼지의 특성과 분뇨관리시스템은 국가별로 매우 다양할 수 있기 때문에, 이러한 가축의 개체수가 많은 국가의 경우, 메탄 배출을 산정하기 위해서 Tier 2 방법을 이용하는 것을 고려해야 한다. Tier 2 방법은 분뇨로부터의 배출계수 산정에 영향을 미치는 두 가지 주요한 유형의 입력 자료에 의존 한다:

분뇨특성: 분뇨에서 발생된 휘발성 고형물 (VS)의 양과 그 분뇨로부터 발생될 수 있는 메탄의 최대 양(B_0)을 포함한다. 분뇨 VS의 발생은 Tier 2의 장내 발효 배출계수를 도출하는데 사용되는 변수이기도 한 사료 섭취량 및 사료 소화성에 근거하여 산정될 수 있다. 아니면, VS 발생률은 가축 분뇨의 실험실에서의 측정에 근거할 수도 있다. B_0은 가축종과 사료섭생에 따라 달라지며, 분뇨의 VS의 양에 의거한 이론상의 메탄 발생량이다. 축사의 깔짚(짚, 톱밥, 나무조각 등)은 Tier2 방법에서 VS에 포함되지 않는다. 이러한 깔개재료의 종류와 사용은 국가마다 매우 다양하며, 일반적으로 고형물 저장 시스템과 관련이 있으므로, 전체 메탄(CH_4) 발생량에 커다란 영향을 미치지 않을 것이다.

분뇨 처리 시스템 특성: 분뇨관리에 이용된 시스템의 유형과 얻어진 B_0의 비율을 반영하는 시스템 고유의 메탄 변환 계수(MCF)를 포함한다. 분뇨 처리 시스템의 지역 평가)는 각각의 분뇨 처리 기술로 처리되는 분뇨의 비율을 산정하는데 사용된다. 분뇨 처리 시스템에 대한 설명은 표 10.18에 포함되어 있다. MCF 시스템은 분뇨 처리 방식과 기후에 따라 달라지며, 이론적으로 0-100% 사이에서 변동할 수 있다. 기온과 계류시간 양자 모두 MCF의 산정에 중요한 역할을 한다. 열대환경에서 액체 상태로 장시간동안 관리된 분뇨는 메탄형성을 촉진한다. 이러한 분뇨관리환경은 65-80% 정도의 높은 MCF 값을 가질 수 있다. 한대기후에서 건조 상태로 관리된 분뇨는 메탄(CH_4)을 거의 발생시키지 않으므로, 약 1% 정도의 MCF 값만 가지게 된다.

Tier 2 배출계수 개발은 각 기후 지역에서 각 분뇨처리시설에 의해 처리되는 분뇨의 평가를 이용

하여 가중평균 MCF를 결정하는 것을 포함한다. 그 다음 평균 MCF를 VS 배설율과 가축 카테고리의 B_0과 곱하라. 산정은 방정식 형태로 다음과 같다.

식 10.23
분뇨 처리에 대한 CH_4 배출계수

$$EF_{(T)} = \left(VS_{(T)} \bullet 365\right) \bullet \left[B_{o(T)} \bullet 0.67\, kg/m^3 \bullet \sum_{S,k} \frac{MCF_{S,k}}{100} \bullet MS_{(T,S,k)} \right]$$

여기서:

$EF_{(T)}$ = 가축 카테고리 T에 대한 CH_4 배출계수, (kg CH_4 가축$^{-1}$ yr^{-1})

$YS_{(T)}$ = 가축 카테고리 T에 대한 일간 배설 휘발성 고형물, kg 건물질 가축$^{-1}$ day^{-1}

365 = 연간 VS 발생을 계산하는 근거, days yr^{-1}

$B_{o(T)}$ = 가축 카테고리 T에서 발생된 분뇨의 최대 메탄 발생 량, m^3 CH_4 kg^{-1} VS 배설량

0.67 = m^3 CH_4를 kg CH_4로 바꾸기 위한 변환 계수

$MCF_{(S.k)}$ = 기후 지역 K 별 각 분뇨관리 시스템 S에 대한 메탄 변환 계수, %

$MS_{(T.S.k)}$ = 기후 지역 K에서 분뇨 처리 시스템 S를 이용해 관리되는 가축 카테고리 T의 분뇨의 비율, 단위 없음

일부 국가의 경우 Tier 2 방법에서 제시한 세부사항 레벨이 불가능할지라도, 동물 무게, VS 배출량, 기타 요소와 같은 국가 고유의 자료 요소는 배출량 산정을 향상시키는데 사용할 수 있다. 국가 고유의 자료가 단지 일부분의 이러한 변수에 대해서만 사용가능하다면 표10A-4에서 10A-9의 자료를 이용하여 빠진 부분을 채워 국가고유의 배출계수를 산정할 것을 권장한다.

배출량은 지역과 가축의 종/카테고리에 따라 크게 달라질 수 있으므로, 배출량 산정은 국가 내 다른 지역 간의 사육두수 및 분뇨 처리법의 다양성과 범위를 가능한 한 많이 반영해야 한다. 아마도 각 지역을 위한 각각의 산정법의 개발이 필요할 것이다. 분뇨 특성과 관리법의 변화를 설명할 수 있도록, 배출계수는 주기적으로 갱신해야 한다. 이러한 변화는 과학적으로 검토된 신뢰할 수 있는 자료에 근거를 두어야 한다. 주요한 모델의 매개변수를 검증하고 축산업의 변화하는 경향을 추적하기 위해서는 빈번한 모니터링이 바람직하다.

VS 배설율

휘발성 고형물(VS)는 가축분뇨에서 유기물질이며, 생물분해성 부분과 생물비분해성 부분 두 가지로 구성되어 있다. 방정식 10.23에서 요구되는 값은, Bo 값은 시스템에 들어가는 총 VS값에 근거하기 때문에, 각 동물 종에 의해 배설되었을 때의 총 VS이다 (생물분해성 부분과 생물비분해성 부분). 일평균 VS 배설율을 얻는 가장 좋은 방법은 국가 내에서 발간된 자료를 이용하는 것이다. 일평균 VS 배설율이 사용가능하지 않다면, 국가 고유의 VS 배출율을 사료 섭취 수준으로부터 산정할 수 있다. 소와 물소 사료섭취는 10.2절에서 설명된 '강화된' 특성 방법을 이용해 산정할 수 있다. 이것은 또한 배출량 산정의 기조가 되는 자료의 일관성을 담보해줄 것이다. 돼지에 대해서는,

사료섭취를 산정하기 위한 국가 고유의 돼지 생산 자료가 필요할지 모른다.

분뇨의 VS 함량은 소화되지 않고 대변으로 배출된 양과 소변으로 배출된 양의 합과 같다. 국가들은 장내 메탄 배출을 산정하는 과정에서 총에너지(GE) 섭취량(10.2절, 방정식 10.16)과 그 분별 소화성, 즉 DE를 산정해야 한다.

총에너지 섭취량과 분별소화성이 산정되면, VS 배설율은 다음과 같이 산정 된다:

식 10.24
휘발성 고형물 배설율

$$VS = \left[GE \cdot \left(1 - \frac{DE\%}{100}\right) + (UE \cdot GE)\right] \cdot \left[\left(\frac{1 - ASH}{18.45}\right)\right]$$

여기서:

VS = 건조-유기 물질 베이스의 일당 휘발성 고형물 배설

GE = 총 에너지 섭취량

DE% = 백분율로 표시된 사료의 소화율 (예. 60%)

(UE • GE) = GE의 부분으로 표현된 소변 에너지. 일반적으로 0.04 GE는 대부분의 반추 동물들의 소변 에너지 배설로 간주될 수 있다 (85% 또는 그 이상 곡물 식이로 먹인 되새김질 동물이나 돼지는 0.02로 감소). 국가 고유값이 있는 곳에서는 국가 고유의 값을 사용하라.

ASH = 건조된 사료 섭취량의 분수(분율)로 계산된 분뇨의 회분 함량(예, 소의 경우 0.08). 국가 고유의 값을 사용하라.

18.45 = 건조량 기준(kg) 당 소화할 수 있는 GE에 대한 환산계수. 이 값은 가축이 보통 소비하는 광범위한 목초 및 곡물사료에서 상대적으로 일정하다.

다양한 가축 카테고리에 대한 대표적인 DE% 값은 이 보고서의 10.2절의 표 10.2에서 제공된다. 회분 함량 비율 값은 가축의 유형에 따라 실질적으로 변동될 수 있으며, 국가 환경을 반영해야 한다.

B_o 값

분뇨의 최대 메탄 발생량은 종과 사료에 따라 변동된다. Bo 측정값을 얻는 선호되는 방법은 표준화된 방법에 의해 측정된 국가 고유의 발간된 자료를 이용하는 것이다. 샘플링방법을 포함해 Bo 측정을 표준화하고(Tier 2 계산은 총 배설된 VS에 근거를 두고 있으므로), 값이 총 배설된 VS 아니면 생물분해성 VS에 근거를 두었는지 확인하는 것이 중요하다. 국가 고유의 Bo 측정값이 불가능하면, 기본값 수치가 표 10A-4에서 10A-9에서 제공된다.

MCFs

상이한 분뇨 처리 시스템에 대한 기본값 메탄 환산계수(MCFs)는 표 10.17에서 제공된다. MCFs는

고유 분뇨 처리 시스템에 대해 결정되고, Bo가 얻어지는 정도를 나타낸다. 고유 분뇨 처리시스템에서 발생된 메탄의 양은 현재 혐기성 환경의 정도, 시스템의 온도, 시스템에서의 유기물질의 계류시간에 영향을 받는다. 표 10.17에서 제시한 저수지의 기본값은 더 긴 계류시간의 효과가 포함되어, 그 결과로 대부분의 다른 환경의 시스템보다 높은 수치를 나타낸다.

액체 베이스 시스템은 기온효과에 매우 민감하므로, 이러한 시스템의 각 기후대별 고유 연평균 기온에 대한 가능한 기본값 MCF 는 표10.17에서 제시했다. 이러한 기온 범위가 대부분의 기후 조건을 커버해야 하므로, 섭씨 10에서 28도 범위 밖의 극도의 고온이나 저온의 연평균 기온을 갖는 지역에서는 범위 끝 값(즉, 10도 또는 28도)을 이용하거나, 국가 고유의 값을 개발해야만 한다.

이러한 기본값 계수는 관리 시스템의 한정된 카테고리내의 잠재적으로 광범위한 변수를 모두 포함할 수 없을 것이다. 따라서 가능하다면 고유 국가나 지역에서 사용되는 고유의 관리 시스템을 반영하는 국가 고유의 MCF가 개발되어야 한다. 특히, 동물 개체수가 많거나 여러 기후 지역을 가지고 있는 국가의 경우 더욱 더 중요하다. 그러한 경우, 가능하다면, 기본값 MCF를 대체하기 위해서 각 기후 지역에 대한 실측이 행해져야 한다. 측정은 다음 요소를 포함해야 한다.

- 저장/적용 시기;
- 측정부지의 사료 및 동물 특성 (적절한 자료유형에 대해서는 10.2절 참조);
- 저장시간;
- 분뇨특성(예, 액체 시스템의 VS 유입과 유출 농도);
- 저장설비에 남은 분뇨 양의 결정(메탄생성미생물 접종원);
- 실내와 실외 저장간의 시간과 온도 분포;
- 일간 기온변동; 그리고
- 계절적 기온 변화.

표 10.17
분뇨 처리 시스템에 대한 온도별 MCF 값

시스템[a]		연 평균 온도(℃)[b]에 따른 MCFs																			출처와 주석
		한대					온대											열대			
		≤10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	≥28	
목초지/방목지/방목장		1.0%					1.5%											2.0%			Hashimoto and Steed(1994)와 공동의 IPCC 전문가 집단의 판단
일일 살포		0.1%					0.5%											1.0%			Hashimoto and Steed (1993)
고형물 저장		2.0%					4.0%											5.0			겨울에 약 2% 여름에 약 4%의 배출을 보여주는 Amon *et al.* (2001)와 공동의 IPCC 전문가 집단의 판단. 열대기후는 IPCC 전문가 집단과 Amon *et al.* (1998)의 판단에 근거함.
건조장		1.0%					1.5%											2.0%			Hashimoto and Steed(1994)와 공동의(in combination with) IPCC 전문가 집단의 판단
액체/슬러리	자연적 표면 덮개가 있는 경우	10%	11%	13%	14%	15%	17%	18%	20%	22%	24%	26%	29%	31%	34%	37%	41%	44%	48%	50%	Mangino *et al.*(2001)과 Sommer (2000)와 공동의 IPCC 전문가 집단의 판단. 표면 덮개로 인한 산정된 감소(40%)는 제한된 자료에 근거한 연평균 값이며, 기온, 강수량, 조성물에 따라 매우 변동적일 수 있다. 슬러리탱크가 유가식 저장실/소화조로 사용될 경우, MCF는 공식 1에 따라서 계산해야 한다.
	자연적 표면 덮개가 없는 경우	17%	19%	20%	22%	25%	27%	29%	32%	35%	39%	42$	46%	50%	55%	60-%	65%	71%	78%	80%	Mangino *et al.*(2001)과 공동의 IPCC 전문가 집단의 판단. 슬러리탱크가 유가식 저장실/소화조로 사용될 경우, MCF는 공식 1에 따라서 계산해야 한다.

표 10.17 (계속)
분뇨 처리 시스템에 대한 온도별 MCF 값

시스템[a]		연 평균 온도(℃)[b]에 따른 MCFs																			출처와 주석
		한대					온대											열대			
		≤10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	≥28	
뚜껑이 덮이지 않은 혐기성 늪		66%	68%	70%	71%	73%	74%	75%	76%	77%	77%	78%	78%	78%	79%	79%	79%	79%	80%	80%	Mangino *et al.* (2001)과 공동의 IPCC 전문가 집단의 판단. 덮개 없는 저수지의 MCFs는 기온, 계류시간, 시스템에서 휘발성 고형물의 손실 등 여러 요인에 의해 변동될 수 있다 (저수지 유출수나 고형물의 제거를 통해).
동물 축사 아래의 구덩이 저장	< 1개월	3%					3%											30%			Moller *et al.* (2004)과 Zeeman (1994)과 공동의 IPCC 전문가 집단의 판단. 기후조건을 결정할 때 축사의 기온이 아닌 주변 기온을 사용해야 함에 주의하라. 구덩이가 유가식 저장실/소화조로 사용될 경우, MCF는 공식 1에 따라서 계산해야 한다.
	> 1개월	17%	19%	20%	22%	25%	27%	29%	32%	35%	39%	42%	46%	50%	55%	60%	65%	71%	78%	80%	Mangino *et al.* (2001)과 공동의 IPCC 전문가 집단의 판단. 기후조건을 결정할 때 축사의 기온이 아닌 주변 기온을 사용해야 함에 주의하라. 구덩이가 유가식 저장실/소화조로 사용될 경우, MCF는 공식 1에 따라서 계산해야 한다.

표 10.17 (계속)
분뇨 처리 시스템에 대한 온도별 MCF 값

시스템[a]		연 평균 온도(℃)[b]에 따른 MCFs																			출처와 주석
		한대					온대											열대			
		≤10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	≥28	
혐기성 소화조		0-100%					0-100%											0-100%			생물가스 회수, 생물가스 플래어링(flaring), 소화후 저장을 고려하여 여러 카테고리로 세분화되어야 함. 공식 1으로 계산
연료로 연소		10%					10%											10%			Safley et al.(1992)과 공동의(in combination with) IPCC 전문가 집단의 판단.
소 및 돼지 두꺼운 축사 바닥깔개	< 1개월	3%					3%											30%			Moller et al.(2004)과 공동의(in combination with) IPCC 전문가 집단의 판단. 유기 함량 및 습기함량에 따라, 구덩이 저장과 비슷하거나 아마도 더 큰 배출 값을 기대할 수 있다.
소 및 돼지 두꺼운 축사 바닥깔개	> 1개월	17%	19%	20%	22%	25%	27%	29%	32%	35%	39%	42%	46%	50%	55%	60%	65%	71%	78%	80%	Mangino et al.(2001)과 공동의(in combination with) IPCC 전문가 집단의 판단.
용기내 퇴비화[b]		0.5%					0.5%											0.5%			Amon et al.(1998)과 공동의(in combination with) IPCC 전문가 집단의 판단. MCFs가 고형물저장의 절반 이하이다. 온도 의존성 없음.
정치식 퇴비화[b]		0.5%					0.5%											0.5%			Amon et al.(1998)과 공동의(in combination with) IPCC 전문가 집단의 판단. MCFs가 고형물저장보다 약간 낮다. 온도 의존성 적음.
집중 야적식 퇴비화[b]		0.5%					1.0%											1.5%			Amon et al.(1998)과 공동의(in combination with) IPCC 전문가 집단의 판단. MCFs가 고형물저장보다 약간 낮다. 온도 의존성 적음.
수동식 야적식 퇴비화[b]		0.5%					1.0%											1.5%			Amon et al.(1998)과 공동의(in combination with) IPCC 전문가 집단의 판단. MCFs가 고형물저장보다 약간 낮다. 온도 의존성 적음.

표 10.17 (계속)
분뇨 처리 시스템에 대한 온도별 MCF 값

시스템[a]	연 평균 온도(℃)[b]에 따른 MCFs																			출처와 주석
	한대					온대											열대			
	≤10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	≥28	
가금자리 짚 있는 가금류 분뇨	1.5%					1.5%											1.5%			IPCC 전문가 집단의 판단. 일정한 열대 온도에서는 MCFs가 고형물저장과 유사하다.
가금자리 짚 없는 가금류 분뇨	1.5%					1.5%											1.5%			IPCC 전문가 집단의 판단. MCFs가 일정한 열대 기후에서의 드라이로트(dry lot)와 유사하다.
호기성 처리	0%					0%											0%			MCFs가 0에 가깝다. 호기성 처리는 슬러지 퇴적을 초래할 수 있으며, 이는 별개의 시스템에서 처리될 것이다. 슬러지는 제거할 필요가 있으며, 큰 VS 값을 가진다. 슬러지 처리를 위한 다음 관리 공정을 정의하고, 배출의 양이 상당하다면 그 관리공정에서의 배출을 산정하는 것이 중요하다.

식 1 (투입 시기는 소화조의 운영 기간을 반영해야 한다):

$MCF=[\{CH_{4\ prod}-CH_{4\ used}-CH_{4\ flared}+(MCF_{storage}/100*B_o*VS_{storage}*0.67)\}/(B_o*VS_{storage}*0.67)]*100$

여기서:

CH_{4prod} = 소화조에서 메탄 생산, (kg CH_4). 주: 소화되는 분뇨를 위한 저장고의 gas tight coverage가 사용될 때 저장고의 가스 생산은 포함되어야 한다.

CH_{4used} = 에너지를 위해 사용되는 메탄가스의 양, (kg CH_4)

$CH_{4flared}$ = 불태워지는 메탄의 양, (kg CH_4)

$MCF_{storage}$ = 소화된 분뇨의 저장 동안 배출되는 CH_4에 대한 MCF (%)

$VS_{storage}$ = 소화에 우선하여 저장고로 가는 분해되는 VS의 양 (kg VS)

gas tight storage가 포함될 때: $MCF_{storage}$ = 0; 반면에 $MCF_{storage}$ = 액체 저장에 대한 MCF 값

[a] 분뇨 처리 시스템에 대한 정의는 표10.18에서 제공된다.

[b] 퇴비화란 전형적으로 미생물의 열 발생에 의한 고온에서 바닥깔개가 있는 분뇨 등 고형 배설물이나 다른 유기 산소 배출원이 생물학적으로 산화되는 것이다.

10.4.3 활동자료의 선택

분뇨 처리로부터의 메탄(CH_4) 배출량 산정에는 두 가지 주요한 유형의 자료가 있다: (1) 동물 개체 수 자료; (2) 분뇨 처리 시스템 사용자료

동물 개체 수 자료는 10.2절에서 설명된 접근법을 이용해 구해야 한다. 10.2절에서 언급한 대로, 가축 개체 수 자료에 의존하는 모든 배출원의 활동도 자료를 제공할 하나의 가축 특성을 만드는 것이 *우수 실행*(*good practice*)이다. 그러나 분뇨 처리로부터의 배출을 산정하는데 필요한 가축 개체 수 자료의 세부 수준이 장내 발효 등의 다른 배출원과 다를 수 있다는 것에 유의하는 것이 중요하다. 예를 들어, 소와 같은 일부 가축 개체 수 종/카테고리의 경우, Tier 2 장내 발효 산정에 요구되는 강화된 특성묘사는 지금 배출원 카테고리에 있어서는 충분한 더 광범위한 카테고리로 모아질 수 있다. 돼지와 같은 일부 종의 경우, 분뇨 처리 계산을 위해서는 장내 발효보다 체중 카테고리의 더 자세한 분해과정을 거치는 것이 선호된다. 하지만, 인벤토리 전체로는 총 가축 카테고리의 일관성이 유지되어야 한다.

다양한 기후 조건을 가지고 있는 국가들의 인벤토리 에이전시는 각 주요 기후대의 개체 수 자료를 구하는 것이 권장된다. 그에 더해, 가능하다면, 가축 분뇨가 액체 베이스 시스템 (예, 구덩이, 탱크, 저수지)으로 관리되는 부지의 관련된 연평균 기온을 구해야 한다. 이것은 기본값 계수와 기온 변화에 더욱 민감한 시스템들에 대한 MCF 값을 더 구체적으로 선택할 수 있게 해준다. 이상적으로, 지역 개체 수 분석은 출판된 국가 가축 통계자료부터 얻을 수 있고, 온도자료는 국가 기상학 통계자료에서 얻을 수 있다. 지역 자료가 사용가능하지 않다면, 지역 동물 분포를 산정하기 위해 필요한 정보를 제공해 줄 지역산물의 (예. 우유, 고기, 양모)패턴 또는 지역분포에 대해서 전문가에게 조언을 구할 수 있다.

Tier 2 방법을 실행하기 위해서는, 각 대표 동물 종의 각 분뇨 처리 시스템에서 관리되는 분뇨의 비율 또한 수집해야 한다. 표 10.18은 분뇨 처리 시스템의 주요 유형을 요약해 준다. 시스템이 고형물 저장식인지 액체/슬러리 형태인지 판별하기 위해서는 양적인 자료가 사용되어야 한다. 고형물과 액체의 경계선은 20%의 건물함량에서 나눠진다. 분뇨가 여러 형태의 분뇨관리 시스템으로 관리되는 경우도 있음을 유의하라. 예를 들어, 낙농 프리 스톨(free stall)식 외양간에서 혐기성 저수지로 배출되는 분뇨는, 우선 분뇨의 고형물 일부가 제거되어 고체로 관리되는 고체 분리 유닛을 통과한다. 따라서 각 유형의 시스템에서 관리되는 분뇨의 비율을 주의하여 고려하는 것이 중요하다.

분뇨 처리 시스템 분포 자료를 입수하는 가장 중요한 방법은 출판된 국가 통계자료를 정기적으로 참조하는 것이다. 그러한 통계자료가 사용가능하지 않다면, 선호대안으로는 분뇨 처리 시스템 용례에 대한 독립된 실측조사를 행하는 것이다. 실측조사를 실행할 자원이 가능하지 않다면, 시스템 분포에 대하여 전문가의 의견을 구해야 한다. 제1권 제2장 '자료수집에 대한 접근법'에서는 어떻게 전문가 판단을 이끌어낼지에 대하여 설명하고 있다. 유사한 전문가 요구사항추출 프로토콜이 분뇨 처리 시스템 분포 자료를 입수하는데도 사용될 수 있다.

10.4.4 불확도 평가

배출계수

Tier 1의 기본값 배출계수(표 10.14에서 10.16까지 참조)는 불확도가 높다. 기본값 계수의 불확도의 범위는 ±30%이다. Tier 2 방법론에 의해 개선되면, 배출계수의 불확도 범위를 ±20%까지 줄일 수 있다. 분뇨와 분뇨관리 시스템의 특성을 훌륭히 묘사한 유형으로부터 측정된 정확하고 잘 고안된 배출 측정은 이러한 불확도를 더 감소시킬 수 있다. 이러한 측정에는 기온, 습도 조건, 통기, VS 함량, 저장시간, 기타 처리 양상이 반영되어야 한다.

기본값 계수는 그 국가에 존재하는 고유의 분뇨 처리 환경을 반영하지 못하므로, 각 국가에 있어 큰 불확도를 가지게 될 것이다. 국가나 지역 고유의 환경을 반영하는 MCF, B_0, VS 값을 개발하고 이용한다면 불확도는 감소될 수 있다.

표 10.18
분뇨 처리 시스템의 정의

시스템	정의
목초지/방목지/방목장	목초지와 방목지에서 풀을 뜯어 먹는 동물들의 분뇨는 퇴적되도록 그냥 두는 것이 허용되고, 관리되지 않는다.
일일 살포	분뇨가 주기적으로 축사시설에서 제거되어, 배설 후 24시간 안에 경작지나 목초지에 뿌려진다.
고형물 저장	전형적으로 몇 달의 기간 동안, 퇴적 또는 더미로 옥외에 놓여 있다. 분뇨는 충분한 양의 바닥깔개 재료 또는 증발에 의한 습기 손실로 인해 퇴적될 수 있다.
건조장	축적되는 분뇨가 주기적으로 제거되는, 두드러질 만한 식물성 덮개가 없는 포장 또는 비포장 노천 축사 지역
액체/슬러리	분뇨는 동물 축사 외부의 탱크나 토양호지에서 배설된 상태로 또는 소량의 물을 첨가하여 보통 1년 미만의 기간 동안 저장된다.
덮개 없는 혐기성 저수지	폐기물 안정화와 저장을 겸하도록 운영되고 설계된 일종의 액체 저장 시스템. 저수지의 상층수는 보통 저수지에 연결된 축사시설로부터 분뇨를 제거하는데 사용된다. 혐기성 저수지는 기후지역, 휘발성 고형물 부하속도, 기타 운용 요소에 따라 저장기간(1년 또는 그 이상)이 다양하게 설계된다. 저수지로부터의 물은 청소수로 재활용되거나, 논밭의 관개수 또는 비료수로 사용된다.
동물 축사 아래의 구덩이 저장	무창 동물 축사시설의 전형적인 얇은 널빤지 바닥 밑에서 거의 또는 전혀 물을 첨가하지 않은 상태로 분뇨를 수집하고 저장함.
혐기성 소화조	짚의 유무 여부를 불문한 동물 배설물이 수집되고 커다란 격납용기 또는 덮개 있는 저수지에서 혐기적으로 소화된다. 소화조는 복합유기화화물을 CO_2와 CH_4로 생물학적으로 감소시킴으로서, 폐기물 안정화를 꾀하도록 운영되고 설계됨. 이것은 획득되어 연료로 연소되거나 사용된다.
연료로 연소	대변과 소변이 들판에 배설됨. 태양에 의해 건조된 대변 덩어리는 연료로서 연소됨.
소 및 돼지 두꺼운 축사바닥깔개	분뇨가 축적됨에 따라, 생산 주기 동안(아마도 6~12개월 동안) 습기를 흡수하도록 바닥깔개가 끊임없이 추가된다. 이 분뇨관리 시스템은 깔짚 방식 분뇨 처리 시스템이라고도 알려져 있으며, 드라이 로트 또는 목초지와 결합되어 사용될 수 있다.
용기내 퇴비화	강제 통기와 끊임없는 혼합을 통해, 전형적으로 무창 채널에서의 퇴비화
정치식 퇴비화	강제 통기는 하나 혼합은 하지 않으며 더미상태로 퇴비화
집중 야적식 퇴비화	혼합과 통기를 위해 정기적(적어도 매일)으로 뒤집기해주는 건초더미에서의 퇴비화
수동 야적식 퇴비화	혼합과 통기를 위해 간헐적으로 뒤집기해주는 건초더미에서의 퇴비화
가금자리 짚 있는가금류 분뇨	보통 드라이 로트(건조장)이나 목초지와 결합시켜 사용하지 않는 점을 제외하곤, 소 및 돼지의 두꺼운 축사바닥깔개 시스템과 유사. 전형적으로 모든 가금류 종계군과 식육용 닭(육계) 생산, 기타 가금류에 이용된다.
가금자리 짚 없는 가금류 분뇨	무창 동물 축사 시설의 노천 구덩이와 유사하거나 분뇨가 축적됨에 따라 건조되게 운영되고 설계되었을 것임. 후자는 고층 분뇨 처리 시스템으로 알려져 있으며, 적절하게 설계되고 작동되면, 일종의 수동 야적식 퇴비화가 된다.
호기성 처리	강제 혹은 자연 통기를 거쳐 액체 상태로 수집된 분뇨의 생물학적 산화. 자연통기는 호기성 임의성 안정화지 및 습지 시스템에 한정되며, 주로 광합성에 기인한다. 따라서 이러한 시스템은 전형적으로 기간 동안 태양빛을 받지 못하면 무산소성이 된다.

[a] 퇴비화란 전형적으로 미생물의 열 발생에 의한 고온에서 바닥깔개가 있는 분뇨 등 고형 배설물이나 다른 유기 산소 배출원이 생물학적으로 산화되는 것이다.

활동자료 - 가축 개체 수

가축 개체 수 및 특성 자료에 대한 논의는 10.2절 '가축과 사료 특성'을 참조하라.

활동자료 - 분뇨 처리 시스템 사용

분뇨 처리 시스템 사용 자료의 불확도는 각 국가의 가축 산업의 특성과 어떻게 분뇨관리에 대한 정보를 수집했는지에 의존한다. 예를 들어, 목초지와 방목지와 같이 거의 오로지 한 가지 유형의 관리시스템에 의존하는 국가의 경우, 관리시스템 사용 자료에 관한 불확도는 10% 또는 그 이하가 될 것이다. 그러나 지역마다 다른 운영 관행으로 인해 매우 다양한 관리시스템을 사용하는 국가들의 경우, 시스템 사용별로 동물 개체수를 구별 짓는 신뢰할 수 있고 대표적인 측정 자료의 활용가능성에 따라, 관리시스템 사용 자료의 불확도 범위가 25%에서 50%에 이를 것이다. 가급적, 각 국가는 제1권 제3장에서 설명된 방법을 이용하여 관리 시스템 사용 자료에 관한 불확도를 산정해야 한다.

10.4.5 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리, 보고와 기록

완전한 인벤토리는 10.2절에서 정의된 모든 가축 종/카테고리에 대한 모든 분뇨 처리 시스템으로부터의 메탄(CH_4) 배출을 산정해야 한다. 국가들은 모든 유형의 시스템이 포함되었는지 확실히 하기 위해서 표10.18에 제시된 것과 일치하는 분뇨 처리 시스템 정의를 사용하는 것이 권장된다. 인벤토리에서 사용된 정보가 완전하고 일관적인지 확실히 하기 위해서, 개체 수 자료는 주력 보고 메카니즘 (FAO나 국가 농업 통계자료 자료베이스와 같은)과 교차점검 되어야 한다. 널리 보급된 가축정보에 대한 FAO 자료베이스의 활용가능성 때문에, 대부분의 국가에서는 최소한도 주요 가축 카테고리의 Tier 1 산정을 준비할 수 있을 것이다. 가축 특성의 완전성에 관한 더 많은 정보를 원하면, 10.2절을 참조하라.

이러한 배출원 카테고리에 대한 배출량 산정의 일관적 시계열을 개발하는 데는 최소한도 가축 개체수 통계의 내부적 일관된 시계열의 수집이 필요하다. 일관적 시계열 개발에 대한 일반 가이던스는 제1권 제5장 (시계열 일관성)에서 다뤄진다.

시간이 지나면서 분뇨 처리법에 중대한 변화가 일어난다면, Tier1 방법은 배출의 정확한 시계열을 제공할 수 없을 것이므로 (왜냐하면, Tier 1 기본값 계수는 과거 변수에 근거를 두고 있기 때문에) Tier 2 방법을 고려해야 한다. Tier 2 방법에 대한 시계열을 개발할 때에도 또한 국가 고유의 관리 시스템 자료를 수집하는 것이 필요하다. 분뇨 처리 시스템 자료가 시계열의 일정 기간 동안 활용 불가능한 경우에는, 경향이 샘플 장소 또는 지역에서부터 국가 전체에까지의 자료에 의거하여 산정해서 사용될 수 있다. 관리 시스템 사용과 특성에 관한 경향을 어디서 개발하는 것이 가능한 지에 대해서는 정부의 국가 가축 전문가, 업계, 학계로부터 조언을 구해야 한다.

배출량 산정 방법이 바뀌었다면, 현재 방법에 의해 요구되는 과거 자료를 수집하고, 그 기간의 배출을 재계산하는데 사용되어야 한다. 그러한 자료가 활용가능하지 않다면, 최근자료를 가지고 경향을 만들어내고, 시계열을 위한 관리법을 역 산정하는데 이용하는 것이 적절하다. 예를 들어, 어떤 가축 산업이 방목 대신에 더 집중 관리시스템으로 전환되고 있다. 역사적으로, 이러한 전환은 분뇨 처리 시스템 배치에 변화를 가져옴으로써, 배출의 시계열에 포함되어야 한다. 광범위한 조사자료가 불가능한 곳에서는, 이러한 배치는 국가 전문가들의 전문적인 판단에 근거를 두는 것이 필요하다. 또한, 10.2절에서는 동물 개체수 측면에 대한 접근을 제시한다. 농가 관행 또는 온실가스

완화조치 실행의 변화가 활동도 자료 또는 배출계수의 시계열에 어떤 변화를 가져왔는지에 대해 인벤토리는 철저히 설명해야 한다.

제1권 제6장 (QA/QC 및 확인)에서 약술한 바와 같이, 일반 QC 검사를 실행하고, 배출계수에 대한 전문가 리뷰를 받는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 특히, 이 배출원으로부터의 배출을 결정하기 위해, 더 높은 Tier 방법이 사용되는 경우, 추가적인 QC 검사 및 QA 과정 또한 적용될 수 있다. 자료 처리, 운용, 보고에 관련한 일반적 QA/QC가 아래 논의된 절차대로 보충되어야 한다.

활동자료 조사

- 인벤토리 에이전시는 가축 자료 수집 방법을 검토해야 하는데, 특히, 가축 하위종 자료가 정확하게 수집되고 모아졌는지 확인해야 한다. 자료가 합리적이고, 기대되는 경향에 일치하는지 확인하기 위해서는 예년도의 자료와 교차확인해야 한다. 인벤토리 에이전시는 자료 수집방법을 문서화하고, 잠재적인 편중(bias) 범위를 정의하고 (예, 통계 에이전시에 개인 가축 소유자들의 조직적 가축 개체 수 축소 신고), 자료의 대표성을 평가해야 한다.
- 가축 산업의 변화가 포함되었는지 확인하기 위해 분뇨 처리 시스템 배치가 정기적으로 검토되어야 한다. 다른 관리시스템으로의 변화와 시스템 환경 및 기능의 기술적 변화가 영향 받는 가축의 시스템 모델링에 포함되어야 한다.
- 국가 농업 정책과 규제는 분뇨배출의 계산에 이용되는 변수에 영향을 끼칠 수 있으므로, 어떤 영향을 가져오는지 결정하기 위해 정기적으로 검토되어야 한다. 예를 들어, 물집합체로 흘러가는 분뇨 유거수를 감소시키는 가이드라인은 관리법에 변화를 초래할 수 있으며, 따라서, 고유 가축 카테고리의 MCF 값에 영향을 끼친다. 인벤토리와 계속 변화하는 농경법 사이에는 일관성이 유지되어야 한다.

배출계수 검토

- Tier 1 방법을 사용하는 경우 (IPCC 기본값 배출계수 사용), 인벤토리 에이전시는 국가의 정의된 가축 개체수와 분뇨의 특성이 기본값 VS 배설율, Bo 값, 분뇨 처리법이 얼마나 잘 나타내는지 평가해야 한다. 이것은 기본값 입력 변수가 인벤토리 지역과 얼마나 잘 부합하는지 보기 위해서, 표 10A-4에서 10A-9로부터의 배경 정보를 검토해서 얻어져야 한다. 잘 부합되지 않는다면, 더 적절한 국가 고유의 변수를 이용하여 개선된 배출계수를 개발하는데 사용될 수 있다.
- Tier 2와 Tier 3 방법을 사용하는 경우, 인벤토리 작성자는 국가 고유의 계수 (예, VS 배설율, B0, MCF)와 IPCC 기본값을 교차확인 해야 한다. 국가 고유의 계수와 기본값 계수 사이에 큰 차이가 있는 경우 그 이유를 설명하고 문서화해야 한다.
- Tier 2 방법을 사용한다면, 적용가능한 곳에서는 VS 비율의 기원을 장내 발효 Tier 2 인벤토리에 사용된 배경 산정과 비교해야 한다. 예를 들어, 장내 발표 인벤토리에서 사용된 총 에너지와 소화 가능한 에너지 구성성분은 독립적으로 추출된 VS 비율을 교차확인 하는데 이용될 수 있다. 이 경우에, 방정식 10.24의 적용 (휘발성 고형물 배설율)이 나머지 배설물에 대한 크로스 비교에 이용될 수 있다. 총액전체로, 모든 동물에게 있어, VS 비율은 동물의 사료 섭취량(즉, 배설물 에너지가 섭취 에너지를 초과해서는 안 된다)과 일치해야 하고, 이 보고서 10.2절 표 10.2에서 보고 된 DE % 값의 범위와 일치해야 한다.

- 가능할 때마다, 측정 자료들이 시스템들의 단지 일부일 뿐이라고 하여도 가용한 측정값들은 MCF 값 및 메탄(CH_4) 발생산정을 위한 가정과 관련하여 검토되어야 한다. 대표적인 측정 자료는 현재의 가정이 인벤토리 지역의 분뇨 처리 시스템으로부터 얼마나 잘 메탄(CH_4) 발생을 예측할 수 있는지, 고유 요소들(예, 기온, 시스템 형태, 계류 시간)이 어떻게 배출을 영향을 끼치는지에 대한 통찰력을 제공할 것이다. 전 세계적으로 이러한 시스템에 대한 활용 가능한 측정 자료가 상대적으로 적은 양이기 때문에, 어떤 새로운 결과라도 이러한 배출의 이해를 개선시키고 예측도 가능하게 해줄 것이다.

외부기관 검토

- 인벤토리 에이전시는 분뇨 처리 및 동물 영양에 관해서 전문가를 활용해, 사용된 방법과 자료에 대해서 전문가의 자세한 심사를 받아야 한다. 이러한 전문가들이 온실가스 배출에 대해서는 친숙하지 못해도 배출 계산에 필요한 주요 입력 변수에 대한 그들의 지식은 배출의 전체적 입증에 도움이 될 수 있다. 예를 들어, 동물 영양학자는 고유 축종에 대해 VS 발생 비율을 평가해, 사료 활용 연구와 일치하는지 여부를 알 수 있다. 현직 농부는 저장 기간이나 혼합된 시스템 사용과 같은 실질적인 분뇨 처리 기술에 대한 통찰을 제공할 수 있다. 가능하다면 이러한 전문가들은 진정한 외부기관 리뷰를 얻기 위해서 인벤토리 과정에서 철저히 독립적이어야 한다.

제1권 제6장 (QA/QC 및 확인)에서 약술한 바와 같이, 국가 배출 인벤토리 산정을 하기 위해 필요한 모든 정보는 문서화하고 보관하는 것은 *우수실행 (good practice)*이다. 국가 고유의 자료(예, 배출계수, 분뇨 처리법, VS 및 B0와 같은 분뇨 특성)가 사용되었다면, 이런 자료의 기원 또는 참고문헌을 완전하게 문서화하고, 적절한 IPCC 배출원 카테고리 아래에서 인벤토리 결과와 함께 보고해야 한다. 투명성을 증진시키기 위해서는, 이러한 배출원 카테고리의 배출량 산정을 결정하기 위해 이용한 활동도 자료 및 배출계수와 함께 보고해야 한다.

아래의 정보는 문서화하여야 한다:

- 사용된 출처를 포함하는, 모든 활동도 자료(예, 종/카테고리별 및 지역별 가축 개체 수 자료), 수집된 통계 자료베이스의 완전한 인용, (활동도 자료가 데이터베이스로부터 직접적으로 사용 불가능한 경우) 활동도 자료를 추출하기 위해 사용된 정보와 가정
- 지역의 기후조건(예, 분뇨 저장 기간 동안 평균 기온)
- 가축 종/카테고리 별, 지역별 분뇨 처리 시스템(해당되는 경우) 이 장에서 정의된 분뇨 처리 시스템과 상이하다면, 차이점이 기술되어야 한다.
- 자료 수집 빈도 그리고 정확도와 정밀도 산출
- 다음을 포함한 배출계수 문서화:
  (i) 이용된 배출계수 (IPCC 기본값 또는 그 밖에)의 참조;
  (ii) 배출계수와 방법의 출처와 불확도의 크기, 입력 변수의 정의와 이러한 배출계수와 방법의 기원이 되는 과정에 대한 기술을 포함하는 과학적 근거 (인벤토리에서 국가 또는 지역 고유의 배출계수가 사용되었는지 여부 및 여기서 기술된 것 외의 새로운 방법이 사용되었는지 여부).
- Tier 1 방법이 사용된 경우, 고유 가축 개체 수 종/카테고리의 배출량 산정을 위해 사용된 모

든 기본값 배출계수

- Tier 2 방법이 사용된 경우, 다음을 포함한 배출계수 계산 요소의 문서화:
  (i) 인벤토리(국가 고유 값, 지역 고유 값, 또는 IPCC 기본값)의 모든 가축 개체 수 종/카테고리의 VS 및 B0값
  (ii) 사용된 모든 분뇨 처리 시스템의 MCF 값(국가 고유의 값 또는 IPCC 기본값)

10.5 비료관리에 의한 N_2O 배출량

이 장은 건설 목적 혹은 연료, 먹이를 위해 사용되거나 땅에 사용하기 전에 비료를 관리할 때와 저장하고 있는 동안 생성되는 아산화질소를 어떻게 측정하는지에 대해 기술한다. '비료'라는 용어는 가축들로부터 나오는 대변과 소변을 총체적으로 포함하여 사용하는 것을 말한다. '목장, 방목구역, 작은 목장'안에서의 비료로부터 발생되는 아산화질소 배출은 직접적으로나 간접적으로 땅에서부터 나오기에 '경작된 땅에서부터의 아산화질소 배출' (제 11장, 11.2절 참고) 카테고리에 제시되어 있다. 연료로서 분뇨를 연소하는 것과 관련된 배출은 '연료 연소'(제2권: 에너지 참고)에 제시되어 있다. 만약 에너지 회수 없이 태운다면 '폐기물 연소' (제5권: 폐기물 참고) 에 제시되어 있다.

직접적인 아산화질소 배출은 비료 속에 포함된 질소의 질산화과정과 탈질화과정을 통해 생겨난다. 비료를 저장과 처리 하는 동안의 아산화질소 배출은 질소와 탄소량에 의존하고 저장기간과 처리방법에 따라 달라진다. 질산화과정(암모니아 질소의 질산화 질소화)은 동물의 비료를 저장함으로서 생기는 아산화질소(N_2O) 배출에 필수적인 것이다. 이것은 충분한 산소 공급을 제공받고 있는 동물들의 분뇨에서 발생한다. 질산화과정은 혐기 조건에서는 생기지 않는다. 아질산염과 질산염은 자연적인 탈질화과정과 혐기성 과정을 통해 아산화질소(N_2O)와 질소(N_2)로 바뀐다. 과학 자료들에서는 아산화질소(N_2O)와 질소의 비율은 일반적으로 산성이면 증가, 질산염 농도 증가, 수분 감소와 함께 증가하는 것으로 나타난다. 요약하자면 비료에서 나오는 아산화질소(N_2O)의 배출과 생성은 질소 산화물의 형성이 필요한 호기적 환경이 지난 후 혐기적 환경 속에서 질산염 혹은 아질산염의 존재를 필요로 한다. 게다가 아산화질소(N_2O)에서 기체질소로의 생성이 줄어드는 것을 방지하기 위한 조건 (예, 낮은 pH, 제한된 수분 공급 등)이 필요하다.

간접적인 배출은 휘발성 질소로부터 만들어지는데 이는 암모니아와 산화질소의 형태에서 일어난다. 분뇨 수집과 저장과정에서 암모니아성 질소로 광물화되는 배설된 유기질소의 부분은 주로 시간과 더 낮은 온도에 달려있다. 요소(포유류)와 요소산(가금류)와 같은 간단한 형태의 유기질소는 매우 빠르게 암모니아성 질소로 공물화되며 그것은 휘발성이 강하고 공기중으로 쉽게 확산된다. 질소손실은 축사와 다른 가축생산장소(착유장 등)에서 배설하는 순간 일어나며 가축분뇨 처리시설과 같은 목장 내에서 계속 발생한다. 질소는 실외, 사양시설, 그리고 목초지의 분뇨가 있는 장소에서 runoff와 토양으로의 leaching으로 손실된다. 목초지에서의 감소는 방목되는 가축에서 발생하는 질소물로서 제11장, 11.2절에서 개별적으로 다룬다.

처리시설에서 분뇨 질소의 직접적, 간접적 손신이 크기 때문에 토양에 이용, 토는 사료, 연료, 혹은 건축목적으로 이용가능한 가축분뇨의 남아있는 질소량을 예측하는 것이 중요하다. 이러한 값은 관리되는 토양(11장, 2절)에서의 아산화질소 발생량 계산에 사용된다. 직접적 토양에 이용, 또는 사료, 연료, 또는 건축목적으로 사용할 수 있는 분뇨의 질소량 예측을 위한 방법은 10.5.4절에 서술하였다.

10.5.1 방법론의 선택

분뇨처리시스템에서의 아산화질소 배출량 예측을 위해 사용된 방법론과 세부사항의 수준은 국가의 상황에 달려있고 그림 10.4의 의사결정도는 적절한 방법을 고르기 위한 *우수실행(good practice)*을 묘사한다. 아래 내용들은 분뇨 처리 시스템으로부터의 직□간접적인 아산화질소(N_2O) 배출을 계산하기위한 의사결정도에서 인용한 다른 Tier들을 참고하고 있다.

분뇨 처리에서의 직접적인 N_2O 배출량

Tier 1

Tier 1 방법은 각각으 분뇨처리 방법의 총 질소 배설량에 각 시스템의 배출계수를 곱하여 나타낸다 (식 10.25). 배출량은 전체 분뇨처리 시스템의 합이다. Tier 1 방법은 IPCC의 아산화질소 배출계수, 질소 배출 데이터, 그리고 분뇨 처리 시스템 데이터의 기본값을 이용한다 (첨부 10A 2. Table 10A-4~10A-8 참고).

Tier 2

Tier 2 방법은 Tier 1과 같은 계산방법을 따르나 일부 혹은 모든 변수들에서 국가 특성 데이터를 사용하는 것을 포함시킨다. 예를 들면, 가축 카테고리를 위한 국가 특성상 질산 배설 비율은 Tier 2 방법에 구성되어 있다.

Tier 3

Tier 3 방법은 국가 특성 방법에 기반을 둔 대안법을 이용한다. 예를 들면, 사료투입부터 마지막 사용/철을 통틀어 질소를 추적하는 진행과정에 기반한 질량보존법은 Tier3 방법으로 이용할 수 있다. Tier 3 방법은 명확하게 측정과정을 설명할 수 있을 것이다.

분뇨 처리 시스템으로부터의 배출량 산출을 위해서는 우선 분뇨를 처리하는 방법 뿐만 아니라 가축 한 마리당 배설하는 다양한 분뇨량을 반영하는 분류에 맞춰 가축 사육두수를 나누어야 한다. 시스템 타입에 따른 분뇨의 분류는 분뇨 처리에서 발생하는 메탄을 특성화하기 위해 사용하였던 것과 같아야만 한다 (10장 4절 참조). 예를 들어, 만약 Tier 1 기본값 배출계수들이 메탄 발생량을 계산하기 위해 사용된다면, 표 10A-4에서 표 10A-8까지의 분뇨처리시설 사용 데이터를 적용해야 한다. 이러한 자료를 위한 가축 사육두수를 어떻게 나누는지에 대한 자세한 정보는 10장 2절에 있다.

아래 5가지 과정은 분뇨 처리에서 발생하는 직접적 아산화질소 산출에 사용된다.

단계 1 : 가축사육두수 조건에 맞는 사육두수 데이터를 수집한다.

단계 2: 가축의 종류와 분류 T 로 정의된 사육두수 ($Nex_{(T)}$) 당 연간 평균 질소 배설량을 개발하거나 기본값을 이용한다.

단계 3: 각 가축분뇨 처리시설(S)에서 처리되는 각 축종과 분류 T의 연간 총 질소 배출량의 분량을 결정하거나 기본값을 사용한다 ($MS_{(T,S)}$).

단계 4: 기본값을 이용하거나, 각 분뇨 처리시설 S에서 아산화질소 분율을 개발한다 ($EF_3(s)$).

단계 5: 각 분뇨 처리 시스템 종류 S에서, 분뇨 처리시설의 아산화질소 발생량 산출을 위해 그것의 배출계수($EF_{3(S)}$)와 시스템 안에서 처리되는 질소 총량을 곱한다. 그런 후 모든 분뇨 처리시설들의 값들을 합한다.

몇몇의 경우, 분뇨의 질소는 가축분뇨 처리시설의 다양한 종류에서 처리될 것이다. 예를 들어, 젖소의 freestall 시스템 축사에서 혐기적 저수지로 씻겨 내려간 분뇨는 우선 분뇨내 질소의 부분이 제거되고 고형분으로 관리되는 고형분 분리 설비를 지나야 한다. 따라서 각각의 시스템 형태에서 관리되는 분뇨 질소의 분율을 주의깊게 고려하는 것이 중요하다.

분뇨 처리로부터의 직접적인 아산화질소 배출의 계산은 밑의 방정식을 기본으로 한다:

식 10.25
분뇨 처리로부터 직접적인 N_2O 배출량

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_S \left[\sum_T \left(N_{(T)} \bullet Nex_{(T)} \bullet MS_{(T,S)}\right)\right] \bullet EF_{3(S)}\right] \bullet \frac{44}{28}$$

여기서:

$N_2O_{D(mm)}$ = 국가 내에서 분뇨 처리로부터의 직접적인 아산화질소 배출, kg N_2O yr^{-1}

$N_{(T)}$ = 국가 내에서 가축 종류와 분류에 따른 두수

Nex(T) = 국가 내에서 가축 당 배출하는 연 평균 질소량, kg N 가축$^{-1}$ yr^{-1}

$MS_{(T,S)}$ = 국가 내에서 분뇨 처리 시스템 S안에서 관리하는 각각의 가축 수의 총 연간 배출량의 부분

$EF_{3(s)}$ = 국가 내에서 분뇨 처리 시스템 S로부터 직접적인 아산화질소 배출계수, 분뇨처리 시스템 S의 kg N_2O-N/kg N

S = 분뇨 처리 시스템

T =가축의 종류/ 분류

44/28 = N_2O-N을 N_2O로 전환

분뇨가 처리되는 장소에서 다른 형태의 질소(예, 암모니아와 질소산화물)의 손실이 있을 것이다. 휘발성 암모니아 형태의 질소는 분뇨처리지역으로부터 바람이 불어가는 지역에 침착되고 간접적인 아산화질소 배출을 일으킨다(아래 참조). 배설되고, 분뇨처리시설에서 관리되고, 최종적으로 관리되는 토양에 적용하는 분뇨의 질소를 추적하기 위해 국가들은 질량보존적 접근 방법인 Tier 3을 사용하도록 장려받는다. 관리되는 토양에 직접적으로 사용하고 또는 사료, 연료, 또는 건축 목적으로 사용되는 분뇨의 질소량의 산출은 10.5.4.절에서 볼 수 있다. 토양에 적용한 처리된 분뇨의 질소에서 아산화질소배출량을 계산하는 과정을 위해 11장 11.2절을 보라.

분뇨 처리로부터 간접적인 N_2O 배출량

Tier 1

Tier 1은 질소산화물과 암모니아의 형태로 휘발되는 N의 계산은 모든 모든 가축 분류에서 배설된 그리고 각 분뇨 처리 시스템에서 처리되는 질소량을 휘발된 질소의 분량을 곱한 것에 근거한다. 그후 모든 분뇨처리시설을 합한다. Tier 1 방법은 질소 배출 데이터 기본값, 분뇨 처리 시스템 데이터 기본값(참고 10A.2, 표 10A-4에서 표 10A-8), 그리고 휘발에 의한 가축분뇨 처리시설에서 질소 손실의 분율 기본값에 달려있다 (표 10.22).

식 10.26
분뇨 처리로부터 휘발에 기인한 N 손실량

$$N_{volatilization-MMS} = \sum_{S}\left[\sum_{T}\left[\left(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot MS_{(T,S)}\right) \cdot \left(\frac{Frac_{GasMS}}{100}\right)_{(T,S)}\right]\right]$$

여기서:

$N_{volatilization-MMS}$ = NH_3와 NOx 로 손실되는 분뇨의 질소량, kg N yr^{-1}

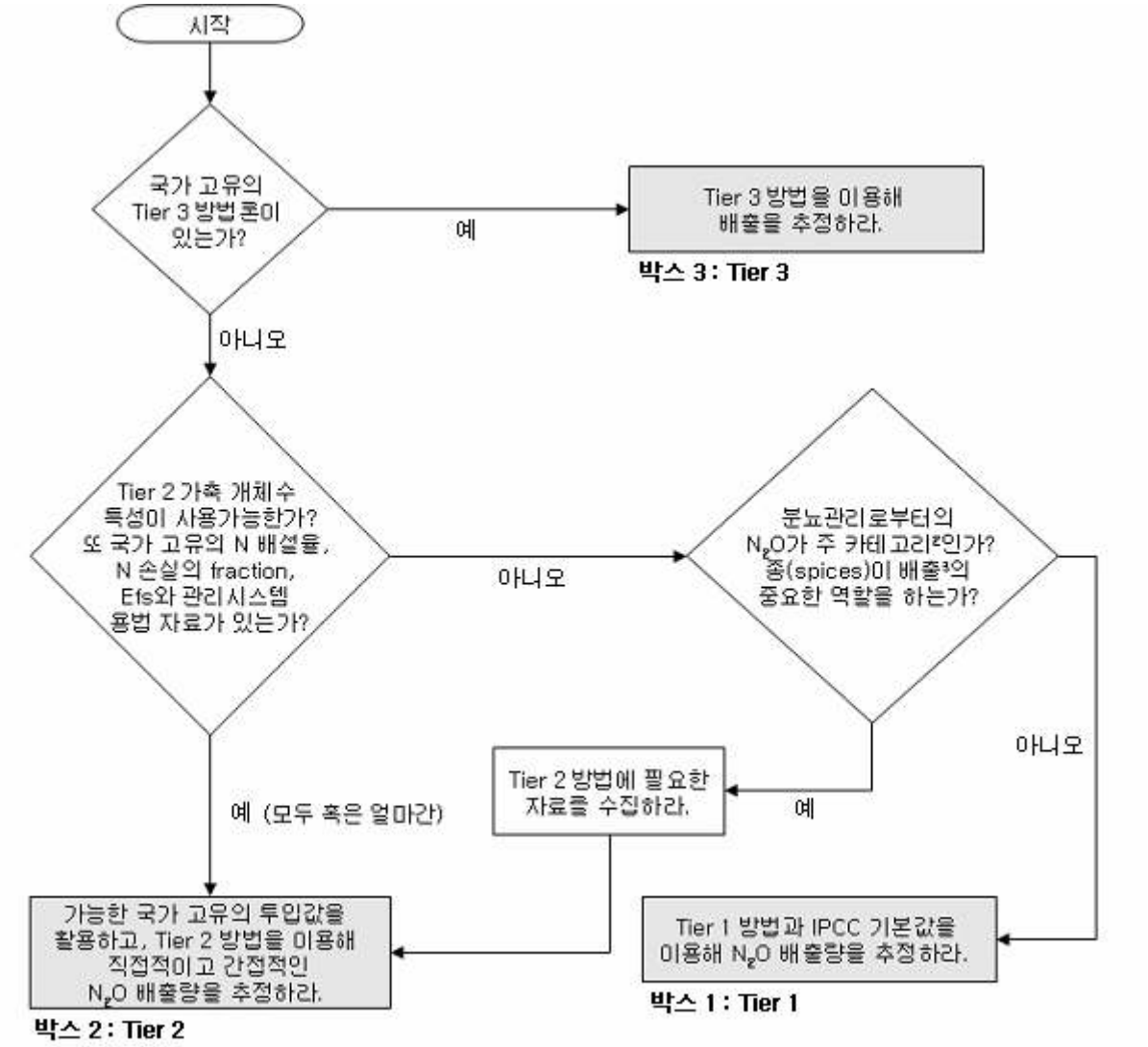
$N_{(T)}$ = 국가 내에서 가축 종류와 분류에 다른 두수

$Nex_{(T)}$ = 국가 내에서 가축 당 배출하는 연 평균 양, kg N 가축$^{-1}$ yr^{-1}

$MS_{(T,S)}$ = 국가 내에서 분뇨 처리 시스템S 안에서 관리하는 각각의 가축 수의 총 연간 배출량의 부분, 단위 없음

$Frac_{GasMS}$ = 분뇨 처리 시스템 S안에서 NH_3와 NOx로 휘발되는 가축 분류 T에서, 처리된 분뇨의 질소 백분율, %

그림 10.4 분뇨 처리에 의한 N_2O 배출량 산정을 위한 의사결정도 (주 1)



주:

1: 분뇨 처리로부터의 N_2O 배출은 직접적인 배출원과 간접적인 배출원을 포함한다.

2: 제1권 제4장의 "주 카테고리의 방법론적 선택과 정의"를 참조 한다 (제한된 자료에 대해서는 4.1.2.절을 참조).

3. 경험상, 가축 종이 배출원 카테고리의 25~30% 또는 그 이상의 배출원인이 된다면 중요하다.

NH_3와 NOx의 형태의 N의 휘발로부터의 간접적인 아산화질소(N_2O) 배출은 10.27 방정식을 이용한다:

식 10.27
분뇨 처리로부터 N의 휘발에 기인한 간접적인 N_2O 배출량

$$N_2O_{G(mm)} = \left(N_{volatilization-MMS} \bullet EF_4\right) \bullet \frac{44}{28}$$

여기서:

$N_2O_{G(nm)}$= 국가 내에서 분뇨 처리로부터의 N의 휘발 때문에 간접적인 N_2O 배출량, kg N_2O yr^{-1}

EF_4= 토양과 물 표면의 대기상태의 N_2O 배출의 배출계수, kg N_2O-N (휘발된 kg NH_3-N + NOx-N)$^{-1}$, 기본값은 0.01 kg N_2O-N (kg NH_3-N +NOx-N)$^{-1}$, 제11장 표 11.3에 제시되어 있음.

Tier 2

국가들은 아마도 국가 환경의 더 나은 고려를 위해, 그리고 가능한 한 산출의 불확실성을 감소시키기 위해 Tier2를 개발하기를 바란다. 분뇨 처리로부터의 직접적 아산화질소(N_2O) 배출 측정 방법으로 Tier 2는 Tier 1과 같은 계산 방법을 사용하지만 부분적 혹은 모든 변수를 위해 국가 고유 데이터를 포함하고 있다. 예를 들면, 국가 고유의 가축 질소 배출량의 사용은 Tier 2 방법을 사용한다. 다른 나라에서 개발된 국가 암모니아(NH_3) 배출 인벤토리들은 분뇨처리시설에서 질소 휘발의 Tier2 산출로 사용될 수 있다. Tier 2 방법은 국가에서 사용되는 축사와 분뇨처리시스템을 통한 질소 흐름의 더 자세한 특성이 필요하다. 방목에 관련된 분뇨 뿐만 아니라 처리된 분뇨의 적용에 관련된 발생량의 이중 계산은 피해야 하는데 이것은 11장 11.2절에서 보고되고 계산된다.

다양한 분뇨관리시스템에서 leaching과 runoff 손실에 대한 극히 제한적인 측정값들이 있다. 일반적으로 가축이 drylot에 있을 때 leaching과 runoff로 가장 큰 질소 손실을 발생한다. 건조한 기후에서, runoff 손실은 강우량이 많은 곳보다 더 적고 배설한 질소의 약 3~6%로 산출되고 있다 (Eghball and Power, 1994). Bierman *et al.* (1999)의 연구에서는 runoff로 인한 손실은 배설량의 5~19%이고 10~16%는 땅속으로 스며든다고(eaching) 하였는데, 다른 데이터들은 고형물 저장시 leaching을 통한 상대적으로 적은 질소 손실을 보였고 (배설된 질소의 5%보다 적음) 또한 더 많은 손실도 발생했다 (Rotz, 2004). 더 많은 연구가 이러한 손실이 발생하는 환경과 처리법, 그리고 예상되는 손실을 향상시키기 위해 필요하다. 식 10.28은 분뇨처리시설에서 leaching과 runoff에 따른 질소 손실의 분율에 대한 국가 고유 정보가 있는 경우에 사용할 수 있다. 따라서 분뇨처리시설에서 leaching과 runoff로 질소 손실을 산출하는 것은 Tier 2와 3 방법의 부분으로 고려된다.

야외 지역에서 고체 비료의 저장 동안 유출과 토양에 침출되는 질소는 다음 식을 따른다:

식 10.28
분뇨 처리 시스템으로부터의 침출에 기인한 N 손실량

$$N_{leaching-MMS} = \sum_{S}\left[\sum_{T}\left[\left(N_{(T)} \bullet Nex_{(T)} \bullet MS_{(T,S)}\right) \bullet \left(\frac{Frac_{leachMS}}{100}\right)_{(T,S)}\right]\right]$$

여기서:

$N_{leaching-MMS}$ = 분뇨 처리 시스템으로부터 침출되는 분뇨 질소의 양, kg N yr^{-1}

$N_{(T)}$ = 국가에서 가축 종/카테고리 T의 두수

$Nex_{(T)}$ = 국가에서 가축 종/카테고리 T의 두당 연 평균 질소 배설, kg N 가축$^{-1}$ yr^{-1}

$MS_{(T,S)}$ = 국가에서 분뇨 처리 시스템 S에서 관리되는 가축 종/카테고리 T 각각에 대한 총 연간 질소 배출의 분율

$Frac_{leachMS}$ = 분뇨의 토양과 액상 저장을 하는 동안 물에 씻겨 나가거나 침출에 기인한 가축 카테고리 T에 대한 분뇨 질소 손실의 백분율 (전형적으로 1-20%)

분뇨 처리 시스템으로부터의 질소의 침출과 우수에 의해 씻김 등으로 인한 간접적인 아산화질소(N_2O) 배출($N_2O_{L(mm)}$)은 식 10.29를 사용하여 산정한다.

식 10.29
분뇨 처리 시스템으로부터 침출에 기인한 간접적인 N_2O 배출량

$$N_2O_{L(mm)} = \left(N_{leaching-MMS} \bullet EF_5\right) \bullet \frac{44}{28}$$

여기서:

$N_2O_{L(mm)}$ = 국가에서 분뇨 처리로부터 침출과 우수에 의해 씻김 등에 기인한 N_2O의 간접적인 배출, kg N_2O yr^{-1}

EF_5 = 침출과 우수에 의해 씻김으로부터 N_2O 배출을 위한 배출계수, kg N_2O-N/kg 침출 혹은 강우에 의해 씻긴 N (기본 값 0.0075 kg N_2O-N(kg N leaching/runoff)$^{-1}$, 제11장, 표 11.3에 제시되어 있음

10.5.2. 배출계수의 선택

연평균 질소 배출률, $Nex_{(T)}$

Tier 1

연간 질소 배출율은 가축 수 특징에 의해 정의된 각 가축 카테고리에 따라 결정되어야 한다. 나라에 따라 고유한 비율은 농업과 과학적인 문헌과 같은 문서나 보고서에서 바로 취하거나 동물의 질소 섭취량과 잔류량에 대한 정보로부터 유도되어도 무방하다 (아래에서 설명되는 바와 같다.). 몇몇 경우에서, 비슷한 특성의 가축들을 가진 다른 나라에 의해 개발된 배출율을 사용하는 것은 적절할 수 있다.

국가 고유 자료가 수집 또는 유도될 수 없거나 혹은 적절한 자료가 다른 나라에는 이용가능하지 않는다면, 표 10.19에 제시된 질소 배출률 IPCC 기본값을 이용할 수 있다. 이 비율들은 매일 동물 1,000 kg당 배출되는 질소의 단위로 표시된다. 이 비율들은 나이와 성장 단계에 따라 변화하는 가축의 하위 카테고리에 그 집단의 하위 카테고리를 위한 정형적인 평균 동물 질량(TAM)을 이용하여 식 10.30에서 보이는 바와 같이 적용될 수 있다.

식 10.30
연간 N 배출률

$$Nex_{(T)} = N_{rate(T)} \bullet \frac{TAM}{1000} \bullet 365$$

여기서:

$Nex_{(T)}$ = 가축 카테고리 *T*에서 연간 N 배출, kg N 가축$^{-1}$ yr^{-1}

$N_{rate(T)}$ = N 배출률 기본값, kg N (1,000kg 가축질량)$^{-1}$ 일$^{-1}$ (표 10.19 참고)

$TAM_{(T)}$ = 가축 카테고리 *T*에서 전형적인 가축 질량, kg 가축$^{-1}$

TAM 기본값은 첨부 10A.2. 안에 표 10A-4~10A-9에 제공되어 있다. 그러나 다른 체중 카테고리에 따른 질소 배출률의 민감성 때문에 나라에 따라 고유한 TAM 값을 수집하는 것이 보다 바람직하다. 예를 들어, 시장의 돼지는 30 kg이 안 되는 새끼 돼지부터 90 kg이 넘는 다 자란 돼지까지 다양할 수 있다. 시장의 돼지의 다양한 성장 단계를 반영하는 동물 개체군을 구성하는 것을 통해 국가들은 돼지 개체군에 의해 배출되는 총질소를 더 잘 산정할 수 있게 될 것이다.

분뇨 처리 체계 내에서 분류된 동물의 분뇨를 위해 산정된 $Nex_{(T)}$를 연료로써 태울 때(표 10.21, 분뇨 처리로부터 직접 배출되는 아산화질소(N_2O)의 배출계수 기본값), 대변은 타고 소변은 현장에 남는다는 것을 유의하여야 한다. 경험으로 보아 배출되는 질소의 50%가 대변 속에 그리고 50%가 소변 속에 있다. 태워지는 대변이 연료로써 사용된다면, 배출은 IPCC 카테고리 연료 연소 (제2권: 에너지) 하에 보고 된다. 이에 반하여 대변이 에너지 회수 없이 태워진다면, 배출은 IPCC 카테고리 폐기물 소각 (제5권 : 폐기물) 하에 보고되어야 한다.

Tier 2

각 가축 종/카테고리에 의해 배출되는 질소의 연간 양은 동물의 연간 총 질소 섭취량과 연간 총 질소 잔류량에 따라 결정된다. 그러므로 질소 배출률은 질소 섭취량와 질소 잔류량 자료로부터 유도될 수 있다. 연간 질소 섭취량 (즉, 매년 동물에 의해 소비되는 질소의 양)은 동물에 의해 소화되는 먹이의 연간 양과 그 먹이의 단백질 함유량에 달려 있다. 총 먹이 섭취량은 동물의 생산량에 달려 있다 (예. 성장률, 우유 생산량, 견인력). 연간 질소 잔류량 (즉, 고기, 우유, 양모의 생산을 위한 동물에 의해 잔류된 질소 섭취량의 비율)은 먹이 속 단백질로부터 동물 단백질의 생산량의 동물의 능률의 측정량이다. 고유한 가축 종/카테고리를 위한 질소 섭취량과 잔류량 자료는 국가 통계 자료나 동물 영양학 전문가로부터 입수할 수 있을 것이다. 질소 섭취량은 10.2절에서 자세히 기술한 먹이와 천연 단백질 섭취량 자료로부터 계산될 수 있다. 질소 잔류량 기본값은 표 10.20, 다른 동물 종/카테고리에 의해 잔류된 가축의 먹이 안의 질소 비율을 위한 기본값에서 제공된다. 각 가축 종/카테고리의 연간 질소 배출률 ($Nex_{(T)}$)은 다음과 같이 유도 된다:

식 10.31
연간 N 배출률 (Tier 2)

$$Nex_{(T)} = N_{\text{int}\,ake(T)} \bullet \left(1 - N_{retention(T)}\right)$$

여기서:

$Nex_{(T)}$ = 연간 N 배출량, kg N 가축$^{-1}$ yr^{-1}

$N_{intake(T)}$ = 종/카테고리 *T*의 가축 마리수당 연간 N 섭취량, kg N 가축$^{-1}$ yr^{-1}

$N_{retention(T)}$ = 종/카테고리 *T*의 가축에 의해 잔류된 연간 N 섭취의 비율, 단위 없음

소의 질소 배출량 산정을 위한 Tier 2 방법의 예

질소 배출량은 장 발효 배출 모델링에서 이용되는 것과 같은 섭취량 가정에 기초해서 계산될 수 있을 것이다 (10.2절 참조). 소에 의해 배출되는 질소량은 동물에 의해 흡수되는 총 질소량과 성장과 우유 생산을 위해 잔류되는 총 질소량의 차이로 산정될 수 있다. 식 10.32와 10.33은 식 10.31에서 사용되는 질소 섭취량과 질소 잔류량 변수들을 계산하는데 사용될 수 있다. 총 질소 섭취율은 다음과 같이 유도 된다:

식 10.32
소의 N 섭취율

$$N_{intake(T)} = \frac{GE}{18.45} \bullet \left(\frac{CP\%}{\frac{100}{6.25}} \right)$$

여기서:

$N_{intake(T)}$ = 카테고리 *T*의 가축 당 매일 소비되는 N, kg N 가축$^{-1}$ yr^{-1}

GE = 동물이 섭취하는 총에너지, 장 모델 내에서, 소화할 수 있는 에너지에 기초하여, 우유 생산량, 임신, 현재 체중, 성숙 체중, 체중 중가율, 그리고 IPCC 상수, MJ 가축$^{-1}$ 일$^{-1}$

18.45 = 건조 성분의 kg당 식사량 GE를 위한 변환 계수, MJ kg^{-1}. 이 값은 가축에 의해 일반적으로 소비되는 먹이와 곡물에 기초한 먹이의 넓은 범위에 걸쳐서 비교적 일정하다.

CP% = 사료 안의 천연 단백질 백분율, 입력 자료 일$^{-1}$

6.25 = 식사량 단백질의 kg으로부터 식사량 질소의 kg으로의 변환, kg 먹이 단백질 (kg N)$^{-1}$

표 10.19

질소 배출율의 기본값[a] (kg N (1,000 kg animal mass)$^{-1}$ day^{-1})

동물의 카테고리	지역							
	북아메리카	서유럽	동유럽	오세아니아	라틴아메리카	아프리카	중동	아시아
젖소	0.44	0.48	0.35	0.44	0.48	0.60	0.70	0.47
다른 소	0.31	0.33	0.35	0.50	0.36	0.63	0.79	0.34
돼지[b]	0.50	0.68	0.74	0.73	1.64	1.64	1.64	0.50
매매	0.42	0.51	0.55	0.53	1.57	1.57	1.57	0.42
사육	0.24	0.42	0.46	0.46	0.55	0.55	0.55	0.24
가금류	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
암탉 >/=1 yr	0.83	0.96	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
어린 암탉	0.62	0.55	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
기타 닭	0.83	0.83	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
어린 닭	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
칠면조	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
오리	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
양	0.42	0.85	0.90	1.13	1.17	1.17	1.17	1.17
염소	0.45	1.28	1.28	1.42	1.37	1.37	1.37	1.37
말 (그리고 노새, 나귀)	0.30	0.26	0.30	0.30	0.46	0.46	0.46	0.46
낙타[c]	0.38	0.38	0.38	0.38	0.46	0.46	0.46	0.46
물소[c]	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
밍크와 긴털 족제비 (kg N head^{-1} yr^{-1})[d]	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59	4.59
토끼 (kgN head^{-1}yr^{-1})	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10
여우와 미국너구리 (kg N head^{-1} yr^{-1})[d]	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09

이 산정에서의 불확도는 ±50%

[a] 1996 IPCC 가이드라인에서 요약, 1997; 유럽 환경청(European Environmental Agency), 2002; USA EPA 국가 암모니아(NH_3) 인벤토리 보고서 초안, 2004; 그리고 2004년에 UNFCC 사무국에 제출된 아넥스 원 국가들(첨부I Parties)의 온실가스 인벤토리의 자료.

[b] 90%의 매매 돼지와 10%의 사육 돼지의 산정된 국가 개체수에 기초한 돼지의 질소 배출.

[c] 유럽 환경청(European Environmental Agency)에서 수정, 2002.

[d] Hutchings *et al.*의 자료, 2001.

표 10.20
다른 가축 종/카테고리에 의해 잔류된 가축의 사료 섭취량에서 질소 비율에 대한 기본값 (동물에 의해 잔류된 N-intake 비율)

가축 카테고리	$N_{retention(T)}$ (kg N retained/animal/year) (kg N intake/animal/year)$^{-1}$
젖소	0.20
다른 소	0.07
물소	0.07
양	0.10
염소	0.10
낙타	0.07
돼지	0.30
말	0.07
가금류	0.30
이 산정에서의 불확도는 ±50%	
출처: IPCC 전문가 그룹의 견해 (공동의장, 편집자 그리고 전문가; 분뇨 처리로부터의 아산화질소(N_2O) 참조)	

잔류된 총 질소는 다음과 같이 유도 된다:

식 10.33
소의 N 잔류 비율

$$N_{retention(T)} = \left[\frac{Milk \cdot \left(\frac{MilkPR\%}{100} \right)}{6.38} \right] + \left[\frac{WG \cdot \left[268 - \left(\frac{7.03 \cdot NE_g}{WG} \right) \right]}{\frac{1000}{6.25}} \right]$$

여기서:

$N_{retention(T)}$ = 카테고리 *T*의 동물 당 매일 잔류되는 N, kg N 동물$^{-1}$ yr^{-1}

Milk = 우유 생산량, kg N 동물$^{-1}$ day^{-1} (젖소에게만 적용 가능)

Milk PR% = 우유 안의 단백질 백분율, [1.9+0.4 • %지방]과 같이 계산됨, 여기서 %지방은 입력 자료, 4%로 가정됨 (젖소에게만 적용 가능)

6.38 = 우유단백질로부터 우유 질소로의 변환, kg 단백질(kg N)$^{-1}$

WG = 체중 증가량, 각 가축 카테고리를 위한 입력 자료, kg day^{-1}

268과 7.03 = NRC 내 식3-8의 상수 (1996)

NEg = 성장을 위한 순 에너지, 가축 특징 내에서 계산됨, 현재 체중에 기초하여, 성숙 체중, 체중 증가율, 그리고 IPCC 상수, MJ day^{-1}

1000 = kg 당 그램으로부터 변환, g kg^{-1}

6.25 = 식사량 단백질의 kg으로부터 식사량 질소의 kg으로의 변환, g kg^{-1}

연간 질소 배출량 자료는 관리되는 토양으로부터의 직접적 또는 간접적인 아산화질소(N_2O) 배출

의 계산을 위하여도 이용 된다 (제11장, 11.2절, 관리되는 토양으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출 참조). 분뇨 처리로부터의 아산화질소(N_2O) 배출량 산정에 이용되는 같은 질소 배출 비율과 유도 방법은 관리되는 토양으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출 산정에도 이용되어야 한다.

분뇨 처리로부터 직접적인 N_2O 배출계수

가장 좋은 산정은 상호 검토된 출판물에 자료가 완전히 제공된 나라에 따라 고유한 배출계수를 사용하는 데에 통용될 것이다. 사용되는 각 관리 체계 안에서 동물 분뇨 처리 유형과 실제 저장 기간을 반영하는 나라에 따라 고유한 배출계수를 사용하는 것이 좋은 방법이다. 나라에 따라 고유한 배출계수 유도의 좋은 방법은 처리 유형과 저장 기간의 다양성을 고려하여 다른 관리 체계에서의 배출 (비료 질소의 단위당) 측정을 포함한다. 처리 유형을 명백히 할 때, 폭기, 온도와 같은 조건을 고려해야 한다. 인벤토리 에이전시는 나라에 따라 고유한 배출계수를 사용하면, 상호 검토된 문서 조사를 통한 값의 정당성을 증명하는 것이 권장된다.

적절한 나라에 따라 고유 배출계수가 이용가능하지 않으면, 인벤토리 에이전시는 표 10.21, 분뇨 처리로부터의 직접적인 아산화질소(N_2O) 배출계수 기본값에서 제시된 배출계수 기본값을 사용하는 것이 권장된다. 이 표는 분뇨 처리 체계에 의한 배출계수 기본값을 포함하고 있다. 자연적인 딱딱한 덮개가 없는 액체/슬러리 시스템, 혐기성 저수지, 혐기성 소화조로부터의 배출은 시스템 안에서 일어나는 질산화 과정과 탈질화 과정의 낮은 가능성과 함께 이 시스템으로 들어가는 질소의 산화된 형태가 없는 것에 근거하여 무시된다.

분뇨 처리로부터 간접적인 N_2O 배출계수

분뇨 처리로부터의 간접적인 아산화질소(N_2O) 배출을 산정하기 위해 질소 손실 (휘발과 침출)의 두 가지 분율과 이러한 손실(EF_4와 EF_5)과 관련된 두 가지 간접적인 아산화질소(N_2O) 배출계수가 필요하다. 휘발에 의한 질소 손실에 대한 기본 값은 표 10.22에 나타나 있다. 값은 NH_3과 NO_x의 형태로 질소가 손실되는 평균 비율을 나타낸다. 대부분의 손실은 NH_3의 형태로 발생한다. 범위는 문헌에 나타나는 값을 반영한다. 값은 어떠한 상당한 양의 질소 제어 방법도 없는 조건을 나타낸다. 국가들은 국가의 고유한 값을 개발하는 것을 장려한다. 특히 암모니아 손실과 관련하여 더 큰 대기 질 평가의 한 부분으로 배출 구성요소가 잘 설명되어 있고 질소 감소 전략에 의해서 영향을 받는 배출이 있는 곳에서 그러하다. 예를 들어 NH_3와 다른 질소 손실을 매스 발란스/매스 플로우 절차를 사용하여 산정하는 세부적인 방법론은 EMEP/CORINAIR 대기 인벤토리 가이드북, 1009장 (European Environmental Agency, 2002)에 설명되어 있다.

분뇨 처리 시스템으로부터 침출한 분뇨 질소의 분율 ($Frac_{leachMS}$)은 불확실하고 Tier2 방법에 적용되는 국가에 특수한 값으로서 개발되어야 한다.

EF_4(N 휘발과 재퇴적)와 EF_5(N 침출)를 위한 기본 값은 제11장, 표 11.3에 제시되어 있다 (간접적인 토양 아산화질소(N_2O) 배출에 대한 기본 배출, 휘발, 침출 계수).

10.5.3 활동자료의 선택

분뇨 처리 시스템으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출을 산정하는 활동 자료의 두 가지 주요한 유형이 있다: (1) 가축 개체 수 자료와 (2) 분뇨 처리 시스템 용법 자료이다.

가축 개체 수 자료, $N_{(T)}$

동물 개체수 자료는 10.2절에 설명된 접근법을 사용하여 획득해야 한다. 기본 질소 배설율을 아산화질소(N_2O) 배출을 산정하는데 사용했다면 Tier 1 가축 개체 수 특성 묘사면 충분하다. 계산된 질소 배설율을 사용하여 분뇨 처리로부터의 아산화질소(N_2O) 배출을 산정하기 위해서 Tier 2 특성 묘사가 수행되어야 한다. 10.2 절에 써있는 바와 같이 가축 개체수를 특성 묘사하는 *우수 실행 (good practice)*은 가축 개체 수 자료에 의존하는 모든 배출원에 대한 활동 자료를 제공할 하나의 특성 묘사를 만드는 것이다.

분뇨 처리 시스템 사용법 자료, $MS_{(T,S)}$

분뇨 처리로부터의 아산화질소(N_2O) 배출을 산정하기 위해서 사용되는 분뇨 처리 시스템 용법 자료는 분뇨 처리로부터의 메탄(CH_4) 배출을 산정하는데 사용된 것과 동일한 것이어야 한다(분뇨 처리 시스템의 주요 유형의 요약을 위해서 표 10.18 참고). 각각의 분뇨 처리 시스템에서 처리된 분뇨의 비율은 각각의 대표적인 가축 카테고리에 대해서 수집되어야 한다. 어떤 경우에는 분뇨가 몇 가지 유형의 분뇨 처리 시스템에서 처리될 수 있다는 것에 주의하라. 예를 들어 낙농장에서 씻긴 분뇨가 혐기성 저수지로 들어간다면 이것은 분뇨 고체의 일부가 제거되고 고체로서 관리되도록 하는 고체 분리 단위를 처음으로 거칠 것이다. 그러므로 각각의 시스템의 유형에서 관리되는 분뇨의 분율을 주의 깊게 고려하는 것은 중요하다.

분뇨 처리 시스템의 분배 자료를 얻는 가장 좋은 방법은 국가적인 통계를 규칙적으로 살펴보는 것이다. 그러한 통계가 사용가능하지 않다면 분뇨 처리 시스템 용법의 독립적인 조사를 대안적으로 행해야 한다. 조사를 하기에 자원이 부족하다면 전문가들에게 의견을 물어야 한다. 국가에 특수한 분뇨 처리 시스템 용법 자료가 사용가능하지 않다면 기본 값이 사용되어야 한다. 젖소, 다른 소, 물소, 돼지(판매용 돼지와 번식용 돼지), 가금류에 대한 IPCC 기본 값은 부록 10A.2의 표 10A-4에서 표 10A-8까지에서 구할 수 있다. 다른 동물 카테고리로부터의 분뇨는 전형적으로 목장과 방목 환경에서 관리된다.

표 10.21
분뇨 처리로부터 직접적인 N_2O 배출계수 기본값

시스템	정의		EF_3 [kg N_2O-N (kg 질소배설)$^{-1}$]	EF_3의 불확도 범위	출처
목장/방목 구역/ 작은 목장	목장과 동물을 방목하는 구역으로부터의 비료는 관리되어 놓여져 있거나 그렇지 않도록 허락되었다.		경작지와 농장, 방목 구역, 작은 목장에 놓인 비료와 관계된 직접적, 간접적인 N_2O 배출은 제11장, 11.2절, 관리되는 토양으로부터의 N_2O 배출에서 취급된다.		
매일 살포	분뇨는 일상적으로 사육시설에서 제거되고 목초지나 농장에 24시간 안에 뿌려진다. 토지 살포에 의한 N_2O 배출은 농업 토양 카테고리 하에서 커버된다.		0	적용 불가능	IPCC 전문가 그룹의 견해 (공동의장, 편집자, 전문가; 분뇨 처리로부터의 N_2O 참조)
고체 저장소[b]	제한되지 더미에 않은 전형적으로 몇 개월간의 분뇨의 저장. 분뇨는 충분한 양의 바닥에 까는 물질 때문에 쌓일 수 있고 증발에 의해서 습기를 잃는다.		0.005	2의 계수	Amon *et al.* (2001)과 협력한 IPCC 전문가 그룹견해, 이는 N_2O-N(kg N^{-1}) 0.0027~ 0.0 1kg의 범위의 배출 보임
건조 부지	상당한 식물성 커버가 없는 포장되거나 포장되지 않은 열린 사육장에 분뇨를 쌓고 일정기간마다 제거한다. 건조 부지는 대부분 전형적으로 건조기후대에서 발견되나 습윤 지대에서도 사용		0.02	2의 계수	Kulling (2003)과 협력한 IPCC 전문가 그룹의 견해
액체/슬러리	분뇨는 배설된 채로 쌓이거나 최소한의 물의 추가와 함께 탱크에 저장되거나 연못에 묻는다.	자연적인 딱딱한 덮개 있음	0.005	2의 계수	Sommer *et al.*(2000)과 협력한 IPCC 전문가 그룹의 견해
		자연적인 딱딱한 덮개 없음	0	적용 불가능	다음의 연구들과 협력한 IPCC 전문가 그룹 견해: Harper *et al.*(2000), Lague *et al.*(2004), Monteny *et al.*(2001), Wagner-Riddle and Marinier (2003). 배출은 스템 안에서 일어나는 질화 과정과 탈질화 과정의 낮은 가능성과 함께 이 시스템으로 들어가는 질소의 산화된 형태가 없는 것에 기초하여 무시할 만하다고 여겨진다.
노출된 혐기성 늪	혐기성 늪은 폐기물을 안정화하고 저장하기 위한 조합된 목적으로 설계된다. 늪은 보통 관련된 제한된 시설에서 늪으로 분뇨를 제거하기 위해서 사용된다. 혐기성 늪은 기후에 따라 휘발성 고체 부하율과 다른 운영적인 계수다양한 길이로 설계 된다 (1년~그 이상). 슾지로부터의 물은 화장실용, 관개, 비료용으로 재활용된다.		0	적용 불가능	다음의 연구들과 협력한 IPCC 전문가 그룹의 견해: Harper *et al.*(2000), Lague *et al.*(2004), Monteny *et al.*(2001), Wagner-Riddle and Marinier (2003). 배출은 시스템 안에서 일어나는 질화 과정과 탈질화 과정의 낮은 가능성과 함께 이 시스템으로 들어가는 질소의 산화된 형태가 없는 것에 기초하여 무시할 만하다고 여겨진다.
동물 감금 아래의 구덩이 저장소	분뇨의 수집과 저장은 보통 적은 물 또는 물이 없이 전형적으로 사육장 지하에 있다.		0.002	2의 계수	다음의 연구들과 협력한 IPCC 전문가 그룹의 견해: Amon *et al.* (2001), Kulling (2003), 그리고 Sneath *et al.* (1997)

표 10.21 (계속)
분뇨 처리로부터 직접적인 N_2O 배출계수 기본값

시스템	정의		EF_3 [kg N_2O-N (kg 질소배설)$^{-1}$]	EF_3의 불확도 범위	출처
혐기성 소화조	혐기성 소화조는 복잡한 유기물의 CH_4 또는 CO_2로의 미생물적 분해에 의한 폐기물의 안정화를 하기 위해서 설계된다. 이러한 발생 기체는 회수되어 불태우거나 연료로 사용한다.		0	적용 불가능	다음의 연구들과 협력한 IPCC 전문가 그룹 견해: Harper *et al.*(2000), Lague *et al.* (2004), Monteny *et al.*(2001), Wagner-Riddle and Marinier (2003). 배출은 시스템 안에서 일어나는 질화과정과 탈질화 과정의 낮은 가능성과 함께 시스템으로 들어가는 질소의 산화된 형태가 없는 것에 기초하여 무시할 만하다고 여겨진다.
연료로써 또는 폐기물로써 소각	대변은 들판에 배설된다. 태양이 그것을 말리고 연료로 사용한다.		대변을 태우는 것과 연관된 배출은대변이 연료로 이용된다면 IPCC 카테고리 '연료 연소' 하에서, 대변이 에너지 회수 없이 소각된다면 IPCC 카테고리 '폐기물 소각' 하에서 보고 된다.		
	소변 N은 목장에 퇴적된다.		농업용 토양과 목장, 방목구역, 작은 방목장에 퇴적되는 소변에 관련된 직접적이고 간접적인 N_2O 배출은 11장, 11.2절에서 관리된 토양으로부터의 N_2O 배출로 다루어진다.		
소와 돼지의 깊은 깔짚	분뇨가 축적됨에 따라 바닥 깔개는 생산과정 동안 연속적으로 습기를 흡수하여 추가된다. 6-12개월간 가능하다. 분뇨 처리 시스템은 건조 부지 또는 목장과 조합될 수 있다.	혼합 없음	0.01	2의 계수	Sommer and Moller (2000), Sommer (2000), Amon *et al.* (1998), Nicks *et al.* (2003)에 기초한 평균값
		활발한 혼합	0.07	2의 계수	Nicks *et al.*(2003), 그리고 Moller *et al.*(2000)에 기초한 평균값. 어떤 문헌들은 잘 유지되고(maintained), 활발한 혼합이 일어나는 것을 위해 20% 높은 값을 인용한다. 그러나 그런 시스템들은 정형적이지 않은 암모니아 처리를 포함.
퇴비화-용기 내[c]	강제적 공기 주입과 계속적인 혼합이 이루어지는 enclosed channel에서 전형적인 퇴비화		0.006	2의 계수	IPCC 전문가 그룹 견해. 고정된 더미와 비슷할 것으로 기대.
퇴비화-고정된 더미[c]	강제적 공기 주입을 하고 혼합하지는 않는 파일에서의 퇴비화		0.006	2의 계수	Hao *et al.*(2001)
퇴비화-집약적 건초[c]	혼합과 공기 주입을 위한 규칙적인 뒤집음이 있는 건초 줄의 퇴비화		0.1	2의 계수	IPCC 전문가 그룹의 견해. 배출은 전환 빈도의 함수이므로 건초 줄의 강한 퇴비화 작용보다 클 것으로 기대됨.
퇴비화-수동적 건초[c]	혼합과 공기 주입을 위한 때때로의 뒤집음이 있는 창에서의 퇴비화		0.01	2의 계수	Hao *et al.*(2001)
깃 있는 가금류 비료	깊은 바닥 깔개 시스템과 유사함. 전형적으로 모든 종류의 닭고기 생산용 유형에서 사용한다.		0.001	2의 계수	질화/탈질화에서의 질소 유효성이 제한된 시스템으로부터의 암모니아의 높은 손실량에 기초한 IPCC 전문가 그룹 견해
깃 없는 가금류 비료	폐쇄된 동물 사육장 시설에서의 열려 있는 구덩이와 유사함. 분뇨가 축적됨에 따라 분뇨를 말리기 위해 설계되고 운영됨. 후자는 high-rise manure management system이라고 알려졌고 적절하게 설계되고 운영될 때 건초 줄의 퇴비화의 형태.		0.001	2의 계수	질화/탈질화에서의 질소 유효성이 제한된 시스템으로부터의 암모니아의 높은 손실량에 기초한 IPCC 전문가 그룹의 견해

표 10.21 (계속)
분뇨 처리로부터 직접적인 N_2O 배출계수 기본값

시스템	정의		EF_3 [kg N_2O-N (kg 질소배설)$^{-1}$]	EF_3의 불확도 범위	출처
호기성 처리	액체 상태로 수집된 분뇨를 강제적이거나 자연적인 폭기와 함께 생물학적 산화를 시킨다. 자연적인 폭기는 호기성, 연못과 습지에 제한되고 우선적으로 광합성에 의존한다. 그러므로 이러한 시스템은 전형적으로 태양광이 없는 곳에서는 기간 중에 무산소성 상태가 된다.	자연적인 폭기 체계	0.01	2의 계수	IPCC 전문가 그룹의 견해. 질화-탈질화는 N_2O 배출은 무시할만하고, 한곳에 국한된 공업 폐수의 생물학적 처리 안에서 질소제거를 위해 널리 사용된다. 제한된 산화는 강제된 폭기 체계와 비교하여 배출을 증가시킬 수 있다.
		강제된 폭기 체계	0.005	2의 계수	IPCC 전문가 그룹의 견해. 질화-탈질화는 N_2O 배출은 무시할만하고, 한곳에 국한된 공업 폐수의 생물학적 처리 안에서 질소 제거를 위해 널리 사용된다.

[a] Dustan (2002)도 참조, 인용된 원래 참고 문헌의 정보를 편집
[b] 양에 관한 자료는 고체 저장소 또는 액체/슬러리가 될 것으로 판단되는 시스템인지 아닌지 구분하는데 이용되어야 한다. 20% 건조된 물질 성분량에서 빼내질 수 있는 건조물과 액체 사이의 경계선.
[c] 퇴비화는 보통 깔짚 비료를 포함하는 고체 폐기물의 생물학적 산화이거나 미생물 열 발생에 의해 발생되는 호열성 온도에서 대체로 다른 유기탄소 발생원이다.

10.5.4. 관리되는 토양으로부터 N_2O 배출량 기록을 위한 조정

분뇨 처리의 어떤 시스템에서 다음의 저장과 처리는 거의 모든 분뇨가 토지에 적용될 것이다. 결과적으로 분뇨의 토양에의 적용함으로부터 발생하는 배출은 카테고리 관리된 토양으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출 하에서 보고 될 것이다. 이러한 배출을 산정하는 방법은 제11장, 11.2절에서 논의된다. 관리된 토양으로부터의 배출을 산정하는데 있어서 직접적으로 토양에 적용되거나 사료로 사용가능하거나 연료 또는 건 목적으로 사용되는 동물 분뇨 질소의 양은 고려된다.

관리된 시스템(예: 목장이나 방목하는 조건 하의 가축을 제외한 모든 가축)에서 동물에 의해 배설되는 총 질소의 상당한 분량이 관리된 토양이나 사료, 연료, 건설의 용도로 적용되기 이전에 손실된다. 직접적으로 토양에 적용되거나 사료, 연료, 건설의 목적으로 사용될 수 있는 동물 분뇨 질소의 양을 산정하기 위해서 (예. 제11장, 식 11.1 또는 11.2) 관리된 시스템에서 동물에 의해 배설된 질소의 총량에서 휘발 (예. NH_3, N_2, NO_x), N_2O로의 전환 침출에 의한 손실 등을 통한 손실량을 빼주는 것이 필요하다.

깔짚 재료 (짚, 톱밥, 자갈 등)로 유기물이 사용되는 곳에서는 바닥에 까는 재료로부터의 추가적인 질소가 토양에 적용되는 관리된 분뇨 질소의 한 부분으로 고려되어야 한다. 깔짚 재료는 전형적으로 남아있는 분뇨와 함께 수집되어 토양에 적용된다. 그러나 질소 화합물의 무기화 작용이 깔짚 재료에서 분뇨와 비교하였을 때 천천히 발생하고 유기적인 바닥 재료에서 암모니아 분율이 무시할 만큼 작다는 것에 주의하라. 바닥 재료의 저장 동안 침출과 휘발에 의한 손실은 0으로 가정된다 (European Environmental Agency, 2002).

표 10.22
분뇨 처리로부터 NH_3와 NO_x 휘발로 인한 질소 손실량 기본값

동물 유형	분뇨 처리 시스템 (MMS)[a]	$N\text{-}NH_3$와 $N\text{-}NO_x$의 휘발로 인한 MMS로부터의 질소 유실량 (%)[b] $Frac_{GasMS}$ ($Frac_{GasMS}$의 범위)
돼지	혐기성 늪	40% (25-75)
	구덩이 저장소	25% (15-30)
	깊은 깔짚	40% (10-60)
	액체/슬러리	48% (15-60)
	고체 저장소	45% (10-65)
젖소	혐기성 늪	35% (20-80)
	액체/슬러리	40% (15-45)
	구덩이 저장소	28% (10-40)
	건조 부지	20% (10-35)
	고체 저장소	30% (10-40)
	매일 살포	7% (5-60)
가금류	깃 없는 가금류	55% (40-70)
	혐기성 늪	40% (25-75)
	깃 있는 가금류	40% (10-60)
다른 소	건조 부지	30% (20-50)
	고체 저장소	45% (10-65)
	깊은 깔짚	30% (20-40)
기타[c]	깊은 깔짚	25% (10-30)
	고체 저장소	12% (5-20)

[a] 분뇨 처리 시스템은 여기서 주택과 마지막 저장 체계에서 관계 있는 질소 유실량을 포함한다.
[b] IPCC 전문가 그룹의 견해와 다음의 출처들에 기초한 휘발률: Rotz (2003), Hutchings *et al.* (2001), U.S.EPA (2004).
[c] 기타는 양, 말, 그리고 모피 동물을 포함한다.

관리되는 토양에 적용이 가능하거나 먹이, 연료, 또는 건설 목적으로의 사용이 가능한 관리되는 비료 질소의 산정은 다음 식을 따른다:

식 10.34
관리되는 토양, 사료, 연료, 또는 건설 용도로 사용가능한 관리된 분뇨의 N

$$N_{MMS\_Avb} = \sum_{S}\left\{\sum_{(T)}\left[\left[\left(N_{(T)} \bullet Nex_{(T)} \bullet MS_{(T,S)}\right)\bullet\left(1-\frac{Frac_{LossMS}}{100}\right)\right]+\left[N_{(T)} \bullet MS_{(T,S)} \bullet N_{beddingMS}\right]\right]\right\}$$

여기서:

N_{MMS_Avb} = 관리되는 토양 또는 먹이, 연료, 또는 건설 목적으로의 적용이 가능한 관리되는 비료 질소량 kg N yr^{-1}

$N_{(T)}$ = 나라 안의 가축 종/카테고리 *T*의 마리 수

$Nex_{(T)}$ = 나라 안의 종/카테고리 *T*의 동물 당 연간 평균 질소 배출량, kg N 동물$^{-1}$ yr^{-1}

$MS_{(T,S)}$ = 나라 안의 분뇨 처리 체계 *S*에서 관리되는 각 가축 종/카테고리 *T*를 위한 연간 질소 총배출량의 비율, 무 차원

$Frac_{LossMS}$ = 분뇨 처리 체계 *S*에서 유실되는 가축 카테고리 *T*를 위해 관리되는 비료 질소의 양, % (표 10.23 참조)

$N_{beddingMS}$ = 깔짚으로부터의 질소량 (유기물 깔짚(organic bedding) 사용량이 알려진다면 두꺼운 깔짚 MMS와 고체 저장소에 적용됨), kg N 동물$^{-1}$ yr^{-1}

S = 분뇨 처리 체계

T = 가축의 종/카테고리

깔짚 재료는 다양하고 인벤토리 개발자는 그들의 가축 산업에서 사용되는 깔짚 재료의 특성 묘사에 기초한 $N_{beddingMS}$에 대한 값을 개발해야 한다. 과학적 문헌으로부터의 제한된 자료는 젖소와 새끼를 낳지 않은 어린 암소에 대해 적용되는 유기물 깔짚 재료에 함유된 질소의 양이 보통 약 7 kg N animal^{-1} yr^{-1}이고 다른 소는 4 kg N animal^{-1} yr^{-1}, 판매용과 번식용 돼지는 0.8-5.5 kg N animal^{-1} yr^{-1}이라는 것을 나타낸다. 깊은 바닥 시스템에 대해서 깔짚 내의 질소의 양은 위의 양의 두 배 정도이다 (Webb, 2001; Dohler *et al.*, 2002).

표 10.23은 분뇨 처리 시스템으로부터의 총 질소 손실에 대한 기본 값을 보여준다. 이 기본 값은 적용가능한 곳에서의 분뇨 저장 시스템에서의 동물 집 손실, 분뇨 저장 손실, 침출과 runoff 손실을 포함하여 배설의 포인트로부터 발생하는 손실을 포함하고 있다. 예를 들어, 낙농장 혐기성 lagoon에 대해 제공되는 값은 lagoon에서 발생하는 손실 뿐 아니라 분뇨의 수집과 처리 이전의 낙농장 헛간, 우유 짜는 곳에서 발생하는 질소 손실을 포함한다.

분뇨관리 시스템으로부터의 총 질소 손실의 범위에서 높은 수준의 변동성이 있다. 표 10.23에서 제시된 바와 같이 이러한 것들의 대부분은 휘발성 손실, 우선적으로 분뇨의 배설에 따라 빠르게 발생하는 암모니아 손실에 기인한다. 그러나 손실은 분뇨가 저장되는 파일에서의 침출 뿐 아니라 NO_3, N_2O, N_2의 형태로서도 발생한다. 표 10.23의 값은 각각의 동물 카테고리에 대한 축사/저장 조합에 대한 평균값을 반영한다. 국가들은 국가 고유 값을 개발하는 것을 장려한다. 특히 더 큰 공기 질 평가의 부분으로서 지역적인 실행 방안이 잘 설명되어 있는 곳, 질소 감축 전략에 의해서 배출이 영향을 많이 받는 곳에서 암모니아 손실에 관련된 것에 대해 그러하다.

국가들은 국가적 환경을 더 잘 고려하고 산정을 하는데 가능한 불확도를 줄일 수 있는 대안적인 접근을 개발하기를 원할 것이다. 이러한 접근은 국가에서 사용하는 동물 사육장과 분뇨 처리 시스템의 구성요소를 통해 질소의 흐름의 어떤 완화 활동을 계산하거나(예: 슬러리 탱크에 덮개를 사용하는 것) 바닥 재료의 유형과 같은 지역적인 실행 방안을 고려하는 더 자세한 특성 묘사를 일으킬 것이다.

10.5.5 불확도 평가

배출계수 - 질소 배설율

기본 N 배설율에 대한 불확도의 범위는 약 ±50%로 산정된다(출처: IPCC 전문가 그룹에 의한 판단). 기본 N 보류 값에 대한 불확도 범위는 또한 ±50%로 제공된다(표 10.20을 보라). 인벤토리 에이전시가 N 섭취량과 N 보류에 대한 정확한 국가적인 통계를 사용하여 N 배설율을 유도했다면 N 배설율과 관련된 불확도는 감소할 것이다. 불확도의 정도는 특수한 분뇨 처리 시스템으로부터의 질소 손실의 직접적인 배출 측정에 의해서 더 이상 감소될 것이다.

배출계수 - 직접적인 N_2O 배출

이 배출원 카테고리에 대한 기본 배출계수와 관련한 큰 불확도가 있다 (-50%에서 +100%까지). 잘 특성화된 분뇨와 분뇨 처리 시스템으로부터의 정확하고 잘 설계된 배출 측정은 이러한 불확도를 감소시키는 것을 도와줄 것이다. 이러한 측정은 온도와 습도, 통풍, 분뇨 N 함량, 신진대사 가능한 탄소, 저장의 기간, 처리의 다른 양상들을 계산에 넣어야 한다.

표 10.23
분뇨 처리로부터 총 질소 손실량 기본값

동물 유형	분뇨 처리 시스템 (MMS)[a]	MMS로부터의 총질소 유실량[b] $Frac_{LossMS}$ ($Frac_{LossMS}$의 범위)
돼지	혐기성 늪	78% (55-99)
	구덩이 저장소	25% (15-30)
	깊은 깔짚	50% (10-60)
	액체/슬러리	48% (15-60)
	고체 저장소	50% (20-70)
젖소	혐기성 늪	77% (55-99)
	액체/슬러리	40% (15-45)
	구덩이 저장소	28% (10-40)
	건조 부지	30% (10-35)
	고체 저장소	40% (10-65)
	매일 살포	22% (15-60)
가금류	깃 없는 가금류	55% (40-70)
	혐기성 늪	77% (50-99)
	깃 있는 가금류	50% (20-80)
다른 소	건조 부지	40% (20-50)
	고체 저장소	50% (20-70)
	깊은 깔짚	40% (10-50)
기타[c]	깊은 깔짚	35% (15-40)
	고체 저장소	15% (5-20)

[a] 분뇨 처리 체계는 여기서 주택과 마지막 저장 체계에서 관계있는 질소 유실량을 포함한다.

[b] IPCC 전문가 그룹의 견해와 다음의 출처들에 기초한 총질소 유실률: Rotz(2003), Hutchings *et al.*(2001), 그리고 U.S.EPA(2004). 비율들은 고체 저장소와 건조 부지(dry lot)에서 침출과 강우유출로 인한 암모니아(NH_3), 산화질소(NO_x), 아산화질소(N_2O), 그리고 기체 질소(N_2) 형태의 유실량을 포함한다. 값들은 전형적인 주택과 장소 내에서 중요한 질소 제어 수단이 없는 저장 성분을 위한 평균 비율을 나타낸다. 범위는 문헌에서 나타난 값들을 반영한다. 질소 유실을 제어하는 수단이 있는 장소에서 대안적인 비율이 측정을 반영하여 개발되어야 한다.

[c] 기타는 양, 말, 그리고 모피 동물을 포함한다.

배출계수 - 간접적인 N_2O 배출량

분뇨 처리 시스템으로부터의 NH_3, NOx, 총 N의 휘발에 기인하는 기본 N 손실의 불확도 범위는 표 10.22와 10.23에 나타나 있다. 질소 휘발과 재 퇴적 (EF_4)에 대한 기본 배출계수와 관련된 불확도는 11장의 표 11.3에서 주어진다. 침출과 강우유출에 대한 기본 배출계수의 불확도 범위는 또한 표 11.3에서 제공된다. 직접적인 측정은 경계를 넘는 대기적 수송을 포함할 수 있기 때문에 휘발과 재퇴적에 대한 국가에 특수한 배출계수를 개발할 때 주의가 필요하다.

활동자료 - 가축 개체 수

동물 개체수와 사료 특성 자료에 관한 불확도에 대한 논의를 위해서는 10.2절 (가축 개체수와 사료 특성 묘사)을 보라.

활동자료 - 분뇨 처리 시스템 용법

분뇨 처리 시스템 용법 자료의 불확도는 각각의 국가의 가축 산업의 특성과 어떻게 분뇨 처리에 대한 정보가 수집되는지에 의존할 것이다. 예를 들어, 건조 부지와 같은 한 가지 유형의 관리 시스템에 배타적으로 의존하는 국가들을 위해 분뇨 처리 시스템 용법과 관련된 불확도는 10% 또는 그 이하가 될 수 있다. 그러나 넓은 범위의 관리 시스템이 적용되는 국가들은 의존할 수 있고 대표성을 갖는 조사 자료의 사용가능한 정도에 따라 25-50%라는 더 높은 불확도를 갖는다. 선호하기로는 각각의 국가들은 자신의 관리 시스템 용법 자료와 관련된 불확도를 제1권 제3장에 설명된 방법을 사용하여 산정해야 하는 것이 좋다.

10.5.6 완전성, 시계열, 품질 보장/품질 관리와 보고

완전한 인벤토리는 모든 가축 종/카테고리에 대한 모든 분뇨 처리 시스템으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출을 산정해야 한다. 국가들은 표 10.18에 나타난 것들과 일치하는 분뇨 처리 시스템 정의를 사용하도록 장려된다. 개체 수 자료는 인벤토리에서 사용된 정보가 완전하고 일치한다는 것을 보증하는 주요 보고 메커니즘 (FAO와 국가적 농업 통계 데이터베이스와 같은) 사이에서 교차확인 되어야 한다. 가축 정보의 FAO 데이터베이스의 넓은 사용가능성 때문에 대부분의 국가들은 최소한 주요 가축 카테고리에 대한 Tier 1 산정을 준비할 수 있어야 한다. 가축 특성 묘사에 관한 완전성과 관련하여 더 이상의 정보를 위해서는 10.2절을 보라.

이 배출원 카테고리를 위한 일관성 있는 시계열을 개발하는 것은 최소한 가축 개체 수 통계의 내부적으로 일관성 있는 시계열을 수집하는 것을 요구한다. 일반적인 가이던스는 이 보고서의 제1권 제5장에 나와 있다. 대부분의 국가들에서 분뇨 처리 배출계수 뿐 아니라 이 배출원 카테고리(예: N 배설율과 분뇨 처리 시스템 용법 자료)를 위해서 요구되는 다른 두 활동 자료 세트는 전체 시계열에 대해서 상수로 유지될 것이다. 그러나 어떤 경우에는 이러한 값들을 시간에 따라 변형시켜야할 이유가 있을 수도 있다. 예를 들어, 농부들이 질소 배설율에 영향을 미치는 사축 사료 공급 방법을 대체할 수 있다. 분뇨 처리의 특별한 시스템은 운영적 실행이나 배출계수를 개정하는 기술 등을 바꾼다. 이러한 변화는 명백한 온실가스 완화 방안을 이행하는 것에 기인할 수도 있고 또는 온실가스와 관련 없는 농업적인 실행 방안을 변화시키는데 기인할 수도 있다. 변화의 동력에 관계없이 배출량 산정에 사용되는 변수와 배출계수는 변화를 반영해야 한다. 인벤토리 문서는 농장에서의 활동(practice)의 변화와 온실가스 저감의 이행에 따라 활동 자료와 배출계수의 시계열이 어떻게 영향 받았는지에 대해 설명해야 한다.

제1권, 제6장, 품질 보증/품질관리와 검증과 배출량 산정에 대한 전문가의 검토에 요약된 것처럼 일반적인 품질 관리 체크를 이행하는 것은 *우수 실행 방안 (good practice)*이다. 특히 더 높은 Tier 방법이 이러한 배출원으로부터의 배출을 결정하는데 사용된다면 추가적인 품질 관리 체크와 품질 보증 절차는 또한 사용가능할 것이다. 자료 처리, 조종, 보고에 관련한 일반적인 QA/QC는 아래에 논의된 절차를 보조해야 한다:

활동자료 점검

- 인벤토리 기관은 가축 자료 수집 방법을 검토해야 한다. 생산 사이클의 기간에 대해 고려하면서 특히 가축의 하위종 자료가 정확하게 수집되고 모아지는지를 검토해야 한다. 자료는 기대된 추세와 일관성을 갖고 합리적인지 보증하기 위해서 전년도 자료와 교차확인되어야 한다. 인벤토리 기관은 자료 수집 방법을 문서화하고 잠재적인 편이 영역을 정의하고 자료의 대표성을

평가해야 한다.

- 분뇨 처리 시스템 할당은 규칙적으로 가축 산업에서의 변화가 있는지를 결정하기 위해서 검토되어야 한다. 한 가지 유형의 관리 시스템에서 다른 것으로의 전환과 시스템 조정과 수행을 위한 기술적인 수정은 영향 받는 가축에 대한 시스템 모델링에서 고려되어야 한다.
- 국가적인 농업 정책과 규제는 분뇨 배출을 계산하는데 사용되는 변수들에 영향을 가질 것이고 무슨 영향이 있었는지 결정하기 위해서 규칙적으로 검토되어야 한다. 예를 들어, 수체로의 분뇨 유출을 감소시키기 위한 가이드라인은 관리 실행 방안에 변화를 가져올 것이고 그러므로 특별한 가축 카테고리에 대한 N 분배에 영향을 미칠 것이다. 일관성은 인벤토리와 농업 실행 방안에서의 계속되는 변화 사이에서 유지되어야 한다.
- $Nex_{(T)}$와 $MS_{(T,S)}$에 대한 국가에 특수한 자료를 사용할 경우, 인벤토리 기관은 이 값들을 IPCC 기본 값과 비교해야 한다. 상당한 차이, 자료원, 자료 유도의 방법은 문서화되어야 한다.

배출계수 검토

- 인벤토리 기관은 포함된 아산화질소(N_2O) 배출계수와 질소 배설율이 얼마나 잘 대안적인 국가 자료원과 유사한 가축 실행 방안에 대해 다른 국가들의 자료와 비교되었는지를 평가해야 한다. 상당한 차이점은 조사되어야 한다.
- 국가에 특수한 배출계수를 사용하는 경우 인벤토리 기관은 그것들을 기본 값과 비교하고 차이점을 기록해야 한다. 국가에 특수한 배출계수의 개발은 설명되고 문서화되어야 하고 결과는 독립적인 전문가에 의해서 자세히 검토되어야 한다.
- 사용가능한 측정 자료가 있을 경우 그것이 시스템의 작은 샘플만을 나타낼지라도 아산화질소(N_2O) 배출량 산정에 대한 가정과 관련하여 검토되어야 한다. 대표적인 측정 자료는 어떻게 잘 현재의 가정이 분뇨 처리 시스템으로부터 아산화질소(N_2O) 생산을 예측하는지에 대해 통찰력을 줄 것이다. 그리고 어떻게 어떤 계수(예: 사료 섭취량, 시스템 형태 (환경설정, 저류 시간)가 배출에 영향을 주는지에 대한 통찰력을 제공할 것이다. 상대적으로 작은 양의 측정 자료 때문에 어떤 새로운 결과는 이러한 배출을 이해하는 것과 어쩌면 예측을 향상시킬 수 있다.

외부 검토

- 인벤토리 기관은 분뇨 처리와 동물 영향에 관한 전문가들이 사용된 방법과 자료에 대해서 전문가 자세히 검토를 하도록 전문가를 활용해야 한다. 이러한 전문가들이 온실가스 배출에 대해서 잘 모를 때에도 배출 계산에의 주요한 투입 변수에 대한 그들의 지식은 전체적인 배출의 검증에 추가될 수 있다. 예를 들어 동물 영양학자는 어떤 가축 종에 대한 사료 활용 연구에 일관성이 있는지 아닌지를 보아서 N 생산율을 평가할 수 있다. 실제적인 농부들은 저장 시간과 혼합된 시스템 용법과 같은 실제 분뇨 처리 기술에 대해 통찰력을 제공할 수 있다. 가능한 곳에서는 이러한 전문가들이 진정한 외부 검토가 되도록 하기 위해서 인벤토리 과정과 완전히 독립적이어야 한다.

제1권, 제6장, 품질 보증/품질 관리와 검증에서 요약된 것처럼 국가적인 배출 인벤토리 산정을 생산하는데 요구되는 모든 정보를 문서화하고 기록하는 것은 *우수 실행 방안(good practice)*이다. 국가에 특수한 배출계수, N 손실의 분율, N 배설율 또는 분뇨 처리 시스템 용법 자료가 사용되었을 때 이러한 자료들의 참고문헌과 유도과정은 적절한 IPCC 출처 카테고리 하에서 인벤토리 결과와 함께 명확하게 문서화되고 보고 되어야 한다.

다른 유형의 분뇨 처리 시스템으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출은 표 10.18의 카테고리에 따라 보

고 되어야 한다. 모든 유형의 분뇨 처리 시스템으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출은 "분뇨 처리" 하에서 보고 되어야 한다. 두 가지 예외 사항이 있다:

- *목장, 방목, 작은 방목장*에 대한 분뇨 처리 시스템으로부터의 배출은 IPCC 배출원 카테고리 *관리된 토양으로부터의* 아산화질소(N_2O) *배출* 하에서 보고 될 것이다. 왜냐하면 이 분뇨는 가축에 의해서 토양에 직접적으로 퇴적되기 때문이다.
- 분뇨 처리 시스템 *연료를 위해 연소됨*으로부터의 배출은 대변이 연료로 사용된다면 IPCC 카테고리 *연료 연소* 하에서 기록되어야 하고 대변이 에너지 회수 없이 소각된다면 IPCC 카테고리 *폐기물 소각* 하에서 보고 되어야 한다. 그러나 소변 질소가 소각을 위해서 수집되지 않는다면 그것은 *목장, 방목, 작은 방목장* 동물로부터의 아산화질소(N_2O) 배출 하에서 보고 되어야 한다는 것에 주의해야 한다.

10.5.7 워크시트의 활용

10.5절 *분뇨 처리로부터의* 아산화질소(N_2O) *배출*에 서술되어 있는 기본 방법론에 대한 인벤토리 정보를 보고하고 계산하기 위한 첨부 1 (AFOLU 워크시트)에 있는 가축 아산화질소(N_2O)에 대해서는 워크시트를 사용하라. 다음은 워크시트룰 수행할 때 따라하기 위한 단계적인 지침을 정리한 것이다. 워크시트의 목적 칼럼 뿐 아니라 각 식에 있는 변수들의 기호를 사용하고 있는 칼럼도 주목하라.

단계 1: 분뇨 처리 시스템에서 배출되는 N 계산(카테고리 *분뇨 처리*에 대한 워크시트를 보라: *분뇨 처리 시스템으로부터의 직접적인 아산화질소(N_2O) 배출, Category code 3A2, Sheet 1 of 1).* 여분의 워크시트를 만들고, 각 분뇨 처리 시스템(MMS)에 대한 하나의 워크시트를 완성하라.

단계 1A: 가축군집특성으로부터 가축수 데이터를 수집하고 column $N_{(T)}$에 일치하는 변수를 입력하라;

단계 1B: Nrate에 대한 기본 값과 TAM (식 10.30그리고 표 10.19, 표 10A-4에서 10A-9로부터 자료를 이용하는)을 사용하거나 각각의 가축 종/카테고리 T에 대한 두당 년 평균 배설율 ($Nex_{(T)}$)을 개발하라. 그리고 이 값들은 각각 칼럼 N_{rate}, TAM, $Nex_{(T)}$에 입력하라;

단계 1C: 칼럼 $MS_{(T,S)}$에 기본 값 (첨부 10A.2의 표 10A-4에서 10A-8을 보라)을 입력하라. 또는 각 분뇨 처리 시스템 S($MS_{(T,S)}$)에서 관리되는 각각의 가축종/카테고리 T에 대한 연중 총 질소 배설의 분율을 결정하라;

단계 1D: 두수(칼럼 $N_{(T)}$)와 각 가축종/카테고리 T (칼럼 $Nex_{(T)}$)를 위한 두당 N 배설율 ($Nex_{(T)}$)의 값을 곱하고 연간 kg으로 표현되는 MMS (칼럼 N_{MMS})에 대한 총 질소 배출 계산을 위해 MMS 당 분뇨 질소의 분율 (칼럼 $MS_{(T,S)}$)을 곱하라. 이 sheet의 칼럼 NE_{MMS}와 카테고리 *분뇨관리로부터 간접적인 아산화질소(N_2O) 배출, Category code 3C6*하의 sheet 1 of 2와 sheet 2 of 2의 칼럼 NE_{MMS}에 결과를 입력하라.

단계 2: 분뇨 처리 시스템으로부터의 직접적인 N_2O 배출의 계산(*분뇨 처리: 분뇨 처리로부터의 직접적인 아산화질소(N_2O) 배출, Category code 3A2, Sheet 1 of 1*에 대한 워크시트를 참고한다)

단계 2A: 기본 값(표 10.21을 보라)을 사용하거나 각각의 분뇨 처리 시스템 S ($EF_{3(S)}$) 에 대

한 직접적인 아산화질소(N_2O) 배출계수를 개발하라. 그리고 칼럼 $EF_{3(S)}$에서 관련된 배출계수를 입력하라;

단계 2B: (각 분뇨 처리 시스템 S 유형에 대하여, 시스템에서 관리되는 질소 총량에 의한 각 배출계수(칼럼 $EF_{3(S)}$)를 곱하라. 이것은 MMS당 직접 아산화질소(N_2O) 배출을 산정하기 위함이다. 산정된 배출을 아산화질소(N_2O) kg으로 보고해야 한다. 이 시트의 칼럼 $N_2O_{D(mm)}$결과를 입력하라.

단계 3: 분뇨 처리 시스템에서 간접 배출되는 아산화질소(N_2O)를 구하라(카테고리 *분뇨 처리에로부터의 간접적인 아산화질소(N_2O) 배출, Category code 3C6, Sheet 1 of 2* 를 보라). 각각의 MMS를 위한 여분의 워크시트를 준비하라.

단계 3A: 칼럼 $Frac_{GasMS}$에 기본 값(표 10.22를 보라)을 입력하라. 또는 각 MMS당 각각 정의된 가축 종/카테고리 T에 대하여 NH_3와 NO_x로 휘발되는 관리된 가축 분뇨 질소의 국가별 특성 분율을 결정하라;

단계 3B: NH_3와 NO_x($N_{volatilizations\text{-}MMS}$)의 휘발로 감소되는 비료 질소의 총량을 산정하기 위해 가축 카테고리(칼럼 NE_{MMS})당 각각의 MMS에서 배출된 질소 총량에 의한 NH_3와 NO_x(칼럼 $Frac_{GasMS}$)로 배출된 분뇨 질소 분율을 곱하라;

단계 3C: 기본 값(표 11.3, 11장, 11.2절 관리된 토양으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출을 보라)을 사용하라 또는 토양과 수계 표면적에 대한 질소의 대기 퇴적으로부터 간접 배출되는 아산화질소(N_2O)에 대한 국가별 고유 배출계수를 구하라. 그리고 칼럽 EF_4에 배출계수를 입력하라;

단계 3D: MMS당 연중 간접 배출 아산화질소(N_2O) 총량을 계산하기 위해, 배출계수(칼럽 EF_4)에 의한 NH_3와 NO_x(칼럼 $N_{volatilizations\text{-}MMS}$)의 휘발로 인해 감소되는 분뇨 질소의 총량을 곱하라. 배출은 아산화질소(N_2O) kg으로 산정되어야만 한다. 이 시트의 칼럼 $N_2O_{G(mm)}$에 결과를 입력하라.

단계 4: 분뇨 처리 시스템에서 사료, 연료 또는 건설 목적으로 사용되거나 토양에 적용하기 위해 가능한 분뇨 N 계산(카테고리 *분뇨 처리로부터의 간접적인 아산화질소(N_2O) 배출, Category code 3C6, Sheet 2 of 2*를 보라). 각 MMS에 대한 여분의 worksheet를 만들어라.

단계 4A: 칼럽 $Frac_{lossMS}$ 기본 값(표 10.23을 보라)을 입력하라 또는 각 가축종 /카테고리 T에 대한 각각의 MMS에서 관리된 분뇨로부터 감소되는 국가별 고유 총 질소 분율을 구하라 ($Frac_{lossMS}$);

단계 4B: 만약 두꺼운 깔짚 MMS나 토양 저장을 위해 가능한 유기물 깔짚 사용을 위한 나라별 고유 계수가 있다면, 동물당 깔짚에 N 용량에 의한 이 2가지 시스템과 관련한 동물 수를 곱한 것에 의한 깔집으로부터 N의 총량을 구하라. 칼럼 $N_{beddingMS}$에서 구한 결과를 입력하라;

단계 4C: 식 10.34를 이용하여 관리되는 토양, 먹이, 연료 또는 건설에 적용하기 위해 가능한 관리된 비료 N을 계산하고, 칼럼 N_{MMS_Avb}에서 얻은 결과를 입력하라. 그리고 모든 관리된 분뇨 처리 시스템의 모든 것을 합하라. 이 값은 관리된 토양으로부터 배출된 아산화질소(N_2O) 계산에 사용된다(부록 1의 worksheets를 보라).

첨부 10A.1 장내 발효에 대한 메탄 기본 배출계수의 기초가 되는 자료

이 첨분는 장내 발효로부터의 메탄 배출에 대한 기본 배출계수를 개발하는데 사용되는 자료를 나타낸다. Tier 2 방법이 소화 물소를 위한 기본 배출계수를 산정하기 위해서이 데이터와 함께 사용되었다.

표 10A.1
표 10.11에서 젖소에 대한 Tier 1의 장내 발효 CH_4 배출계수를 산정하기 위한 자료

지역	무게, kg	얻은 무게, kg day^{-1}	사육 상황	우유, kg day^{-1}	노동, hr day^{-1}	%임신	사료의 소화가능성(DE%)	CH_4 전환 계수(Y_m)
북 아메리카[a]	600	0	축사에서 길러진	23.0	0	90%	75%	6.5%
서 유럽	600	0	축사에서 길러진	16.4	0	90%	70%	6.5%
동 유럽[b]	550	0	축사에서 길러진	7.0	0	80%	60%	6.5%
오세아니아[c]	500	0	목장/방목	6.0	0	80%	60%	6.5%
라틴 아메리카[d]	400	0	목장/방목	2.2	0	80%	60%	6.5%
아시아[e]	350	0	축사에서 길러진	4.5	0	80%	60%	6.5%
아프리카&중동	275	0	축사에서 길러진	1.3	0	67%	60%	6.5%
인도아대륙[f]	275	0	축사에서 길러진	2.5	0	50%	55%	6.5%

[a] 미국에 대한 산정에 기초함
[b] 구소련에 대한 산정에 기초함
[c] 지역에 대한 평균 산정에 기초함
[d] 브라질에 대한 산정에 기초함
[e] 중국에 대한 산정에 기초함
[f] 인도에 대한 산정에 기초함
출처: Gibbs and Johnson (1993).

표 10A.2
표 10.11에서 다른 소에 대한 Tier 1의 장내 발효 CH_4 배출계수를 산정하기 위한 자료

하위카테고리	무게, kg	얻은 무게, kg day^{-1}	사육 상황	우유, kg day^{-1}	노동, hr day^{-1}	임신, %	사료의 소화가능성 (DE%)	CH_4 전환 계수 (Y_m)	개체군의 일일 증량, %	배출계수, kg CH_4 $head^{-1}$ yr^{-1}
북 아메리카[a]										
성숙한 암컷	500	0.0	목장/방목	3.3	0.0	80%	60%	6.5%	36%	76
성숙한 수컷	800	0.0	목장/방목	0.0	0.0	0%	60%	6.5%	2%	81
젖을 먹는 송아지	100	0.9	목장/방목	0.0	0.0	0%	NA	0.0%	16%	0
꼴을 먹는 송아지	185	0.9	목장/방목	0.0	0.0	0%	65%	6.5%	8%	48
자라고 있는 새끼를 낳아보지 않은 암송아지/수송아지	265	0.7	목장/방목	0.0	0.0	0%	65%	6.5%	17%	55
교체/성장	375	0.4	목장/방목	0.0	0.0	0%	60%	6.5%	11%	66
사육장 소	415	1.3	축사에서 길러진	0.0	0.0	0%	75%	3.0%	11%	33
서 유럽										
성숙한 수컷	600	0.0	목장/방목	0.0	0.0	0%	60%	6.5%	22%	66
교체/성장	400	0.4	목장/방목	0.0	0.0	0%	60%	6.5%	54%	73
젖을 먹는 송아지	230	0.3	목장/방목	0.0	0.0	0%	65%	0.0%	15%	0
꼴을 먹는 송아지	230	0.3	목장/방목	0.0	0.0	0%	65%	6.5%	8%	35
동 유럽[b]										
성숙한 암컷	500	0.0	목장/방목	3.3	0.0	67%	60%	6.5%	30%	75
성숙한 수컷	600	0.0	목장/방목	0.0	0.0	0%	60%	6.5%	22%	66
새끼	230	0.4	목장/방목	0.0	0.0	0%	60%	6.5%	48%	45
오세아니아[c]										
성숙한 암컷	400	0.0	목장/방목	2.4	0.0	67%	55%	6.5%	51%	71
성숙한 수컷	450	0.0	목장/방목	0.0	0.0	0%	55%	6.5%	11%	61
새끼	200	0.3	목장/방목	0.0	0.0	0%	55%	6.5%	38%	46

[a] 미국에 대한 산정에 기초함. [b] 구소련에 대한 산정에 기초함. [c] 지역에 대한 평균 산정에 기초함

표 10A.2 (계속)
표 10.11에서 다른 소에 대한 Tier 1의 장내 발효 CH_4 배출계수를 산정하기 위한 자료

하위카테고리	무게, kg	얻은 무게, kg day^{-1}	사육 상황	우유, kg day^{-1}	노동, hr day^{-1}	임신, %	사료의 소화가능성 (DE%)	CH_4 전환 계수 (Y_m)	개체군의 일일 증량, %	배출계수, kg CH_4 $head^{-1}$ yr^{-1}
라틴 아메리카[d]										
성숙한 암컷	400	0.0	큰 공간	1.1	0.0	67%	60%	6.5%	37%	64
성숙한 수컷	450	0.0	큰 공간	0.0	0.0	0%	60%	6.5%	6%	61
새끼	230	0.3	큰 공간	0.0	0.0	0%	60%	6.5%	58%	49
아시아[e]										
성숙한 암컷-농업용	325	0.0	축사에서 길러진	1.1	0.55	33%	55%	6.5%	27%	50
성숙한 암컷-방목용	300	0.0	목장/방목	1.1	0.00	50%	60%	6.5%	9%	46
성숙한 수컷-농업용	450	0.0	축사에서 길러진	0.0	1.37	0%	55%	6.5%	24%	59
성숙한 수컷-방목용	400	0.0	목장/방목	0.0	0.00	0%	60%	6.5%	8%	48
새끼	200	0.2	목장/방목	0.0	0.00	0%	60%	6.5%	32%	36
아프리카										
성숙한 암컷	200	0.0	축사에서 길러진	0.3	0.55	33%	55%	6.5%	13%	32
노동용 거세한 소	275	0.0	축사에서 길러진	0.0	1.37	0%	55%	6.5%	13%	41
성숙한 암컷-방목용	200	0.0	큰 공간	0.3	0.00	33%	55%	6.5%	6%	41
황소-방목용	275	0.0	큰 공간	0.0	0.00	0%	55%	6.5%	25%	49
새끼	75	0.1	목장/방목	0.0	0.00	0%	60%	6.5%	44%	16
인도아대륙[f]										
성숙한 암컷	125	0.0	축사에서 길러진	0.6	0.00	33%	50%	6.5%	40%	28
성숙한 수컷	200	0.0	축사에서 길러진	0.0	2.74	0%	50%	6.5%	10%	42
생끼	80	0.1	축사에서 길러진	0.0	0.00	0%	50%	6.5%	50%	23

a 브라질에 대한 산정에 기초함. e 중국에 대한 산정에 기초함 f 인도에 대한 산정에 기초함. 출처: Gibbs and Johnson(1993)

표 10A.3
물소에 대한 Tier 1의 장내 발효 CH_4 배출계수를 산정하기 위한 자료

하위카테고리	무게, kg	얻은 무게, kg day^{-1}	사육 상황	우유, kg day^{-1}	노동, hr day^{-1}	%임신	사료의 소화가능성 (DE%)	CH_4 전환 계수 (Y_m)	개체군의 일일 증량, %	배출계수, kg CH_4 $head^{-1}$ yr^{-1}
인디아대륙[a]										
다 큰 수컷	350-550	0.00	축사에서 길러진	0.00	1.37	0%	55%	6.5%	14%	55-77
다 큰 암컷	250-450	0.00	축사에서 길러진	2.70	0.55	33%	55%	6.5%	40%	57-80
새끼	100-300	0.15	축사에서 길러진	0.00	0.00	0%	55%	6.5%	46%	23-50
다른 국가[b]										
다 큰 수컷	350-550	0.00	축사에서 길러진	0.00	1.37	0%	55%	6.5%	45%	55-77
다 큰 암컷	250-450	0.00	축사에서 길러진	0.00	0.55	25%	55%	6.5%	45%	45-67
새끼	100-300	0.15	축사에서 길러진	0.15	0.00	0%	55%	6.5%	10%	23-50

[a] 인도에 대한 산정에 기초함
[b] 중국에 대한 산정에 기초함
출처: Gibbs and Johnson (1993).

첨부 10A.2 분뇨 처리에 대한 메탄 기본 배출계수의 기초가 되는 자료

이 첨부는 분뇨 처리로부터의 메탄 배출에 대한 기본 배출계수를 개발하는데 사용되는 자료를 나타낸다. 각각의 가축 카테고리에 대한 기본 배출계수를 산정하기 위해서 이 자료와 함께 Tier 2 방법이 이행되었다.

표 10A-4
젖소[a]에 대한 분뇨 처리 메탄 배출계수 유도

연 평균 기온(℃)		분뇨 처리 시스템 MCFs								
		Lagoon[1]	액체/슬러리	고체 저장	건조 부지	목장/방목/작은 방목장	일간 살포	소화조	연료로서 태워짐	기타
한대	10	66%	17%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	11	68%	19%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	12	70%	20%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	13	71%	22%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	14	73%	25%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
온대	15	74%	27%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	16	75%	29%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	17	76%	32%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	18	77%	35%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	19	77%	39%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	20	78%	42%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5v	10.0%	10.0%	1.0%
	21	78%	46%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	22	78%	50%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	23	79%	55%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	24	79%	60%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	25	79%	65%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
열대	26	79%	71%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	27	80%	78%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	28	80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%

지역	젖소 특성			분뇨 처리 시스템 용법(MS%)								
	질량[a] kg	B_0[b] m^3 CH_4/kg VS	VS[c] kg/hd/day									
북 아메리카[d]	604	0.24	5.4	15.0%	27.0%	26.3%	0.0%	10.8%	18.4%	0.0%	0.0%	2.6%
서 유럽	600	0.24	5.1	0.0%	35.7%	36.8%	0.0%	20.0%	7.0%	0.0%	0.0%	0.5%
동 유럽	550	0.24	4.5	0.0%	17.5%	60.0%	0.0%	18.0%	2.5%	0.0%	0.0%	2.0%
오세아니아	500	0.24	3.5	16.0%	1.0%	0.0%	0.0%	76.0%	8.0%	0.0%	0.0%	0.0%
라틴 아메리카	400	0.13	2.9	0.0%	1.0%	1.0%	0.0%	36.0%	62.0%	0.0%	0.0%	0.0%
아프리카	275	0.13	1.9	0.0%	0.0%	1.0%	0.0%	83.0%	5.0%	0.0%	6.0%	4.0%
중동	275	0.13	1.9	0.0%	1.0%	2.0%	0.0%	80.0%	2.0%	0.0%	17.0%	0.0%
아시아	350	0.13	2.8	4.0%	38.0%	0.0%	0.0%	20.0%	29.0%	2.0%	7.0%	0.0%
인도아대륙	275	0.13	2.6	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	27.0%	19.0%	1.0%	51.0%	0.0%

[a] 가각의 지역에 대한 평균 젖소 질량(기본 산정은 ±10%)

[b] B_0 산정은 ±15%

[c] 평균 젖소에 대한 일당, 두당, 평균 VS 생산(기본 산정은 ±20%)

[d] 북 아메리카에 대해 "다른"분뇨 처리 시스템 MCFs는 액체/슬러리와 같은 MCF 값을 갖는 깊은 구덩이를 나타낸다.

각각의 지역에 대한 배출계수(EF)는 식 10.23에 기초하여 계산되었다.

[1] lagoon과 액체/슬러리 MCFs는 생물학적 활동에 대한 온도와 관계있는 van't Hoff-Arrhenius 식에 기초하여 계산되었다. lagoon MCFs는 또한 더 긴(일년까지) 저류 시간에 기초하여 계산되었다.[Mangino, et. al(2001]

출처: 북 아메리카에 대해 젖소 질량 값은 Safley(2000)에서 VS 값은 Petersen et. al(2003)으로부터의 사료 자료의 분석에 기초하여 산정되었다. 북아메리카 분뇨 처리 시스템 용법 값은 1992, 1997 USDA의 Census of Agriculture and National Animal health Monitoring System Reports로부터의 자료를 사용하여 산정했다. B_0 값은 Morris(1976)과 Bryant et. al.(1976)에서 얻었다. 서부와 동부 유럽에 대해서 분뇨 처리 시스템 용법, 질량, VS 값은 UNFCCC 사무국에 2004년 제출된 부속서 1국가의 국가 온실가스 인벤토리의 분석에 기초한다. 세계의 나머지에 대한 젖소에 대한 자세한 정보는 Gibbs and Johnson(1993)에서 개발되었고 분뇨 처리 시스템 용법과 $B_{0\ 산정}$은 Safely et al(1992)로부터 왔다. 메탄 전환 계수는 Woodbury and hashimoto(1993)으로부터의 자료이다. lagoon과 액체/슬러리 시스템에 대한 MCFs는 미국의 이러한 시스템의 분석으로부터 획득하였다.

배출계수
kg CH_4 per head per year

한대					온대											열대		
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
48	50	53	55	58	63	65	68	71	74	78	81	85	89	93	98	105	110	112
21	23	25	27	29	34	37	40	43	47	51	55	59	64	70	75	83	90	92
11	12	13	14	15	20	21	22	23	25	27	28	30	33	35	37	42	45	46
23	24	25	26	26	27	28	28	28	29	29	29	29	29	30	30	31	31	31
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
9	10	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	22	23	24	26	28	31	31
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6

표 10A-5
다른 소에 대한 분뇨 처리 메탄 배출계수 유도

연 평균 기온(℃)		분뇨 처리 시스템 MCFs								
		lagoon[1]	액체/슬러리	고체 저장	건조 부지	목장/방목/작은 방목장	일간 살포	소화조	연료로서 태워짐	기타
한대	10	66%	17%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	11	68%	19%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	12	70%	20%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	13	71%	22%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	14	73%	25%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
온대	15	74%	27%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	16	75%	29%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	17	76%	32%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	18	77%	35%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	19	77%	39%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	20	78%	42%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5v	10.0%	10.0%	1.0%
	21	78%	46%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	22	78%	50%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	23	79%	55%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	24	79%	60%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	25	79%	65%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
열대	26	79%	71%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	27	80%	78%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	28	80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%

지역	다른 소 특성 묘사			분뇨 처리 시스템 용법(MS%)								
	질량[a] kg	B_0[b] m^3 CH_4/kg VS	VS[c] kg/hd/day									
북 아메리카	389	0.19	2.4	0.0%	0.2%	0.0%	18.4%	81.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
서 유럽	420	0.18	2.6	0.0%	25.2%	39.0%	0.0%	32.0%	1.8%	0.0%	0.0%	2.0%
동 유럽	391	0.17	2.7	0.0%	22.5%	44.0%	0.0%	20.3%	0.0%	0.0%	0.0%	13.5%
오세아니아	330	0.17	3.0	0.0%	0.0%	0.0%	9.0%	91.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
라틴 아메리카	305	0.1	2.5	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	99.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%
아프리카	173	0.1	1.5	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	95.0%	1.0%	0.0%	3.0%	0.0%
중동	173	0.1	1.5	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	79.0%	2.0%	0.0%	17.0%	2.0%
아시아	319	0.1	2.3	0.0%	0.0%	0.0%	46.0%	50.0%	2.0%	0.0%	2.0%	0.0%
인도아대륙	110	0.1	1.4	0.0%	1.0%	0.0%	4.0%	22.0%	20.0%	0.1%	53.0%	0.0%

[a] 가각의 지역에 대한 평균 다른 소 질량(기본 산정은 ±25%)

[b] B_0 산정은 ±15%

[c] 평균 젖소가 아닌 소에 대한 일당, 두당, 평균 VS 생산(기본 산정은 ±35%)

각각의 지역에 대한 배출계수(EF)는 식 10.23에 기초하여 계산되었다.

[1] lagoon과 액체/슬러리 MCFs는 생물학적 활동에 대한 온도와 관계있는 van't Hoff-Arrhenius 식에 기초하여 계산되었다. lagoon MCFs는 또한 더 긴(일년까지) 저류 시간에 기초하여 계산되었다.[Mangino, et. al(2001]

출처: 북 아메리카에 대해 젖소 질량 값은 Safley(2000)에서 VS 값은 Petersen et. al(2003)으로부터의 사료 자료의 분석에 기초하여 산정되었다. 북아메리카 분뇨 처리 시스템 용법 값은 1992, 1997 USDA의 Census of Agriculture and National Animal health Monitoring System Reports로부터의 자료를 사용하여 산정했다. B_0 값은 Morris(1976)과 Bryant et. al.(1976)에서 얻었다. 서부와 동부 유럽에 대해서 분뇨 처리 시스템 용법, 질량, VS 값은 UNFCCC 사무국에 2004년 제출된 부속서 1국가의 국가 온실가스 인벤토리의 분석에 기초한다. 세계의 나머지에 대한 젖소에 대한 자세한 정보는 Gibbs and Johnson(1993)에서 개발되었고 분뇨 처리 시스템 용법과 B_0 산정은 Safely et al(1992)로부터 왔다. 메탄 전환 계수는 Woodbury and hashimoto(1993)으로부터의 자료이다. lagoon과 액체/슬러리 시스템에 대한 MCFs는 미국의 이러한 시스템의 분석으로부터 획득하였다.

배출계수
kg CH_4 per head per year

한대					온대											열대		
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	7	7	8	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	24	25	26
6	6	7	7	8	9	10	11	11	12	13	14	15	16	18	19	21	23	23
1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

표 10A-6
물소에 대한 분뇨 처리 메탄 배출계수 유도

연 평균 기온(℃)		분뇨 처리 시스템 MCFs								
		lagoon[1]	액체/슬러리	고체 저장	건조 부지	목장/방목/작은 방목장	일간 살포	소화조	연료로서 태워짐	기타
한대	10	66%	17%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	11	68%	19%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	12	70%	20%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	13	71%	22%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	14	73%	25%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
온대	15	74%	27%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	16	75%	29%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	17	76%	32%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	18	77%	35%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	19	77%	39%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	20	78%	42%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5v	10.0%	10.0%	1.0%
	21	78%	46%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	22	78%	50%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	23	79%	55%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	24	79%	60%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	25	79%	65%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
열대	26	79%	71%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	27	80%	78%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	28	80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%

지역	물소 특성 묘사			분뇨 처리 시스템 용법(MS%)								
	질량[a] kg	B_0 m^3 CH_4/kg VS	VSb kg/hd/day									
북 아메리카	사용 불가능			사용 불가능								
서 유럽	380	0.1	3.9	0%	20%	0%	79%	0%	0%	0%	0%	0%
동 유럽	380	0.1	3.9	0%	24%	0%	0%	29%	0%	0%	0%	47%
오세아니아	사용 불가능			사용 불가능								
라틴 아메리카	380	0.1	3.9	0%	0%	0%	0%	99%	0%	0%	0%	1%
아프리카	사용 불가능			사용 불가능								
중동	380	0.1	3.9	0%	0%	0%	0%	20%	19%	0%	42%	19%
아시아	380	0.1	3.9	0%	0%	0%	41%	50%	4%	0%	5%	0%
인도아대륙	295	0.1	3.1	0%	0%	0%	4%	19%	21%	1%	55%	0%

[a] 가각의 지역에 대한 평균 물소 질량
[b] 평균 물소에 대한 일당, 두당, 평균 VS 생산

각각의 지역에 대한 배출계수(EF)는 식 10.23에 기초하여 계산되었다.

[1] lagoon과 액체/슬러리 MCFs는 생물학적 활동에 대한 온도와 관계있는 van't Hoff-Arrhenius 식에 기초하여 계산되었다. lagoon MCFs는 또한 더 긴(일년까지) 저류 시간에 기초하여 계산되었다.[Mangino, et. al(2001]

출처: 물소에 대한 자세한 정보는 Gibbs and Johnson(1993)에서 개발되었고 분뇨 처리 시스템 용법과 B_0은 Safley et al(1992)에서 왔다. 메탄 전환 계수 자료는Woodbury와 Hashimoto(1993)에서 얻었다. lagoon과 액체/슬러리에 대한 MCFs는 미국의 이런 시스템의 분석으로부터 얻었다.

배출계수
kg CH_4 per head per year

한대					온대											열대		
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
사용 불가능																		
4	4	5	5	5	6	7	7	8	9	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5	5	5	6	6	7	8	8	9	10	11	11	12	13	15	16	17	19	19
사용 불가능																		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
사용 불가능																		
4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

표 10A-7
판매용 돼지에 대한 분뇨 처리 메탄 배출계수 유도

연 평균 기온(℃)		분뇨 처리 시스템 MCFs								
		lagoon[1]	액체/슬러리	고체 저장	건조 부지	목장/방목/작은 방목장	일간 살포	소화조	연료로서 태워짐	기타
한대	10	66%	17%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	11	68%	19%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	12	70%	20%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	13	71%	22%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	14	73%	25%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
온대	15	74%	27%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	16	75%	29%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	17	76%	32%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	18	77%	35%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	19	77%	39%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	20	78%	42%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5v	10.0%	10.0%	1.0%
	21	78%	46%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	22	78%	50%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	23	79%	55%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	24	79%	60%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	25	79%	65%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
열대	26	79%	71%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	27	80%	78%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	28	80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%

지역	판매용 돼지 특성 묘사			분뇨 처리 시스템 용법(MS%)								
	질량[a] kg	B_0[b] m^3 CH_4/kg VS	VS[c] kg/hd/day									
북 아메리카	46	0.48	0.27	32.8%	18.5%	4.2%	4.0%	0.0%	40.6%	0.0%	0.0%	0.0%
서 유럽	50	0.45	0.3	8.7%	0.0%	13.7%	0.0%	2.8%	69.8%	2.0%	0.0%	3.0%
동 유럽	50	0.45	0.3	3.0%	0.0%	42.0%	0.0%	24.7%	24.7%	0.0%	0.0%	5.7%
오세아니아	45	0.45	0.28	54.0%	0.0%	3.0%	15.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	28.0%
라틴 아메리카	28	0.29	0.3	0.0%	8.0%	10.0%	41.0%	0.0%	0.0%	2.0%	0.0%	40.0%
아프리카	28	0.29	0.3	0.0%	6.0%	6.0%	87.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
중동	28	0.29	0.3	0.0%	14.0%	0.0%	69.0%	0.0%	17.0%	0.0%	0.0%	0.0%
아시아	28	0.29	0.3	0.0%	40.0%	0.0%	54.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.0%	0.0%
인도아대륙	28	0.29	0.3	9.0%	22.0%	16.0%	30.0%	3.0%	0.0%	9.0%	8.0%	3.0%

[a] 가각의 지역에 대한 평균 판매용 돼지 질량(기본 산정은 ±20%)

[b] B_0 산정은 ±15%

[c] 평균 판매용 돼지에 대한 일당, 두당, 평균 VS 생산(기본 산정은 ±25%)

각각의 지역에 대한 배출계수(EF)는 식 10.23에 기초하여 계산되었다.

[1] lagoon과 액체/슬러리 MCFs는 생물학적 활동에 대한 온도와 관계있는 van't Hoff-Arrhenius 식에 기초하여 계산되었다. lagoon MCFs는 또한 더 긴(일년까지) 저류 시간에 기초하여 계산되었다.[Mangino, et. al(2001]

출처: 북 아메리카에 대해 젖소 질량 값은 Safley(2000)에서 VS 값은 Petersen et. al(2003)으로부터의 사료 자료의 분석에 기초하여 산정되었다. 북아메리카 분뇨 처리 시스템 용법 값은 1992, 1997 USDA의 Census of Agriculture and National Animal health Monitoring System Reports로부터의 자료를 사용하여 산정했다. B_o 값은 Morris(1976)과 Bryant et. al.(1976)에서 얻었다. 서부와 동부 유럽에 대해서 분뇨 처리 시스템 용법, 질량, VS 값은 UNFCCC 사무국에 2004년 제출된 부속서 1국가의 국가 온실가스 인벤토리의 분석에 기초한다. 세계의 나머지에 대한 젖소에 대한 자세한 정보는 Gibbs and Johnson(1993)에서 개발되었고 분뇨 처리 시스템 용법과 B_o 산정은 Safely et al(1992)로부터 왔다. 메탄 전환 계수는 Woodbury and hashimoto(1993)으로부터의 자료이다. lagoon과 액체/슬러리 시스템에 대한 MCFs는 미국의 이러한 시스템의 분석으로부터 획득하였다.

배출계수
kg CH_4 per head per year

한대					온대											열대		
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
10	11	11	12	12	13	13	14	15	15	16	17	18	18	19	20	22	23	23
6	6	7	7	8	9	9	10	11	11	12	13	14	15	16	18	19	21	21
3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	10	10	10
11	11	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6
2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	7	7
2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6

표 10A-8
번식용 돼지에 대한 분뇨 처리 메탄 배출계수 유도

연 평균 기온(℃)		분뇨 처리 시스템 MCFs								
		lagoon[1]	액체/슬러리	고체 저장	건조 부지	목장/방목/작은 방목장	일간 살포	소화조	연료로서 태워짐	기타
한대	10	66%	17%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	11	68%	19%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	12	70%	20%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	13	71%	22%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
	14	73%	25%	2.0%	1.0%	1.0%	0.1%	10.0%	10.0%	1.0%
온대	15	74%	27%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	16	75%	29%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	17	76%	32%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	18	77%	35%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	19	77%	39%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	20	78%	42%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5v	10.0%	10.0%	1.0%
	21	78%	46%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	22	78%	50%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	23	79%	55%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	24	79%	60%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
	25	79%	65%	4.0%	1.5%	1.5%	0.5%	10.0%	10.0%	1.0%
열대	26	79%	71%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	27	80%	78%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%
	28	80%	80%	5.0%	2.0%	2.0%	1.0%	10.0%	10.0%	1.0%

지역	번식용 돼지 특성 묘사			분뇨 처리 시스템 용법(MS%)								
	질량[a] kg	B_0[b] m^3 CH_4/kg VS	VS[c] kg/hd/day									
북 아메리카	198	0.48	0.5	32.8%	18.5%	4.2%	4.0%	0.0%	40.6%	0.0%	0.0%	0.0%
서 유럽	198	0.45	0.46	8.7%	0.0%	13.7%	0.0%	2.8%	69.8%	2.0%	0.0%	3.0%
동 유럽	180	0.45	0.5	3.0%	0.0%	42.0%	0.0%	24.7%	24.7%	0.0%	0.0%	5.7%
오세아니아	180	0.45	0.5	54.0%	0.0%	3.0%	15.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	28.0%
라틴 아메리카	28	0.29	0.3	0.0%	8.0%	10.0%	41.0%	0.0%	0.0%	2.0%	0.0%	40.0%
아프리카	28	0.29	0.3	0.0%	6.0%	6.0%	87.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
중동	28	0.29	0.3	0.0%	14.0%	0.0%	69.0%	0.0%	17.0%	0.0%	0.0%	0.0%
아시아	28	0.29	0.3	0.0%	40.0%	0.0%	54.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.0%	0.0%
인도아대륙	28	0.29	0.3	9.0%	22.0%	16.0%	30.0%	3.0%	0.0%	9.0%	8.0%	3.0%

[a] 가각의 지역에 대한 평균 번식용 돼지 질량(기본 산정은 ±20%)

[b] B_0 산정은 ±15%

[c] 평균 번식용 돼지에 대한 일당, 두당, 평균 VS 생산(기본 산정은 ±25%)

각각의 지역에 대한 배출계수(EF)는 식 10.23에 기초하여 계산되었다.

[1] lagoon과 액체/슬러리 MCFs는 생물학적 활동에 대한 온도와 관계있는 van't Hoff-Arrhenius 식에 기초하여 계산되었다. lagoon MCFs는 또한 더 긴(일년까지) 저류 시간에 기초하여 계산되었다.[Mangino, et. al(2001]

출처: 북 아메리카에 대해 젖소 질량 값은 Safley(2000)에서 VS 값은 Petersen et. al(2003)으로부터의 사료 자료의 분석에 기초하여 산정되었다. 북아메리카 분뇨 처리 시스템 용법 값은 1992, 1997 USDA의 Census of Agriculture and National Animal health Monitoring System Reports로부터의 자료를 사용하여 산정했다. B_o 값은 29Morris(1976)과 Bryant et. al.(1976)에서 얻었다. 서부와 동부 유럽에 대해서 분뇨 처리 시스템 용법, 질량, VS 값은 UNFCCC 사무국에 2004년 제출된 부속서 1국가의 국가31 온실가스 인벤토리의 분석에 기초한다. 세계의 나머지에 대한 젖소에 대한 자세한 정보는 Gibbs and Johnson(1993)에서 개발되었고 분뇨 처리 시스템 용법과 B_o 산정은32 Safely et al(1992)로부터 왔다. 메탄 전환 계수는 Woodbury and hashimoto(1993)으로부터의 자료이다. lagoon과 액체/슬러리 시스템에 대한 MCFs는 미국의 이러한 시34스템의 분석으로부터 획득하였다.

배출계수
kg CH_4 per head per year

한대					온대											열대		
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	31	32	34	35	37	39	41	44	45
9	10	10	11	12	13	14	15	16	17	19	20	22	23	25	27	29	32	33
4	5	5	5	5	6	7	7	7	8	8	9	9	10	11	12	16	17	17
20	20	21	21	22	22	23	23	23	23	23	24	24	24	24	24	24	24	24
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6
2	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6	7	7
2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	6	6	6

표 10A-9

분뇨 처리 메탄 배출계수 유도

동물			양		염소		낙타		말		노새/당나귀		가금류					
국가			선진국	개도국	선진국	개도국	선진국	개도국	선진국	개도국	선진국	개도국	선진국					개도국
													layers(건조)	layers(습윤)	계사육	조 천면	오리	
동물 특성																		
		질량(kg)	48.5	28	38.5	30	217	217	377	128	130	130	1.8	1.8	0.9	6.8	2.7	NR
		소화(%)	0.60	0.5	0.6	0.58	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		섭취량/d (kg 사료)	1.08	0.7	0.76	0.76	5.42	5.42	5.96	5.96	3.25	3.25	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		% Ash (건조)	8.00	8	8	8	8	8	4	4	4	4	NR	NR	NR	NR	NR	NR
		VS/day(kg VS)	0.40	0.32	0.3	0.35	2.49	2.49	2.13	1.72	0.94	0.94	0.02	0.02	0.01	0.07	0.02	0.02
		B_0 (m^3/kg VS)	0.19	0.13	0.18	0.13	0.26	0.21	0.3	0.26	0.33	0.26	0.39	0.39	0.36	0.36	0.36	0.24
분뇨 처리 시스템 MCFs																		
연 평균 온도(℃)	**한대**	10	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.5%	65%	1.5%	1.5%	1.0%	1.0%
		11	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.5%	68%	1.5%	1.5%	1.0%	1.0%
		12	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.5%	70%	1.5%	1.5%	1.0%	1.0%
		13	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.5%	73%	1.5%	1.5%	1.0%	1.0%
		14	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.5%	74%	1.5%	1.5%	1.0%	1.0%
	온대	15	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	75%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
		16	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	76%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
		17	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	76%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
		18	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	77%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
		19	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	78%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
		20	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	78%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
		21	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	78%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
		22	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	78%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
		23	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	79%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
		24	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	79%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
		25	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%	80%	1.5%	1.5%	1.5%	1.5%
	열대	26	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	1.5%	80%	1.5%	1.5%	2.0%	2.0%
		27	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	1.5%	80%	1.5%	1.5%	2.0%	2.0%
		28	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	2.0%	1.5%	80%	1.5%	1.5%	2.0%	2.0%
연 평균 온도(℃)	**한대**	10	0.19	0.10	0.13	0.11	1.58	1.28	1.56	1.09	0.76	0.60	0.03	1.13	0.02	0.09	0.02	0.01
		11	0.19	0.10	0.13	0.11	1.58	1.28	1.56	1.09	0.76	0.60	0.03	1.13	0.02	0.09	0.02	0.01
		12	0.19	0.10	0.13	0.11	1.58	1.28	1.56	1.09	0.76	0.60	0.03	1.13	0.02	0.09	0.02	0.01
		13	0.19	0.10	0.13	0.11	1.58	1.28	1.56	1.09	0.76	0.60	0.03	1.13	0.02	0.09	0.02	0.01
		14	0.19	0.10	0.13	0.11	1.58	1.28	1.56	1.09	0.76	0.60	0.03	1.13	0.02	0.09	0.02	0.01
	온대	15	0.28	0.15	0.20	0.17	2.37	1.92	2.34	1.64	1.14	0.90	0.03	1.30	0.02	0.09	0.03	0.02
		16	0.28	0.15	0.20	0.17	2.37	1.92	2.34	1.64	1.14	0.90	0.03	1.30	0.02	0.09	0.03	0.02
		17	0.28	0.15	0.20	0.17	2.37	1.92	2.34	1.64	1.14	0.90	0.03	1.30	0.02	0.09	0.03	0.02
		18	0.28	0.15	0.20	0.17	2.37	1.92	2.34	1.64	1.14	0.90	0.03	1.30	0.02	0.09	0.03	0.02
		19	0.28	0.15	0.20	0.17	2.37	1.92	2.34	1.64	1.14	0.90	0.03	1.30	0.02	0.09	0.03	0.02
		20	0.28	0.15	0.20	0.17	2.37	1.92	2.34	1.64	1.14	0.90	0.03	1.30	0.02	0.09	0.03	0.02
		21	0.28	0.15	0.20	0.17	2.37	1.92	2.34	1.64	1.14	0.90	0.03	1.30	0.02	0.09	0.03	0.02
		22	0.28	0.15	0.20	0.17	2.37	1.92	2.34	1.64	1.14	0.90	0.03	1.30	0.02	0.09	0.03	0.02
		23	0.28	0.15	0.20	0.17	2.37	1.92	2.34	1.64	1.14	0.90	0.03	1.30	0.02	0.09	0.03	0.02
		24	0.28	0.15	0.20	0.17	2.37	1.92	2.34	1.64	1.14	0.90	0.03	1.30	0.02	0.09	0.03	0.02
		25	0.28	0.15	0.20	0.17	2.37	1.92	2.34	1.64	1.14	0.90	0.03	1.30	0.02	0.09	0.03	0.02
	열대	26	0.37	0.20	0.26	0.22	3.17	2.56	3.13	2.19	1.52	1.20	0.03	1.38	0.02	0.09	0.03	0.02
		27	0.37	0.20	0.26	0.22	3.17	2.56	3.13	2.19	1.52	1.20	0.03	1.38	0.02	0.09	0.03	0.02
		28	0.37	0.20	0.26	0.22	3.17	2.56	3.13	2.19	1.52	1.20	0.03	1.38	0.02	0.09	0.03	0.02

NR = 보고되지 않음
가금류에 대한 것을 제외한 배출계수는 사료 섭취량 값과 장내 발효 배출계수를 개발하는데 사용되는 소화가능성으로부터 개발되었다(부록 10A.1을 보라). MCFs와 B_0 값은 Woodbury and Hashimoto(1993)에 보고되어 있다. layers(습윤)을 제외한 모든 분뇨는 Woodbury and Hashimoto(1993)에서 보고된 분뇨 처리 시스템 용법과 일관성 있는건조 시스템에서 관리되었다고 가정되었다. 선진국을 위한 가금류는 다 섯개의 카테고리로 나누어졌다. layers(건조)는 "깔개 없는" layer를 나타낸다; layers(습윤)은 혐기성 lagoon 폐기물 관리 시스템에 있는 layer를 나타낸다.
동물 질량의 산정은 ±30%, VS 값은 ±50%, B_0 값은 ±15%

표 10A-9 (계속)
다른 동물에 대한 분뇨 처리 메탄 배출계수 유도

동물	동물 특성			분뇨 처리 시스템 MCF	배출계수(kg CH_4 $head^{-1}yr^{-1}$
	질량(kg)	VS(kg VS day^{-1})	$B_0(m^3$ kg VS)		
사슴[a]	NR	NR	NR	NR	0.22
순록[b]	NR	0.39	0.19	2.0%	0.36
토끼[c]	1.60	0.10	0.32	1.0%	0.08
털이 있는 동물[b]	NR	0.14	0.25	8.0%	0.68
타조[b]	NR	1.16	0.25	8.0%	5.67

[a] Sneath(1997)은 UK의 온실가스 인벤토리에서 인용되었다.
[b] 노르웨이 농업 대학, 화학과 생명공학과, 미생물학 전공의 산정
[c] 2004년 이탈리아 온실가스 인벤토리로부터 획득한 자료
NR = 보고되지 않음

참고문헌

10.2절 가축 개체수와 사료 특성 묘사

AAC (Australian Agricultural Council) (1990). Feed Standards for Australian Livestock Ruminants. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO) Publications, East elbourne, Victoria, Australia.

AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients (1990). Nutritive Requirements of Ruminant Animals:Energy. Rep. 5, CAB International, Wallingford, U.K.

Agricultural and Food Research Council (AFRC) Technical Committee on Responses to Nutrients (1993). Energy and Protein Requirements of Ruminants. 24-159, CAB International, Wallingford, U.K.

Bamualim, A. and Kartiarso (1985). 'Nutrition of draught animals with special reference to Indonesia.' In: Draught Animal Power for Production. J.W. Copland (ed.). Australian Centre for International agricultural Research (ACIAR), Proceedings Series No. 10. ACIAR, Canberra, A.C.T., Australia.

Food and Agriculture Organisation (FAO) (1999). Statistical Database.

Gibbs, M.J. and Johnson, D.E. (1993). "Livestock Emissions." In: International Methane Emissions, US Environmental Protection Agency, Climate Change Division, Washington, D.C., U.S.A.

Gibbs, M.J., Conneely, D., Johnson, D., Lassey, K.R. and Ulyatt, M.J. (2002). CH4 emissions from enteric fermentation. In: Background Papers: IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, p 297 320. IPCC-NGGIP, Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Kanagawa, Japan.

Ibrahim, M.N.M. (1985). 'Nutritional status of draught animals in Sri Lanka.' In: Draught Animal Power for Production, J.W. Copland (ed.). ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research) Proceedings Series No. 10. ACIAR, Canberra, A.C.T., Australia.

Jurgen, M.H. (1988). Animal Feeding and Nutrition, Sixth Edition, Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, U.S.A.

Lawrence, P.R. (1985). 'A review of nutrient requirements of draught oxen.' In: Draught Animal Power for Production. J.W. Copland (ed.). ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research) Proceedings Series No. 10. ACIAR, Canberra, A.C.T., Australia.

National Research Council (NRC) (1984). Nutrient Requirements of Beef Cattle, National Academy Press, Washington, D.C. U.S.A.

NRC (1989). Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 6 th , National Academy Press, Washington, D.C. U.S.A.

NRC (1996). Nutrient Requirements of Beef Cattle, National Academy Press, Washington, D.C. U.S.A.

NRC (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7 th Ed., Nat. Acad. Press, Washington, DC.

10.3절 국내 가축 장내 발효에 의한 메탄 배출량

Clark, H., Brookes, I. and Walcroft, A. (2003). Enteric methane emissions from New Zealand ruminants 1999-2001 calculated using an IPCC Tier2 approach. http://www.climatechange.govt.nz/resources/reports/nir-apr03/.

Crutzen, P.J., Aselmann, I. and Seiler, W. (1986). "Methane Production by Domestic Animals, Wild Ruminants, Other Herbivorous Fauna, and Humans," Tellus 38B:271-284.

Diarra, B. (1994). Net energy value of soybean hulls as feed for sheep. Dissertation. Colorado State University, Ft Collins, CO.

Donovan, K. and Baldwin, L. (1999). Results of the AAMOLLY model runs for the Enteric Fermentation Model. University of California, Davis.

Hindrichsen, I., Kreuzer, M., Machmuller, A., Knudsen, K. E., Madsen, J. and Wettstein, H.R. (2003). Methane release and energy expenditure of dairy cows fed concentrates characterized by different carbohydrates. In: Prog. in Res. En. & Prot. Metabol. (Souffrant, W.B, and CC. Metges, eds.) Wageningen Acad. Pub, The Netherlands, EAAP Publ. 109:413-416.

Johnson, K., Huyler, M., Westberg, H., Lamb, B. and Zimmerman, P. (1994). Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF6 tracer technique. Environmental. Sci. Tech., 28: 359-362.

Johnson, K.A. and Johnson, D.E. (1995). Methane emissions from cattle. J. Anim. Sci., 73: 2483-2492.

Judd, M.J., Kelliher, F.M., Ulyatt, M.J., Lassey, K.R., Tate, K.R., Shelton, I.D., Harvey, M.J. and Walker, C.F. (1999). Net methane emissions from grazing sheep, Global Change Biol., 5, pp. 647 657.

Kujawa, M. (1994). Energy partitioning in steers fed cottonseed hulls or sugar beet pulp. Dissertation, Colorado State University, Ft Collins, CO.

Kurihara, M., Magner, T., Hunter, R.A. and McCrabb, G.J. (1999). Methane production and energy partition of cattle in the tropics. British Journal of Nutrition, 81, pp. 227-234.

Lassey, K.R. (2006). Livestock methane emission: from the individual grazing animal through national inventories to the global methane cycle. Agric. For. Meteorol. (in press).

Lassey, K.R., Ulyatt, M.J., Martin, R.J., Walker, C.F. and Shelton, I.D. (1997). Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand, Atmos. Environ., 31, pp. 2905-2914.

Leuning, R., Baker, S.K., Jamie, I.M., Hsu, C.H., Klein, L., Denmead, O.T. and Griffith, D.W.T. (1999). Methane emission from free-ranging sheep: a comparison of two measurement methods, Atmos. Environ., 33, pp. 1357 – 1365.

Murray, B.R., Bryant, A.M. and Leng, R.A. (1978). Methane production in the rumen and lower gut of sheep given lucerne chaff: effect of level of intake, Br. J. Nutr., 39, pp. 337-345.

National Research Council (NRC) (1989). Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 6 th Ed., Nat. Acad. Press, Washington, DC.

National Research Council (NRC) (1996). Nutrient Requirements of Beef Cattle, 7 th Edit., Nat. Acad. Press, Washington, DC.

National Research Council (NRC) (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7 th Ed., Nat. Acad. Press, Washington, DC.

Pinares-Patino, C.S., Ulyatt, M.J., Waghorn, G.C., Lassey, K.R., Barry, T.N., Holmes, C.W. and Johnson, D.E. (2003). Methane emission by alpaca and sheep fed on Lucerne hay or grazed on pastures of perennial ryegrass/white clover or birds foot trefoil. J. Agric. Sci. 140:215-226.

Ulyatt, M.J., Lassey, K.R., Shelton, I.D. and Walker, C.F. (2002a). "Seasonal variation in methane emission from dairy cows and breeding ewes grazing ryegrass/white clover pasture in New Zealand." New Zealand Journal of Agricultural Research 45:217 – 226.

Ulyatt, M.J., Lassey, K.R., Shelton, I.D. and Walker, C.F. (2002b). "Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass-dominant pastures in midsummer in New Zealand." New Zealand Journal of Agricultural Research 45:227 – 234.

Ulyatt, M.J., Lassey, K.R., Shelton, I.D. and Walker, C.F. (2005). Methane emission from sheep grazing four pastures in late summer in New Zealand. New Zealand Journal Agricultural Research 48: 385-390.

10.4절 분뇨 처리에 의한 메탄 배출량

Amon, B., Amon, Th., Boxberger, J. and Pollinger, A. (1998). Emissions of NH3, N2O, and CH4 from composted and anaerobically stored farmyard manure. Pages 209-216 in Martinez J, Maudet M-N (eds) Ramiran 98, Proc. 8th Int. Conf. on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. Rennes, France.

Amon, B., Amon, Th., Boxberger, J. and Alt, Ch. (2001). Emissions of NH3, N2O, and CH4 from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (Housing, Manure Storage, Manure Spreading). Nutrient Cycling in Agroecosystems, 60: pp. 103-113.

ASAE (1999). ASAE Standards 1999, 46th Edition. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.

Hashimoto, A. and Steed, J. (1993). Methane emissions from typical U.S. livestock manure management systems. Draft report prepared for ICF Incorporated under contract to the Global Change Division of the Office of Air and Radiation, US Environmental Protection Agency, Washington, D.C. Hill, D.T. (1982). Design of digestion systems for maximum methane production. Transactions of the ASAE, 25(1): pp. 226-230.

Hill, D.T. (1984). Methane productivity of the major animal types. Transactions of the ASAE 27(2): pp. 530-540.

IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tr□anton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

Mangino, J., Bartram, D. and Brazy, A. (2001). Development of a methane conversion factor to estimate emissions from animal waste lagoons. Presented at U.S. EPA's 17th Annual Emission Inventory Conference, Atlanta GA, April 16-18, 2002.

Moller, H.B., Sommer, S.G. and Ahring, B. (2004). Biological degradation and greenhouse gas

emissions during pre-storage of liquid animal manure. Journal of Environmental Quality, 33: pp. 27-36.

Peterson, K. and Jacobs, H. (2003). 1990-2002 Volatile solids and Nitrogen excretion rates deliverable under EPA Contract No. GS-10F-0124J, Task Order 004-02. Memorandum to EPA from ICF Consulting. August 28, 2003.

Safley, L.M., Casada, M.E., Woodbury, J.W. and Roos, K.F. (1992). Global Methane Emissions from Livestock and Poultry Manure. US Environmental Protection Agency, Global Change Division, Washington, D.C., February 1992, EPA/400/1091/048.

Sneath, R.W., Phillips, V.R., Demmers, G.M., Burgess, L.R. and Short, J.L. (1997). Long Term Measurements of Greenhouse Gas Emissions from UK Livestock Buildings. Bio-Engineering Division, Silsoe Research Institute, Wrest Park, Silsoe, Bedford, MK45 4HS. Livestock Environment: Proceedings of the Fifth International Symposium. Bloomington MN. May 29-31, 1997.

Sommer, S.G., Petersen, S.O. and Sogaard, H.T. (2000). Greenhouse gas emissions from stored livestock slurry. Journal of Environmental Quality, 29: pp. 744-751.

Steed Jr, J. and Hashimoto, A.G. (1994). Methane emissions from typical manure management systems. Bioresource Technology 50: pp. 123-130.

USDA (1996). Agricultural Waste Management Field Handbook, National Engineering Handbook (NEH). Part 651, U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. July.

Woodbury, J.W. and Hashimoto, A. (1993). Methane Emissions from Livestock Manure. In International Methane Emissions, US Environmental Protection Agency, Climate Change Division, Washington, D.C., U.S.A.

Zeeman, G. (1994). Methane production/emission in storages for animal manure. Fertilizer Research 37: 207- 211, 1994. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

10.5절 분뇨 처리에 의한 질소산화물 배출량

Amon, B., Amon, Th., Boxberger, J. and Pollinger, A. (1998). Emissions of NH3, N2O, and CH4 from composted and anaerobically stored farmyard manure. Pages 209-216 in Martinez J, Maudet M-N (eds) Ramiran 98, Proc. 8th Int. Conf. on the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. Rennes, France.

Amon, B., Amon, Th., Boxberger, J. and Alt, Ch. (2001). Emissions of NH3, N2O, and CH4 from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (Housing, Manure Storage, Manure Spreading). Nutrient Cycling in Agroecosystems, 60: pp. 103-113.

Asman, W.A.H., Sutton, M.A. and Schjoerring, J.K. (1998). Ammonia: emission, atmospheric transport and deposition. New Phytol., 139, p. 27-48

Bierman, S., Erickson, G.E., Klopfenstein, T.J., Stock, R.A. and Shain, D.H. (1999). Evaluation of nitrogen and organic matter balance in the feedlot as affected by level and source of dietary fiber. J. Anim. Sci. 77:1645-1653.

Döhler, H., Eurich-Menden, B., Dämmgen, U., Osterburg, B., Lüttich, M., Bergschmidt, A., Berg, W., Brunsch, R. (2002). BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahre 2010. Texte 05/02. Umweltbundesamt, Berlin.

Dustan, A. (2002). Review of methane and nitrous oxide emission factors in cold climates. Institutet for jordbruks-och miljoteknik, JTI-rapport, Lantbruk & Industri, 299.

Eghball, B. and Power, J.F. (1994). Beef cattle feedlot manure management. J. Soil Water Cons. 49:113-122.

European Environmental Agency (2002). Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 3 rd ed., July 2002, Copenhagen.

Groot Koerkamp, P.W.G., Speelman, L. and Metz, J.H.M. (1998). Effect of type of aviary, manure and litter handling on the emission kinetics of ammonia from layer houses. Br. Poult. Sci., 39, p. 379-392.

Hao, X., Chang, C., Larney, F.J. and Travis, G.R. (2001). Greenhouse gas emissions during cattle feedlot manure composting. Journal Environmental Quality 30: pp. 376-386.

Harper, L.A., Sharpe, R.R. and Parkin, T.B. (2000). Gaseous emissions from anaerobic swine lagoons: Ammonia, Nitrous Oxide, and Dinitrogen Gas. Journal of Environmental Quality 29: pp. 1356-1365.

Hutchings, N.J., Sommer, S.G., Andersen, J.M. and Asman, W.A.H. (2001). A detailed ammonia emission inventory for Denmark. Atmospheric Environment, 35, p. 1959-1968.

Külling, D.R., Menzi, H., Sutter, F., Lischer, P. and Kreuzer, M. (2003). Ammonia, nitrous oxide and methane emissions from differently stored dairy manure derived from grass- and hay-based rations. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 65: pp. 13-22.

Lague, C., Fonstad, T. A., Marquis, A., Lemay, S.P., Godbout, S. and Joncas, R. (2004). Greenhouse Gas Emissions from Swine Operations in Québec and Saskatchewan: Benchmark Assessments. Climate Change Funding Initiative in Agriculture (CCFIA), Canadian Agricultural Research Council, Ottawa, ON.

Meisinger, J.J. and Jokela, W.E. (2000). Ammonia Volatilization from Dairy and Poultry Manure. In: Managing Nutrients and Pathogens from Animal Agriculture. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service, Ithaca, NY. March 28-30, 2000. NRAES-130, p.334-354.

Moller, H.B., Sommer, S.G. and Anderson, B.H. (2000). Nitrogen mass balance in deep litter during the pig fattening cycle and during composting. Journal of Agricultural Science, Cambridge 137:235-250.

Monteny G. J., Groesetein C. M. and Hilhorst M. A. (2001). Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 60: pp. 123-132.

Monteny, G.J. and Erisman, J.W. (1998). Ammonia emissions from dairy cow buildings: A review of measurement techniques, influencing factors and possibilities for reduction. Neth. J. Agric. Sci., 46, p. 225-247.

Moreira, V.R. and Satter, L.D. (2004). Estimating nitrogen loss from dairy farms. Pedology.

National Research Council (NRC) (1996). Nutrient Requirements of Beef Cattle, 7 th Revised Ed., Nat. Acad. Press, Washington., DC

Nicks, B., Laitat, M., Vandenheede, M., Desiron, A., Verhaege, C. and Canart, B. (2003). Emissions of Ammonia, Nitrous Oxide, Methane, Carbon Dioxide, and Water Vapor in the Raising of Weaned Pigs on Straw-Based and Sawdust-Based Deep Litters. Animal Research Journal, 52: pp. 299-308.

Rotz, C.A. (2004). Management to reduce nitrogen losses in animal production. J. Anim. Sci. 82(E. Suppl.):E119-E137.

Sneath, R.W., Phillips, V.R., Demmers, G.M., Burgess, L.R. and Short, J.L. (1997). Long Term Measurements of Greenhouse Gas Emissions from UK Livestock Buildings. Bio-Engineering Division, Silsoe Research Institute, Wrest Park, Silsoe, Bedford, MK45 4HS. Livestock Environment: Proceedings of the Fifth International Symposium. Bloomington MN. May 29-31, 1997.

Sommer, S.G. and Moller, H.B. (2000). Emission of greenhouse gases during composting of deep litter from pig production effect of straw content. Journal of Agricultural Science, Cambridge 134:327-335.

Sommer, S.G., Petersen, S.O. and S ∅gaard, H.T. (2000). Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. Journal of Environmental Quality 29: pp. 744-751.

US EPA (2004). National Emission Inventory Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations, Draft Report. January 30, 2004.

Wagner-Riddle, C. and Marinier, M. (2003). Improved Greenhouse Gas Emission Estimates from Manure Storage Systems. Prepared for Climate Change Funding Initiative in Agriculture, Final Project Report, Component 2-3 Projects, Climate Change Science and Technology.

Webb, J. (2001). Estimating the potential for ammonia emissions from livestock excreta and manures. Environ. Pollut. 111, p. 395-406.

제11장

관리 토양에서의 N_2O배출 및 석회와 요소 사용으로 인한 CO_2 배출

저자

Cecile De Klein (뉴질랜드), Rafael S.A. Novoa (칠레), Stephen Ogle (미국), Keith A. Smith (영국),
Philippe Rochette (캐나다), and Thomas C. Wirth (미국)
Brian G. McConkey (캐나다), Arvin Mosier (미국), and Kristin Rypdal (노르웨이)

부저자(contributing authors)

Margaret Walsh (미국) and Stephen A. Williams (미국)

목 차

11 관리된 토양에서의 N_2O 배출 및 석회와 요소 사용으로 인한 CO_2 배출.....11.6
11.1 서론.....11.6
11.2 관리 토양에서의 N_2O 배출.....11.7
11.2.1 직접적인 N_2O 배출량.....11.7
11.2.1.1 방법의 선택.....11.8
11.2.1.2 배출계수의 선택.....11.13
11.2.1.3 활동자료의 선택.....11.15
11.2.1.4 불확도 평가.....11.21
11.2.2 간접적 N_2O 배출량.....11.24
11.2.2.1 방법의 선택.....11.25
11.2.2.2 배출, 휘발성, 여과계수의 선택.....11.29
11.2.2.3 활동자료의 선택.....11.29
11.2.2.4 불확도 평가.....11.31
11.2.3 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리.....11.31
11.3 석회처리로부터 유출된 CO_2 배출량.....11.33
11.3.1 방법론의 선택.....11.34
11.3.2 배출계수의 선택.....11.37
11.3.3 활동자료의 선택.....11.37
11.3.4 불확도 평가.....11.38
11.3.5 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리.....11.38
11.4 요소 비료에서 CO_2 배출량.....11.41
11.4.1 방법의 선택.....11.41
11.4.2 배출계수의 선택.....11.44
11.4.3 활동자료의 선택.....11.44
11.4.4 불확도 평가.....11.45
11.4.5 완전성, 시계열의 일관성, 품질보증/품질관리.....11.45
별첨 11A.1 표 11.2에 제시된 잔존 농작물 자료에 대한 참고자료.....11.49
참고문헌.....11.74

식

식 11.1 관리된 토양으로부터 직접적인 N_2O 배출량 (Tier 1).....11.8
식 11.2 관리된 토양으로부터 직접적인 N_2O 배출량 (Tier 2).....11.12
식 11.3 토양에 시용된 유기질소 추가량에서 배출된 질소 (Tier 1).....11.16
식 11.4 토양에 시용된 동물의 분비물에서 배출된 질소(Tier 1) 11.16
식 11.5 목장, 방목구역, 그리고 농장에서 가축의 소변과 분변내의 질소(Tier 1).....11.17
식 11.6 곡류의 작물잔사와 사료와 목초 재생에서 발생하는 질소 (Tier 1).....11.18
식 11.7 보고 된 곡식생산량의 건조중량 보정 11.19
식 11.7A F_{CR}을 산정하는 대안적 접근법 (표 11.2 이용).....11.19
식 11.8 토지이용 또는 관리의 변화에 따른 토양 탄소 손실의 결과로서 무기질 토양에 무기화된 질소(Tier 1과 2).....11.20
식 11.9 관리된 토양에서 휘발된 N의 대기 내 침전물로부터 배출된 N_2O (Tier 1).....11.26
식 11.10 용탈/유출이 일어나는 지역의 관리된 토양에서 질소용탈/유출로부터 배출된 N_2O(Tier 1).....11.27
식 11.11 관리된 토양에서 휘발된 N의 대기 내 침전물로부터 배출된 N_2O (Tier 2)....11.28
식 11.12 석회처리에 의한 연간 CO_2 배출량.....11.34
식 11.13 요소 시비에 의한 연간 CO_2 배출량.....11.42

그림

그림 11.1 토양과 물에서 배출된 직접 그리고 간접 N_2O 배출로 귀착되는 배출원과 경로를 설명하는 그림.....11.10
그림 11.2 관리된 토양으로부터 유출된 직접 N_2O 배출량에 대한 의사결정도.....11.11
그림 11.3 관리된 토양으로부터 유출된 간접적인 N_2O 배출량에 대한 의사결정도.....11.25
그림 11.4 석회 처리로부터 유출된 CO_2 배출량을 산정하기 위해 적절한 Tier를 확인하기 위한 의사결정도.....11.36
그림 11.5 요소 시비에 의한 CO_2 배출량을 산정하기 위해 적절한 Tier를 확인하기 위한 의사결정도.....11.43

표

표 11.1 관리된 토양으로부터 배출된 직접적인 N_2O 배출량을 산정하기 위한 기본 배출계수 11.14
표 11.2 농작물 잔존물로부터 토양에 투입된 N의 산정을 위한 기본 계수.....11.22
표 11.3 토양의 간접적인 N_2O 배출량에 대한 기본 배출, 휘발, 용탈 계수.....11.30

11 관리 토양에서의 N_2O 배출 및 석회와 요소 사용으로 인한 CO_2 배출

11.1 서론

제 11장에서는 관리토양으로부터 배출된 아산화질소 (N_2O) 배출량의 인벤토리를 채택하기 위한 일반적인 방법론들을 제공한다. 이것은 질소의 침전과 용탈로 인하여 토지에 유입되는 간접적인 아산화질소(N_2O) 배출과 석회물질과 요소를 포함하는 비료의 추가로 인한 이산화탄소(CO_2)의 배출을 포함한다.

관리토양[1]은 관리된 임지를 포함한 모든 토양을 말한다. N_2O에 관해서, *GPG-LULUCF* 방법론의 관련부분들이 임지를 포함하고 있었던 반면, 기본 3Tier 접근법은 초지와 농경지에 대한 '토지이용, 토지이용변화 및 산림에 대한 IPCC 우수실행지침(IPCC Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry, *GPG-LULUCF*)' 및 농업 토양에 대한 '국가 온실가스 인벤토리에 대한 IPCC 우수실행지침 및 불확도 관리' (IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, *GPG2000*)'에서 사용되는 것과 동일하다. 모든 다른 토지이용부문에서 발생가능한 저장고와 흐름에 이 방법들이 기초하고 있기 때문에, 오직 국가적 집합적 자료 (비토지이용)만 이용가능하다. 국가적 수준에서 이용된 방법론에 대한 일반적 정보는 다음과 같다.

- 이 방법들을 이용하는 일반적 구조와 계산을 목적으로 하는 적절한 수식들;
- 관리토양에서 발생하는 아산화질소(N_2O) 배출량과 석회와 요소비료 이용에서 발생하는 이산화탄소(CO_2) 배출량과 연관되어 불확도를 조절하는 과정들의 설명; 그리고
- 방법들, 배출계수들(기본값 포함)과 활동자료 그리고 휘발성및 용탈계수의 선택
- 활동자료가 특정한 토지이용부문에 이용가능하다면, 제공되는 식을 특정한 토지이용부문에서 실행할 수 있다.

*1996 IPCC 가이드라인*과 비교하여 *2006 IPCC 가이드라인*의 변화들은 아래 내용을 포함하고 있다.

- 비료로서 요소의 사용량과 연관된 이산화탄소(CO_2) 배출량 산정에 관한 권고조항;
- 간접적인 아산화질소(N_2O) 배출량의 전체 부문별 적용범위
- 농업토양에서 유출된 질소산화물에 대한 수정된 배출계수를 유도하는 광범위한 문헌연구; 그리고
- 고정과정에서 발생하는 현저한 배출량의 증거부족으로 인한 아산화질소(N_2O) 직접적 배출원으로서 생물학적 질소고정의 제거량.

1 관리토양은 제 1장 1.1절에서 정의하고 있다.

11.2 관리 토양에서의 N_2O 배출량

이 절에서 관리토양에서는 발생하는 아산화질소(N_2O) (직접 그리고 간접)의 총국가인위적발생량에 대한 방법들과 수식들을 보여준다. 만약 국가가 활동자료를 이 수준으로 분리할 수 있다면(예, 논에 질소 첨가), 이 일반적인 식을 여기에서 특정한 토지이용카테고리 내 또는 아산화질소(N_2O) 조건-특이적 변수들을 이용함으로 아산화질소(N_2O)를 산정하기 위하여 사용할 수 있다.

질소산화물은 자연적으로 질산화와 탈질화의 과정을 거쳐서 토양 내에서 생성된다. 질산화는 암모늄을 질산염으로 산화시키는 호기성 미생물 산화이고, 탈질화는 질산염을 질소가스(N_2)로 환원시키는 혐기성 미생물 환원이다. 아질산은 탈질화의 반응결과와 미생물 세포들에서 토양에서 최종적으로 대기 중으로 배출되는 질산화의 부산물로서 가스 상태의 중간물질이다. 이 반응에서 주요한 조절요인들 중 하나는 토양 내의 무기질 N의 이용도이다. 그러므로 이 방법은 토양으로 인간이 유입시킨 순 질소 추가량 (예, 복합 또는 유기질 비료, 거름, 곡류의 작물잔사, 하수 슬러지), 유기질 토양의 배수/관리에 따른 토양유기물함량에서 질소 무기화, 또는 무기질 토양에서 재배/토지이용의 변화(예, 임지/초지/농경지로 전환된 주거지)를 이용하여 아산화질소(N_2O) 배출량을 산정한다.

인위적 질소 유입 또는 질소 무기화에서 기인된 아산화질소(N_2O) 배출은 한 개의 직접경로 (예, 직접적으로 토양에서 질소가 더해지고/배출된 곳으로)와 다음의 두 개의 간접경로를 통하여 일어난다. (i) 관리토양, 화석연료연소, 생체연소에서 발생된 NH_3와 NO_x의 휘발 그리고 이들 가스들과 그들의 산물인 NH_4^+와 NO_3^-의 토양과 물에 재침전에 이어; 그리고 (ii) 유출 후 주로 NO_3^-인 관리토양으로부터 발생한 질소의 용탈. 이 기본적인 경로는 그림 11.1에 설명한다.

활동자료의 일반적인 세트를 이용함에도 불구하고 관리토양에서 발생한 N_2O의 직접 배출량은 간접배출량에서 분리함으로 산정된다. Tier 1 방법론들은 다른 토지표면, 토양구성, 기후조건 또는 관리기법을 고려하지 않는다(위에서 세부적으로 설명한 것 외에). 곡류의 작물잔사에서 발생하는 직접배출량에 대해서는 지연시간을 고려하지 않고, 작물잔사가 토양으로 돌아가는 연수에 이 배출량을 배분하지 않는다. 이들 요인들은 제한된 자료에만 적절한 배출계수를 제공하는데 이용가능하기 때문에 직접(또는 적절하다면, 간접) 배출량을 고려하지 않는다. 기본 계수가 그들 나라에 대하여 부적절하다고 보이는 자료를 소유한 국가들은 Tier 2식 또는 Tier 3접근법을 이용해야만 하고 사용된 값에 대한 전체 설명을 포함해야 한다.

11.2.1 직접적인 N_2O 배출량

대부분 토양에서, 이용가능한 질소의 증가는 아산화질소(N_2O)의 생산량을 증가시키는 질산화와 탈질화 속도를 상승시킨다. 이용 가능한 질소량의 증가는 인간이 유입시킨 질소추가량 또는 토지이용의 변화 그리고/또는 토양 유기질소를 무기화시키는 관리기법으로 발생할 수 있다.

다음에 따르는 질소 배출원들이 관리토양에서 발생한 직접 아산화질소(N_2O) 배출량을 산정하기 위한 방법에 포함된다.

- 복합 질소비료 (F_{SN});
- 비료로 이용된 유기질소(예, 동물분비물, 퇴비, 하수슬러지, 정제된 폐기물)(F_{ON});

- 가축에 의해 목장, 방목구역과 농장위에 쌓인 소변과 분변의 질소(F_{PRP});
- 질소고정 작물[2]과 목초지재생[3] 동안 사료에서 발생하는 것을 포함하는 곡식 잔존물 내의 질소(땅 위와 땅 아래)(F_{CR});
- 토지이용의 변화 또는 무기질 토양의 관리에서 기인한 토양유기물의 손실과 관련한 질소 무기화(F_{SOM}); 그리고
- 유기질 토양의 배수/관리(예, 히스토졸)[4](F_{OS})

11.2.1.1 방법의 선택

그림 11.2의 의사결정도에서 Tier 방법을 이용하는 지침을 제공한다.

Tier 1

이것의 가장 기초형태에서, 관리토양에서 배출된 직접 아산화질소(N_2O) 배출량은 다음에 따르듯이 식 11.1을 이용함으로 산정된다.

식 11.1
관리된 토양으로부터 직접적인 N_2O 배출량 (Tier 1)

$$N_2O_{Direct}\text{–}N = N_2O\text{–}N_{N\,inputs} + N_2O\text{–}N_{OS} + N_2O\text{–}N_{PRP}$$

Where:

$$N_2O\text{–}N_{N\,inputs} = \left[\begin{array}{l}\left[\left(F_{SN}+F_{ON}+F_{CR}+F_{SOM}\right)\bullet EF_1\right]+\\ \left[\left(F_{SN}+F_{ON}+F_{CR}+F_{SOM}\right)_{FR}\bullet EF_{1FR}\right]\end{array}\right]$$

$$N_2O\text{–}N_{OS} = \left[\begin{array}{l}\left(F_{OS,CG,Temp}\bullet EF_{2CG,Temp}\right)+\left(F_{OS,CG,Trop}\bullet EF_{2CG,Trop}\right)+\\ \left(F_{OS,F,Temp,NR}\bullet EF_{2F,Temp,NR}\right)+\left(F_{OS,F,Temp,NP}\bullet EF_{2F,Temp,NP}\right)+\\ \left(F_{OS,F,Trop}\bullet EF_{2F,Trop}\right)\end{array}\right]$$

$$N_2O\text{–}N_{PRP} = \left[\left(F_{PRP,CPP}\bullet EF_{3PRP,CPP}\right)+\left(F_{PRP,SO}\bullet EF_{3PRP,SO}\right)\right]$$

2 생물학적 질소고정은 고정과정에서 야기되는 상당한 배출량의 증거부족으로 인하여 N2O의 직접적인 배출원에서 제거되었다 (Rochette and Janzen, 2005). 이들 저자들은 콩과 농작물/사료의 성장에 의해 유입된 N_2O 배출량이 농작물/사료잔사에서 발생한 지상과 지하의 질소유입의 기능으로서 단독으로 산정되는 것으로 결론지었다(사료에서 발생한 질소잔존물은 단지 목초지재생에서만 설명된다). 바꾸어 말하자면, 토지이용 또는 관리의 변화의 결과로서 토양유기물의 무기질에 의한 질소의 배출은 추가적 배출원으로 현재 포함된다. 이것들은 1996 IPCC 가이드라인에서 기록된 방법론에 대한 상당한 조절이다.

3 사철 사료 곡식으로부터 발생하는 질소잔존물은 주기적 목초지재생에서만 설명된다. 즉, 연간농작물량의 경우처럼 연간 기준이 필요하지 않다.

4 토양이 아래의 요구조건 1과 2 또는 1과 3을 만족시킨다면, 토양은 유기질이다(FAO, 1998): 1. 10cm이상의 두께. 20cm 이하의 한 층은 20cm의 깊이까지 섞었을 경우 유기탄소가 12%이상이어야만 함; 2. 토양이 몇 일 이상 물에 포화되지 않고, 유기탄소를 20%(무게기준)이상을 포함(유기물질 약35%)하는 경우; 3. 토양이 수분포화상태가 되기 쉽고, 다음의 한 경우; (i) 만약 점토성분이 없는데 유기탄소(유기물 약20%)가 12%차지할 경우, (ii) 토양이 60%이상의 점토성분을 가질 때, 유기탄소(유기물질 약30%)가 적어도 18%(무게기준)일 경우, 또는, (iii) 중간물, 점토성분의 절반 양에 대한 유기탄소의 비례적 양(FAO, 1998).

여기서:

N_2O_{Direct}-N= 관리토양에서 생산된 연간 직접 N_2O-N 배출량, kg N_2O-N yr^{-1}

$N_2O-N_{N\ inputs}$= 질소 유입에서 관리토양까지의 연간 직접 N_2O-N 배출량, kg N_2O-N yr^{-1}

N_2O-N_{OS}= 관리유기질토양에서 발생한 연간 직접 N_2O-N 배출량, kg N_2O-N yr^{-1}

N_2O-N_{PRP}= 소변과 분변물 유입에서 초지토양까지 연간 직접 N_2O-N 배출량, kg N_2O-N yr^{-1}

F_{SN}= 토양에 이용한 합성비료질소의 연간사용량, kg N_2O-N yr^{-1}

F_{ON}= 토양에 이용되는 동물 분변물, 거름, 하수 슬러지, 다른 유기질소추가물의 연간이용량 (주: 만약 하수 슬러지를 포함시킨다면, 하수 슬러지의 질소로부터 발생한 N_2O배출량의 이중계산이 없도록 폐기물부문에서 비교 검토한다), kg N yr^{-1}

F_{CR}= 질소고정 작물을 포함한 곡류 작물잔사 내의 질소와 토양으로 되돌아가는 사료/목초지 재생에서 발생하는 질소의 연간사용량(땅 위와 땅 아래), kg N yr^{-1}

F_{SOM}= 토지이용 또는 관리 변화의 결과로서 토양유기물에서 발생한 토양 탄소의 손실과 관련되고, 무기화된 무기질 토양 내의 질소의 연간사용량, kg N yr^{-1}

F_{OS}= 관리/배수된 유기질 토양의 연간면적, ha (주: 기호인 CG, F, Temp, Trop, NR 그리고 NP은 각각 Cropland와 Grassland, Forest Land, Temperate, Tropical, Nutrient Rich, 그리고 Nutrient Poor를 참조)

F_{PRP}= 연간 목장, 방목장, 그리고 농장의 가축에 의해 쌓인 소변과 분변물의 질소 양, kg N yr^{-1} (주: 기호인 CPP와 SO는 각각 Cattle, Poultry과 Pigs, 그리고 Sheep과 Other animals을 참조)

EF_1= 질소유입에서 발생하는 N_2O 발생량에 대한 배출계수, kg N_2O N(kg N input)$^{-1}$(표 11.1)

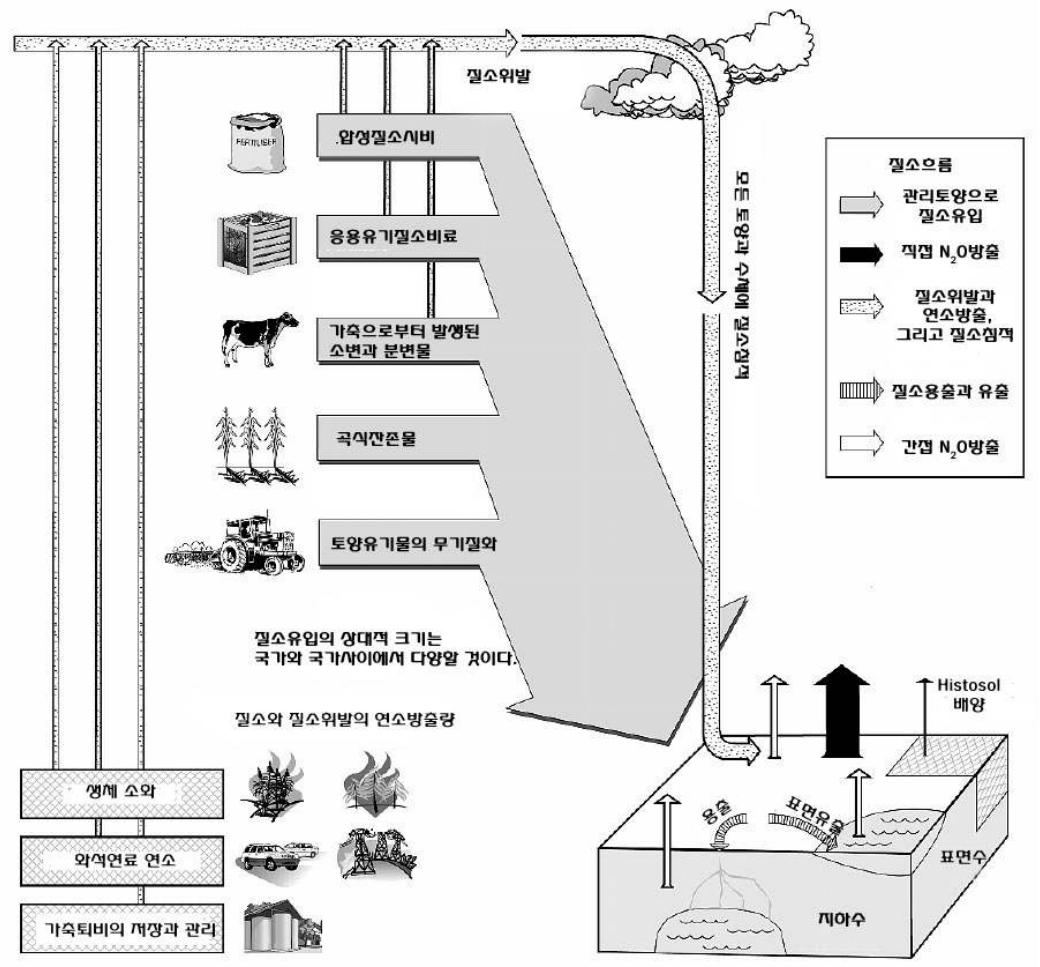
EF_{1FR}은 물에 잠긴 벼에 질소유입에서 발생하는 N_2O에 대한 배출계수, kg N_2O-N (kg N input)$^{-1}$(표 11.1)[5]

EF_2= 배수/관리 유기질토양에서 발생한 N_2O 배출량에 대한 배출계수, kg N_2O-N ha^{-1} yr^{-1}; (표 11.1) (주: 이 기호인 CG, F, Temp, Trop, NR와 NP는 각각 Cropland와 Grassland, Forest Land, Temperate, Tropical, Nutrient Rich, 그리고 Nutrient Poor를 참조)

EF_{3PRP}= 가축에 의해 농장, 방목장, 목장에 쌓여진 소변과 분변물 질소에 대한 배출계수, kg N_2O-N (kg N input)$^{-1}$; (표 11.1) (주: 기호인 CPP와 SO는 각각 Cattle, Poultry와 Pigs, 그리고 양과 기타 동물 참조)

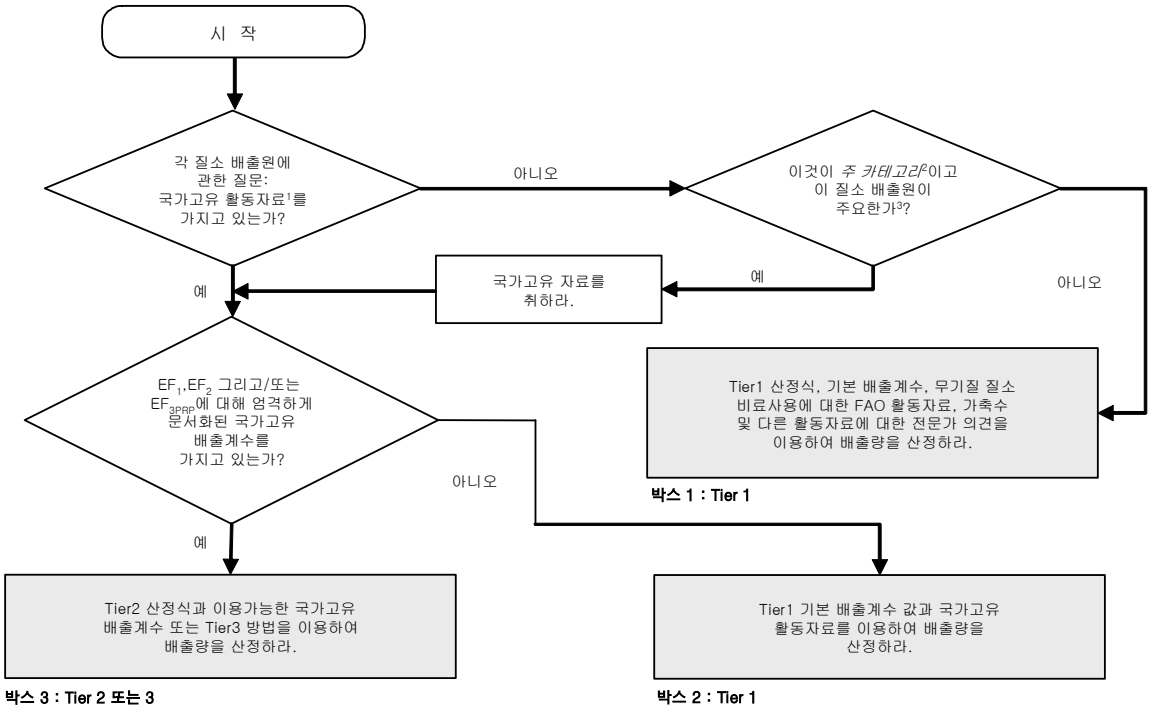
5 물이 찬 농경지에 이용된 질소의 총연간이용량이 알려진 경우, 이 질소유입에 이 농작물에 적용가능한 낮은 기본 배출계수, EF1FR(Table 11.1)(Akiyama et al., 2005) 또는 국가고유 배출계수를 결정한 곳에서는 이 계수를 대신해서 곱할 수도 있다. 간헐적인 범람은 N2O의 배출량을 증가시킬 수 있다는 약간의 증거가 있음에도 불구하고 현재 과학적 자료는 EF1FR은 또한 간헐적 범람 상황에 적용된다고 지시하고 있다.

그림 11.1 토양과 물에서 배출된 직접 그리고 간접 N_2O배출로 귀착되는 배출원과 경로를 설명하는 그림



주: 토양에 적용하거나 쌓을 수 있는 질소의 배출원은 그림의 왼편에 있는 화살표와 함께 나타낸다. 배출경로는 또한 화살표와 더불어 표시된다. 이는 농업과 비농업 배출원에서 발생하는 NH_3와 NO_x의 다양한 경로, 이들 가스와 이들 산물인 NH_4^+와 NO_3^-의 침전을 포함한다. 뒤따르는 N_2O의 간접 배출량을 묘사한다. "응용유기질소비료"에 동물 분변물, 모든 퇴비, 하수슬러지, 탱크찌꺼기 등을 포함한다. "농작물잔존물"에 모든 농작물(비 질소와 질소고정)과 주기적 사료곡식과 잇달아 일어나는 목초지재생으로부터 발생하는 지상과 지하 잔존물을 포함한다. 오른편 아래쪽에서 관리토지의 대표적 부분의 절단면을 제시하고; 히스토졸(유기질토양) 배양을 여기에 제시한다.

그림 11.2 관리된 토양으로부터 유출된 직접 N_2O 배출량에 대한 의사결정도



주:

1: 질소 배출원은 다음을 포함한다. 합성 질소비료, 유기질소추가물, 방목기간동안 쌓인 소변과 분변물, 농작물/사료 잔존물, 토지이용 또는 관리에서 변화에 따른 토양에서 탄소소실을 동반하는 토양유기물 내에 포함된 질소의 무기화, 그리고 유기질토양의 배수/관리. 적절한 정보를 사용가능한 경우, 다른 유기질소추가물(예. 퇴비, 하수 슬러지, 정제된 폐기물)을 이 계산에 포함시킬 수 있다. 폐기물 유입은 질소의 단위로 측정되고 EF_1에 의해 곱해지는 식 11.1의 F_{ON}아래 추가적 배출원의 하위단위로 더해진다.

2: 제1권의 제 4장에서 *주 카테고리*와 의사결정도 사용의 논의에 대한 "방법론적 선택과 주 카테고리의 확인"(제한된 배출원에 관한 4.1.2절)을 참조.

3: 경험에 바탕을 둔다면, 어떤 하위 카테고리는 이것이 이 배출원 카테고리에서 발생하는 배출량의 25-30%를 설명하는 경우에 상당할 것이다.

보고를 목적으로 하는 $N_2O - N$ 배출량을 아산화질소(N_2O) 배출량으로 변환하는 식은 아래와 같다;

$$N_2O = (N_2O - N) \bullet 44/28$$

Tier 2

어떤 국가에 대해 더욱 정밀한 배출계수와 유사한 활동자료가 식 11.1에서 표현된 것에 보다 이용가능한 경우, 이 식의 항들에 대한 분리를 실시할 수 있다. 예를 들어, 배출계수와 활동자료가 다른 조건 i 아래서 합성비료와 유기질소의 이용에 대해 이용가능하다면, 식 11.1은 아래와 같이 확장될 수 있다[6].

식 11.2
관리된 토양으로부터 직접적인 N_2O 배출량 (Tier 2)

$$N_2O_{Direct}\text{–}N = \sum_i (F_{SN} + F_{ON})_i \bullet EF_{1i} + (F_{CR} + F_{SOM}) \bullet EF_1 + N_2O\text{–}N_{OS} + N_2O\text{–}N_{PRP}$$

여기서:

EF_{1i} = 조건 i 아래서 합성비료와 유기질소이용에서 발생하는 N_2O 배출량을 발달시키는 배출계수 (kg N_2O (kg N input)$^{-1}$); i = 1, …n.

식 11.2은 한 국가가 각 질소유입변수 (F_{SN}, F_{ON}, F_{CR}, F_{SOM}, F_OS, F_{PRP})들을 획득할 수 있을지도 모르는 질소 배출원-, 농작물 형태-, 관리-, 토지이용-, 기후-, 토양- 또는 다른 조건-특이적 배출계수들의 어떤 조합도 받아들이는 다양한 방법들로 수정될 수도 있을 것이다.

보고를 목적으로 하는 N_2O N 배출량을 아산화질소(N_2O) 배출량으로 변환하는 식은 아래와 같다.

$$N_2O = N_2O - N \bullet 44/28$$

Tier 3

Tier 3 방법은 모델화 또는 측정접근법이다. 적절한 형태의 모델은 N_2O 배출량의 원인이 되는 토양과 환경적 변수들을 그들의 배출량의 크기에 연관시킬 수 있기 때문에 모델화는 유용하다. 이들 연관관계는 모든 국가들 또는 실험적 측정이 불가능한 지역에서 발생하는 발생량을 예측하는데 사용할 수 있을 것이다. 모델은 대표적인 실험적 측정에 의한 증명 후에 사용되어야만 한다. 모형 또는 측정법의 이용을 통해 발전된 배출량 산정은 모든 인위적 N_2O발생을 설명한다고 확신하는 것에는 주의가 필요하다.[7] Tier 3 모델-기반 계수체계의 개발에 대한 완전한 기초를 제공하는 지침은 제 2장의 2.5절에서 제시하였다.

---

6 Tier 2방법을 사용할 경우 식 11.2는 식 11.1에 대한 많은 가능성 있는 변형들 중 하나라는 것을 인식하는 것은 중요한 일이다. 식 11.2의 결과적 형태는 조건-특이적 배출계수의 이용도와 한 국가가 그들의 활동자료를 분해할 수 있는 능력에 달려 있다.

7 관리토지에서 자연 N_2O 배출량은 비관리토지에서의 배출량과 동일하다고 가정된다. 이들 후자 배출량은 매우 낮다. 그러므로 거의 관리토양에서의 모든 배출량은 인위적이라고 고려된다. IPCC방법을 이용한 산정법들은 관리토지에서 발생하는 총 측정 배출량과 같은 크기이다. Bouwman(1996)에 의해 산정된 이 소위 '배경' 배출량은 "자연적"배출량이 아니고 거의 대부분 농작물잔존물에서 발생하는 질소의 기여에서 기인한다(예, 질소추가 안된 비료 사용량 0하에 약 1kg $N_2O - N$/ha/yr). 이들 배출은 인위적이고 IPCC 방법으로 설명된다.

11.2.1.2 배출계수의 선택

Tier 1과 2

3 개의 배출계수(EF)들은 관리토양에서 직접적으로 발생한 N_2O배출량을 산정하는데 필요하다. 여기서 제시하는 기본값은 Tier 1 수식 또는 국가-특이적 배출계수와 조합된 Tier 2 수식에 이용될 수도 있다. 일차 배출계수는 (EF_1) 농작물잔존물과 토지이용변화 또는 관리변화에 기인하는 무기토양에서 토양유기탄소의 무기화를 포함하는 다양한 합성 그리고 토양의 유기질소이용에서 발생하는 N_2O의 양을 지시한다. 이차 배출계수는 (EF_2) 배수/관리된 유기토양지역에서 발생하는 N_2O의 양을 지시하며, 삼차 배출계수는 (EF_{3PRP}) 목장, 방목장, 농장의 풀을 뜯는 가축에 의해 쌓인 소변과 분변물 질소에서 발생하는 N_2O양을 산정한다. Tier 1방법에 대한 기본 배출계수들은 표 11.1로 요약된다.

새로운 증거에 비추어보아, 일차 배출계수의 고정 값은 토양에서 사용된 질소의 1%에 고정되어 왔거나 또는 무기질 토양에서 유기물의 무기화를 불러일으키는 활동을 통해 배출되어 왔다.[8] 많은 경우에서, 이들 계수는 적절하지만 이 배출계수에 대해서는 (1) 환경요인들(기후, 토양 유기탄소함유량, 토성, 배수와 토양 pH), (2) 관리-연관 요인들(비료종류 당 질소이용률, 콩과작물, 비콩과의 경작가능한 농작물, 그리고 초지사이에서 차이점을 가지는 농작물의 종류)에 기반하여 분리될 수 있었다고 주장하는 최근 자료가 있다 (Bouwman *et al.*, 2002; Stehfest and Bouwman, 2006). 국가수준의 활동자료가 전부 또는 몇몇 요인들로 분리 가능한 국가들은 이 Tier 2 접근법과 함께 분리된 배출계수 사용을 선택할 수 있다.

8 EF_1의 값은 IPCC 지침과 비교하고 이용가능한 실험자료의 새로운 분석의 결과로서 1.25%에서 1%로 수정되었다 (Bouwman *et al.*, 2002a,b; Stehfest and Bouwman, 2006; Novoa and Tejeda, 2006 in press). 이들 분석들은 EF_1을 목적으로 사용한 이전 값을 발생시킨 예전 연구를 사용가능했던 것보다 훨씬 큰 수의 측정치로 귀착된다(Bouwman, 1996). 이들 검토들에서 계산된 비료- 그리고 거름-유입 배출량에 대한 평균값은 0.9%에 근접한 반면; 값에 대한 불확도와 질소추가량(예, 농작물 잔존물들과 토양유기물의 무기화에서 발생)에 대한 다른 기여도의 인벤토리 계산 내 삽입이 주어진다면 1% 정수 값은 적절하다.

표 11.1
관리 토양에서의 직접적인 N_2O 배출량을 산정하기 위한 기본 배출계수

배출 요인	기본값	불확도 범위
무기질 비료, 유기 토량개량제와 농작물잔존물에서 발생하는 질소 추가량에 대한 EF_1, 그리고 토양탄소의 손실의 결과로서 무기질 토양으로부터 무기화된 질소[kg N_2O – N (kg N)$^{-1}$]	**0.01**	**0.003-0.03**
물에 잠긴 농경지에 대한 EF_{1FR} [kgN_2O – N(kg N)$^{-1}$]	**0.003**	**0.000-0.006**
온대지역 유기농작물과 초지토양에 대한 $EF_{2CG,Temp}$ (kg N_2O – N ha^{-1})	**8**	**2-24**
열대지역 유기농작물과 초지토양에 대한 $EF_{2CG,Trop}$ (kg N_2O – N ha^{-1})	**16**	**5-48**
온대지역과 아한대의 유기물질 비옥한 산림토양에 대한 $EF_{2F,Temp,Org,R}$(kg N_2O – N ha^{-1})	**0.6**	**0.16-2.4**
온대지역과 아한대의 유기물질 부족 산림토양에 대한 $EF_{2F,Temp,Org,P}$(kg N_2O – N ha^{-1})	**0.1**	**0.02-0.3**
열대지역 유기질 산림토양에 대한 $EF_{2F,Trop}$ (kg N_2O – N ha^{-1})	**8**	**0-24**
가축(젖소, 비젖소와 들소), 가금류와 돼지에 대한 $EF_{3PRP,\ CPP}$ [kg N_2O – N (kg N)$^{-1}$]	**0.02**	**0.007-0.06**
양과 '다른 가축들'에 대한 $EF_{3PRP,SO}$ [kg N_2O – N (kg N)$^{-1}$]	**0.01**	**0.003-0.03**

출처:
EF_1: Bouwman *et al*. 2002a,b; Stehfest & Bouwman, 2006; Novoa & Tejeda, 2006 in press; EF_{1FR}: Akiyama *et al*, 2005; $EF_{2CG,Temp}$, $EF_{2CG,Trop}$, $EF_{2F,Trop}$: Klemedtsson *et al*, 1999, IPCC Good Practice Guidance, 2000; $EF_{2F,Temp}$: Alm *et al*., 1999; Laine *et al*, 1996; Martikainen *et al*., 1995; Minkkinen *et al*., 2002: Regina *et al*., 1996; Klemedtsson *et al*., 2002; $EF_{3,CPP}$, $EF_{3,SO}$: de Klein, 2004.

온대지역 기후에서 EF_2의 고정값은 8kg N_2O N (kg N)$^{-1}$이다. 무기화 비율이 온대지역 기후에서 보다 열대지역 기후에서 2배정도 더 크다고 가정되기 때문에, EF_2 배출계수는 열대지역 기후에서 16 kg N_2O – N (kg N)$^{-1}$이다.[9] 기후의 정의는 제 3장, 부록 3A. 5에서 설명하고 있다. EF_{3PRP}에 대한 기본값은 "양"과 "다른" 동물들을 제외한 모든 동물에 의해 침적된 질소의 2%이다. 이들 후자 종에 대해서는, 침적된 질소의 1%의 기본 배출계수가 이용된다.[10]

9 온대지역과 열대지역 기후에 대한 EF2의 값은 *1996 IPCC 가이드라인*의 기본값은 *GPG2000*에 담고 있는 것들로 수정되었다..

10 양에 대한 기본 배출계수의 추가는 *1996 IPCC 가이드라인*에서 변경된 것이다. EF_{3PRP}에 대한 기본 배출계수값에서 소변과 분변물 침전물에서 발생하는 N_2O배출량에 대한 최근 검토에 기초한 다른 동물유형으로 분리하였다(de Klein, 2004). 이 검토는 양에 대한 배출계수는 소보다 낮고 침전된 질소의 1%값이 더욱 적정하다고 지시하고 있다. 양에 대한 낮은 EF_{3PRP}값에 대한 이유는 더 많은 소변분포(더 작고 더 잦은 배뇨), 그리고 방목시 생기는 토양답압에 대한 더 작은 영향을 포함한다. 다른 동물 유형의 N_2O배출계수에 대해서 자료가 없거나 제한된 자료가 있다. 그리고 가금류와

11.2.1.3 활동자료의 선택

Tier 1과 2

이 절에서는 Tier 1과 Tier 2 방법의 이용이 필요한 토양(F_{SN}, F_{ON}, F_{PRP}, F_{CR}, F_{SOM}, F_{OS})에 유입되는 다양한 질소의 양을 산정하는 일반적인 방법을 서술한다 (식 11.1과 11.2).

토양에 시용된 복합비료 (F_{SN})

F_{SN}은 토양에 사용된 복합비료의 연간사용량을 말한다[11]. 이것은 연간 소비되는 복합비료의 총량에서 산정한다. 연간비료소모량 자료를 공식 국가통계로부터 얻을 수도 있고, 때대로 비료판매 그리고/또는 국내 생산량과 수입량으로 기록되기도 한다. 국가-특이적 자료를 이용하기 어려운 경우, 유형별과 농작물별 총비료사용량의 경우에는 국제비료산업연합(International Fertilizer Industry Association, IFIA)의 자료 또는 총 복합비료소비량은 국제연합식량농업기구(Food and Agriculture Organisation of the United Nations, FAO)의 자료를 이용할 수 있다. IFIA와 FAO의 자료 같은 국가적 통계를 국제자료에 비교하는 것은 유용할 수도 있다. 적절한 자료가 이용 가능한 경우, 비료이용량은 비료유형별, 농작물유형별, 그리고 주요 곡식에 대한 기후상황별로 구분된다. 인벤토리 방법이 발전된다면, 이 자료는 수정 배출량 산정치로 발전시키는데 유용할 것이다. 토지이용 형태가 임지, 거주지, 또는 다른 형태의 토지에서 또한 일어날 것임에도 불구하고 대부분 자료의 출처(FAO 포함)은 농업부문 질소사용량을 보고하는데 제한적일 수도 있다는 것을 숙지해야만 한다. 설명되지 않는 질소량은 전체 배출량의 작은 부분으로 설명될 것처럼 보인다. 그러나 국가들에게 언제라도 가능하면 추가적 정보를 찾도록 권고한다.

토양에 시용된 유기질소비료 (F_{ON})

"유기질소비료 (F_{0N})의 시용"라는 용어는 방목된 동물들 외에 토양에 투입된 유기질소유입량을 말하고 식 11.3을 사용하여 계산된다. 이것은 사용된 동물의 거름, 토양에 이용된 하수 슬러지, 토양에 이용된 퇴비를 포함하고, 지역적 중요도를 가지는 다른 유기 토양개량제(예, 정제된 폐기물, 구아노, 양조장 폐기물 등)도 마찬가지로 포함한다. 유기질소비료(F_{ON})는 식 11.3을 이용하여 계산된다.

돼지에 대한 배출계수는 침전된 질소의 2%에 머물러 있다. 그러나 침전된 질소의 1%값을 염소, 말, 노새, 당나귀, 낙타, 순록, 그리고 라마류를 포함하는 '다른 동물들'로 분류된 동물들에게 사용할 수도 있을 것이다. 이들은 소보다는 양에 더욱 비슷한 질소배출율과 양상을 가지고 있을 것 같다. 이 검토는 더 나아가 분변물 대 소변 질소에 대한 EF_{3PRP}의 분리는 또한 고려할 수 있었다고 제안하였다. 그러나 이것은 국가들이 소변과 분변물의 배출율에 쉽게 접근이 가능한 요구된 정보를 가지고 있다고 보이지 않기 때문에 실행되기 어렵다. 그러나 이 접근법은 높은 Tier의 방법론을 사용하는 국가들에 의해 고려될 수도 있을 것이다. 마지막으로, 이 검토는 현재 정보는 기후지역, 토양유형 또는 배수계급, 그리고/또는 방목강도에 기초하는 EF_{3PRP}의 분리가 허용되는데 부족하거나 결정적이지 못하다고 밝히고 있다.

11 Tier 1 접근법에 대해서, 무기질소비료량(F_{SN})과 응용유기질소비료량(F_{ON})은 토양 이용 후 NH_3와 NO_x의 휘발량을 조정하지 않아도 된다. 이것은 1996 IPCC 가이드라인에서 기술된 방법론에서 변경된 것이다. 이 변경의 이유는 응용질소에 대한 N_2O배출계수를 결정하였던 야외조사들이 이를 산정할 때 휘발량을 조정하지 않았기 때문이다. 바꾸어 말하자면, 이들 배출계수들은 다음에 유래하여 결정되었다: 배출되는 N_2O-N을 유입시킨 비료/총질소이용량, 그리고 다음은 이에 포함되지 않는다. 배출되는 N_2O-N이 유입된 비료/(총질소이용량-휘발되는 NH_3와 NO_x). 이 결과로서, 배출계수와 이것을 곱하기 전 휘발량에 대한 질소유입량을 조정하는 것은 사실상 총 N_2O배출량을 과소평가하는 것이다.. Tier 2 또는 3 접근법을 사용하는 국가들은 무기 또는 유지 질소 이용 후에 NH_3/NO_x 휘발량에 대한 보정이 배출계수 그리고/또는 이용된 인벤토리 방법론에 따라 요구될 수도 있다는 것을 인식해야만 한다.

식 11.3
토양에 시용된 유기질소 추가량에서 배출된 질소 (Tier 1)

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}$$

여기서:

F_{ON} = 방목된 가축들 이외 토양에 이용된 유기질소비료의 연간사용량, kg N yr^{-1}

F_{AM} = 토양에 이용된 동물 거름 질소의 연간사용량, kg N yr^{-1}

F_{SEW} = 토양에 이용된 총 연간 하수 질소 사용량(하수질소가 이중 계수되지 않도록 확인하기 위해 폐기물부문과 비교), kg N yr^{-1}

F_{COMP} = 토양에 이용된 총 연간 퇴비 사용량(퇴비 내 거름질소가 이중 계수되지 않도록 확인), kg N yr^{-1}

F_{OOA} = 비료로서 사용된 다른 유기토양개량제의 연간사용량(예, 정제된 폐기물, 구아노, 양조장 폐기물 등), kg N yr^{-1}

F_{AM}이라는 식 11.4에서 제시하듯이 용어는 먹이에 이용되고($Frac_{FEED}$), 연로로 태우고($Frac_{FUEL}$), 또는 건설에 사용되는($Frac_{CNST}$) 관리된 거름의 양에 대한 이용 가능한 거름질소량을 조정함으로 결정된다(N_{MMS_Avb}; 제 10장 식 10.34참조). $Frac_{FEED}$, $Frac_{FUEL}$, $Frac_{CNST}$에 대한 자료는 공식 통계 또는 전문가조사에서 얻을 수 있다. 그러나 이들 자료가 이용가능하지 않은 경우, $Frac_{FEED}$, $Frac_{FUEL}$, $Frac_{CNST}$을 조정하지 않은 F_{AM}으로 N_{MMS_Avb}을 이용한다.

식 11.4
토양에 시용된 동물의 분비물에서 배출된 질소 (Tier 1)

$$F_{AM} = N_{MMS\,Avb} \bullet \left[1 - \left(Frac_{FEED} + Frac_{FUEL} + Frac_{CNST}\right)\right]$$

여기서:

F_{AM} = 토양에 이용된 연간동물거름질소량, kg N yr^{-1}

N_{MMS_Avb} = 토양이용, 먹이, 연료 또는 건설에 이용 가능한 관리된 거름질소량, kg N yr-1 (제 10장 식 10.34 참조)

$Frac_{FEED}$= 먹이로 사용된 관리된 거름의 부분

$Frac_{FUEL}$ = 연료로 사용된 관리된 거름의 부분

$Frac_{CNST}$ = 건설에 사용된 관리된 거름의 부분

방목된 동물들에게서 배출되는 소변과 분변물(F_{PRP})

F_{PRP}은 목장, 방목장, 농장 토양에 방목된 동물들에 의해 침적된 연간질소량을 말한다. 토양에 이용된 관리된 동물거름으로부터 발생하는 질소가 F_{ON}의 F_{AM}에 속한다는 것을 주지하는 것은 중요하다. F_{PRP}는 각 가축 종의 개체 수/카테고리 T($N_{(T)}$), 각 가축 종에 의해 배출되는 연간평균질소량/카테고리 T($Nex_{(T)}$), 그리고 각 가축 종에 의해 농장, 방목장, 그리고 목장 토양에 침적된 질소의 부분/카테고리 T($MS_{(T,PRP)}$)에서 식 11.5를 이용하여 산정된다. 이 식에서 필요한 자료는 가축에 관

한 장에서 얻을 수 있다(제10장 10.5절 참조).

식 11.5에서 방목된 가축에 의해 침적된 질소량 산정법을 제시한다.

식 11.5
목장, 방목구역, 그리고 농장에서 가축의 소변과 분변 내의 질소 (Tier 1)

$$F_{PRP} = \sum_T \left[\left(N_{(T)} \bullet Nex_{(T)} \right) \bullet MS_{(T,PRP)} \right]$$

여기서:

F_{PRP} = 방목된 동물에 의한 농장, 방목장, 목장에 침적된 소변과 분변물의 연간질소량, kg N yr^{-1}

$N_{(T)}$ = 국가 내 가축 종의 마리 수/카테고리 *T* (제 10장 10.2절 참조)

$Nex_{(T)}$ = 국가 내 종의 마리 당 연간평균질소배출량/카테고리 T, kg N $animal^{-1}$ yr^{-1}(제10장, 10.5절 참조)

$MS_{(T,PRP)}$= 농장, 방목장과 목장에 침적된 각 가축 종에 대한 연간 총 질소 배출량의 부분/카테고리 T(제10장, 10.5절 참조)[12]

질소고정농작물과 사료/목초지재생을 포함하는 토양으로 되돌아간 농작물잔존물(F_{CR})

F_{CR}는 연간 토양으로 되돌아간 질소고정농작물을 포함한 농작물잔존물(지상과 지하)의 질소량을 말한다.[13] 이것은 사료 또는 목초지재생 동안 무기화 되는 질소고정과 비질소고정 사료들을 포함한다.[14] 농작물생산량통계와 지상/지하 잔존물 : 생산율과 잔여 질소 함류량에 대한 고정값으로 이를 산정할 수 있다. 덧붙여서, 이 방법으로 자연물소각 또는 잔여물의 다른 제거에 대하여 설명할 수 있다. 잔여물 소각에서 발생하는 N_2O의 직접배출은 제2장 2.4절에서 설명하고 있다. 농작물유형에 따라 잔존물:생산율, 재생시간과 질소함유량에서 다양하기 때문에, 분리된 계산법은 주요농작물유형들에 대해서 설명되어야만 하고, 그 후에 모든 농작물유형에서 발생되는 질소값이 합해져야 한다. 최소한, 다음의 농작물들은 분리되어 계산되어야 한다. 1) 비 질소고정곡물(예, 옥수수, 쌀, 밀, 보리 등); 2) 질소고정곡물과 콩류들(예, 대두, 건조콩, 병아리콩, 렌즈콩); 3) 뿌리와 덩이줄기 농작물(예, 감자, 고구마, 카사바); 질소고정 사료농작물(자주개자리, 토끼풀); 그리고 5) 주기적 목초와 목초/토끼풀 농장을 포함한 다른 사료들. 식 11.6에서 Tier 1 접근법을 위한농작물 잔존물과 사료/목초지재생에서 발생하는 질소를 산정하는 식을 제시한다.

12 가축에 대한 절에서, 농장, 방목장, 그리고 목장은 "S"라고 표시된 거름관리체계들 중 하나를 말한다.

13 F_{CR}을 산정하는 이 식은 농작물잔존물에서 발생하는 총질소유입에 대하여 지하질소의 기여도를 설명하는 이전 1996 IPCC 가이드라인에서 수정되었다. 이것은 이전에 F_{CR}의 산정에서 무시된 부분이다. 결과적으로, F_{CR}은 현재 농작물잔존물로부터 발생한 질소유입량의 보다 정확한 산정을 보여준다. 이는 사실상 모든 지상의 건조물질의 수확으로 뿌리체계를 제외한 상당한 잔존물을 초래하는 그 곳에서 자주개자리 같은 사료 콩과식물의 성장에서 발생하는 잔여질소에 대한 기여도에 접근 가능하도록 만들어 준다.

14 사료 또는 목초지재생에서 발생하는 질소의 삽입은 1996 IPCC 가이드라인에서 변경된 것이다.

식 11.6
곡류의 작물잔사와 사료와 목초 재생에서 발생하는 질소 (Tier 1)

$$F_{CR} = \sum_{T} \left\{ \begin{array}{l} Crop_{(T)} \bullet \left(Area_{(T)} - Area\,burnt_{(T)} \bullet C_f \right) \bullet Frac_{Renew(T)} \bullet \\ \left[R_{AG(T)} \bullet N_{AG(T)} \bullet \left(1 - Frac_{Remove(T)} \right) + R_{BG(T)} \bullet N_{BG(T)} \right] \end{array} \right\}$$

여기서:

F_{CR} = 질소고정작물을 포함하고, 사료/목초지재생에서 발생하고, 토양으로 되돌아가는 농작물 잔존물에서 연간질소량(지상과 지하), kg N yr_{-1}

$Crop_{(T)}$ = 농작물 *T*에 대한 수확된 연간건조생산량, kg d.m. ha^{-1}

$Area_{(T)}$ = 농작물 T의 수확이 일어난 연간총면적, ha yr^{-1}

Area $burnt_{(T)}$ = 농작물 *T*이 소각된 연간면적, ha yr^{-1}

C_f = 연소계수(크기 없음)(제2장, 표 2.6참조)

$Frac_{Renew\ (T)}$ = 연간 개간되는 농작물 T이 재배되는 총 면적의 부분.[15] 매년 X년마다 목초를 평균적으로 재생하는 국가에 대해서, $Frac_{Renew}$= 1/X. 연간 농작물량에 대해서는, $Frac_{Renew}$= 1

$RAG_{(T)}$ = 지상 잔여물의 건조중량($AG_{DM(T)}$)에 대한 농작물 T($Crop_{(T)}$)에 대한 수확량의 비율, kg d.m. (kg d.m.)$^{-1}$,

= $AG_{DM(T)} \bullet 1000/Crop_{(T)}$ (표 11.2의 정보로부터 $AG_{DM(T)}$을 계산)

$NAG_{(T)}$ = 농작물 *T*에 대한 지상잔존물의 질소함유량, kg N (kg d.m.)$^{-1}$, (표 11.2)

$Frac_{Remove(T)}$ = 먹이, 깔짚, 그리고 건설의 목적으로 연간 제거되는 농작물 T의 지상잔존물의 부분, kg N (kg crop-N)$^{-1}$. 국가의 전문가 조사는 자료를 얻도록 요구된다. $Frac_{Remove}$에 대한자료가 이용하기 어려운 경우, 제거가 없다고 가정한다.

$R_{BG(T)}$ = 지하잔존물에 대한 농작물 T의 수확량의 비율, kg N (kg crop-N)$^{-1}$. 대안적 자료를 이용하기 어려운 경우, $R_{BG(T)}$는 표 11.2에 있는 $R_{BG\text{-}BIO}$를 농작물생산량에 대한 총지상생체량의 비율(=[($AG_{DM(T)}$ 1000+$Crop_{(T)}$)/$Crop_{(T)}$]로 곱함으로 계산될 것이다(또한, 표 11.2의 자료에서 $AG_{DM(T)}$를 계산).

$N_{BG(T)}$ = 농작물 T에 대한 지하잔존물의 질소함류량, kg N (kg d.m.)$^{-1}$, (표 11.2)

T = 농작물 또는 목초의 유형

농작물 생산량통계에 대한 자료(곡식별 생산량과 수확면적)는 국가적 자료를 이용하여 얻을 수 있다. 이런 종류의 자료를 이용할 수 없는 경우를 대비하여, FAO에서는 농작물 생산량에 대한 자료를 발표하고 있다(http://faostat.fao.org/). 많은 농작물에 대한 생산량통계가 야외건조 또는 생중량으로 보고되기 때문에, 보정계수는 적정한 지역에서 건조수확량($Crop_{(T)}$)를 산정하는데 이용될 수 있다(식 11.7). 사용된 적절한 보정법은 보고하는 생산량에 사용된 기준에 의존적이다. 이 기준

15 이 용어에 방목지 목초의 재생/배양 또는 목초/토끼풀 농장과 다른 사료농작물에서 발생하는 질소배출량과 N_2O배출량의 연속적인 증가를 설명을 포괄한다(van der Weerden *et al.*, 1999; Davies *et al.*, 2001).

은 국가 간에 다양할 것으로 보인다. 택일적으로, 표 11.2에서는 주어진 건조중량의 기본값을 이용한다.

식 11.7
보고 된 곡식생산량의 건조중량 보정

$$Crop_{(T)} = Yield\ Fresh_{(T)} \bullet DRY$$

여기서:

$Crop_{(T)}$ = 농작물 T에 대한 수확된 건조 생산량, kg d.m. ha^{-1}

$Yield\_Fresh_{(T)}$ = 농작물 T에 대한 수확된 신선한 농작물 생산량, kg fresh weight ha^{-1}

DRY = 수확된 농작물 T의 건조물 부분, kg d.m. (kg fresh weight)$^{-1}$

표 11.2의 회귀식은 총 지상 잔여 건조량을 계산하는데 사용된다. 이 표의 다른 자료들은 지상 잔존물의 질소, 지하건조중량, 그리고 지하잔존물의 총질소의 계산이 허용된다. 총 질소추가량(F_{CR})은 지상과 지하의 질소함유량의 총합이다. 이 접근법으로 F_{CR}은 식 11.7A로 표현된다.

식 11.7A
F_{CR}을 산정하는 대안적 접근법 (표 11.2 이용)

$$F_{CR} = \sum_{T} \left\{ \begin{array}{l} AG_{DM(T)} \bullet \left(Area_{(T)} - Area\,burnt_{(T)} \bullet CF\right) \bullet Frac_{Renew(T)} \bullet \\ \left[N_{AG(T)} \bullet \left(1 - Frac_{Remove(T)}\right) + R_{BG-BIO(T)} \bullet N_{BG(T)}\right] \end{array} \right\}$$

F_{CR}을 결정하는 이 접근법의 발전은 표 11.2에 제공된 값보다는 국가-특이적 자료의 사용일 것이다. 또한, 소각되는 지상 잔존물의 부분에 대한 국가-특이적 값일 것이다.

토지이용변화 또는 관리 방법을 통한 무기질 토양에서 토양유기물탄소축적량의 손실을 초래하는 무기화되는 질소(F_{SOM})[16]

F_{SOM}는 토지이용변화 또는 관리방법을 통한 무기질 토양에서 토양유기탄소의 손실로부터 무기화된 질소량을 말한다. 제2장 2.3.3절에서 설명했듯이, 토지이용변화와 관리방법의 다양성은 토양유기탄소축적량에 상당한 영향을 줄 수 있다. 유기탄소와 질소는 토양유기물과 직접적으로 연관되어 있다. 토양탄소가 토지이용 또는 관리변화의 결과로 인한 산화를 통하여 손실되는 곳에서, 이 손실은 질소의 즉각적인 무기화를 발생시킬 것이다. 토양탄소의 손실이 발생한 곳에서, 이 무기화된 질소는 N_2O로 전환가능한 질소의 추가적인 배출원으로 고려된다(Smith and Conen, 2004). 예를 들면, 농작물잔존물의 부식에서 배출되는 무기질 질소처럼, 이것은 배출원이 된다. 농업토지로 비

16 F_{SOM}이라는 용어의 삽입은 이전 1996 IPCC 가이드라인에서 변화이다. 이는 토양유기탄소의 손실과 관련된 무기화에서 발생하는 질소를 포함하지 않는다.

료와 유기질소유입으로부터 발생하는 직접배출에 이용하는 듯이, 동일한 기본 배출계수(EF_1)는 토양유기물손실에서 발생한 무기화된 질소에 이용된다. 이것은 무기질소 배출원이 토지이용 또는 관리방법의 변화, 농작물 잔존물의 부패, 합성비료 또는 유기 토양개량제 이용으로 발생하는 토양유기물 손실을 막론하고, 토양유기물 무기화의 결과인 암모늄과 질산염이 질소화와 탈질화에 의해 N_2O를 만들어내는 미생물의 기질과 동일한 값이기 때문이다. (주: 무기질소를 새롭게 생성된 S_{OM}으로 고립시킴으로, 무기화에 대한 반대과정은 무기화 질소 배출원의 계산을 무시한다. 이것은 S_{OM}의 부패와 형성에 대한 다른 역학관계 때문이고 또한 한 상황에서 감소하는 경작지가 S_{OM}과 N_2O배출량을 증가시킬 수 있기 때문이다)

토양탄소의 손실들이 일어나는 모든 상황에 대해서 (제2장 식 2.25에서 계산하였듯이), 무기화에 의한 질소배출을 계산하는 Tier 1과 2 방법들을 아래에 제시한다.

무기화에서 발생하는 N공급에서 변화를 산정하는 계산 Tier들

단계 1: 제2장의 식 2.25를 이용하여 인벤토리 기간 동안 일정 면적에 대한 토양 탄소의 연평균 손실량($\triangle C_{Mineral,\ LU}$)을 계산한다. Tier 1접근법을 사용하면, $\triangle C_{Mineral,\ LU}$의 값은 모든 토지이용과 관리체계에 대하여 단일 값을 가질 것이다. Tier 2를 이용한다면, $C_{Mineral,\ LU}$의 값은 개별적 토지이용별 그리고/또는 관리체계별로 분리될 것이다.

단계 2: 식 11.8을 이용하여 토양탄소의 손실 결과로서 무기화된 질소량을 산정한다(F_{SOM}).

식 11.8
토지이용 또는 관리의 변화에 따른 토양탄소 손실의 결과로서 무기질 토양에 무기화된 질소 (Tier 1과 2)

$$F_{SOM} = \sum_{LU}\left[\left(\Delta C_{Mineral,\ LU} \bullet \frac{1}{R}\right) \bullet 1000\right]$$

여기서:

F_{SOM} = 토지이용 또는 관리방법의 변화를 통한 토양탄소 손실의 결과로서 무기질 토양에서 무기화된 순연간질소량, kg N

$\triangle C_{Mineral,\ LU}$ = 토지이용유형(LU)에 대한 토양탄소의 연평균 손실량, tonnes C (주: Tier 1에 대해서, $\triangle C_{mineral,\ LU}$은 모든 토지이용과 관리체계를 위한 단일 값을 가질 것이다.Tier 2를 이용하여, $\triangle C_{mineral,\ LU}$의 값은 개별 토지이용 그리고/또는 관리체계로분리될 것이다.)

R = 토양유기물의 C:N 비율. C:N비율(R)에 대한 15라는 고정값(불확도 범위는 10에서 30)은 지역에 대한 더욱 특별한 자료의 부재에서 임지 또는 초지에서 농경지로 토지이용변화를 유발하는 상황에서 이용될 수 있다. 10이라는 고정값(범위는 8-15)은 농경지로 남아있는 농경지에 대한 관리방법변화를 유발하는 상황에서 사용될 수 있다. C:N 비율은 시간, 토지이용, 또는 관리방법에 따라 달라질 수 있다.[17] 국가들이 C:N 비율에서 변화를 문서화

17 산림과 농경지 토양에서 C:N 비율에 대한 정보는 다음의 참고문헌에서 찾아질 것이다. Aitkenhead-Peterson *et al.*, 2005; Garten *et al.*, 2000; John *et al.*, 2005; Lobe *et al.*, 2001; Snowdon *et al.*, 2005, 그리고 이들 저자들에 의해 인용된 다른 참고문헌들.

할 수 있는 경우에, 다른 값들은 시계열, 토지이용, 또는 관리방법에 대하여 사용할 수 있다.

LU = 토지이용 그리고/또는 관리체계유형

단계 3: Tier 1에 대하여, F_{SOM}의 값은 단일 스텝에서 계산된다. Tier 2에 대하여, F_{SOM}은 모든 토지이용 그리고/또는 관리체계유형(LU)을 모두 합함으로서 계산된다.

무기질 토양탄소의 전체변화량을 산정할 수 없는 국가들은 N_2O산정량에서 오류가 있을 수 있다. 이는 보고를 문서화 할 때 인정하는 것이 올바른 방법이다. 만약 이용가능하다면 탄소변화에 대한 자료와 연관되어 분류된 토지지역에 대한 C:N비율의 특정한 자료를 이용하는 것도 또한 *우수실행(good practice)*이다.

배수/관리유기토양의 면적 (F_{OS})

F_{OS}는 배수/관리유기토양의 연간 총 면적(ha)을 말한다 (정의에 대한 각주 4를 참고). 이 정의는 Tier 1과 Tier 2 방법 양쪽에 대하여 응용가능하다. 모든 토지이용에서, 이 지역들을 기후(온대지대와 열대지대)별로 계층화해야만 한다. 덧붙여서, 온대지대 임지는 토양비옥도(비옥과 불모)로 한층 더 계층화해야만 한다. 배수/관리유기토양의 면적(F_{OS})은 공식 국가통계자료에서 수집될 것이다. 택일적으로, 각 국가에서의 유기토양의 총면적은 FAO (http://faostat.fao.org/)로부터 이용가능하고, 배수/관리된 면적을 산정하는데 전문가의 조언을 이용할 수도 있을 것이다. 임지에서, 국가자료는 토양조사기관 및 습지조사단 같은 국제단체로부터 이용 가능할 것이다. 토양비옥도별 계층화가 불가능할 경우, 국가는 전문가의 판단에 의지할 것이다.

11.2.1.4 불확도 평가

관리토양에서 발생된 아산화질소(N_2O)의 산정치에 대한 불확도는 배출계수, 자연적 변이성, 분할된 부분들, 활동자료, 측정법의 제한된 적용범위, 공간적 집적, 특이한 목장현장실제에 대한 정보의 부족과 관련된 불확도에서 기인된다(불확도 범위에 대한 표 11.1 참고). 한 국가에서 모든 조건들에 대한 대표성이 없는 배출측정치들을 이용할 경우에, 부가적 불확도는 한 인벤토리에 도입될 것이다. 일반적으로, 활동자료에 대한 신뢰성은 배출계수의 신뢰성보다 높을 것이다. 한 예로, 한층 더 불확도는 비료와 거름의 관리와 이용 그리고 농장에서 관리방법의 변화와 관련된 법과 규제의 준수에서 빠진 정보로 인하여 발생될 수도 있다. 일반적으로, 법률의 실제적 복종과 농장기술에 대한 정보와 같이 성취된 가능한 배출량 감소에 대한 정보를 얻는 것은 어렵다. 불확도 평가에 대한 보다 자세한 지침은 제1권의 제3장을 참고하라.

표 11.2
농작물 잔존물로부터 토양에 투입된 N의 산정을 위한 기본 계수

농작물	수확된 작물의 건조물부분 (DRY)	지상잔존물의 건조물AGDM(T) (Mg/ha): AGDM(T) = Crop(T) * slope(T) + intercept(T)[a]					지상부 잔존물의 N 함량 (NAG)	지상부 바이오매스에 대한 지하부 잔존물의 비율 (RBG-BIO)	지하부 잔존물의 N 함량 (NBG)
		경사도	AGDM(T) = Crop(T) * slope(T) + intercept(T)	차단	±2 s.d. as % of mean	R^2 adj.			
주요 농작물유형									
곡물	0.88	1.09	±2%	0.88	±6%	0.65	0.006	0.22 (±16%)	0.009
강낭콩과 콩[b]	0.91	1.13	±19%	0.85	±56%	0.28	0.008	0.19 (±45%)	0.008
덩이줄기 작물[c]	0.22	0.10	±69%	1.06	±70%	0.18	0.18	0.20 (±50%)	0.014
뿌리작물, 그 밖[d]	0.94	1.07	±19%	1.54	±41%	0.63	0.016	0.20 (±50%)	0.014
질소고정 마초	0.90	0.3	±50% default	0	-	-	0.027	0.40 (±50%)	0.014
비질소고정 마초	0.90	0.3	±50% default	0	-	-	0.015	0.54 (±50%)	0.022
다년생 초지	0.90	0.3	±50% default	0	-	-	0.015	0.80 (±50%)[l]	0.012
초지-토끼풀조합	0.90	0.3	±50% default	0	-	-	0.025	0.80 (±50%)[l]	0.016[p]
개별 농작물									
옥수수	0.87	1.03	±3%	0.61	±19%	0.76	0.006	0.22 (±26%)	0.007
밀	0.89	1.51	±3%	0.52	±17%	0.68	0.006	0.24 (±32%)	0.009
겨울밀	0.89	1.61	±3%	0.40	±25%	0.67	0.006	0.23 (±41%)	0.009
봄밀	0.89	1.29	±5%	0.75	±26%	0.76	0.006	0.28 (±26%)	0.009
벼	0.89	0.95	±9%	2.46	±41%	0.47	0.007	0.16 (±35%)	N/A
보리	0.89	0.98	±8%	0.59	±41%	0.68	0.007	0.22 (±33%)	0.014
귀리	0.89	0.91	±5%	0.89	±8%	0.45	0.007	0.25 (±120%)	0.008
기장	0.90	1.43	±8%	0.14	±308%	0.50	0.007	N/A	N/A
사탕수수	0.89	0.88	±13%	1.33	±27%	0.36	0.007	N/A	0.006
호밀[e]	0.89	1.09	±50% default	0.88	±50% default	-	0.005	N/A	0.011

표 11.2
농작물 잔존물로부터 토양에 투입된 N의 산정을 위한 기본 계수 (계속)

농작물	수확된 작물의 건조물부분 (DRY)	지상잔존물의 건조물 $AG_{DM(T)}$ (Mg/ha): $AG_{DM(T)} = Crop_{(T)} * slope_{(T)} + intercept_{(T)}$[a]					지상부 잔존물의 N 함량 (N_{AG})	지상부 바이오매스에 대한 지하부 잔존물의 비율 (R_{BG-BIO})	지하부 잔존물의 N 함량 (N_{BG})
		경사도	$AG_{DM(T)} = Crop_{(T)} * slope_{(T)} + intercept_{(T)}$	차단	±2 s.d. as % of mean	R^2 adj.			
대두[f]	0.91	0.93	±31%	1.35	±49%	0.16	0.008	0.19 (±45%)	0.008
건조콩[g]	0.90	0.36	±100%	0.68	±47%	0.15	0.01	N/A	0.01
감자[h]	0.22	0.10	±69%	1.06	±70%	0.18	0.019	0.20 (±50%)[m]	0.014
땅콩(w/pod)[i]	0.94	1.07	±19%	1.54	±41%	0.63	0.016	N/A	N/A
자주개자리[j]	0.90	0.29[k]	±31%	0	-	-	0.027	0.40 (±50%)[n]	0.019
비콩과류 건초[j]	0.90	0.18	±50% default	0	-	-	0.15	0.54 (±50%[n])	0.012

[a] 출처:CASMGS에 대한 Stephen A.Williams의 문헌연구[Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, (Email: stevewi@warnercnr.colostate.edu), [http://www.casmgs.colostate.edu]. 원래의 출처는 별첨 11A.1에 제시한다.

[b] 이용된 모든 자료에서 온 평균 지상잔존물:곡물비율은 2.o이었고 대두, 건조콩, 렌즈콩, 광저기, 검은 녹두, 그리고 완두콩을 포함한다.

[c] 감자 후에 모형화

[d] 땅콩 후 모형화.

[e] 호밀에 대한 자료없음. 경사도와 차단값은 모든 곡물의 값이다. 기본 표준편차..

[f] 이용된 모든 자료에서 평균 지상잔존물:곡물의 비율은 1.9였다.

[g] Ortega, 1988 (부록 11A.1참조). 이 단일 출처에서 온 평균 지상잔존물:곡물의 비율은 1.6이었다. 뿌리: AGB에 대한 기본 표준편차.

[h] 이용된 출처에서 지상잔존물의 평균값: 덩이줄기 작물의 비율은 표준오차 값을 0.04를 가지는 0.27이었다..

[i] 이용된 출처에서 지상잔존물에 대한 평균값: 꼬투리 생산의 비율은 표준오차 0.01을 가지는 1.80이었다.

[j] 단일출처. 뿌리:AGB에 대한 기본 표준편차

[k] 이것은 부식물질 또는 수확손실로 보고되는 평균 지상생체량이다. 이것은 평균 0.165X보고된 생산량인 보고되는 그루터기는 포함하지 않는다. 기본 표준편차.

[l] 지상생산량에 대한 뿌리의 회전률의 산정은 자연 초지계에서 지하 생체량은 지상생체량의 2배(1-3배)와 대략 일치하고 이 초지계에서 뿌리의 화전률은 약 40%(30-50%)/yr라는 가정에 기초한다. 기본 표준편차.

[m] 이것은 다른 농작물에서 찾아지는 뿌리:발아의 비율에 근거한 비덩이줄기 작물의 산정치이다. 상품성 없는 줄기작물생산량을 토양부문으로 돌리는 경우, 자료를 Vangessel and Renner(1990)에서 가져올 수 있다(부록 11A.1참조). (상품성없는 생산량 = 0.08X상품성 있는 생산량= 0.29X지상생체량)는 돌아가는 총잔존물은 0.49X지상생체량의 규칙에 의해 결정될 것이다. 기본 표준편차.

[n] 이것은 다년생 체계에서 뿌리회전률의 산정치다. 기본 표준편차

[p] 초지는 콩과작물에 대해서 2배가량 이 체계가 우점한다고 여기서 가정한다.

11.2.2 간접적인 N_2O 배출량

직접경로를 통해 일어나는 배출량을 관리토양으로부터 발생하는 N_2O의 직접배출량에 덧붙인다면 (예, 토양에서 직접 발생해서 질소가 이용되는 곳으로 흐르는 과정), N_2O의 배출은 11.2절에서 그림으로 설명한 것처럼 두 개의 간접경로를 통해서 일어난다.

이들의 일차적 경로는 NH_3와 질소 산화물(NO_x)의 휘발이고 이들 가스들의 침적과 이들의 산물인 NH_4^+와 NO_3^-가 토양과 호수의 표면수와 다른 수체에 유입되는 것이다. NH_3와 NO_x로서 질소의 배출원은 농업용 비료와 거름을 한정하는 것뿐만 아니라 화석연료연소, 생체소각, 그리고 화학 산업에서의 과정들을 포함한다 (제1권, 제7장, 7.3절 참고). 그래서 이들 과정들은 합성과 유기질소비료 그리고/또는 방목된 가축에 의한 소변과 분변물 침전물의 이용에 따른 농업적으로 파생된 NH_3와 NO_x의 침적에서 발생하는 이들에 대하여 어느 정도 정확하게 비슷한 방법으로 N_2O배출을 일으킨다. 이차경로는 합성과 유기비료의 추가량, 농작물 잔존물[18], 토지이용변화 또는 관리방법을 겪은 무기질과 배수/관리유기토양 내 토양탄소의 손실에 관련된 질소의 무기화, 그리고 방목된 가축들에서 발생하는 소변과 분변물 침적에서 발생하는 질소의 토지에서의 용탈과 표면유출이다. 토양 내 또는 토양 상의 얼마간의 무기질소 (주로 NO_3^-형태)는 표면유출 (runoff)과/또는 토양 대공극 또는 파이프배수를 통한 흐름 내 이동에 의하여 토양/식생계에서 생물학적 체류기작을 통과하게 될 것이다. NO_3^-가 소의 소변 패치 아래와 같이 토양 내에 생물학적 요구초과상태로 존재한다면, 초과분은 토양단면을 통해서 용탈된다. 이 장의 처음에서 서술한 질화작용과 탈질화과정은 NH_4^+와 NO_3^-를 N_2O로 전환시킨다. 이것은 질소가 유입된 토지 아래 지하수, 배수 또는 표면유출수를 받아들이는 수변지역, 또는 토지배수가 결국 흘러가는 곳인 웅덩이, 시내, 못과 기수지역 (그리고 그들의 퇴적물)에서 일어난다.

이 장에서 서술하는 방법은 질소의 농업이용으로 기인하는 관리토양에서 발생하는 간접 N_2O 배출원을 아래에서 제시한다.

- 합성질소비료(F_{SN});
- 비료로 투입된 유기질소(예, 가축거름[19], 퇴비, 하수슬러지, 정체된 쓰레기와 다른 유기토양개량제)(F_{ON});
- 방목되는 가축에 의해 농장, 방목장, 목장에 침적된 소변과 분변물의 질소(F_{PRP});
- 질소고정작물과 토양으로 돌아가는 비료/목초지재생을 포함하는 농작물 잔존물(지상과 지하) 내의 질소(F_{CR})[20];
- 무기질 토양에서 토지이용 또는 관리방법의 변화로 야기되는 토양유기물질의 손실에 관련된 질소 무기화(F_{SOM}).

아래에 설명하는 일반적인 Tier 1과 Tier 2방법들은 국가전체의 관리토양으로 대한 농업으로 인한 질소추가로 발생하는 총간접 N_2O 배출량을 산정하는데 사용할 수 있다. 한 국가가 토지이용 카테고리별 관리토양에서 발생하는 국가의 직접 N_2O 배출량을 산정하려는 경우에, 간접 N_2O 배출량은 활동자료, 구획화 분류, 그리고/또는 각 토지이용카테고리에 특정한 배출계수들을 가지는 아래에 제시하는 식들을 이용하여 동일한 토지이용카테고리의 분리로 또한 산정될 수 있다. 연소관련

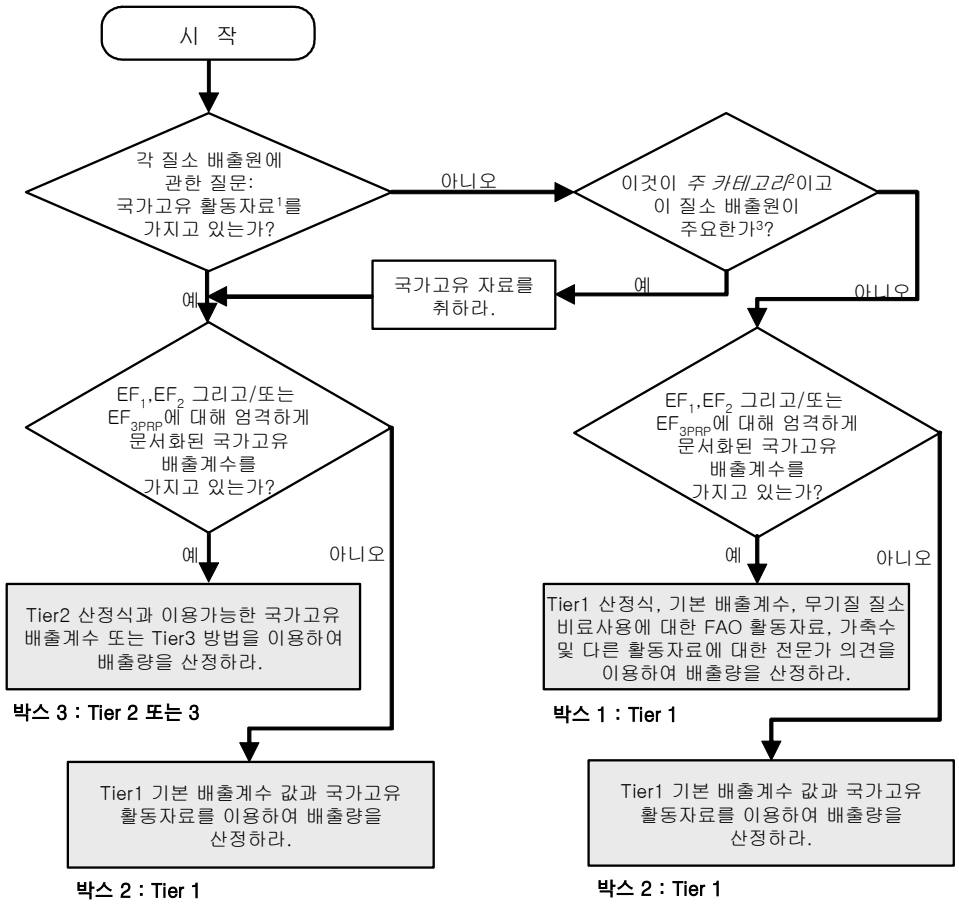
18 용탈과 표면유출구성성분에 질소유입으로서 농작물 잔존물의 포함은 기존 IPCC 지침에서 변경된 것이다.
19 거름관리체계 내 거름으로부터 발생하는 질소의 휘발과 연속 침적은 본권의 거름관리 부분에서 설명한다.
20 이들 구성물에서 발생하는 질소는 오직 간접N_2O배출의 용탈/표면유출구성물에 포함된다.

그리고 산업원에서 발생하는 간접 아산화질소 (N_2O) 배출량을 산정하는 이 방법론은 제 1권, 제 7장, 7.3절에서 서술하고 있다.

11.2.2.1 방법의 선택

이용하는 Tier방법에 대한 지침 (간접 N_2O배출)에 대한 그림 11.3의 의사결정도를 참고하라.

그림 11.3 관리된 토양으로부터 유출된 간접적인 N_2O 배출량에 대한 의사결정도



주:

1: 질소 배출원은 다음을 포함한다. 합성 질소비료, 유기질소추가물, 소변과 분변물 침적, 농작물 잔존물, 토지이용변화 또는 관리방법들의 결과로서 무기질 토양에서 토양탄소의 손실/취득과 관련한 질소 무기화/고정(농작물 잔존물과 질소 무기화/고정은 용탈/표면유출로 발생하는 간접N_2O배출에서 설명된다). 하수슬러지 또는 다른 유기첨가물은 충분한 정보가 이용 가능한 경우에 포함될 수 있다.

2: 주요카테고리들의 논의와 의사결정도의 사용에 대한 제1권, 제 4장의 "주요카테고리들의 방법론적 선택과 확인"(제한된 출처에 대해서 4.1.2절 참조)을 참조.

3: 경험에 따르면, 어떤 하위 카테고리는 이것이 배출원 카테고리에서 발생하는 배출량의 25-30%를 설명한다면 상당한 것으로 볼 수 있다.

Tier 1

휘발, $N_2O_{(ATD)}$

관리된 토양에서 휘발되는 질소의 대기 중 침적에서 발생하는 아산화질소(N_2O) 배출량은 식 11.9으로 계산된다.

식 11.9
관리된 토양에서 휘발된 N의 대기 내 침전물로부터 배출된 N_2O (Tier 1)

$$N_2O_{(ATD)}\text{–}N = \left[\left(F_{SN} \bullet Frac_{GASF}\right) + \left(\left(F_{ON} + F_{PRP}\right) \bullet Frac_{GASM}\right)\right] \bullet EF_4$$

여기서:

$N_2O_{(ATD)}$ – N = 관리된 토양에서 휘발되는 질소의 대기 중 침적에서 생산되는 연간 N_2O-N의 양, kg N_2O N yr^{-1}

F_{SN} = 토양으로 유입된 합성비료질소의 연간사용량, kg N yr^{-1}

$Frac_{GASF}$ = NH_3와 NOx로서 휘발되는 유기비료질소, kg N volatilised (kg of N applied)$^{-1}$ (표 11.3)

F_{ON} = 토양에 유입되는 관리동물거름, 퇴비, 하수슬러지와 다른 유기질소첨가물의 연간사용량, kg N yr^{-1}

F_{PRP} = 농장, 방목지, 그리고 목장의 방목중인 가축들에 의하여 침적된 소변과 분변물 질소의 연간량, kg N yr^{-1}

$Frac_{GASM}$ = 유기질소비료물질(F_{ON})과 NH_3와 NO_x로 휘발되는 방목된 가축들의 소변과 분변물 질소(F_{PRP})의 부분, kg N volatilised (kg of N applied or deposited)$^{-1}$ (표 11.3)

EF_4 = 토양과 수표면에서 질소의 대기 중 침전으로 발생하는 N_2O, [kg N – N_2O (kg NH_3-N+NO_x – N volatilised)$^{-1}$] (표 11.3)

보고목적의 아산화질소(N_2O) 배출량에서 $N_2O_{(ATD)}$ N 배출량으로의 전환은 다음의 식을 이용함으로 표현된다.

$$N_2O_{(ATD)} = N_2O_{(ATD)} - N \bullet 44/28$$

용탈/표면유출, $N_2O_{(L)}$

용탈과 표면유출이 일어나는 지역들에서 용탈과 표면유출로 발생하는 N_2O배출량은 식 11.10을 이용하여 계산한다.

식 11.10
용탈/유출이 일어나는 지역의 관리된 토양에서
질소용탈/유출로부터 배출된 N_2O (Tier 1)

$$N_2O_{(L)}\text{–}N = \left(F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}\right) \bullet Frac_{LEACH-(H)} \bullet EF_5$$

여기서:

$N_2O_{(L)}-N$ = 용탈과 표면유출이 일어나는 지역들에서 관리토양으로 질소첨가물의 용탈과 표면유출에서 생산되는 연간 N_2O-N의 양, kg N_2O-N yr^{-1}

F_{SN} = 용탈/표면유출이 일어나는 토양에 이용되는 합성비료질소의 연간사용량, kg N yr^{-1}

F_{ON} = 용탈/표면유출이 일어나는 지역의 토양에 이용되는 관리된 동물거름, 퇴비, 하수슬러지 그리고 다른 유기질소첨가물의 연간사용량, kg N yr^{-1}

F_{PRP} = 용탈/표면유출이 일어나는 지역의 방목된 가축들에 의해 침전된 연간 소변과 분변물 질소의 양, kg N yr^{-1} (식 11.5)

F_{CR} = 용탈/표면유출이 일어나는 지역에서 매년마다 비료/목초지재생에서 토양으로 되돌아오는 농작물 잔존물의 질소량(지상과 지하). 이는 질소고정작물을 포함한다. kg N yr^{-1}

F_{SOM} = 용탈/표면유출이 일어나는 지역에서 토지이용 또는 관리방법의 결과로서 토양유기물질로부터 토양탄소의 손실과 관련된 무기질 토양 내에서 무기화되는 연간질소량, kg N yr^{-1}(표 11.8)

$Frac_{LEACH-(H)}$ = 용탈/표면유출이 일어나는 지역에서 관리토양으로 첨가되고 무기화되는 모든 질소 부분, kg N (kg of N additions)$^{-1}$ (표 11.3)

EF_5 = 질소의 용탈과 표면유출로 발생하는 N_2O배출량에 대한 배출계수, kg N_2O-N(kg N leached and runoff)$^{-1}$ (표 11.3)

주: 만약 한 국가가 유기토양에서 무기질화되는 질소의 양을 산정할 수 있다면, 이것을 식 11.10에 부가적 첨가로서 포함한다.

보고목적의 아산화질소(N_2O) 배출량에서 $N_2O_{(L)}-N$배출량으로의 전환은 다음의 식을 이용함으로 표현된다.

$$N_2O_{(L)} = N_2O_{(L)}-N \bullet 44/28$$

Tier 2

더욱 자세한 배출량, 휘발 또는 용탈계수가 표 11.3에서 제시된 것보다 한 국가에 이용 가능한 경우에, 이 식들에서 용어들의 보다 나은 분해를 또한 수행할 수 있다. 예를 들면, 특이한 휘발계수가 다른 조건 I 아래서 합성비료(F_{SN})의 이용에 사용가능하다면, 식 11.9는 아래와 같이 확장될 것이다[21].

21 식 11.11은 식 11.9에 대한 많은 가능한 수정들 중 하나일 뿐이라는 것과 Tier 2방법을 이용할 경우에 식 11.10을 수정할 수 있는 방법을 설명하는 것을 의미한다는 것을 인식하는 것은 중요하다. 식 11.11의 최종형태는 토지이용과/또는 조건-특이적 구획된 부분 그리고/또는 배출계수들과 어떤 국가가 이들의 활동자료를 분리할 수 있는 능력의 활용도에 달려있을 것이다.

식 11.11
관리된 토양에서 휘발된 N의 대기 내 침전물로부터 배출된 N_2O (Tier 2)

$$N_2O_{(ATD)}-N = \left\{ \sum_i \left(F_{SN_i} \bullet Frac_{GASF_i} \right) + \left[\left(F_{ON} + F_{PRP} \right) \bullet Frac_{GASM} \right] \right\} \bullet EF_4$$

여기서:

$N_2O_{(ATD)}$ – N = 관리토양에서 휘발되는 질소의 대기 중 침적에서 생산되는 연간 N_2O-N의 양, kg N_2O N yr^{-1}

F_{SNi} = 다른 조건 i 아래서, 토양으로 유입된 합성비료질소의 연간사용량, kg N yr^{-1}

$Frac_{GASFi}$ = 다른 조건 i 아래서, NH3와 NOx로서 휘발되는 유기비료질소의 부분, kg N volatilised (kg of N applied)$^{-1}$

F_{ON} = 토양에 유입되는 관리동물거름, 퇴비, 하수슬러지와 다른 유기질소첨가물의 연간사용량, kg N yr^{-1}

F_{PRP} = 농장, 방목지, 그리고 목장의 방목중인 가축들에 의하여 침적된 소변과 분변물 질소의 연간량, kg N yr^{-1}

$Frac_{GASM}$ = 유기질소비료물질(F_{ON})과 NH_3와 NO_x로 휘발되는 방목된 가축들의 소변과 분변물질소(F_{PRP})의 부분, kg N volatilised (kg of N applied or deposited)$^{-1}$ (표 11.3)

EF_4 = 토양과 수표면에서 질소의 대기 중 침전으로 발생하는 N_2O, [kg N – N_2O (kg NH_3-N+NO_x – N volatilised)$^{-1}$] (표 11.3)

주: 만약 한 국가가 유기토양의 배수/관리에서 무기질화되는 질소의 양을 산정할 수 있다면, 이것을 식 11.10의 수정된 Tier 2에 질소유입원 중 하나로 포함한다.

보고를 목적으로 하는 N_2O N 배출량을 아산화질소(N_2O) 배출량으로 변환하는 식은 아래와 같다;

$$N_2O_{(ATD)} = N_2O_{(ATD)} - N \bullet 44/28$$

Tier 3

Tier 3 방법들은 모형화 또는 측정접근법이다. 모형은 이들은 배출을 초래하는 변수들이 그들 배출량의 크기와 연관될 때 유용하다. 이들 관계들을 실험적 측정치가 현실성이 없는 전체 국가들 또는 지역들에서 발생하는 배출량을 예측하는데 사용할 수도 있을 것이다. 더 자세한 정보를 원하면, 지침이 Tier 3 모형-기반 계수체계의 개발에 관한 완벽한 과학적 기초를 제공한다고 제시하는 제2장 2.5절을 참조한다.

11.2.2.2 배출, 휘발성, 여과계수의 선택

간접적인 아산화질소(N_2O) 배출량을 산정하는 방법에서 다음 두 개의 배출계수를 포함시킨다. 휘발되었다가 다시 침적된 질소와 연관된 일차(EF_4)와 용탈/표면유출을 통해서 손실되는 질소와 연관된 이차(EF_5). 이 방법은 또한 휘발과정($Frac_{GASF}$와 $Frac_{GASM}$) 또는 용탈/표면유출($Frac_{LEACH-(H)}$)을 통하여 손실되는 질소량 부분들에 대한 값이 필요하다. 모든 이들 계수들의 기본값들을 표 11.3에 제시하고 있다.

Tier 1방법에서 관개체계(점적 관수 제외)를 사용하는 습한 지역 또는 건조토양지역에 대하여, 기본 $Frac_{LEACH-(H)}$는 0.30이라는 것에 유의하라. 강수량이 대부분 한해를 통튼 증발산보다 낮고 용탈이 일어나지 않는 건조토양지역에 대해서, $Frac_{LEACH}$의 고정값은 0이다. $Frac_{LEACH-(H)}$=0.30을 이용해야하는지를 계산하는 방법은 표 11.3에 제시하고 있다.

경계를 넘는 대기이동의 특이한 복잡성 때문에 EF_4에 대한 국가-특이적 값은 대단한 주의가 요구된다. 인벤토리 작성자가 질소침적과 연관N_2O유동에 관련한 특별한 측정법을 가지고 있다고 해도, 많은 경우에서 침적된 질소는 그들의 국가에서 유래하지 않았을 것이다. 유사하게, 그들의 국가에서 휘발되는 몇몇 질소 배출원은 다른 나라로 이동될 것이고 다른 나라에 침전될 것이다. 이들 국가에서는 아산화질소(N_2O)로서 배출되는 부분에 영향을 미치는 다른 조건들이 우세할 것이다. 이러한 이유 때문에, EF_4의 값은 결정하기 매우 어렵고, 제 1권, 7장, 7.3절에서 제시한 방법은 관리토양으로 유입에서 발생하는 모든 간접N_2O배출이 대기 중 질소가 이동되었을 국가보다는 대기 중 NO_x와 NH_3 배출원인 한 국가에 귀착된다.

11.2.2.3 활동자료의 선택

관리토양에 유입되는 다양한 질소첨가물에서 발생하는 간접N_2O배출량을 산정하기 위하여, 매개변수 F_{SN}, F_{ON}, F_{PRP}, F_{CR}, F_{SOM}의 산정이 필요하다.

토양에 시용된 합성비료 (F_{SN})

F_{SN}는 토양에 이용된 합성비료질소의 연간사용량을 말한다. 관리토양(11.2.1.3절)에서 배출되는 직접 N_2O 배출량에 대한 활동 자료 부분을 참고하여 F_{SN}에 대한 값을 얻을 수 있다.

토양에 시용된 유기질소비료(F_{ON})

F_{ON}는 토양에 집중적으로 이용된 유기 질소 비료 물질의 양을 말한다. 관리토양에서 발생하는 직접 N_2O 배출량에 대한 활동 자료 부분을 참고 (11.2.1.3 절)하허여 F_{ON}에 대한 값을 얻을 수 있다..

방목된 가축에서 배출되는 소변과 분변물 (F_{PRP})

F_{PRP}는 농장, 방목장 그리고 목장에서 방목되는 가축에 의해 토양에 침적된 질소의 양을 말한다. 관리토양에서 발생하는 직접적인 아산화질소(N_2O) 배출량에 대한 활동 자료 부분을 참고(11.2.1.3 절)하여 F_{PRP}에 대한 값을 얻을 수 있다.

토양에 회귀시키는 질소고정농작물과 비료/목초지재생을 포함하는 농작물 잔존물(F_{CR})

F_{CR}는 토양에 매년 회귀시키는 질소고정농작물을 포함하는 농작물 잔존물(지상과 지하)에서의 질소의 양을 말한다. 이것은 또한 비료/목초지재생 기간 동안 무기화되는 질소고정과 비질소고정 비료를 포함한다. 관리토양에서 발생하는 직접적인 아산화질소(N_2O) 배출량에 대한 활동 자료 부분

을 참고(11.2.1.3 절)하여 F_{CR}에 대한 값을 얻을 수 있다.

무기질 토양에서 토양유기탄소저장의 손실로 초래된 무기화된 질소(F_{SOM})

F_{SOM}는 토지이용 또는 관리방법을 통하여 무기질 토양에서 토양유기탄소의 손실에서 무기화되는 질소의 양을 말한다. 관리토양에서 발생하는 직접적인 아산화질소(N_2O) 배출량에 대한 활동자료부분을 참고(11.2.1.3절)하여 F_{SOM}에 대한 값을 얻을 수 있다.

표 11.3
토양의 간접적인 N_2O 배출량에 대한 기본 배출, 휘발, 용탈 계수

계수	기본값	불확도 범위
EF_4[N volatilisation and re-deposition], kg N_2O – N (kg NH_3 – N + NO_X – N volatilised)$^{-1}$[22]	**0.010**	**0.002-0.05**
EF_5[leaching/runoff], kg N_2O – N (kg N leaching/runoff)$^{-1}$[23]	**0.0075**	**0.005-0.025**
$Frac_{GASF}$[Volatilisation from synthetic fertiliser], (kg NH_3 – N + NO_x – N) (kg N applied) [1]	**0.10**	**0.03-0.3**
$Frac_{GASM}$[이용된 모든 유기질소비료로부터 발생하는 휘발, 그리고 방목가축에 의해 침적된 분변물과 소변], (kg NH_3 – N + NO_x – N) (kg N applied or deposited) [1]	**0.20**	**0.05-0.5**
$Frac_{LEACH-(H)}$[Σ(우기의 강수량)-Σ(같은 기간의 PE)>토양수분함유능력인 지역 또는 관개시설(점적 관수 제외)이 채용된 지역에 대한 용탈/표면유출에 의한 질소 손실량], kg N (kg N additions or deposition by grazing animals)$^{-1}$	**0.30**	**0.1-0.8**

주: 이전에 이용된 $Frac_{LEACH}$의 용어는 수정되어서 이제는 강우와/또는 관개의 경과로 토양 수분함량을 초과하고 용탈과 표면유출이 일어나고, 그리고 $Frac_{LEACH-(H)}$로서 다시 선정된 지역에만 이용된다. 위의 $Frac_{LEACH-(H)}$의 정의에서, PE는 잠재적 증발량이고, 우기는 강우>0.5×팬 증발량이 되는 기간으로 받아들일 수 있다(잠재와 팬 증발량의 설명은 표준 기상학과 농학 서적에서 이용가능하다). 다른 지역에 대해서는 기본 $Frac_{LEACH}$값은 0로 받아들인다.

22 낮은 침전 환경에서 EF_s가 매우 낮을 수 있다(<< 0.01)는 명확한 증거(e.g., Corre *et al.*, 1999)가 있는 반면에, 이 불확도 범위는 어떤 환경, 즉 특별하게도 대기로부터 질소침적을 높은 수준으로 받아들이는 낙엽수림에서 발생하는 배출량은 상당히 이전에 보고된 것보다 높다고 보는 관점에서 폭이 넓어졌다(e.g., Butterbach-Bahl *et al.*, 1997; Brumme *et al.*, 1999; Denier van der Gon and Bleeker, 2005). 0.01의 평균값은 이것인 관리토양에서 발생하는 직접배출에 대한 수정된 EF와 동시에 일어나고, 많은 국가들에서 간접배출의 상당한 부분이 사실상 관리토양에서 발생한다고 인식되기 때문에 계속 유지되었다(표 11.1 참고).

23 용탈된 질소(EF_5)에 대한 배출계수의 전체 값은 0.025에서 0,0075 kg N_2O – N/kg N leached/ in runoff water로 수정되었다. 배출계수는 지하수와 표면배수, 강, 그리고 강어귀에 대해 각각 EF_{5g}, EF_{5r} 그리고 $EF5_e$라는 구성요소를 통합하고 있다. 최근의 결과들은 이전에 사용한 지하수와 표면배수 배출계수(0.015)는 너무 높아서 0.0025kg N_2O – N/kg mineral N (주로 nitrate) leached로 낮춰야만 한다고 지적하고 있다(Hiscock *et al.*, 2002, 2003; Reay *et al.*, 2004, 2005; Sawamoto *et al.*, 2005). 강에 대한 배출계수는 0.0075 kg N2O /kg N에서 같은 위와 같은 값인 0.0025 kg N_2O N/kg N in the water로 낮추었다. 예를 들자면, 이것은 0.0003에서 0.0005의 순의 여전히 낮은 평균값이 비교적 짧은 하천계에 대한 Dong *et al.*,(2004) and Clough *et al*,(2006)에 의해 보고되고 있는 반면에, 이들 저자들에 의해 얻어진 값보다 더 높은 값을 더 긴 하천계에 응용할 수 있는 가능성이 존재한다. 강어귀에 대한 값은 0.0025 kg N_2O – N/kg N로 남겨져 있다.

11.2.2.4 불확도 평가

관리토양에서 발생하는 아산화질소(N_2O)의 간접 배출량 산정에서의 불확실도는 자연적 변수와 배출, 휘발, 그리고 용탈계수, 활동자료, 그리고 측정치의 부족과 관련된 불확실도에서 비롯된다(불확실도 범위에 대한 표 11.3 참조). 부가적인 불확실도는 국가에서 인벤토리 사용 시에 모든 상황을 모두 포괄할 수 없는 값을 사용하는 것에서 유래된다. 일반적으로, 활동자료의 신뢰성은 배출, 휘발, 그리고 용탈계수보다 높을 것이다. 직접배출량에 대해서, 한층 더 심각한 불확도는 비료와 거름의 관리와 이용과 농장에서 관리방법의 변화와 관련된 법률과 규제의 준행에 대한 빠진 정보에서 비롯될 것이다. 일반적으로, 실제 법률과 규제의 준행과 성취된 가능한 배출량감소에 대한 정보, 그리고 농작방법에 대한 정보에 대해 얻는 것은 어렵다. 그럼에도 불구하고 배출계수에서 불확도는 지배적이고, 이러한 불확도 범위는 위의 표에서 제시하고 있다. 불확도 평가에 대한 더 자세한 지침은 제 1권, 제 3장을 참고하라.

11.2.3 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리

완전성

관리토양에서 발생하는 직접 간접적 N_2O 배출이 일어난다면, 이들의 완벽한 적용범위에 대한 모든 인위적 유입과 활동들(F_{SN}, F_{ON}, F_{CR}, F_{PRP}, F_{SOM} 그리고 F_{OS})에 대한 배출량 산정이 필요하다. 국가들이 모든 하위카테고리들, 즉 일반적으로 토양으로 회귀하는 농작물 잔존물량과 배수/관리된 유기토양의 면적에 대한 정확한 통계를 얻는 것이 어려울 것이지만, 경험적으로 인벤토리 내에서 모든 하위 카테고리들은 포함되어 졌다.

근래에 IPCC 방법은 아산화질소(N_2O) 배출량에 영향을 줄 합성수지 막 또는 온실수경시스템 같은 활동들을 명확하게 지시하지 않는다. 이들 부가적 활동들은 적절하다고 이들 활동에 대한 국가 활동자료의 수집을 통해 고려될 수 있다. 몇몇 활동은 이용 가능한 정보에 기초하여 국가적 인벤토리에 쉽게 포함될 수 있다. 부가적 상업과 비상업 유기비료에 대해서, 사용된 질소에 이용하는 기본 배출계수를 이용할 수도 있다. 진보된 연구에서는 원예지역에서 합성수지 막과 수경시스템의 사용에 대한 배출계수를 개발하여야 한다.

일관성 있는 시계열 개발

이상적으로는 전체 시계열을 대상으로 같은 방법을 사용한다. 그러나 배출원 카테고리에서 배출산정치의 세분화는 시간의 흐름에 따라 발전될 것이다. 어떠한 역사적 자료가 비어버린 경우에, 다른 참고문헌 또는 자료를 이용하여 자료를 유도하는 것이 필요할 수도 있다. 예를 들자면, 배수/관리유기토양의 연간면적자료는 장기간추세를 근거로 더 긴 시계열을 이용한 보간법으로 유도될 수도 있다(예, 20 또는 30년 기간 동안 10년 단위 통계치 이용). 매년 통합되는 농작물 잔존물량의 산정은 전문가 판단을 근거로 또한 유도할 필요할지 모른다.

$Frac_{GASF}$, $Frac_{GASM}$, $Frac_{LEACH}$, EF_4, 그리고 EF_5에서 연중 변화량은 완화측정이 수행되지 않는 한 예상될 수 없다. 이 계수들은 적절한 정당성과 문서화를 통해 교체되어야만 한다. 이들 변수들의 어떤 것이라도 갱신된 기본값이 향후 연구를 통해 이용가능해진다면, 인벤토리기관은 이들의 역사적 배출량을 재 계산해야할 것이다.

이용된 방법들이 배출량을 줄이는 활동의 결과를 반영하고 방법과 결과는 전체적으로 문서화 되

는 것은 중요하다. 정책적 측정이 활동도 데이터가 직접적으로 영향을 주는 것으로 실행된다면, 활동도 데이터가 조심스럽게 문서화된다는 가정아래, 발생량에 대한 정책적 측정의 영향은 분명해질 것이다. 정책적 대책이 활동자료가 직접적으로 영향을 주는 것으로 실행된다면(예, 비료소비량에서 감소에 영향을 주는 향상된 비료사용효율성), 배출량에 대한 정책적 대책의 영향은 활동자료를 조심스럽게 문서화된다고 가정하여 명백할 것이다. 정책적 대책이 활동자료 또는 배출요인들에 간접적 영향을 주는 경우에서(예, 두 당 질소 분비에서 변화를 불러일으키는 가축생산성을 향상시키는 가축개체사육방법의 변화), 인벤토리유입자료는 이들 영향을 반영해야만 한다. 인벤토리자료는 유입자료에 대한 정책의 영향을 전체적으로 설명해야만 한다.

인벤토리의 품질보증/품질관리 (QA/QC)

배출량 산정의 Tier 1 방법은 인벤토리 준비과정 바깥의 사람에 의해 전문가검토를 거친 인벤토리를 준비하는 사람에 의해 수행되어야만 한다. 부가적 Tier 2 품질관리 검사와 물질 보증과정들은 특히 상위 Tier 방법이 이 배출원 카테고리에서 나온 직접과 간접 N_2O배출량을 결정하는데 사용되는 경우에, 응용 가능할 수 있다. 자료처리과정, 조정, 그리고 보고에 관련된 일반적 QA/QC를 아래에서 논의하는 배출원-특이적 카테고리로 보충하여야 한다.

자료를 수집하는 사람들은 자료수집방법을 검토하고 그들이 수집되고 합쳐지거나 분리되는지 확인하는 자료를 검사하고, 그리고 자료가 타당하다고 확인하는 이전 년도의 자료와 비교분석하는 책임이 있다. 통계적 조사인지 “책상 산정치"인지, 산정치에 대한 기초는 QC 노력의 부분으로 검토되고 기술되어야만 한다. 문서화가 검토자로 하여금 오류를 확인하고 개선을 제안할 수 있도록 하기 때문에, 문서화는 검토과정의 중요한 구성요소다.

배출계수의 검토

인벤토리 작성자는 기본 배출계수를 검토하고 구체적인 값을 선택하는 이론을 기록해야만 한다. 국가-특이적 계수를 이용한다면, 인벤토리 작성자는 이들을 IPCC 기본 배출계수와 비교해야만 한다. 또한, 접근가능하다면, 비교가능한 상황의 다른 나라들에서 사용하는 국가-특이적 계수들과 비교한다. 국가-특이적 계수와 기본값 또는 다른 국가 계수들 사이의 차이점은 설명되고 기록되어야만 한다.

모든 직접측정의 검토

직접측정에 근거한 계수를 사용하면, 인벤토리 작성자는 그들이 환경적 그리고 토양관리조건, 그리고 연중 기후변이성의 실제적 범위에 대한 대표성을 가지고 인정된 표준에 따라 개발되었는지 확인해야만 한다(IAEA, 1992).

이 지역들에서 실제적으로 이 QA/QC 프로토콜은 또한 검토되어야만 하고 그 결과는 지역 사이와 기본값-기반 산정치를 비교하여 산정한다.

활동자료 검사

인벤토리 작성자는 합성비료소비량에 관한 국가-특이적 자료를 IFA의 비료사용자료와 FAO의 합성비료소비량산정치로 비교해야만 한다.

이 인벤토리 작성자는 질소배출자료가 거름관리체계 배출원카테고리에 사용되는 이것에 일관성을 가지는지 확인해야만 한다.

국가적 농작물 생산량 통계는 FAO 농작물생산량통계에 비교해야만 한다. 이 인벤토리 작성자는 자료가 가축부문에서 공유될 수 있기 때문에 QA/QC를 가축특성에 대해서 완성된 것을 확인해야

만 한다.

다양한 매개변수들에 대한 국가-특이적 값들은 IPCC 기본값과 설명된 모든 명확한 차이점에 비교해야만 한다.

외부 검토

인벤토리 작성자는 첫 번째로 방법을 채택하거나 수정할 경우, 전문가(동료) 검토를 수행해야만 한다. 이들 카테고리들의 국가-특이적 계수들을 계산하는데 사용된 매개변수들의 복잡성과 특이성을 가정하면, 이 분야의 전문가들은 이런 검토들에 참여해야만 한다.

보고와 기록

직접, 간접 N_2O 배출량

국가적 배출인벤토리산정량 생산에 필요한 모든 정보들을 기록하고 보관하라. 관리토양에서 발생하는 직접적 간접적 N_2O 배출은 IPCC 카테고리 "AFOLU" 아래의 토지이용카테고리 또는 다른 하위카테고리 (예, 벼농사 토지)별로 통합되거나 분리되는 것으로 보고 된다. 보고는 배출량을 계산할 때 수행한 것처럼 분리와 같은 수준에서 마무리되어야 한다. 보고형식의 완성에 추가하자면, 다음에 따른 부가적 정보가 산정치를 기록하는데 필요하다.

활동자료: 계산에서 사용된 모든 활동자료의 출처들(예, 자료가 수집된 통계적 데이터베이스에 대한 완벽한 인용), 그리고 활동자료가 데이터베이스로부터 직접적으로 이용이 안 되는 경우에, 활동자료를 유도하기 위해 사용된 정보와 가정. 이 문서화는 자료의 수집과 산정의 빈도와 정확도와 정밀도의 산정을 포함해야만 한다.

배출계수: 이용된 배출계수의 출처들(특이한 IPCC 고정값 아니면 다른 것). 국가- 또는 지역-특이적 배출계수들을 이용하거나 새로운 방법 (IPCC 기본 방법들 제외)이 이용된 인벤토리에서, 이들 배출계수들과 방법들의 과학적 근간들은 완벽하게 서술되고 기록되어야만 한다. 이것은 이들 배출계수와 방법이 유래한 과정을 서술하고 유입매개변수를 정의하는 것을 포함한다. 마찬가지로, 불확도의 배출원과 척도에 대해서 서술해야만 한다.

배출 결과: 연간 배출량에서 상당한 변동이 설명되어야만 한다. 어떤 차이점은 활동 수준 내의 변화량과 배출량 내의 변화량, 매년 휘발과 용탈계수, 그리고 기록된 이들 변화의 원인들 사이에서 만들어져야만 한다. 다른 계수를 다른 연도에 이용한다면, 이것에 대한 이유들이 설명되고 기록되어야만 한다.

11.3 석회처리로부터 유출된 CO_2 배출량

석회처리는 농업지역과 관리하는 임지에서 토양의 산도를 감소하고 관리체계에서 식생의 성장을 향상시키기 위해서 사용된다. 탄산염을 석회 (예, 칼슘 석회석($CaCO_3$) 또는 백운석($CaMg(CO_3)_2$)의 형태로 토양에 더함으로, 탄산염 석회가 용해되어 중탄산염($2HCO^{3-}$)으로 배출될 때 이산화탄소(CO_2) 배출량을 이끈다. 이는 이산화탄소(CO_2)와 물(H_2O)을 발생시킨다.

인벤토리들은 예전보다도 한층 더 정밀함과 많은 자료를 요구하는 각 연속적인 Tier와 함께 Tier 1, 2 또는 3 접근법을 이용하여 개발할 수 있다. 석회처리로부터 발생하는 이산화탄소(CO_2) 배출량이 주요배출원카테고리일 경우에 국가들은 더욱 상위 Tier를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

11.3.1 방법론의 선택

인벤토리 작성자들이 적절한 Tier의 선택하는 것을 돕기 위해서 그림 11.4에 의사결정도를 제시하였다.

Tier 1

토양에 탄산염 석회의 추가에서 발생하는 이산화탄소(CO_2) 배출량은 식 11.12로 계산될 수 있다.

식 11.12
석회처리에 의한 연간 CO_2 배출량

$$CO_2\text{–}C\ Emission = (M_{Limestone} \bullet EF_{Limestone}) + (M_{Dolomite} \bullet EF_{Dolomite})$$

여기서:

CO_2 – C Emission = 석회이용에서 발생하는 연간 탄소 배출량, 톤 C yr^{-1}

M = 칼슘석회암 ($CaCO_3$) 또는 백운석 ($CaMg(CO_3)_2$)의 연간 사용량, 톤 yr^{-1}

EF = 배출계수, 톤 C (톤 석회암 또는 백운석)$^{-1}$

계산을 위한 단계

석회처리에서 발생하는 CO_2-C배출량을 산정은 다음과 같은 단계를 통해 이뤄진다.

단계 1: 석회석과 백운석으로 구별되는 나라의 토양에 매년 이용되는 석회를 포함하는 탄산염의 총량(M)을 산정하라(주: M에 비료와의 복합체에 이용되는 부분도 토양에 이용된 모든 석회석으로 포함해야만 한다. 탄산염 석회는 관리체계에서 사용되는 잠재적 석회물질인 반면, 석회의 산화물(예, CaO)와 수산화물은 토양석회처리에 제한된 정도로 이용된다는 것을 주의하라. 이들 물질들은 무기질 탄소를 포함되지 않고 토양에 투입에서 발생하는 이산화탄소(CO_2) 배출량을 산정하는 계산에 포함되지 않는다 (이산화탄소(CO_2)는 그들 생성과정에서 만들어지지만 토양이용은 되지 않는다).

단계 2: 석회석에 대한 0.12와 백운석에 대한 0.13의 총배출계수(EF)를 응용하라. 이들은 물질의 탄산염 탄소 함류량($CaCO_3$의 12%, $CaMg(CO_3)^2$의 13%))과 동일하다. 불확도는 배출량은 최고값의 반이하일 것이라고 하는 대략에 근거하여 -50%이다. 이는 현재 계수의 값이다(West and McBride, 2005)(주: 불확도는 이들 값이 석회처리에 관련한 절대 최대배출량을 대표하기 때문에 배출계수를 초과할 수 없다).

단계 3: 석회석과 백운석의 총량을 그들의 개별적 배출계수와 곱하고 총 CO_2 – C의 배출량을 획득하기 위해서 두 값을 합하라. CO_2 – C의 배출량을 CO_2로 전환하기 위하여 44/12를 곱하라.

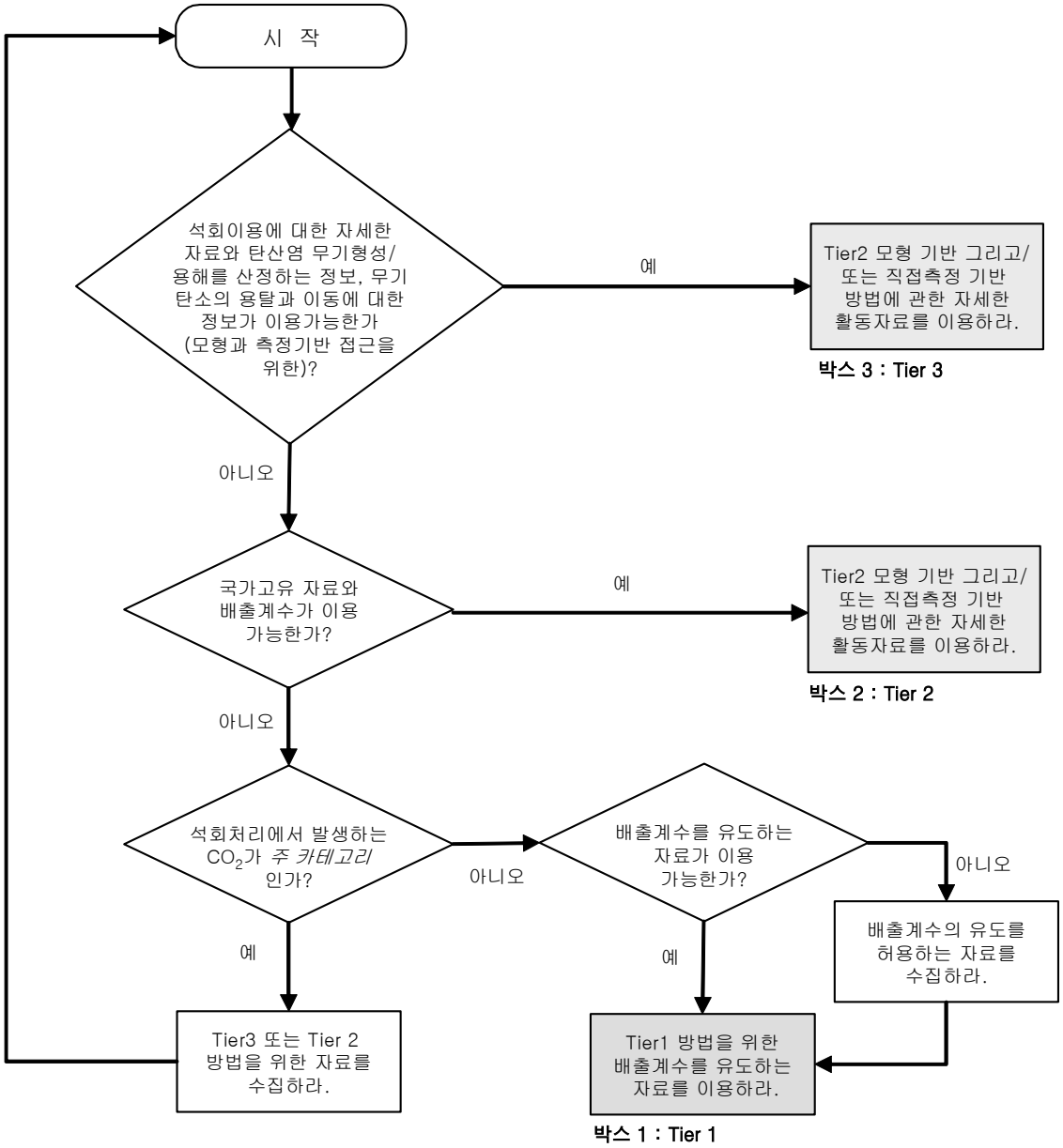
Tier 2

Tier 2 인벤토리는 Tier 1에서 언급하였던 식 11.12와 절차상 단계들을 이용하지만, 배출계수(EF)들을 유도하는 국가-특이적 자료를 통합한다. 전반적으로 석회처리에서 발생하는 이산화탄소(CO_2) 발생량은 Tier 1접근법을 사용하는 것보다 적게 예상된다. 이는 이용된 석회에서 전체 탄소(c)가 이용한 연도에서 이산화탄소(CO_2) 로서 배출된다고 가정된다. 그러나 배출량은 석회처리 후에 배출된 이산화탄소(CO_2) 양이 장소-특이적 영향들과 강과 호수에서 바다로 용해된 무기탄소의 이동에 달려 있기 때문에 Tier 1 접근법을 이용하여 가정한 것보다 적다고 보인다. Tier 2 배출계수들은 배출량을 더욱 근접하게 이용될 수 있다.

Tier 3

Tier 3 방법은 더욱 복잡한 모형이거나 측정과정을 이용하고, 절차상 스텝들은 국가-특이적 산정체계에 달려 있다. 이런 분석법은, 토양에서 용해된 무기탄소의 용탈과 이동도 마찬가지로, 첫 번째와 두 번째 탄산염 무기질 형성 또는 용해와 관련한 탄소유동을 모형으로 만드는 것이 필요할 것이다. 석회처리에 기인하는 토양무기탄소 또는 용해 무기탄소의 증가는 대기에서 이산화탄소(CO_2) 의 순수제거라고 볼 수 없다. 그보다 대기로 돌아가지 않는 석회처리에서 발생한 탄산염-탄소는 배출량에서 어느 정도의 순수감소량이라고 여겨진다. 추가적 논의가 필요하면 제2장의 토양 무기탄소에 대한 Tier 3부분을 참고하라 (토양 탄소(C) 축적량에서 변화에 관한 2.3.3.1절).

그림 11.4 석회 처리로부터 유출된 CO_2 배출량을 산정하기 위해 적절한 Tier를 확인하기 위한 의사결정도



주:

1: 주 카테고리들의 논의와 의사결정도의 이용에 대해서 제1권 4장의 "주 카테고리들의 방법론적 선택과 확인"을 참조(제한된 배출원들에 대한 4.1.2절 참조).

11.3.2 배출계수의 선택

Tier 1

고정배출계수(EF)는 석회석에서 0.12이고 백운석에서 0.13이다.

Tier 2

국가-특이적 자료를 사용한 배출계수 산정은 석회의 변하기 쉬운 구성을 가진 배출원의 구별을 수반할 수 있고; 다른 탄산염 석회처리 물질(이회토와 조개껍질침전물 같은 다른 배출원뿐만 아니라 석회석)들은 그들의 탄소함유량과 전체 순수도에서 어느 정도 변이가 있을 수 있다. 각 물질은 탄소(C) 함류량에 근거하여 특이한 배출계수를 가질 것이다. 국가-특이적 배출계수들은 CO_2 형태로 대기로 배출되는 석회처리에서 발생하는 탄산염 탄소의 비율을 또한 설명할 수 있다(예, West and McBride, 2005). 토양에서 용해된 무기탄소는 이차 무기질로 형성될 수 있고 석회처리 동안 추가되는 Ca 또는 Mg로 촉진될 수 있다. 더욱이, 용해된 무기질 탄소(중탄산염)는 Ca와 Mg와 함께 토양을 통해 깊은 지하수, 호수 그리고 결국 바다로 이동될 수 있다(Robertson and Grace, 2004). 이들 경우에서, 대기로 CO_2의 순수배출량은 석회로 더해지는 탄소의 원래의 양보다 적다. 충분한 자료와 무기탄소변형의 충분한 이해, 그리고 덧붙인다면 수용성 Ca, Mg와 무기탄소의 이동에 대한 지식이 있다면, 국가-특이적 배출계수들을 유도할 수 있다. 보고과정에서 국가-특이적 값들을 유도하는데 사용되는 정보와 방법의 출처를 기록하는 것이 권고되어 진다.

Tier 3

Tier 3 방법은 매년 변하기 쉬운 배출량을 산정하는데 근간을 두고 있다. 이것은 장소-특이적 특성들과 환경적 동력의 다양성에 달려 있다. 어떠한 배출계수도 직접적으로 계산되지 않는다.

11.3.3 활동자료의 선택

Tier 1

이상적으로, 탄산염 석회에 대한 국가적 이용통계는 토양으로 매년 유입되는 양(M)을 결정하는데 이용 가능할 것이다. 이들 자료들은 유입에 대한 가장 직접적인 추론을 제공한다. 택일적으로, 탄산염 석회의 연간판매량은 농장주, 목장주, 산림관등에게 팔리는 모든 석회가 그 해에 이용된다는 가정 하에서 토양에 유입되는 양을 추론하는데 사용할 수 있을지 모른다. 연간기준에서 석회이용률에 근간한 탄산염 석회이용량에 또한 근접가능하다. 이용량은 그 해 새로운 공급량(연간 국내채굴량과 수입량기록)을 수출량과 산업과정 사용량으로 차감하여 계산된다. 마지막 접근법에서, 모든 이용 가능한 석회는 관심이 되는 그 연도에 이용된다고 가정한다.

은행들과 석회산업은 매출과 국내생산량에 대한 정보를 가지고 있어야 하는 반면에, 이용량 통계는 국가적 조사 또는 기업기록의 부분으로 수행된다. 수입/수출 기록은 일반적으로 세관에 의해 관리되거나 정부의 비슷한 기관에 의해 관리된다. 배출량이 기록을 위하여 연간기준으로 계산되지 않았다면, 3년(현재 연도와 가장 최근 2개 연도) 동안 자료기록들을 평균 내는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2

Tier 1에서 언급한 활동자료에 덧붙이자면, Tier 2는 탄산염 석회류의 순도, 그와 더불어 대기로

배출하는 석회이용에서 탄산염-탄소의 비율을 산정하는 장소수준과 수문학적 특성들에 대한 정보를 통합하는 것이다.

Tier 3

Tier 3 모형-기반 그리고/또는 직접 측정-기반 인벤토리에 대해서, Tier 1 또는 2에 관련하여 보다 세밀한 활동자료가 필요한 것으로 보이지만, 정확한 조건들은 모형 또는 측정법의 설계에 달려 있을 것이다.

11.3.4 불확도 평가

석회처리에서 발생하는 CO_2 배출에서 두 가지의 불확도가 발생한다. 1) 토양에 유입되는 탄산염 석회의 양에서 불확도; 그리고 2) CO_2로 배출하는 석회이용에서 발생되는 순탄산염-탄소량에서 불확도. 활동자료의 불확도는 이용량통계, 판매량, 수입/수출 기록, 채굴기록, 그리고/또는 이용자료의 정확성에 달려 있다. 사용자료는 판매량, 수입/수출량과 채굴기록이 이용에 관한 직접적 추론이 없어 추가적 불확도를 가지기 때문에 최소의 불확도를 가진다. 인벤토리 작성자는 보전적 접근법을 사용하거나 이용가능하거나 구입된 모든 석회가 토양으로 유입된다고 가정할 수 있다. 특정한 연도에 이용가능한 또는 구입된 총석회량을 이용하지 않는다면, 이 접근법은 각 연도에서 배출량을 과대- 또는 과소평가할 수도 있다. 그러나 오랜 기간 동안 이 선입견은 석회의 장기간 사재기가 없었다고 가정하는 것을 무시했었다. 택일적으로, 인벤토리 작성자는 이용 가능한 석회의 양과 특정한 인벤토리 연도에 이용한 양에서 불확도를 주지시킬 수 있다.

이산화탄소(CO_2)로 배출되는 석회처리로서 토양에 더해지는 순탄소량의 불확도는 Tier에 의존적이다. Tier 1방법을 사용하는 경우에, 석회의 모든 탄소는 대기로 CO_2로 배출된다고 가정한다. 이것은 보전적 접근법이고 기본 배출계수들은 주어진 이 가정에서 확실하다고 여겨진다. 그러나 실제적으로 석회 중 어느 정도의 탄소는 무기탄소로 토양에 유지되어 이용된 그 해에 이산화탄소(CO_2)로 배출되지 않는 것으로 보인다. 결과적으로, 기본 배출계수들은 배출산정에서 오류를 범할 수 있다.

그러므로 특별히 석회처리가 주요원일 경우, 국가-특이적 계수 또는 Tier 2 또는 3 방법들로 향상된 산정법을 개발하는 하는 것이 권고된다. 보다 상위 Tier 방법이 오류를 제한하는 것처럼 보이지만, 주지시킬 필요가 있는 이들 접근법들에 관련된 부가적 불확도가 있을 수 있다. 이들 불확도들은 지역 특성들, 수문학 그리고 다른 환경변수들에 대한 부족한 자료에서 기인될 수 있다. 이는 이산화탄소(CO_2)로 무기탄소의 이동과 전환에 영향을 준다. 국가고유 배출계수의 과정과/또는 능력 또는 탄산염 석회로 토양에 더해지는 탄소의 운명을 설명하는 발전된 산정체계에 대한 부족한 지식에 의한 불확도가 있을 수도 있다.

11.3.5 완전성, 시계열, 품질보증/품질관리

완전성

Tier 1

배출량이 토양에 이용되는 모든 석회석과 백운석의 전체계산에 기반하여 평가되면, Tier 1을 이용한 인벤토리는 완벽하다. 탄산염 석회 사용량 통계는 토양 사용량의 가장 직접적인 자료이다. 그

러나 수입/수출량과 산업부문처리량기록과 합해진 판매량기록 또는 채굴자료 역시 토양에 이용된 석회량에 근접하는 충분한 정보를 제공한다. 현재의 자료가 불완전하여 충분하지 않은 경우에, 특히 만약 석회처리 탄소 배출량이 어떤 주요원 카테고리라면, 장래의 인벤토리 보고를 위해 부가적 정보를 수집하는 것이 필요하다.

Tier 2

Tier 2 인벤토리에서 완전성은 활동자료(Tier 1 참조)의 타당성에 의존적이지만, 배출계수를 다듬는데 사용한 부가적 국가-특이적 자료에 또한 의존적일 것이다. 이것에는 탄산염 석회로 토양에 이용되는 탄소(C)의 양당 배출된 이산화탄소(CO_2) 양과 관련된 배출계수들을 더욱 상세히 설명하는 석회의 순도에 대한 자료 그리고/또는 지역수준 그리고 수문학적 자료의 이용도를 포함한다.

Tier 3

Tier 1과 2에 대한 고려 범위를 넘어서, Tier 3 인벤토리들의 완전성은 측정설계 그리고/또는 모형화 기틀의 자료필요성과 대표성에 또한 의존적이다. 인벤토리 작성자는 그들의 접근법을 검토하여 이 발전된 산정체계가 토양에 이용된 탄산염 석회에서 발생하는 CO_2의 순수배출량을 설명하는데 타당한지 결정해야만 한다. 격차 또는 제한점들이 확인된다면, 부가적 정보를 수집하여 석회 탄산염의 운명을 전반적으로 Tier 3방법을 이용하여 설명하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

시계열의 일관성

Tier 1

동일한 활동자료와 배출계수들은 전체 시계열 통틀어 일관성 있게 응용되어야 한다. Tier 1수준에서, 기본 배출계수들이 이용되어서 일관성은 이 구성요소에서 문제가 아니다. 그러나 채굴과 수입/수출기록에 완전히 의존한 오랜 자료에 비교하여 토양에 이용된 정보를 축적한 통계적 조사 같은 새로운 자료가 수집된다면, 활동자료의 기초는 바뀔 수도 있다. 전체 시계열 동안 이용된 동일한 자료프로토콜과 과정들은 *우수실행(good practice)*인 반면에, 이것이 불가능할 몇몇 경우에는 인벤토리 작성자는 이 경향들에 대한 자료출처의 교체 영향을 결정해야만 한다. 이들 상황에서 재계산에 대한 지침은 제 1권 5장에서 제시하고 있다.

Tier 2

시계열 통틀어 활동자료기록에서 일관성은 Tier 2 인벤토리 (Tier 1 참조)에서 중요하다. 추가적으로, 국가고유 자료에 기반 하여 개발된 새로운 계수들을 또한 전 시계열에 걸쳐 이용해야만 한다. 이것이 불가능한 드문 경우에는, 인벤토리 작성자는 이 경향들에 대한 배출계수 교체의 영향을 결정하야만 하고; 이들 상황에서 재 계산에 대한 부가적 지침은 제1권, 제5장에서 찾을 수 있다.

Tier 3

Tier 2에 비슷하게, 전체 시계열을 통틀어 국가-특이적 산정체계를 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이고; 인벤토리 기관들은 같은 측정프로토콜을 사용하고/하거나 인벤토리 시간을 통틀어 모형기반 시스템을 이용해야만 한다.

품질보증/품질관리

Tier 1

인벤토리 자료와 결과들의 내부적이고 독립적인 검토를 하는 품질보증/품질조절을 실행하는 것이 *우수실행(good practice)*이고, 1) 활동자료는 토양에 대한 이용량을 적절하게 산정하도록 진행되어 왔는지, 2) 활동자료는 워크시트 또는 인벤토리 계산 소프트웨어로 적절하게 기록해 왔는지, 그리고 3) 배출계수들이 적절하게 할당되어 왔는지를 보증해야한다.

내부검토는 인벤토리 작성자(들)에 의하여 수행되어야만 하고, 시각적 감사와 더불어 자료기입과 결과를 조사하는 내장된 프로그램 기능들이 수반될 것이다. 독립적 검토들은 이 편집에 직접적으로 관여하지 않은 다른 기관들, 전문가들 또는 그룹들에 의하 수행된다. 이들 검토들은 인벤토리 접근법의 유용성, 인벤토리 문서화의 철저함, 방법 설명 그리고 전체적인 투명성을 고려되어야만 한다.

Tier 2

Tier 1 아래의 품질보증/품질조절 측정에 덧붙이지면, 이 인벤토리 작성자는 Tier 2 인벤토리를 위하여 국가-특이적 계수들을 검토해야만 한다. 직접적 측정에 기반 하는 계수들을 사용한다면, 인벤토리 작성자는 환경조건들의 실제범위에 대한 대표성을 그들이 갖는지 보증하는 측정법을 검토해야만 한다. 접근가능하다면, 비교 가능한 상황을 가진 다른 국가들에 의해 사용된 Tier 2 배출계수로, IPCC 기본값을 추가하여 국가고유 계수를 비교하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 무기질 탄소변형의 복잡성이 주어진다면, 이 분야의 전문가들은 배출계수들의 독립적 비판을 제공하는 검토과정에 참여해야만 한다.

Tier 3

국가-특이적 인벤토리체계는 부가적 품질보증/품질조절 방법을 요구하는 것으로 보일 것이지만, 이는 개발된 이 체계들에 대해서 의존적일 것이다. 국가의 발전된 산정체계에 특이한 품질보증/품질조절을 개발하고, 보고서를 보관하고, 그리고 보고문서화에서 결과요약을 포함시키는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

보고와 기록

Tier 1

Tier 1에 대해서, 인벤토리 작성자는 토양에 대한 탄소 석회 이용량에서 경향과 불확도를 기록해야만 하고 이들 경향을 이산화탄소(CO_2) 배출경향과 연결시켜야만 한다. 전체 시계열의 구간에서의 연간 배출량 유의한 변동은 설명되어져야 한다.

조사에서 얻은 채굴기록 또는 사용량 통계 그리고 자료를 처리하는데 사용한 절차(예, 통계적 프로그램)들 같은 실제 데이터베이스를 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 배출량을 산정하는데 사용했던 이 워크시트 또는 인벤토리 소프트웨어는 결과를 생산하는데 만들어졌던 유입/유출 파일들과 함께 보관되어야 한다.

활동자료가 데이터베이스로부터 직접적으로 이용이 되지 않거나 다수 자료세트가 합쳐진 경우에, 활동자료를 유도하는데 사용했던 자료, 산정과 절차들은 설명 되어야 한다. 이 문서화에 자료 수집과 산정의 빈도와 불확도를 포함시켜야만 한다. 전문가 지식의 이용에 관해서 기록해야만 하고 그 서신교환 내용도 보관되어야만 한다.

Tier 2

Tier 1에 대한 고려사항에 첨가하자면, 인벤토리 작성자들은 국가-특이적 값을 산정하는데 사용한 메타데이터와 자료출처를 보관하는 것과 마찬가지로 국가-특이적 배출계수들에 대한 근본적 기초를 기록해야만 한다. 문서를 보고하는 것은 새로운 계수들을 포함해야만 하고(예, 방법들과 불확도), 이들 값과 기본값 또는 보고국가의 상황에 대하 비슷한 상황을 가진 지역들에서 얻은 국가-특이적 계수들 사이의 차이점에 대한 인벤토리 보고의 논의를 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

매년 배출과 제거에서 경향을 논의할 때, 배출계수를 포함하는 활동데이터의 변화와 방법의 변화의 차이점은 분명히 밝히고, 이들 변화들에 대한 원인들 역시 기록 하여야 한다.

Tier 3

Tier 3 인벤토리는 활동자료 및 낮은 Tier 접근법들로서 배출/제거 경향과 비슷한 문서화 절차가 필요하지만, 부가적 문서화에 국가-특이적 산정의 근본적 기초와 기틀을 설명하는 것이 포함되어야만 한다. 측정-기반 인벤토리를 이용하여, 샘플링 설계, 실험실 절차들과 자료 분석 기법들을 기록할 것을 권고한다. 측정 자료는 자료 분석을 통해 얻은 결과들과 더불어 보관해야만 한다. 모형화를 사용하는 Tier 3 방법에 대해서, 모든 모형 유입(input)파일들, 배출원코드 그리고 실행 가능한 프로그램을 영구적으로 보관하는 것과 더불어, 모형버전을 기록하고 한 모형서술을 제공하기를 권고한다.

11.4 요소 비료에서 CO_2 배출량

시비기간 동안 요소를 토양에 추가하는 것은 산업생산과정에서 혼합되는 이산화탄소(CO_2)의 손실을 유발시킨다. 요소($CO(NH_2)_2$)는 물과 우레아제(urease) 효소의 존재에서 암모늄 (NH_4^+), 수산화이온(OH^-), 그리고 중탄산염(HCO_3^-)으로 전환된다. 석회 추가에 대한 토양의 반응과 비슷하게, 형성된 중탄산염은 이산화탄소(CO_2)와 물을 발생시킨다. 요소생산 동안 대기에서 이산화탄소(CO_2)의 흡수량을 산업의 과정과 생산물 이용 부문에서 계산하기 때문에, 이 배출원 카테고리를 포함한다 (IPCC 부문).

인벤토리들을 이전보다 더욱 자세하고 많은 자료가 필요한 각 연속적인 Tier들과 함께 Tier 1, 2 또는 3 방법을 이용함으로 개발할 수 있다. 요소에서 발생하는 이산화탄소(CO_2) 배출량이 어떤 주 카테고리라면 더 높은 Tier를 국가들이 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

11.4.1 선택의 방법

인벤토리 작성자들이 적절한 Tier의 선택을 돕도록 그림 11.5에서 의사결정도를 제시한다.

Tier 1

요소비료에서 발생하는 이산화탄소(CO_2) 배출량은 식 11.13으로 계산될 수 있다.

식 11.13
요소 시비에 의한 연간 CO_2 배출량

$$CO_2\text{–}C\ Emission = M \bullet EF$$

여기서:

CO_2 – C Emission = 요소 시비로부터 발생하는 연간탄소배출량, tonnes C yr^{-1}

M = 칼슘 석회석($CaCO_3$) 또는 백운석($CaMg(CO_3)^2$)의 연간량, tonnes yr^{-1}

EF = 배출계수, tonne of C (tonne of limestone or dolomite)$^{-1}$

계산을 위한 단계들

요소이용에서 발생하는 CO_2 – C의 배출량을 산정하기 위한 단계는 다음과 같다.

단계 1: 매년 그 국가의 토양에 이용되는 총요소량(M).

단계 2: 요소에 대한 원소무게기준에서 요소의 탄소함류량($CO(NH_2)_2$에 대해 20%)과 동일한 0.20의 전체 배출계수(EF)를 이용하라. 기본 -50% 불확도를 이용할 수도 있다(주: 불확도는 이 값이 요소비료와 관련한 절대최대배출량을 대표하기 때문에 기본 배출계수를 초과할 수 없다.

단계 3: 이용된 요소량의 생산량과 배출계수에 기반한 총 CO_2 – C의 배출량을 산정하라.

CO_2 – C배출량을 이산화탄소(CO_2)로 전환하기 위하여 44/12를 곱한다. 요소는 특별히 용액에서 다른 질소의 비료들과 조합하여 사용하고 M에 대한 비료용액 내의 요소 비료를 산정하는 것은 필요할 것이다. 이 비율을 알지 못하는 경우에, 잠재적으로 이 하위 카테고리에 대한 과소평가 배출량보다 차라리 전체 용액이 요소라고 가정하는 것이 *우수실행(good practice)*으로 받아들여진다.

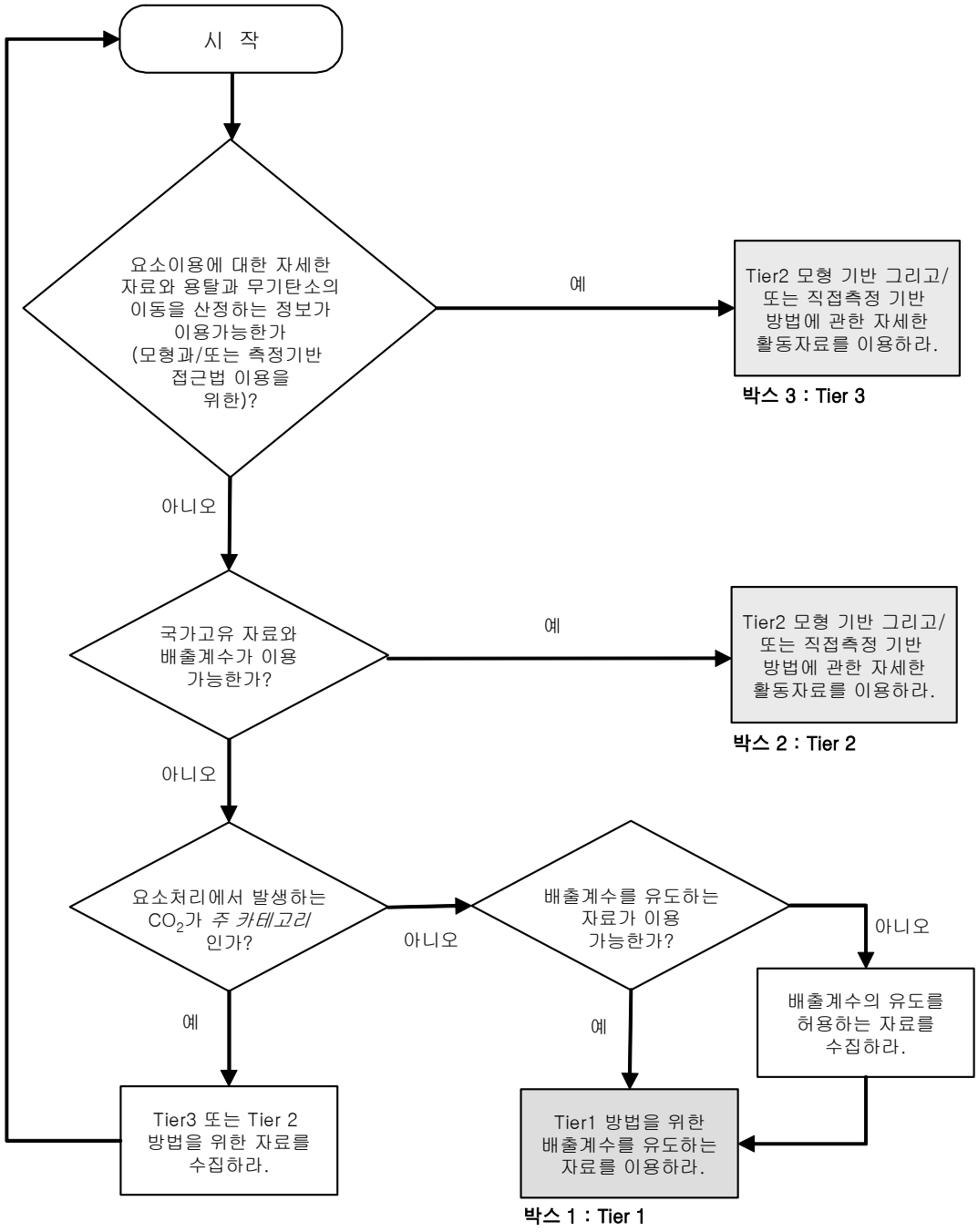
Tier 2

Tier 2 인벤토리는 또한 식 11.13과 Tier 1 접근법에서 제공되었던 절차상 스텝들을 사용하지만, 배출계수를 산정하기 위한 국가-특이적 자료를 통합한다.

Tier 3

요소이용에서 발생하는 이산화탄소(CO_2) 배출량은 깊은 지하수, 그리고/또는 호수와 바다로 용탈하여 그래서 이산화탄소(CO_2) 배출량에 기여하지 않고 적어도 즉시 배출되는 것은 아닌 중탄산염의 가능성을 통합한 더 자세한 모형들 또는 측정법으로 산정될 수 있다. 요소 비료로부터 발생하는 토양무기탄소의 증가는 대기로부터 발생하는 이산화탄소(CO_2)의 순제거량을 대표하지 않는다는 것을 주의한다. 이 제거량은 IPCC 부문 (제3권)에서 계산되고, 토양에 대한 계산들은 이 방법과 관련된 배출량의 산정을 제공한다. 부가적 논의를 원한다면 제2장에서 토양 무기탄소에 대한 Tier 3 부문을 참고하라 (토양 탄소(C) 축적량에서 변화에 대한 2.3.3절 참조).

그림 11.5 요소 시비에 의한 CO_2 배출량을 산정하기 위해 적절한 Tier를 확인하기 위한 의사결정도



주:

1: 주 카테고리들의 논의와 의사결정도의 이용에 대해서 제1권 4장의 "주요카테고리들의 방법론적 선택과 확인"을 참조(제한된 배출원들에 대한 4.1.2절 참조).

11.4.2 배출계수의 선택

Tier 1

요소 이용에서 발생하는 탄소 배출량에 대한 고정배출계수(EF)는 0.20이다.

Tier 2

중탄산염 석회와 유사하게, 요소에서 모든 탄소는 이용한 그 해에 배출되지 않을 것이다. 무기탄소변환의 충분한 자료와 이해가 이용가능하다면, 국가-특이적 특이한 배출계수를 유도할 수 있다. 보고과정의 부분으로 국가-특이적 값들을 유도하는데 사용되는 정보와 방법의 출처를 기록하는 것이 필요하다.

Tier 3

Tier 3 방법은 매년 가변성의 배출량을 초정하는데 기초한다. 이는 장소 특이적 특성들과 환경동력의 다양성에 의존적이다. 어떤 배출계수도 직접적으로 계산되지 않는다.

11.4.3 활동자료의 선택

Tier 1

요소에 대한 국내 생산량 기록과 수입/수출자료는 연간기준으로 토양에 이용된 요소량(M)의 대략 산정치를 획득하는데 사용될 수 있다. 연간 수출량을 차감한 매년 생산되거나 수입된 모든 요소 비료량은 토양에 이용된다고 가정될 수 있다. 그러나 판매량과/또는 요소의 사용량에 대한 추가되는 자료를 특정한 연도에서 이용 가능한 요소가 즉각적으로 토양에 더해진다고 가정하는 것 대신에 계산을 재정리하는데 이용될 수 있다. 이 접근법에 상관없이, 요소비료의 연간이용량 산정치는 요소에서 발생한 이산화탄소(CO_2) 배출량과 토양에서 발생한 아산화질소(N_2O) 배출량 사이에서 일관성이 있어야만 한다.

은행과 비료산업이 판매량과 국내생산량에 대한 정보를 가지고 있어야만 하는 반면에, 이용량 통계는 기업 기록을 통하거나 국가적 조사의 부분으로 수집될 수도 있다. 수입/수출 기록은 일반적으로 세관 또는 정부의 유사한 기관들에서 관리된다. 배출량이 보고목적의 연간기준으로 계산되지 않는다면, 3년(현재 연도와 가장 최근 2개년도) 동안 자료기록을 평균 내는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2

Tier 1에 대해서 서술한 활동자료에 덧붙이자면, Tier 2는 대기로 배출되는 요소에서 탄소의 비율을 산정하는 사용되는 장소-수준과 수문학적 특성들에 대한 부가적 정보를 통합할 수도 있을 것이다.

Tier 3

역동적 모형과/또는 Tier 3의 직접적 측정기반 인벤토리의 이용에 대해서, Tier 1 또는 2 방법들과 관련되어 더욱 자세한 활동자료가 필요할 것으로 보이지만, 정확한 조건들은 모형 또는 측정설계에 의존적일 것이다.

11.4.4 불확도 평가

요소에서 발생한 이산화탄소(CO_2) 배출량산정에서 다음의 두 불확도가 발생한다. 1) 토양에 이용된 요소량에서 불확도; 그리고 2) CO_2로서 배출되는 순요소-탄소량에서 불확도. 활동자료의 불확도는 생산량, 판매량, 수입/수출량, 그리고/또는 사용량 자료의 정확성에 달려있다. 사용량과 판매량은 최소 불확도를 가지고 있다고 생각된다. 즉, 수입량/수출량과 생산량자료는 이용에 대한 추론들로 부가적인 불확도를 가진다. 인벤토리 작성자는 보전적 접근법을 사용하고 이용가능한 모든 요소 또는 구매된 모든 요소를 토양에 이용한다고 가정할 것이다. 이용가능하거나 구매된 요소의 총량이 특정한 연도에서 이용되지 않는 경우에, 이 접근법은 개별 연도들에서 과대- 또는 과소-평가를 일으킬 것이다. 그러나 장기간, 이 치우침은 요소비료의 장기간 사재기가 없다고 가정하기를 무시해야 한다. 택일적으로, 인벤토리 작성자들은 이용 가능한 요소량과 특정한 인벤토리 연도에 이용한 양에서 불확도를 다를 수 있다.

이산화탄소(CO_2)로 배출하는 요소비료에서 토양으로 더해지는 순탄소량에서 불확도는 Tier에 의존적이다. Tier 1 방법을 이용한다면, 요소내의 모든 탄소는 대기로부터 온 CO_2로서 손실된다고 가정된다. 이것은 보전적 접근법이고, 고정배출계수들은 주어진 이 가정에서 확실하다고 생각된다. 그러나 실제적으로, 어느 정도의 요소 내의 탄소는 적어도 이용된 해에는 무기탄소로서 토양 내에 머물 것이고 이산화탄소(CO_2)로 배출되지 않는다. 결과적으로 기본 배출계수는 배출량 산정에서 체계적 치우침을 불러일으킬 수 있다.

그러므로 특별하게 요소-탄소가 주요원이라면, Tier 2 또는 3 방법들을 각각 가지는 국가-특이적 배출계수 또는 발전된 산정 접근법을 개발하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 더 상위 Tier접근법은 치우침을 제한하는 것으로 보이는 반면, 설명이 필요한 부가적 불확도가 있다. 이들 불확도는 무기탄소를 이산화탄소(CO_2)로 이동과 전환에 영향을 주는 장소 특성들, 수문학, 그리고 다른 환경변수들에 대한 부족한 자료에서 시작될 수 있다. 과정들과/또는 국가-특이적 배출계수 또는 요소-탄소의 운명을 대표하는 산정체계의 능력에 대한 부족한 지식으로 인한 불확도가 또한 있을 것이다.

11.4.5 완전성, 시계열의 일관성, 품질보증/품질관리

완전성

Tier 1

배출량이 토양에 이용되는 모든 요소의 전체를 기반으로 계산된다면, Tier 1 인벤토리는 온전하다. 요소 사용량 통계 또는 판매량은 토양에 대한 이용에 대한 가장 직접적인 추론을 제공하지만, 생산량과 수입량/수출량 기록만으로도 토양에 이용하는 요소량의 대략적 산정을 만드는데는 충분하다. 현재 불완전한 기록들로 인해 자료가 부족하다면, 특별히 요소-탄소 배출량이 한 주요원 카테고리인 경우에 장래의 인벤토리 보고를 위하여 부가적 자료를 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2

Tier 2 인벤토리에서 완전성은 또한 활동자료의 타당성에 의존하지만(Tier 1참조), 배출계수를 재

정리하는데 사용한 부가적 국가-특이적 자료에 의존적이다. 이것은 토양에 더해진 요소-탄소량 당 배출된 이산화탄소(CO_2)량에 관련된 배출계수들을 더 상세하게 설명하는데 사용한 장소-수준과 수문학적 자료의 이용가능성을 포함한다.

Tier 3

Tier 1과 2에 대한 고려 범위을 넘어서, Tier 3 인벤토리들의 완전성은 측정설계 그리고/또는 모형화 기틀의 자료필요성과 대표성에 또한 의존적이다. 인벤토리 작성자는 그들의 접근법을 검토하여 이 발전된 산정체계가 토양에 이용된 요소에서 발생하는 이산화탄소(CO_2)의 순수배출량을 설명하는데 타당한지 결정해야만 한다. 격차 또는 제한점들이 확인된다면, 부가적 정보를 수집하여 요소-탄소의 운명을 전반적으로 Tier 3방법을 이용하여 설명하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

시계열의 일관성

Tier 1

동일한 활동자료와 배출계수들은 전체 시계열 통틀어 일관성 있게 응용되어야 한다. Tier 1 수준에서는, 고정배출계수들이 이용되었기 때문에 일관성에 있어서는 문제가 아니다. 그러나 채굴과 수입/수출기록에 완전히 의존한 오랜 자료에 비교하여 토양에 이용된 정보를 축적한 통계적 조사 같은 새로운 자료가 수집된다면, 활동자료의 기초는 바뀔 수도 있다. 전체 시계열 동안 이용된 동일한 자료프로토콜과 과정들은 *우수실행(good practice)*인 반면에, 이것이 불가능할 몇몇 경우에는 인벤토리 작성자는 이 경향들에 대한 자료출처의 교체 영향을 결정해야만 한다. 이들 상황에서 재계산에 대한 지침은 제1권 제5장에서 제시하고 있다.

Tier 2

시계열 통틀어 활동자료기록에서 일관성은 Tier 2 인벤토리 (Tier 1참조)에서 중요하다. 추가적으로, 국가고유 자료에 기반하여 개발된 새로운 계수들을 또한 전 시계열에 걸쳐 이용해야만 한다. 이것이 불가능한 드문 경우에는, 인벤토리 작성자는 이 경향들에 대한 배출계수 교체의 영향을 결정하야만 하고; 이들 상황에서 재계산에 대한 부가적 지침은 제 1권, 5장에서 찾을 수 있다.

Tier 3

Tier 2과 비슷하게, 전체 시계열을 통틀어 국가-특이적 산정체계를 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이고; 인벤토리 기관들은 같은 측정프로토콜을 사용하고/하거나 인벤토리 시간을 통틀어 모형기반 시스템을 이용해야만 한다.

품질보증/품질관리

Tier 1

인벤토리 자료와 결과들의 내부적이고 독립적인 검토를 하는 품질보증/품질조절을 실행하는 것이 *우수실행(good practice)*이고, 1) 활동자료는 토양에 대한 이용량을 적절하게 산정하도록 진행되어 왔는지, 2) 활동자료는 워크시트 또는 인벤토리 계산 소프트웨어로 적절하게 기록해 왔는지, 그리고 3) 배출계수들이 적절하게 할당되어 왔는지를 검증해야한다.

내부검토는 인벤토리 작성자(들)에 의하여 수행되어야만 하고, 시각적 감사와 더불어 자료기입과

결과를 조사하는 내장된 프로그램 기능들이 수반될 것이다. 독립적 검토들은 이 편집에 직접적으로 관여하지 않은 다른 기관들, 전문가들 또는 그룹들에 의해 수행된다. 이들 검토들은 인벤토리 접근법의 유용성, 인벤토리 문서화의 철저함, 방법 설명 그리고 전체적인 투명성을 고려되어야만 한다.

Tier 2

Tier 1 아래의 품질보증/품질조절 측정에 덧붙이지면, 이 인벤토리 작성자는 Tier 2 인벤토리를 위하여 국가-특이적 계수들을 검토해야만 한다. 직접적 측정에 기반 하는 계수들을 사용한다면, 인벤토리 작성자는 환경조건들의 실제범위에 대한 대표성을 그들이 갖는지 보증하는 측정법을 검토해야만 한다. 접근가능하다면, 비교 가능한 상황을 가진 다른 국가들에 의해 사용된 Tier 2 배출계수로, IPCC 기본값을 추가하여 국가고유 계수를 비교하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 무기질 탄소변형의 복잡성이 주어진다면, 이 분야의 전문가들은 배출계수들의 독립적 비판을 제공하는 검토과정에 참여해야만 한다.

Tier 3

국가-특이적 인벤토리체계는 부가적 품질보증/품질조절 방법을 요구하는 것으로 보일 것이지만, 이는 개발된 이 체계들에 대해서 의존적일 것이다. 국가의 발전된 산정체계에 특이한 품질보증/품질조절을 개발하고, 보고서를 보관하고, 그리고 보고문서화에서 결과요약을 포함시키는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

보고와 기록

Tier 1

Tier 1에 대해서, 인벤토리 작성자는 토양에 대한 탄소 석회 이용량에서 경향과 불확도를 기록해야만 하고 이들 경향을 이산화탄소(CO_2) 배출경향과 연결시켜야만 한다. 시계열을 통들어 연간 배출량의 상당한 변동은 설명되어야만 한다.

조사에서 얻은 채굴기록 또는 사용량 통계 그리고 자료를 처리하는데 사용한 절차(예, 통계적 프로그램)들 같은 실제 데이터베이스를 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 배출량을 산정하는데 사용했던 이 워크시트 또는 인벤토리 소프트웨어는 결과를 생산하는데 만들어졌던 유입/유출 파일들과 더불어 보관되어야만 한다.

활동자료가 데이터베이스로부터 직접적으로 이용이 안 되거나 다수 자료세트가 합쳐진 경우에, 활동자료를 유도하는데 사용했던 자료, 산정과 절차들은 서술되어야만 한다. 이 문서화에 자료 수집과 산정의 빈도와 불확도를 포함시켜야만 한다. 전문가 지식의 이용에 관해서 기록해야만 하고 그 서신교환 내용도 보관되어야만 한다.

Tier 2

Tier 1에 대한 고려사항에 첨가하자면, 인벤토리 작성자들은 국가-특이적 값을 산정하는데 사용한 메타데이터와 자료출처를 보관하는 것과 마찬가지로 국가-특이적 배출계수들에 대한 근본적 기초를 기록해야만 한다. 문서를 보고하는 것은 새로운 계수들을 포함해야만 하고(예, 방법들과 불확도), 이들 값과 기본값 또는 보고국가의 상황에 대하 비슷한 상황을 가진 지역들에서 얻은 국가-특이적 계수들 사이의 차이점에 대한 인벤토리 보고의 논의를 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

매년 배출과 제거에서 경향을 논의할 때, 한 차이점은 배출계수를 포함하는 활동수준에서 변화들과 방법에서 변화들 사이에서 만들어져야만 하고 이들 변화들에 대한 원인들은 기록될 필요가 있다.

Tier 3

Tier 3 인벤토리들은 활동자료와 낮은 Tier 접근법들로서 배출/제거 경향에 대한 비슷한 문서화가 필요하지만, 부가적 문서화에 국가-특이적 산정의 근본적 기초와 기틀을 설명하는 것을 포함되어야만 한다. 측정-기반 인벤토리를 이용하여, 샘플링 설계, 실험실 절차들과 자료분석 기법들을 기록하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 측정 자료는 자료 분석을 통해 얻은 결과들과 더불어 보관해야만 한다. 모형화를 사용하는 Tier 3 접근법에 대해서, 모든 모형유입파일들, 배출원코드 그리고 실행 가능한 프로그램을 영구적으로 보관하는 것과 더불어, 모형버전을 기록하고 한 모형서술을 제공하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

별첨 11A.1 표 11.2에 제시된 잔존 농작물 자료에 대한 참고자료

I. 수확된 생산물의 건조물분류

Lander, C.H., Moffitt, D., and Alt, K. (1998). Nutrients available from livestock manure relative to crop growth

requirements. Resource Assessment and Strategic Planning Working paper 98-1. USDA Natural Resource

Conservation Service. http://www.nhq.nrcs.usda.gov/land/pubs/.

II. 지상부 잔존 건물질

1. 옥수수

Ames, J.W., and Simon, R.H. (1924). Soil potassium as affected by fertilizer treatment and cropping. Bulletin 379. Ohio Agricultural Experiment Station, Wooster, Ohio.

Anonymous (1924). Forty-third annual report for 1923-24. Ohio Agricultural Experiment Station Bull. 382. Wooster, OH.

Anonymous (1926). Forty-fourth annual report for 1924-25. Ohio Agricultural Experiment Station Bull. 392.Wooster, OH.

Bustillo, J. J. and Gallaher, R.N. (1989). Dry matter Partitioning in No-tillage Tropical Corn in Florida. p.40-42. In I. D. Teare, E. Brown, and C.A. Trimble (ed.) 1989 Southern Conservation Tillage Conference. SB 89-1. Tallahassee, FL. 12-13 July, 1989. Univ. of Fla., North Fla. Res. and Educ. Ctr., Quincy, FL 32351.

Buyanovsky, G.A. and Wagner, G.H. (1986). Post-harvest residue input to cropland. Plant and Soil 93:57-65.

Donald, C.M. and Hamblin, J. (1976). The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Adv. Agron., 28: 361-405.

Fisher, K.S. and Palmer, A.F.E. (1983). Maize. In: Symposium on Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

Graybill, J.S., Cox, W.J. and Otis, D.J. (1991). Yield and quality of forage maize as influenced by hybrid, planting date, and plant density. Agronomy Journal, 83: 559-564.

Hutcheson, T.B., Hodgson, E.R., and Wolfe, T.K. (1917). Corn culture. Virginia Agricultural Experiment Station Bull. 214. Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, VA.

Jones, J.N. Jr., Moody, J.E., and Lillard, J.H. (1969). Effects of tillage, no tillage, and mulch on soil water and plant growth. Agron. J. 61:719-721.

Jones Jr., J.N., Moody, J.E., Shear, G.M., Moschler, W.W. and Lillard, J.H. (1968). The no-tillage system for corn (Zea mays L.). Agron. J. 60:17-20.

Noll, C.F., Gardner, F.D. and Irvin, C.J (1930). A field test of different sources of phosphorous. School of Agriculture and Experiment Station Bull. 252. Pennsylvania State College

Noll, C.F., Gardner, F.D. and Irvin, C.J. (1931). Fiftieth anniversary of the General Fertilizer Tests 1881-1931. School of Agriculture and Experiment Station Bull. 264. Pennsylvania State College.

Ockerby, S.E. and Fukai, S. (2001). The management of rice grown on raised beds with continuous furrow irrigation. Field Crops Res. 69:215-226.

Peters, S.E., Wander, M.M., Saparito, L.S., Harris, G.H. and Friedman, D.B. (1997). Management impacts on SOM and related soil properties in a long-term farming systems trial in Pennsylvania: 1981-1991. In: Soil

Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Peterson, G.A. and Westfall, D.G. (1997). Management of dryland agroecosystems in the Central Great Plains of Colorado. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Peterson, G.A., Westfall, D.G. and Wood, W. (1989). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB89-3. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Poss, D., Larson, K. and Thompson, D.L. (1997). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB97-3. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., McGee, E. and Kolberg, R. (1992). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB92-2. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., McGee, E. and Kolberg, R. (1991). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB91-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Rouppet, B. (1994). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB94-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Rouppet, B. (1993). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB93-4. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Poss, D. (1996). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB96-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Poss, D. (1995). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB95-1. Dept. of Agronomy, Colorado

State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Wood, W. and Ross, S. (1988). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin LTB88-6. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., McGee, E., Westfall, D.G., Wood, C.W. and Sherrod, L. (1990). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB90-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Pierce, F.J. and Fortin, M.C. (1997). Long-term tillage and periodic plowing of a no-tilled soil in Michigan: Impacts, yield, and soil organic matter. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Russell, W.A. (1991). Genetic improvement of maize yields. Advances in Agronomy 46:245-298.

Sewell, M.C. and Call, L.E. (1925). Tillage investigations relating to wheat production. Tech. Bull. 18. Agricultural Experiment Station. Kansas State Agricultural College.

Shear, G.M. and Moschler, W.W. (1969). Continuous corn by the no-tillage and conventional tillage methods: A six-year comparison. Agron. J. 61:524-526.

Tapper, D.C. (1983). Changes in physiological traits associated with grain yield improvement in single-cross maize hybrids from 1930 to 1970. Ph.D. Dissertation. Agronomy Department, Iowa State University, Ames, IA.

Thorne, C.E. (1924). The maintenance of soil fertility. Bulletin 381. Ohio Agricultural Experiment Station.

Throckmorton, R.I. and Duley, F.L. (1935). Twenty years of soil fertility investigations. Kansas. Agricultural Experiment Station Tech. Bull. 40. Kansas State College of Agriculture and Applied Science. Manhattan, KS.

Vanotti, M.B., Bundy, L.G. and Peterson, A.E. (1997). Nitrogen fertilizer and legume-cereal rotation effects on soil productivity and organic matter dynamics in Wisconsin. In Soil Organic Matter in Temperate

Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Wianco, A.T. and Jones, S.C. (1918). The value of manure on Indiana soils. Purdue University Agricultural Experiment Station. Bull. No. 222. Lafayette, IN.

Wianco, A.T., Conner, S.D. and Jones, S.C. (1919). The value of legumes on Indiana soils. Purdue University Agricultural Experiment Station. Bull. No. 226. Lafayette, IN.

2. *겨울 밀*

Austin, R.B., Bingham, J., Blackwell, R.D., Evans, L.T., Ford, M.A., Morgan, C.L. and Taylor, M. (1980).

Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. J. Agric. Sci., Camb. 94:675-689.

Barraclough, P.B. and Leigh, R.A. (1984). The growth and activity of winter wheat roots in the field: the effect of sowing date and soil type on root growth of high yielding crops. J. Agric. Sci., Camb. 103:59-74.

Black, A.L. and Tanaka, D.L. (1997). A conservation tillage-cropping systems study in the Northern Great Plains of the United States. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul, K. Paustian, E.T. Elliott and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Bolinder, M.A., Angers, D.A. and Dubuc, J.P. (1997). Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soils for cereal crops. Agriculture, Ecosystems and Environment 63:61-67.

Bruce, R.R. and Langdale, G.W. (1997). Soil carbon level dependence upon crop culture variables in a thermicudic region. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Bruckner, P.L. and Morey, D.D. (1988). Nitrogen effects on soft red winter wheat yield, agronomic characteristics, and quality. Crop Sci. 28:152-157.

Buyanovsky, G.A. and Wagner, G.H. (1986). Post-harvest residue input to cropland. Plant and Soil 93:57-65.

Cox, T.S., Shroyer, J.P., Liu, B.-H., Sears, R.G. and Martin, T.J. (1988). Genetic improvements in agronomic traits of hard red winter wheat cultivars from 1919 to 1987. Crop Science 28:756-760.

Donald, C.M. and Hamblin, J. (1976). The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Adv. Agron., 28: 361-405.

Eck, H.V. (1986). Profile modification and irrigation effects on yield and water use of wheat. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:724-729.

Entz, M.H. and Fowler, D.B. (1991). Agronomic performance of winter versus spring wheat. Agron. J. 83:527-532.

Gent, M.P.N. and Kiyomoto, R.K. (1989). Assimilation and distribution of photosynthate in winter wheat cultivars differing in harvest index. Crop Sci. 29:120-125.

Halvorson, A.D., Vigil, M.F., Peterson, G.A. and Elliott, E.T. (1997). Long-term tillage and crop residue management study at Akron, Colorado. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Ishaq, M., Ibrahim, M. and Lal, R. (2001). Tillage effect on nutrient uptake by wheat and cotton as influenced by fertilizer rate. Soil and Tillage Res. 62:41-53.

Jensen, M.E. and Sletten, W.H. (1965). Evapotranspiration and soil moisture-fertilizer interrelations with irrigated winter wheat in the Southern High Plains. USDA Agricultural Research Service. Conservation Research Report No. 4.

Jones, O.R., Stewart, B.A. and Unger, P.W. (1997). Management of dry-farmed Southern Great

Plains soils for sustained productivity. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Lafever, H.N. (1976). Ohio performance trials of soft red winter wheats including 1976 results. Agronomy Dept. Series 203. Ohio Agricultural Research and Development Center. Wooster, OH.

Lyon, D.J., Monz, C.A., Brown, R.E. and Metherell, A.K. (1997). Soil organic matter changes over two decades of winter wheat – - fallow cropping in western Nebraska. In: Soil Organic Matter in Temperate

Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Miller, C.M. (1939). A physiological study of the winter wheat plant at different stages of its development. Tech. Bull. 47. Agricultural Experiment Station. Kansas State College of Agriculture and Applied Science.

Musick, J.T. and Dusek, D.A. (1980). Planting date and water deficit effects on development and yield of irrigated winter wheat. Agron. J. 72: 45-52.

Noll, C.F., Gardner, F.D. and Irvin, C.J. (1931). Fiftieth anniversary of the General Fertilizer Tests 1881-1931. Pennsylvania State College School of Agriculture and Experiment Station Bull. 264.

Noll, C.F., Gardner, F.D. and Irvin, C.J (1930). A field test of different sources of phosphorous. Pennsylvania State College School of Agriculture and Experiment Station Bull. 252.

Peterson, G.A. and Westfall, D.G. (1997). Management of dryland agroecosystems in the Central Great Plains of Colorado. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul, K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Peterson, G.A., Westfall, D.G. and Wood, W. (1989). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB89-3. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Poss, D., Larson, K. and Thompson, D.L. (1997). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB97-3. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., McGee, E. and Kolberg, R. (1992). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB92-2. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., McGee, E. and Kolberg, R. (1991). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB91-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Rouppet, B. (1994). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB94-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Rouppet, B. (1993). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB93-4. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Poss, D. (1996). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB96-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Poss, D. (1995). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB95-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Wood, W. and Ross, S. (1988). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin LTB88-6. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., McGee, E., Westfall, D.G., Wood, C.W. and Sherrod, L. (1990). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB90-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Rao, S.C., Coleman, S.W. and Volesky, J.D. (2000). Yield and quality of wheat, triticale, and elytricum forage in the Southern Plains. Crop Sci. 40:1308-1312.

Rasmussen, P.E. and Parton, W.J. (1994). Long-term effects of residue management in wheat-fallow: I. Inputs, yield, and soil organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:523-530.

Rasmussen, P.E., Smiley, R.W. and Albrecht, S.L. (1996). Long-term residue management experiment: Pendleton, Oregon, USA. IN: Evaluation of Soil Organic Matter Models Using Existing Long-term Datasets. D. S. Powlson, P. Smith, and J. U. Smith (eds.). Springer-Verlag, Germany.

Sewell, M.C. and Call, L.E. (1925). Tillage investigations relating to wheat production. Tech. Bull. 18. Sharma, R.C. and Smith, E.L. (1986). Selection for high and low harvest index in three winter wheat populations. Crop Sci. 26:1147-1150.

Siddique, K.H.M., Belford, R.K., Perry, M.W. and Tennant, D. (1989). Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. Aust. J. Agric. Res. 40:473-487.

Singh, I.D. and Stoskopf, N.C. (1971). Harvest index in cereals. Agron. J. 63:224-226.

Skidmore, E.L. and Siddoway, F.H. (1978). Crop residue requirements to control wind erosion. Chapter 2 in Crop Residue Management Systems. Am. Soc. Agron. Spec. Pub. No. 31.

Ten Eyck, A. M. and Shoesmith, V. M. (1907). Small grain crops. Agricultural Experiment Station Bulletin 144. Kansas State Agricultural College. Manhattan, KS.

Thorne, C.E. (1924). The maintenance of soil fertility. Ohio Agricultural Experiment Station Bull. 381.

Throckmorton, R.I. and Duley, F.L. (1935). Twenty years of soil fertility investigations. Kansas.

Agricultural Experiment Station Tech. Bull. 40. Kansas State College of Agriculture and Applied Science. Manhattan, KS.

Unger, P.W. (1977). Tillage effects on winter wheat production where the irrigated and dryland crops are alternated. Agronomy Journal, 69: 944 - - 950.

Weir, A.H. and Barraclough, P.B. (1986). The effect of drought on the root growth of winter wheat and on its uptake from deep loam. Soil Use And Management 2:91-96.

Wianco, A.T. and Jones, S.C. (1918). The value of manure on Indiana soils. Purdue University Agricultural Experiment Station. Bull. No. 222. Lafayette, IN.

Wianco, A.T., Conner, S.D. and Jones, S.C. (1919). The value of legumes on Indiana soils. Purdue University Agricultural Experiment Station. Bull. No. 226. Lafayette, IN.

3. 봄 밀

Bauer, A. and Zubriski, J.C. (1978). Hard red spring wheat straw yields in relation to grain yields. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:777-781.

Black, A.L. and Tanaka, D.L. (1997). A conservation tillage-cropping systems study in the Northern Great Plains of the United States. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Campbell, C.A. and Zentner, R.P. (1993). Soil organic matter as influenced by crop rotations and fertilization. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:1034-1040.

Campbell, C.A., Davidson, H.R. and Warder, F.G. (1977). Effects of fertilizer N and soil moisture on yield, yield components, protein content and N accumulation in the above-ground parts of spring wheat. Can. J. Soil Sci. 57:311-327.

Cassman, K.G., Bryant, D.C., Fulton, A.E. and Jackson, L.F. (1992). Crop ecology, production and management. Crop Sci. 32:1251-1258.

Hucl, P. and Baker, R.J. (1987). A study of ancestral and modern Canadian spring wheats. Can. J. Plant Sci. 67:87-97.

Juma, N.G., Izaurralde, R.C., Robertson, J.A. and McGill, W.B. (1997). Crop yield and soil organic matter trends over 60 years in a typic cryoboralf at Breton, Alberta. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Loffler, C.M., Rauch, T.L. and Busch, R.H. (1985). Grain and plant protein relationships in hard red spring wheat. Crop Sci. 25:521-524.

Perry, M.W. and D'¹Antuono, M.F. (1989). Yield improvement and associated characteristics of some Australian spring wheat cultivars introduced between 1860 and 1982. Aust. J. Agric. Res. 40:457-472.

Skidmore, E.L. and Siddoway, F.H. (1978). Crop residue requirements to control wind erosion. In: Crop Residue Management Systems. Am. Soc. Agron. Spec. Pub. No. 31.

van Delden, A. (2001). Yield and growth components of potato and wheat under organic nitrogen management. Agron. J. 93:1370-1385.

4. 벼

Bainton, S.J., Plumb, V.E., Juliano, B.O., Perez, C.M., Roxas, D.B., Kush, G.S., de Jesus, J.C. and Gomez, K.A.(1991). Variation in the nutritional value of rice straw. Animal Feed Science and Technology 34, 261-277.

Cho, Y.S., Choe, Z.R. and Ockerby, S.E. (2001). Managing tillage, sowing rate and nitrogen top-dressing level to sustain rice yield in a low-input, direct-sown, rice-vetch cropping system. Australian Journal of Experimental Agriculture, 41:61-69.

Donald, C.M. and Hamblin, J. (1976). The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Adv. Agron., 28: 361-405.

George, T., Magbanua, R., Roder, W., Van Keer, K., Trebuil, G. and Reoma, V. (2001). Upland rice response to phosphorous fertilization in Asia. Agron. J. 93:1362-1370.

Kinery, J.R., McCauley, G., Xie, Y. and Arnold, J.G. (2001). Rice parameters describing crop performance of four U. S. cultivars. Agron. J. 93:1354-1361.

Ockerby, S.E. and Fukai, S. (2001). The management of rice grown on raised beds with continuous furrow irrigation. Field Crops Research. 69:215-226.

San-oh, Y., Mano, Y., Ookawa, T. and Hirasawa, T. (2004). Comparison of dry matter production and associated characteristics between direct-sown and transplanted rice plants in a submerged paddy field and relationships to planting patterns. Field Crops Res. 87:43-58.

Turner, F.T. and McCauley, G.N. (1983). Rice. In: Crop – - Water Relations. I.D.Teare and M.M. Peet (eds.). John Wiley and Sons, New York, pp 308-350.

Yang, J., Zhang, J., Wang, Z., Zhu, Q. and Wang, W. (2001). Remobilization of carbon reserves in response to water deficit during grain filling of rice. Field Crops Res. 71:47-55.

5. 보리

Alston, A.M. (1980). Response of wheat to deep placement of nitrogen and phosphorous fertilizers on a soil high in phosphorous in the surface layer. Aust. J. Agric. Res. 31:13-24.

Boukerrou, L. and Rasmussen, D.D. (1990). Breeding for high biomass yield in spring barley. Crop Sci. 30:31-35.

Chery, J., Lefevre, B., Robin, P. and Salsac, L. (1981). Barley breeding for high protein content. Relationship with nitrate reductase and proteolytic activities. In: Barley Genetics IV. Proceedings of the Fourth International Barley Genetics Symposium. Edinburgh Univ. Press.

Donald, C.M. and Hamblin, J. (1976). The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Adv. Agron., 28: 361-405.

Juma, N.G., Izaurralde, R.C., Robertson, J.A. and McGill, W.B. (1997). Crop yield and soil organic matter trends over 60 years in a typic cryoboralf at Breton, Alberta. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Kirby, E.J.M. (1967). The effect of plant density upon the growth and yield of barley. J. Agric. Sci., Camb. 68:317-324.

Lekes, J. (1981). Results, main directions in using world collections and genetic resources of spring barley in European breeding. In: Barley Genetics IV. Proceedings of the Fourth International Barley Genetics Symposium. Edinburgh Univ. Press.

Mahli, S.S., Grant, C.A., Johnston, A.M. and Gill, K.S. (2001). Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. Soil and Tillage Res. 60:101-122.

Riggs, T.J., Hanson, P.R., Start, N.D., Miles, D.M., Morgan, C.L. and Ford, M.A. (1981). Comparison of spring barley varieties grown in England and Wales between 1880 and 1980. J. Agric. Sci., Camb. 97:599-610.

Siddique, K.H.M., Belford, R.K. and Tennant, D. (1990). Root:shoot ratios of old and modern, tall and semidwarf wheats in a mediterranean environment. Plant and Soil 121:89-98.

Siddique, K.H.M., Belford, R.K., Perry, M.W. and Tennant, D. (1989). Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. Aust. J. Agric. Res. 40:473-487.

Skidmore, E.L. and Siddoway, F.H. (1978). Crop residue requirements to control wind erosion. In: Crop Residue Management Systems. Am. Soc. Agron. Spec. Pub. No. 31.

Ten Eyck, A.M., and Shoesmith, V.M. (1907). Small grain crops. Agricultural Experiment Station Bulletin 144. Kansas State Agricultural College. Manhattan, KS.

Watson, D.J., Thorne, G.N., and French, S.A.W. (1958). Physiological causes of differences in grain yield between varieties of barley. Annals of Botany 87:321-352.

Wych, R.D. and Rasmussen, D.C. (1983). Genetic improvement in malting barley cultivars since 1920. Crop Sci. 23:1037-1040.

6. 귀리

Anonymous (1923). Forty-second annual report for 1922-23. Ohio Agricultural Experiment Station Bull. 373. Wooster, OH.

Anonymous (1926). Forty-fourth annual report for 1924-25. Ohio Agricultural Experiment Station Bull. 392. Wooster, OH.

Bolinder, M.A., Angers, D.A. and Dubuc, J.P. (1997). Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soils for cereal crops. Agriculture, Ecosystems and Environment 63:61-67.

Brinkman, M.A. and Rho, Y.D. (1984). Response of three oat cultivars to N fertilizer. Crop

Science 24:973-977.

Donald, C.M. and Hamblin, J. (1976). The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Adv. Agron. 28:361-405.

Georgeson, C.C., Burtis, F.C. and Otis, D.H. (1893). Experiments with oats. Experiment Station Bull. No. 42. Kansas State Agricultural College.

Georgeson, C.C., Burtis, F.C. and Otis, D.H. (1896). Experiments with oats. Experiment Station Bull. No. 63. Kansas State Agricultural College.

Georgeson, C.C., Burtis, F.C. and Otis, D.H. (1897). Experiments with oats. Experiment Station Bull. No. 74. Kansas State Agricultural College.

Georgeson, C.C., Cottrell, H.M. and Shelton, W. (1890). Experiments with oats. Experiment Station Bull. No. 13. Kansas State Agricultural College.

Juma, N.G., Izaurralde, R.C., Robertson, J.A. and McGill, W.B. (1997). Crop yield and soil organic matter trends over 60 years in a typic cryoboralf at Breton, Alberta. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Lawes, D.A. (1977). Yield improvement in spring oats. J. Agric. Sci., Camb. 89:751-757.

Meyers, K.B., Simmons, S.R. and Stuthman, D.D. (1985). Agronomic comparison of dwarf and conventional height oat genotypes. Crop Sci. 25:964-966.

Noll, C.F., Gardner, F.D. and Irvin, C.J. (1930). A field test of different sources of phosphorous. Pennsylvania State College School of Agriculture and Experiment Station Bull. 252.

Noll, C.F., Gardner, F.D. and Irvin, C.J. (1931). Fiftieth anniversary of the General Fertilizer Tests 1881-1931. Pennsylvania State College School of Agriculture and Experiment Station Bull. 264.

Rattunde, H.F. and Frey, K.J. (1986). Nitrogen harvest index in oats: Its repeatability and association with adaptation. Crop Sci. 26:606-610.

Sewell, M.C. and Call, L.E. (1925). Tillage investigations relating to wheat production. Tech. Bull. 18. Agricultural Experiment Station. Kansas State Agricultural College.

Ten Eyck, A.M. and Shoesmith, V.M. (1907). Small grain crops. Agricultural Experiment Station Bulletin 144. Kansas State Agricultural College. Manhattan, KS.

Thorne, C.E. (1924). The maintenance of soil fertility. Ohio Agricultural Experiment Station Bull. 381.

Wianco, A.T. and Jones, S.C. (1918). The value of manure on Indiana soils. Purdue University Agricultural Experiment Station. Bull. No. 222. Lafayette, IN.

Wianco, A.T., Conner, S.D. and Jones, S.C. (1919). The value of legumes on Indiana soils. Purdue University Agricultural Experiment Station. Bull. No. 226. Lafayette, IN.

7. 기장

Peterson, G.A. and Westfall, D.G. (1997). Management of dryland agroecosystems in the Central Great Plains of Colorado. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Peterson, G.A., Westfall, D.G. and Wood, W. (1989). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB89-3. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., McGee, E. and Kolberg, R. (1992). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB92-2. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., McGee, E. and Kolberg, R. (1991). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB91-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Rouppet, B. (1994). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB94-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Rouppet, B. (1993). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB93-4. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Wood, W. and Ross, S. (1988). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin LTB88-6. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., McGee, E., Westfall, D.G., Wood, C.W. and Sherrod, L. (1990). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB90-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

8. 사탕수수

Anonymous (1930). A report of the Tribune Branch Agricultural Experiment Station. Agricultural Experiment Station Bull. 250. Kansas State Agricultural College, Manhattan, KS.

Arnon, I. and Blum, A. (1962). Factors responsible for yield superiority of hybrid sorghum. Israel J. Agric. Res. 12: 95-105.

Arnon, I. and Blum, A. (1964). Response of hybrid and self-pollinated sorghum varieties to moisture regime and intra-row competition. Israel J. Agric. Res. 14: 45-53.

Bond, J.J., Army, T.J. and Lehman, O.R. (1964). Row spacing, plant populations and moisture supply as factors in dryland grain sorghum production. Agron. J. 56:3-6.

Bruce, R.R. and Langdale, G.W. (1997). Soil carbon level dependence upon crop culture variables in a thermicudic region. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems.

E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Craufurd, P.Q. and Peacock, J.M. (1993). Effect of heat and drought stress on sorghum (Sorghum bicolor). II. Grain yield. Expl. Agric. 29:77-86.

Donald, C.M. and Hamblin, J. (1976). The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Adv. Agron., 28: 361-405.

Eastin, J.D. (1983). Sorghum. In Symposium on Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

Eck, H.V. and Musick, J.T. (1979). Plant water stress effects on irrigated grain sorghum. I. Effects on yield. Crop Sci. 19:589-592.

Jones, O.R., Stewart, B.A. and Unger, P.W. (1997). Management of dry-farmed Southern Great Plains soils for sustained productivity. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Laryea, K.B. and Unger, P.W. (1995). Grassland converted to cropland: Soil conditions and sorghum yield. Soil & Tillage res. 33:29-45.

Peterson, G.A. and Westfall, D.G. (1997). Management of dryland agroecosystems in the Central Great Plains of Colorado. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Peterson, G.A., Westfall, D.G. and Wood, W. (1989). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB89-3. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Poss, D., Larson, K. and Thompson, D.L. (1997). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB97-3. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., McGee, E. and Kolberg, R. (1992). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB92-2. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., McGee, E. and Kolberg, R. (1991). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB91-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Rouppet, B. (1994). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB94-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Rouppet, B. (1993). Sustainable dryland agroecosystem management. Technical Bulletin TB93-4. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Sherrod, L., Kolberg, R. and Poss, D. (1995). Sustainable dryland

agroecosystem management. Technical Bulletin TB95-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., Westfall, D.G., Wood, W. and Ross, S. (1988). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin LTB88-6. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Peterson, G.A., McGee, E., Westfall, D.G., Wood, C.W. and Sherrod, L. (1990). Crop and soil management in dryland agroecosystems. Technical Bulletin TB90-1. Dept. of Agronomy, Colorado State University.

Prihar, S.S. and Stewart, B.A. (1991). Sorghum harvest index in relation to plant size, environment, and cultivar. Agron. J. 83:603-608.

Shinano, T., Osaka, M., Yamada, S. and Tadano, T. (1994). Comparison of root growth and nitrogen absorbing ability between Gramineae and Leguminosae during the vegetative stage. Soil Sci. Plant Nutr. 40:485-495.

Steiner, J.L. (1986). Dryland grain sorghum water use, light interception, and growth responses to plant geometry. Agron. J. 78:720-726.

Unger, P.W. and Jones, O.R. (1981). Effect of soil water content and a growing season straw mulch on grain sorghum. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:129-134.

Unger, P.W. and Wiese, A.F. (1979). Managing irrigated winter wheat residues for water storage and subsequent dryland grain sorghum production. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:582-588.

von Trebra, R.L. and Wagner, F.A. (1932). Tillage practices for south-western Kansas. Agricultural Experiment Station Bull. 262. Kansas State College of Agriculture and Applied Science. Manhattan, KS.

9. 호밀

호밀에 대한 이용 가능한 자료가 현재 없다.

10. 대두

Anderson, L.R., and Vasilas, B.L. (1985). Effects of planting date on two soybean cultivars: Seasonal dry matter accumulation and seed yield. Crop Sci. 25:999-1004.

Bruce, R.R. and Langdale, G.W. (1997). Soil carbon level dependence upon crop culture variables in a thermicudic region. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Buyanovsky, G.A. and Wagner, G.H. (1986). Post-harvest residue input to cropland. Plant and Soil 93:57-65.

Buzzell, R.I. and Buttery, B.R. (1977). Soybean harvest index in hill-plots. Crop Sci. 17:968-970.

Frederick, J.R., Woolley, J.T., Hesketh, J.D. and Peters, D.B. (1991). Seed yield and agronomic traits of old and modern soybean cultivars under irrigation and soil water-deficit. Field Crops research, 27: 71-82.

Hanway, J.J. and Weber, C.R. (1971). Dry matter accumulation in eight soybean (Glycine max (L.) Merrill) varieties. Agron. J. 63:227-230.

Hodgson, A.S., Holland, J.F. and Rayner, P. (1989). Effects of field slope and duration of furrow irrigation on growth and yield of six grain-legumes on a waterlogging-prone vertisol. Field Crops research, 22: 165-180.

Kumudini, S., Hume, D.J., and Chu, G. (2001). Genetic improvement in short season soybeans: I. Dry matter accumulation, partitioning, and leaf area duration. Crop Sci. 41:391-398.

Laing, D.R., Kretchmer, P.J., Zuluaga, S. and Jones, P.G. (1983). Field Bean. In Symposium on Potential Productivity of Field Crops Under Different Environments. International Rice Research Institute, Manila, Philippines.

Liu, X., Jin, J., Herbert, S.J., Zhang, Q. and Wang, G. (2005). Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in Northeast China. Field Crops Research, 93: 85-93.

Peters, S.E., Edwards, W.M. and McCoy, E.L. (1997). Continuous application of no-tillage to Ohio soils: Changes in crop yields and organic matter-related soil properties. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems. E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Sammons, D.J., Peters, D.B. and Hymowitz, T. (1981). Screening soybeans for tolerance to moisture stress: A field procedure. Field Crops Research, 3: 321-335.

Sinclair, T.R., Muchow, R.C., Ludlow, M.M., Leach, G.J., Lawn, R.J. and Foale, M.A. (1987). Field and model analysis of the effect of water deficits on carbon and nitrogen accumulation by soybean, cowpea, and black gram. Field Crops Research, 17: 121-140.

Sivakumar, M.V.K., Taylor, H.M. and Shaw, R.H. (1977). Top and root relations of field-grown soybeans. Agron. J. 69:470-473.

Thatcher, L.E. (1925). The soybean in Ohio. Ohio Agricultural Experiment Station. Bull. 384.

Walker, A.K. and Fioritto, R.J. (1984). Effect of cultivar and planting pattern on yield and apparent harvest index in soybean. Crop Sci. 24:154-155.

11. 건두

Ortega, P.F. (1988). Morphological characterization of six dry bean genotypes grown under non-irrigated conditions in Colorado. M.S. Thesis. Department of Agronomy, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

12. 감자

Heard, J. (2004). Nutrient accumulation and partitioning by potatoes in Manitoba. Proc. of 47th Annual Manitoba Society of Soil Science Meeting. Online at: http://www.gov.mb.ca/agriculture/msss/2004/mss600.pdf.

van Delden, A. (2001). Yield and growth components of potato and wheat under organic nitrogen management. Agron. J. 93:1370-1385.

Zvomuya, F., Rosen, C.J., Russelle, M.P. and Gupta, S.C. (2003). Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea to potato. Journal of Environmental Quality, 32: 480-489.

13. 땅콩

Bell, M.J., Muchow, R.C. and Wilson, G.L. (1987). The effect of plant population on peanuts (Arachis hypogaea) in a monsoonal tropical environment. Field Crops Research, 17: 91-107.

Ghosh, P.K. (2004). Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. Field Crops Research, 88: 227-237.

ICRISAT (2004). Increasing the effectiveness of research on agricultural resource management in the semi-arid tropics of southern India by combining cropping systems modeling with farming systems research: A rewarding experience for Tamil Nadu farmers. International Crops research Institute for the Semi-Arid Tropics. Online at: http://www.icrisat.org/.

Singh, P., Boote, K.J., Rao, A.Y., Iruthayaraj, M.R., Sheikh, A.M., Hundal, S.S., Narang, R.S. and Singh, P.(1994). Evaluation of the groundnut model PNUTGRO for crop response to water availability, sowing dates, and seasons. Field Crops research, 39: 147-162.

Witzenberger, A., Williams, J.H. and Lenz, F. (1985). Yield, components of yield and quality responses of groundnut (Arachis Hypogaea L.) as influenced by photoperiod and a growth regulator. Field Crops research, 12: 347-361.

14. 자주개자리

Paustian, K., Andren, O., Clarholm, M., Hansson, A.C., Johansson, G., Lagerlof, J., Lindberg, T., Pettersson, R., and Sohlenius, B. (1990). Carbon and nitrogen budgets of four agro-ecosystems with annual and perennial crops, with and without fertilization. J. Appl. Ecol. 27:60-84.

Walley, F.L., Tomm, G.O., Matus, A., Slinkard, A.E. and van Kessel, C. (1996). Allocation and cycling of nitrogen in an alfalfa-bromegrass sward. Agronomy Journal, 88: 834-843.

15. 비콩과류

Paustian, K., Andren, O., Clarholm, M., Hansson, A.C., Johansson, G., Lagerlof, J., Lindberg, T., Pettersson, R., and Sohlenius, B. (1990). Carbon and nitrogen budgets of four agro-ecosystems with annual and perennial crops, with and without fertilization. J. Appl. Ecol. 27:60-84.

III. 지상 잔존물의 질소함유량

1. 옥수수

Burgess, M.S., Mehuys, G.R. and Madramootoo, C.A. (2002). Nitrogen dynamics of decomposing corn residue components under three tillage systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:1350-1358.

Eghball, B. and Maranville, J.W. (1993). Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. Agron. J. 85:147-152.

Heard, J. (2004). Nutrient accumulation and partitioning by grain corn in Manitoba. Proc. of 47th Annual Manitoba Society of Soil Science Meeting. Online at: http://www.gov.mb.ca/agriculture/msss/2004/mss601.pdf.

Janzen, H.H., Beauchemin, K.A., Bruinsma, Y., Campbell, C.A., Desjardins, R.L., Ellert, B.H. and Smith, E.G. (2003). The fate of nitrogen in agroecosystems: An illustration using Canadian estimates. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67: 85-102.

Mgheni, D.M., Ndemanisho, E.E., Hvelplund, T. and Weisbjerg, M.R. (2001). Evaluation of the feeding value of two tropical cereal straws, maize stover, rice straw and their botanical fractions by nylon and mobile bag technique. African Journal of Science and Technology, 2:65-71.

NRCS (2006). Plant nutrient content database. Natural Resources Conservation Service. U. S. Dept. of Agriculture. Online at: http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html.

Reisinger, K., Haslinger, C., Herger, M., Hofbauer, H. (1996). BIOBIB- a Database for Biofuels, THERMIEConference: Renewable Energy Databases, Harwell, United Kingdom. Online at: http://www.vt.tuwien.ac.at/biobib/oxford.html.

Subedi, K.D. and Ma, B.L. (2005). Nitrogen uptake and partitioning in stay-green and leafy-maize hybrids. Crop Sci. 45:740-747.

2. 밀

Austin, R.B., Ford, M.A. and Morgan, C.L. (1989). Genetic improvement in the yield of winter wheat: a further evaluation. J. Agric. Sci., Camb. 112:295-301.

Campbell, C.A., Davidson, H.R. and Warder, F.G. (1977). Effects of fertilizer N and soil moisture on yield, yield components, protein content and N accumulation in the above-ground parts of spring wheat. Can. J. Soil Sci. 57:311-327.

Campbell, C.A. and Zentner, R.P. (1993). Soil organic matter as influenced by crop rotations and fertilization. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:1034-1040.

Cassman, K.G., Bryant, D.C., Fulton, A.E. and Jackson, L.F. (1992). Crop ecology, production and management. Crop Sci. 32:1251-1258.

NRCS (2006). Plant nutrient content database. Natural Resources Conservation Service. U. S. Dept. of Agriculture. Online at: http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html.

Reisinger, K., Haslinger, C., Herger, M. and Hofbauer, H. (1996). BIOBIB- a Database for Biofuels, THERMIEConference: Renewable Energy Databases, Harwell, United Kingdom. Online at: http://www.vt.tuwien.ac.at/biobib/oxford.html.

3. 벼

Mgheni, D.M., Ndemanisho, E.E., Hvelplund, T. and Weisbjerg, M.R. (2001). Evaluation of the feeding value of two tropical cereal straws, maize stover, rice straw and their botanical fractions by nylon and mobile bag technique. African Journal of Science and Technology, 2:65-71.

NRCS (2006). Plant nutrient content database. Natural Resources Conservation Service. U. S. Dept. of Agriculture. Online at: http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html.

Ockerby, S.E. and Fukai, S. (2001). The management of rice grown on raised beds with continuous furrow irrigation. Field Crops Research. 69:215-226.

Reisinger, K., Haslinger, C., Herger, M. and Hofbauer, H. (1996). BIOBIB- a Database for Biofuels, THERMIEConference: Renewable Energy Databases, Harwell, United Kingdom. Online at: http://www.vt.tuwien.ac.at/biobib/oxford.html.

4. 보리

Bulman, P. and Smith, D.L. (1993). Accumulation and redistribution of dry matter and nitrogen by spring barley. Agron. J. 85:1114-1121.

Janzen, H.H., Beauchemin, K.A., Bruinsma, Y., Campbell, C.A., Desjardins, R.L., Ellert, B.H. and Smith, E.G. (2003). The fate of nitrogen in agroecosystems: An illustration using Canadian estimates. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67: 85-102.

NRCS (2006). Plant nutrient content database. Natural Resources Conservation Service. U. S. Dept. of Agriculture. Online at: http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html.

Reisinger, K., Haslinger, C., Herger, M. and Hofbauer, H. (1996). BIOBIB- a Database for Biofuels, THERMIEConference: Renewable Energy Databases, Harwell, United Kingdom. Online at: http://www.vt.tuwien.ac.at/biobib/oxford.html.

5. 귀리

Janzen, H.H., Beauchemin, K.A., Bruinsma, Y., Campbell, C.A., Desjardins, R.L., Ellert, B.H. and Smith, E.G. (2003). The fate of nitrogen in agroecosystems: An illustration using Canadian estimates. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67: 85-102.

NRCS (2006). Plant nutrient content database. Natural Resources Conservation Service. U. S. Dept. of Agriculture. Online at: http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html.

Reisinger, K., Haslinger, C., Herger, M., Hofbauer, H. (1996). BIOBIB- a Database for Biofuels, THERMIEConference: Renewable Energy Databases, Harwell, United Kingdom. Online at: http://www.vt.tuwien.ac.at/biobib/oxford.html.

Wych, R.D. and Stuthman, D.D. (1983). Genetic improvement in Minnesota-adapted oat cultivars released since 1923. Crop Sci. 23:879-881.

6. 기장

NRCS (2006). Plant nutrient content database. Natural Resources Conservation Service. U. S. Dept. of Agriculture. Online at: http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html.

7. 사탕수수

NRCS (2006). Plant nutrient content database. Natural Resources Conservation Service. U. S. Dept. of Agriculture. Online at: http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html.

8. 호밀

Janzen, H.H., Beauchemin, K.A., Bruinsma, Y., Campbell, C.A., Desjardins, R.L., Ellert, B.H. and Smith, E.G. (2003). The fate of nitrogen in agroecosystems: An illustration using Canadian estimates. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67: 85-102.

NRCS (2006). Plant nutrient content database. Natural Resources Conservation Service. U. S. Dept. of Agriculture. Online at: http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html.

9. 대두

NRCS (2006). Plant nutrient content database. Natural Resources Conservation Service. U. S. Dept. of Agriculture. Online at: http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html.

10. 건두

Janzen, H.H., Beauchemin, K.A., Bruinsma, Y., Campbell, C.A., Desjardins, R.L., Ellert, B.H. and Smith, E.G. (2003). The fate of nitrogen in agroecosystems: An illustration using Canadian estimates. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67: 85-102.

11. 감자

Heard, J. (2004). Nutrient accumulation and partitioning by potatoes in Manitoba. Proc. of 47th Annual Manitoba Society of Soil Science Meeting. Online at: http://www.gov.mb.ca/agriculture/msss/2004/mss600.pdf.

Janzen, H.H., Beauchemin, K.A., Bruinsma, Y., Campbell, C.A., Desjardins, R.L., Ellert, B.H. and Smith, E.G. (2003). The fate of nitrogen in agroecosystems: An illustration using Canadian estimates. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67: 85-102.

Thatcher, L.E. and Willard, C.J. (1962). Crop rotation and soil productivity. Ohio Agricultural Experiment Station Res. Bull. 907. Ohio State University.

Zvomuya, F., Rosen, C.J., Russelle, M.P. and Gupta, S.C. (2003). Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea to potato. Journal of Environmental Quality, 32: 480-489.

12. 땅콩

NRCS (2006). Plant nutrient content database. Natural Resources Conservation Service. U. S.

Dept. of Agriculture. Online at: http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html.

13. 자주개자리

NRCS (2006). Plant nutrient content database. Natural Resources Conservation Service. U. S. Dept. of Agriculture. Online at: http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html.

Schmidt, W.H., Myers, D.K. and Van Keuren, R.W. (2001).Values of legumes for plowdown nitrogen. Extension Fact Sheet AGF-111-01. Ohio State University Extension. Online at: http://ohioline.osu.edu/agf-fact/0111.html.

Walley, F.L., Tomm, G.O., Matus, A., Slinkard, A.E. and van Kessel, C. (1996). Allocation and cycling of nitrogen in an alfalfa-bromegrass sward. Agronomy Journal, 88: 834-843.

14. 비콩과류

NRCS (2006). Plant nutrient content database. Natural Resources Conservation Service. U. S. Dept. of Agriculture. Online at: http://www.nrcs.usda.gov/technical/ECS/nutrient/tbb1.html.

IV. 지상생체량에 대한 지하잔존물의 비율

1. 옥수수

Bray, J.R. (1963). Root production and the estimation of net productivity. Can. J. Bot. 41:65-72.

Bolinder, M.A., Angers, D.A., Giroux, M. and Laverdiere, M.R. (1999). Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (Zea Mays L.). Plant and Soil 215:85-91.

Buyanovsky, G.A. and Wagner, G.H. (1986). Post-harvest residue input to cropland. Plant and Soil 93:57-65.

Eghball, B. and Maranville, J.W. (1993). Root development and nitrogen influx of corn genotypes grown under combined drought and nitrogen stresses. Agron. J. 85:147-152.

Follett, R.F., Allmaras, R.R. and Reichman, G.A. (1974). Distribution of corn roots in sandy soil with a declining water table. Agron. J. 66:288-292.

Huggins, D.R., and Fuchs, D.J. (1997). Long-term N management effects on corn yield and soil C of an aquic haplustoll in Minnesota. In Soil Organic Matter In Temperate Agroecosystems. E.A. Paul, K. Paustian, E.T. Elliott, and V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Liang, B.C., Wang, X.L. and Ma, B.L. (2002). Maize root-induced change to soil organic pool. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:845-847.

Qian, J.H., Doran, J.W. and Walters, D.T. (1997). Maize plant contributions to root zone available carbon and microbial transformations of nitrogen. Soil Biol. Biochem. 29:1451-1462.

Shank, D.B. (1943). Top-root ratios of inbred and hybred maize. J. Am. Soc. Agron., pp.

976-986.

Tran, T.S. and Giroux, M. (1998). Fate of 15N-labelled fertilizer applied to corn grown on different soil types. Canadian Journal of Soil Science, 78: 597-605.

Triplett, G.B. Jr. and Mannering, J.V. (1978). Crop residue management in crop rotation and multiple cropping systems. Chapter 11 in Crop Residue Management Systems. Am. Soc. Agron. Spec. Pub. No. 31.

Yiridoe, E.K., Voroney, R.P. and Weersink, A. (1997). Impact of alternative farm management practices on nitrogen pollution of groundwater: Evaluation and application of CENTURY Model. J. Environ. Qual. 26:1255-1263.

2. 밀

Barraclough, P.B. (1984). The growth and activity of winter wheat roots in the field: root growth of high yielding crops in relation to shoot growth. J. Agric. Sci., Camb. 103:439-442.

Barraclough, P.B. and Leigh, R.A. (1984). The growth and activity of winter wheat roots in the field: the effect of sowing date and soil type on root growth of high yielding crops. J. Agric. Sci., Camb. 103:59-74.

Bolinder, M.A., Angers, D.A. and Dubuc, J.P. (1997). Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soils for cereal crops. Agriculture, Ecosystems and Environment 63:61-67.

Bray, J.R. (1963). Root production and the estimation of net productivity. Can. J. Bot. 41:65-72.

Buyanovsky, G.A. and Wagner, G.H. (1986). Post-harvest residue input to cropland. Plant and Soil 93:57-65.

Campbell, C.A. and de Jong, R. (2001). Root-to-straw ratios - influence of moisture and rate of N fertilizer. Can. J. Soil Sci., 81: 39-43.

Campbell, C.A. and Zentner, R.P. (1997). Crop production and soil orgaqnic matter in long-term crop rotations in the semi-arid Northern Great Plains of Canada. In: Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems.

E.A. Paul. K. Paustian, E.T. Elliott, and C.V. Cole (eds.). CRC Press, Inc.

Gregory, P.J., McGowan, M., Biscoe, P.V. and Hunter, B. (1978). Water relations of winter wheat. 1.Growth of the root system. J. Agric. Sci., Camb. 91:91-102.

Pederson, G.A., Brink, G.E. and Fairbrother, T.E. (2002). Nutrient uptake in plant parts of sixteen forages fertilized with poultry litter: Nitrogen, phosphorous, potassium, copper, and zinc. Agron. J. 94:895-904.

Siddique, K.H.M., Belford, R.K. and Tennant, D. (1990). Root:shoot ratios of old and modern, tall and semidwarf wheats in a mediterranean environment. Plant and Soil 121:89-98.

Slobodian, N., Van Rees, K. and Pennock, D. (2002). Cultivation-induced effects on below-ground biomass and organic carbon. Soil Sci. Soc. Am. J. 66:924-930.

Triplett Jr., G.B. and Mannering, J.V. (1978). Crop residue management in crop rotation and multiple cropping systems. Chapter 11 in Crop Residue Management Systems. Am. Soc. Agron. Spec. Pub. No. 31.

Weir, A.H. and Barraclough, P.B. (1986). The effect of drought on the root growth of winter wheat and on its uptake from deep loam. Soil Use And Management 2:91-96.

3. 벼

Cassman, K. G. (personal communication 2002) Agron. Dept, U. NE.

Khokhar, M.F.K. and Pandey, H.N. (1976). Biomass, productivity and growth analysis of two varieties of paddy. Trop. Ecol. 17:125-131.

Shinano, T., Osaka, M., Yamada, S. and Tadano, T. (1994). Comparison of root growth and nitrogen absorbing ability between Gramineae and Leguminosae during the vegetative stage. Soil Sci. Plant Nutr. 40:485-495.

Turner, F.T. and McCauley, G.N. (1983). Rice. In: Crop – - Water Relations. I.D.Teare and M.M. Peet (eds.). John Wiley and Sons, New York, pp 308-350.

4. 보리

Bolinder, M.A., Angers, D.A. and Dubuc, J.P. (1997). Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soils for cereal crops. Agriculture, Ecosystems and Environment 63:61-67.

Bray, J.R. (1963). Root production and the estimation of net productivity. Can. J. Bot. 41:65-72.

Gregory, P.J. and Atwell, B.J. (1991). The fate of carbon in pulse-labeled crops of barley and wheat. Plant and Soil 136:205-213.

Gregory, P.J., Palta, J.A. and Batts, G.R. (1997). Root systems and root:mass ratio - carbon allocation under current and projected atmospheric conditions in arable crops.

Hansson, A., Andren, O., Bostrom, U., Clarholm, M., Lagerlof, J., Lindberg, T., Paustian, K., Pettersson, R. and Sohlenius, B. (1989). Chapter 4. Structure of the agroecosystem. In: Andren O., Lindberg T., Paustian K., and Rosswall T. (eds.). Ecology of arable land - organisms, carbon and nitrogen cycling. Ecol. Bull. (Copenhagen) 40:41-83.

Heen, A. (1981). Root growth, transpiration and leaf-firing during water stress in barley: Breeding implications for drought resistance. In: Barley Genetics IV. Proceedings of the Fourth International Barley Genetics Symposium. Edinburgh Univ. Press.

Shank, D.B. (1943). Top-root ratios of inbred and hybred maize. J. Am. Soc. Agron., pp. 976-986.

Siddique, K.H.M., Belford, R.K. and Tennant, D. (1990). Root:shoot ratios of old and modern, tall and semidwarf wheats in a mediterranean environment. Plant and Soil 121:89-98.

Watson, D.J., Thorne, G.N. and French, S.A.W. (1958). Physiological causes of differences in grain yield between varieties of barley. Annals of Botany 87:321-352.

Xu, J.G. and Juma, N.G. (1992). Above- and below-ground net primary production of four barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in western Canada. Can. J. Plant Sci. 72:1131-1140.

5. 귀리

Bolinder, M.A., Angers, D.A. and Dubuc, J.P. (1997). Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soils for cereal crops. Agriculture, Ecosystems and Environment 63:61-67.

Pederson, G.A., Brink, G.E. and Fairbrother, T.E. (2002). Nutrient uptake in plant parts of sixteen forages fertilized with poultry litter: Nitrogen, phosphorous, potassium, copper, and zinc. Agron. J. 94:895-904.

6. 기장

기장에 대한 이용 가능한 자료가 현재 없다.

7. 사탕수수

사탕수수에 대한 이용 가능한 자료가 현재 없다.

8. 호밀

호밀에 대한 이용 가능한 자료가 현재 없다.

9. 대두

Allmaras, R.R., Nelson, W.W. and Voorhees, W.B. (1975). Soybean and corn rooting in Southwestern

Minnesota: II. Root distributions and related water flow. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 39:771-777.

Buyanovsky, G.A. and Wagner, G.H. (1986). Post-harvest residue input to cropland. Plant and Soil 93:57-65.

Heatherly, L.G. (1980). Effect of upper-profile soil water potential on soybean root and shoot relationships. Field Crops Research, 3:165-171.

Mayaki, W.C., Teare, I.D. and Stone, L.R. (1976). Top and root growth of irrigated and nonirrigated soybeans. Crop Sci. 16:92-94.

Shinano, T., Osaki, M., Yamada, S. and Tadano, T. (1994). Comparison of root growth and nitrogen absorbing ability between Gramineae and Leguminosae during the vegetative stage. Soil Sci. Plant Nutr. 40:485-495.

Taylor, H.M., Mason, W.K., Bennie, A.T.P. and House, H.R. (1982). Responses of soybeans to two row spacings and two soil water levels. I. An analysis of biomass accumulation, canopy development, solar radiation interception and components of seed yield. Field Crops Research, 5: 1-14.

10. 건두

건두에 대한 이용 가능한 자료가 현재 없다.

11. 감자

Vangessel, M.J. and Renner, K.A. (1990). Redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) and barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) interference in potatoes (*Solanum tuberosum*). Weed Science 38:338-343.

12. 땅콩

땅콩에 대한 이용 가능한 자료가 현재 없다.

13. 자주개자리

Paustian, K., Andren, O., Clarholm, M., Hansson, A.C., Johansson, G., Lagerlof, J., Lindberg, T., Pettersson, R. and Sohlenius, B. (1990). Carbon and nitrogen budgets of four agro-ecosystems with annual and perennial crops, with and without fertilization. J. Appl. Ecol. 27:60-84.

14. 비콩과류

Paustian, K., Andren, O., Clarholm, M., Hansson, A.C., Johansson, G., Lagerlof, J., Lindberg, T., Pettersson, R. and Sohlenius, B. (1990). Carbon and nitrogen budgets of four agro-ecosystems with annual and perennial crops, with and without fertilization. J. Appl. Ecol. 27:60-84.

V. 지하잔존물의 질소함유량

1. 옥수수

Sanchez, J.E., Paul, E.A., Willson, T.C., Smeenk, J. and Harwood, R.R. (2002). Corn root effects on the nitrogen-supplying capacity of a conditioned soil. Agron. J. 94:391-396.

Subedi, K.D. and Ma, B.L. (2005). Nitrogen uptake and partitioning in stay-green and leafy-maize hybrids. Crop Sci. 45:740-747.

Tran, T.S. and Giroux, M. (1998). Fate of 15N-labelled fertilizer applied to corn grown on different soil types. Canadian Journal of Soil Science, 78: 597-605.

2. 밀

Campbell, C.A., Cameron, D.R., Nicholaichuk, W. and Davidson, H.R. (1977). Effects of fertilizer N and soil moisture on growth, N content, and moisture use by spring wheat. Can. J. Soil Sci. 57:289-310.

Pederson, G.A., Brink, G.E. and Fairbrother, T.E. (2002). Nutrient uptake in plant parts of sixteen forages fertilized with poultry litter: Nitrogen, phosphorous, potassium, copper, and zinc. Agron. J. 94:895-904.

3. 벼

벼에 대한 이용 가능한 자료가 현재 없다.

4. 보리

Dev, G. and Rennie, D.A. (1979). Isotope studies on the comparative efficiency of nitrogenous sources. Aust. J. Soil Res. 17: 155-162.

Haugen-Kozyra, K., Juma, N.G. and Nyborg, M. (1993). Nitrogen partitioning and cycling in barley-soil systems under conventional and zero tillage in central Alberta. Canadian Journal of Soil Science 73: 183-196.

5. 귀리

Pederson, G.A., Brink, G.E. and Fairbrother, T.E. (2002). Nutrient uptake in plant parts of sixteen forages fertilized with poultry litter: Nitrogen, phosphorous, potassium, copper, and zinc. Agron. J. 94:895-904.

6. 기장

기장에 대한 이용 가능한 자료가 현재 없다.

7. 사탕수수

Cueto-Wong, J.A., Guldan, S.J., Lindemann, W.C. and Remmenga, M.D. (2001). Nitrogen recovery from 15Nlabeled green manures: I. Recovery by forage sorghum and soil one season after green manure incorporation. Journal of Sustainable Agriculture, 17:27-42.

8. 호밀

Pederson, G.A., Brink, G.E. and Fairbrother, T.E. (2002). Nutrient uptake in plant parts of sixteen forages fertilized with poultry litter: Nitrogen, phosphorous, potassium, copper, and zinc. Agron. J. 94:895-904.

9. 대두

Thatcher, L.E. (1925). The soybean in Ohio. Ohio Agricultural Experiment Station. Bull. 384.

10. 건두

Janzen, H.H., Beauchemin, K.A., Bruinsma, Y., Campbell, C.A., Desjardins, R.L., Ellert, B.H. and Smith, E.G. (2003). The fate of nitrogen in agroecosystems: An illustration using Canadian estimates. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67: 85-102.

11. 감자

Lander, C.H., Moffitt, D. and Alt, K. (1998). Nutrients available from livestock manure relative to crop growth requirements. Resource Assessment and Strategic Planning Working paper 98-1. USDA Natural Resource Conservation Service. http://www.nhq.nrcs.usda.gov/land/pubs/nlweb.html

Zvomuya, F., Rosen, C.J., Russelle, M.P. and Gupta, S.C. (2003). Nitrate leaching and nitrogen recovery following application of polyolefin-coated urea to potato. Journal of Environmental Quality, 32: 480-489.

12. 땅콩

땅콩에 대한 이용 가능한 자료가 현재 없다.

13. 자주개자리

Baron, V., Young, D.Y. and Ullmann, C. (2001). Can pasture slow down global warming?

Western Forage/Beef Group, 5: 3-6. Online at: http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/newslett.nsf/all/wfbg38.

Bowren, K.E., Cooke, D.A. and Downey, R.K. (1969). Yield of dry matter and nitrogen from tops and roots of sweetclover, alfalfa, and red clover at five stages of growth. Canadian Journal of Plant Science, 49: 61-69.

Pederson, G.A., Brink, G.E. and Fairbrother, T.E. (2002). Nutrient uptake in plant parts of sixteen forages fertilized with poultry litter: Nitrogen, phosphorous, potassium, copper, and zinc. Agron. J. 94:895-904.

Schmidt, W.H., Myers, D.K. and Van Keuren, R.W. (2001).Values of legumes for plowdown nitrogen. Extension Fact Sheet AGF-111-01. Ohio State University Extension. Online at: http://ohioline.osu.edu/agf-fact/0111.html.

Walley, F.L., Tomm, G.O., Matus, A., Slinkard, A.E. and van Kessel, C. (1996). Allocation and cycling of nitrogen in an alfalfa-bromegrass sward. Agronomy Journal, 88: 834-843.

14. 비콩과류

Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., Zentner, R.P. and Lafond, G.P. (1991). Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozemic soil. Canadian Journal of Soil Science, 71: 363-376.

Christian, J.M. and Wilson, S.D. (1999). Long-term ecosystem impacts of an introduced grass in the Northern Great Plains. Ecology, 80: 2397-2407.

Pederson, G.A., Brink, G.E. and Fairbrother, T.E. (2002). Nutrient uptake in plant parts of sixteen forages fertilized with poultry litter: Nitrogen, phosphorous, potassium, copper, and zinc. Agron. J. 94:895-904.

Schmidt, W.H., Myers, D.K. and Van Keuren, R.W. (2001).Values of legumes for plowdown nitrogen. Extension Fact Sheet AGF-111-01. Ohio State University Extension. Online at: http://ohioline.osu.edu/agf-fact/0111.html.

Walley, F.L., Tomm, G.O., Matus, A., Slinkard, A.E. and van Kessel, C. (1996). Allocation and cycling of nitrogen in an alfalfa-bromegrass sward. Agronomy Journal, 88: 834-843.

참고문헌

Aitkenhead-Peterson, J. A., Alexander, J. E. and Clair, T. A. (2005). Dissolved organic carbon and dissolved organic nitrogen export from forested watersheds in Nova Scotia: Identifying controlling factors. Global Biogeochemical Cycles, 19, GB4016, doi:10.10.1029/2004GB002438.

Akiyama, H., Yagi, K. and Yan, X. (2005). Direct N_2O emission from rice paddy fields: Summary of available data. Glob. Biogeochem. Cycles, 19(1), art. no. GB1005.

Alm, J., Saarnio, S., Nykanen, H., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (1999). Winter CO_2, CH_4 and N_2O fluxes on some natural and drained boreal peatlands. Biogeochem. 44, 163-186.

Bouwman, A.F. (1996). Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 46, 53-70.

Bouwman, A.F., Boumans, L.J.M. and Batjes, N.H. (2002a). Emissions of N_2O and NO from fertilised fields: Summary of available measurement data. Glob. Biogeochem. Cycles, 16(4), art. no. 1058.

Bouwman, A.F., Boumans, L.J.M. and Batjes, N.H. (2002b). Modeling global annual N_2O and NO emissions from fertilised fields. Glob. Biogeochem. Cycles, 16(4), art. no. 1080.

Brumme, R., Borken, W. and Finke, S. (1999). Hierarchical control on nitrous oxide emission in forest ecosystems. Global Biochem. Cycles 13, 1137 -1148.

Butterbach-Bahl, K., Gasche, R., Breuer, L. And Papen, H. (1997). Fluxes of NO and N_2O from temperate forest soils: impact of forest type, N deposition and of liming on the NO and N_2O emissions. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 48, 79 -90.

Clough, T., Bertram, J.E., Sherlock, R.R., Leonard, R.L. and Nowicki, B.L. (2006). Comparison of measured and EF5-r-derived N_2O fluxes from a spring-fed river. Glob. Change Biol. 12, 477-488.

Corre, M.D., Pennock, D.J., van Kessel, C., and Elliott, D.K. (1999). Estimation of annual nitrous oxide emissions from a transitional grassland-forest region in Saskatchewan, Canada. Biogeochem. 44, 29 49.

Davies, M.G., Smith, K.A. and Vinten, A.J.A. (2001). The mineralisation and fate of N following ploughing of grass and grass-clover swards. Biol. Fertil. Soils, 33, 423-434.

de Klein, C.A.M. (2004). Review of the N_2O emission factor for excreta deposited by grazing animals (EF_{3PRP}). Paper prepared as part of the 2006 Revised Guidelines for Greenhouse Gas Inventories of IPCC.

Denier van der Gon, H. and Bleeker, A. (2005). Indirect N_2O emission due to atmospheric N deposition for the Netherlands. Atmos. Environ. 39, 5827-5838.

Dong, L.F., Nedwell, D.B., Colbeck, I. and Finch, J. (2004). Nitrous oxide emission from some English and Welsh rivers and estuaries. Water Air Soil Pollution: Focus 4, 127-134.

FAO (1998). World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Reports 84. FAO, Rome. 88pp. (ISBN 92-5-104141-5).

Garten, C.T., Cooper, L.W., Post, W.M. and Hanson, P.J. (2000). Climate controls on forest soil C isotope ratios in the southern Appalachian mountains. Ecology, 81, 1108-1119.

Hiscock, K.M., Bateman, A.S., Fukada, T. and Dennis, P.F. (2002). The concentration and distribution of groundwater N_2O in the Chalk aquifer of eastern England. In: Van Ham, J., Baede, A.P.M., Guicherit, R. and Williams-Jacobse, J.G.F.M. (eds.), Proc. 3rd Internat. Symp. Non-CO_2 Greenhouse Gases, Maastricht, The Netherlands, 185-190.

Hiscock, K.M., Bateman, A.S., Muhlherr, I.H., Fukada, T. and Dennis, P.F. (2003). Indirect emissions of nitrous oxide from regional aquifers in the United Kingdom. Environ. Sci. Technol. 37, 3507-3512.

IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tr□anton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds).Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.

John, B., Yamashita, T., Ludwig, B. and Flessa, H. (2005). Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. Geoderma, 128, 63-79.

Klemedtsson, L., Kasimir Klemedtsson, A., Escala, M. and Kulmala, A. (1999). Inventory of N2O emission from farmed European peatlands. In: Freibauer, A. and Kaltschmitt, M. (eds.), Approaches to Greenhouse Gas Inventories of Biogenic Sources in Agriculture, Proc. Workshop at L□keberg, Sweden, 9-10 July 1998, pp. 79-91.

Klemedtsson, L., Weslien, P., Arnold, K., Agren, G., Nilsson, M. and Hanell, B. (2002). Greenhouse gas emissionsfrom drained forests in Sweden. In: Olsson M. (ed.) Land-use strategies for reckoning net greenhouse gas emissions. Mistra Programme: Progress report 1999 2002. Swedish Univ. Agric. Sciences, Uppsala: pp. 44-67.

Lobe, I., Amelung, W. and Du Preez, C.C. (2001). Losses of carbon and nitrogen with prolonged arable cropping from sandy soils of the South African Highveld. European Journal of Soil Science, 52, 93-101.

Laine, J., Silvola, J., Tolonen, K., Alm, J., Nykanen, H., Vasander, H., Sallantaus, T., Savolainen, I., Sinisalo, J., and Martikainen, P.J. (1996). Effect of water-level drawdown on global climatic warming northern peatlands. Ambio 25, 179-184.

Martikainen, P.J., Nykanen, H., Alm, J., and Silvola, J. (1995). Change in fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide due to forest drainage of mire sites of different trophy. Plant Soil 169, 571-577.

Minkkinen, K., Korhonen, K., Savolainen, I. and Laine, J. (2002). Carbon balance and radiative forcing of Finnish peatlands 1900-2100: the impact of forestry drainage. Glob. Change Biol. 8, 785-799.

Novoa, R. and Tejeda, H.R. (2006) Evaluation of the N_2O emissions from N in plant residues as affected by environmental and management factors. Nutr. Cycl. Agroecosyst. (in press).

Reay, D.S., Smith, K.A. and Edwards A.C. (2004). Nitrous oxide in agricultural drainage waters following field fertilisation. Water Air Soil Pollution: Focus, 4, 437-451.

Reay, D., Smith, K.A., Edwards, A.C., Hiscock, K.M., Dong, L.F. and Nedwell, D. (2005). Indirect nitrous oxide emissions: revised emission factors. Environ. Sciences, 2, 153-158.

Regina, K., Nyk□nen, H., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (1996). Nitrous oxide production in boreal peatlands of different hydrology and nutrient status. In: Northern peatlands in global climatic change. Proc. Internat. Workshop, Academy of Finland, Hyyti□l□: pp. 158-166.

Robertson, G.P. and Grace, P.R. (2004). Greenhouse gas fluxes in tropical and temperate agriculture: the need for a full-cost accounting of global warming potentials. Environ. Develop. Sustain. 6, 51-63.

Rochette, P. and Janzen, H.H. (2005). Towards a revised coefficient for estimating N_2O emissions from legumes. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 73, 171-179.

Snowdon, P., Ryan, P. and Raison, J. (2005). Review of C:N ratios in vegetation, litter and soil under Australian native forests and plantations. National Carbon Accounting System Technical Report No. 45, Australian Greenhouse Office, Canberra.

Sawamoto, T., Nakajima, Y., Kasuya, M., Tsuruta, H. and Yagi, K. (2005). Evaluation of emission factors for indirect N_2O emission due to nitrogen leaching in agro-ecosystems. Geophys. Res. Lett. 32(3), doi:10.1029/2004GL021625.

Smith, K.A.and Conen, F. (2004). Impacts of land management on fluxes of trace greenhouse gases. Soil Use Manage., 20, 255-263.

Stehfest, E. and Bouwman, L. (2006). N_2O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 74, 207-228.

van der Weerden, T.J., Sherlock, R.R., Williams, P.H. and Cameron, K.C. (1999). Nitrous oxide emissions and methane oxidation by soil following cultivation of two different

leguminous pastures. Biol. Fertil. Soils, 30, 52-60.

West, T.O. and McBride, A.C. (2005). The contribution of agricultural lime to carbon dioxide emission in the United States: dissolution, transport, and net emissions. Agric. Ecosyst. Environ. 108, 145-154.

제12장

수확된 목제품

저자

Kim Pingoud (핀란드) and Kenneth E. Skog (미국)
Daniel L. Martino (우루과이), Mario Tonosaki (일본), and Zhang Xiaoquan (중국)

부저자(contributing author)

Justin Ford-Robertson (뉴질랜드)

목 차

12 수확된 목제품 (HWP).....12.5
12.1 서론.....12.6
12.2 방법론적 이슈.....12.9
12.2.1 방법의 선택.....12.9
12.2.1.1 Tier 1.....12.10
12.2.1.2 Tier 2: 국가 자료 사용..... 12.18
12.2.1.3 Tier 3: 국가 고유 방법들.....12.18
12.2.1.4 HWP 변수들로부터 대기로 배출되는 탄소 산정.....12.20
12.2.1.5 CO_2의 형태로 대기 중으로 배출되는 탄소 산정.....12.20
12.2.2 배출계수의 선택.....12.20
12.2.3 활동자료의 선택.....12.21
12.3 불확도 평가.....12.25
12.4 품질보증/ 품질관리.....12.28
12.5 완전성.....12.29
12.6 보고와 기록.....12.29
12.7 표와 워크시트 작성.....12.29
별첨 12.A.1 기타 접근법들.....12.32
참고문헌.....12.38

식

식 12.1 탄소 축적량 산정과 보고 국가의 HWP 저장고의 연간 변화량.....12.13
식 12.2 국내 소비로부터 연간 생산되는 HWP 제품의 산정.....12.14
식 12.3 국내 벌채로부터 연간 생산된 HWP 제품의 산정.....12.15
식 12.4 자국 벌채로부터 온 자국 SWDS의 HWP에서 연간 탄소 변화량의 산정.....12.16
식 12.5 HWP 변수를 이용하여 탄소 배출량 산정 12.20
식 12.6 1961년 이전 년도에 관한 표 12.5의 생산량, 수입량, 수출량 산정식.....12.21
식 12A.1 축적량-변화 접근법에 의한 AFOLU의 배출량 12.33
식 12A.2 축적량-변화접근법: HWP 기여도.....12.33

식 12A.3 대기흐름 접근법에서와 같이 AFOLU로부터 배출량.....12.34
식 12A.4 대기흐름 접근법: HWP 기여도.....12.35
식 12A.5 생산 접근법에 의한 AFOLU로부터 배출량 12.36
식 12A.6 생산 접근법: HWP 기여도.....12.36

그 림

그림 12.1 0의 HWP 기여도를 보고하거나 Tier를 선택하기 위한 의사결정도.....12.12
그림 12.A.1 축적량-변화 접근법의 시스템 경계.....12.32
그림 12.A.2 대기흐름 접근법의 시스템 경계.....12.34
그림 12.A.3 생산 접근법의 시스템경계 12.35

표

표 12.1 AFOLU CO_2 배출/흡수에 대한 연간 HWP 기여도를 산정하는데 사용되는 HWP 변수들.....12.9
표 12.2 탄소 저장고 내 “사용 중인 제품”에 대한 설정 반감기와 각 연도별로 얻어지는 관련 비율.....12.21
표 12.3 1900년에서 1961년 기간 동안 세계에서 산업용 원목의 연간 생산(벌채) 생산 속도 산정.....12.22
표 12.4 생산단위에서 탄소단위로 전환하기 위한 기본 계수.....12.23
표 12.5 Tier 1 변수와 기본 전환 계수에 필요한 UN FAO의 활동자료.....12.23
표 12.6 다섯 가지 연간 HWP 변수를 산정하는 Tier 1에 대한 활동자료와 입력변수 (배출계수)에 연관된 불확도.....12.27
표 12.7 AFOLU에 대한 부문별 배경자료.....12.31
표 A12.1 표 12.7을 이용한 HWP 기여도 계산방법의 개요.....12.37

12 수확된 목제품 (HWP)

목재생산에서 탄소 축적량과 목재생산 다음에 뒤따르는 이산화탄소(CO_2)로 배출을 보고하는데 몇 가지 다른 접근법이 현재 있다 (Brown *et al.*, 1998; and Ford-Robertson, 2003; 별첨 12A.1 참고). 이 장에서는 이들 접근법 중에서 어떤 것도 선호하지 않으며, 탄소(C)의 저장과 배출의 계산[1]에 있어서 어떤 방식을 사용해야 한다는 미리 판단하는 시도를 하지 않는다.

이 지침은 특별한 접근법이 필요한 변수들에 초점을 맞추었으며 이들 변수가 설정 자료에서 산정될 수 있는 방법 또는 더욱 자세한 국가 고유 자료를 어떻게 산정하느냐를 제시한다. 이들 몇몇 변수들은 저장-변화 접근법에도 불구하고, 이 지침은 저장-변화 접근법이 다른 어떤 접근법보다 너 낫거나 더 불리하다고 암시하도록 해석하지 않을 것이며, 여기서 논의되는 변수들은 개별 보고 접근법이 차이가 있음에 따라 요구되는 양들을 산정하기 위해 단순하게 필요한 도구들이다.

이 지침은 이용 중인 목재 재료의 양이 일차 분해에 따라 감소한다고 일반적으로 여기서 가정할 수 있다. 즉 다시 말하면, 이것은 가능한 단순한 가정이 아니다. 다른 가능성에는 이 재료의 실제 이용에 대한 연구에 기초한 일차 분해와 더욱 자세한 접근법을 포괄하고 있다. 이 선택에 대해서는, 다시 말하지만, 어떠한 선호도로 표현하지 않는다. 여기 내용에서는 다음과 같은 내용을 다룬다.

- "0"으로 보고하는 조건을 명확하게 설명하고;
- 설정 1Tier 방법과 상위 Tier에 대한 지침을 제공하고;
- 어떤 계산방식을 사용하더라도 이러한 보고에 대한 지침을 제공한다.

이미 제안된 연간 AFOLU에서 이산화탄소(CO_2) 배출량과 흡수량에 대한 HWP의 기여도(*HWP기여도* 라고 표현할 것임)를 산정하고 보고하는 방법과 다른 접근법들은 목재생산과 목재를 소비하는 나라 사이에서 HWP 기여도를 배분하는 방법과 초점을 맞추고 있는 어떤 과정(대기의 유동 또는 저장변화)에서 차이를 보인다. 따라서 그 방법들은 한 지정된 나라에서 일정기간 동안 보고될 AFOLU에서 이산화탄소(CO_2)의 전체 연간 배출 또는 흡수에 관해서 서로 다른 결과치를 보여준다(별첨 12A.1 참조). 이 차이점들이 나타나는 이유 중 일부는 AFOLU 보고체계에서 배출량/흡수량 또는 배출원/흡수원(sink) 같은 몇몇 중요 용어들을 다르게 해석하는 것에서 기인한다 (Cowie et al., 2006). HWP 기여도의 산정, 보고, 그리고 계산은 유엔기후변화협약(UNFCCC)에 의해 검토중이다.

만약 모든 다른 나라들이 동일한 접근법을 사용하여 산정치를 제공했을 때만 연간 HWP 기여도의 전 지구적 또는 지역적 산정이 정확하다는 측면에서, 이미 밝혀진 접근법들은 상호간 배타적이다.

1 SBSTA 21은 "UNFCCC하에 GHG 인벤토리를 종합하는 목적으로 발전시키는 IPCC의 의도, 즉, 수확된 목제품에 대한 잠재적 계수 접근법에 연관되어 중립적인 방법들"이라고 언급하였다(FCCC/SBSTA/2004/13, pp7-8, 30단락.) HWP 변수들의 접근 중립적 집합을 발전시키기 위한 생각은 노르웨이 릴리함메르에서 열린 SBSTA에 의해 요청된 HWP 워크숍에서 참석한 연구자들에 의해 제안되었다." 참석자들은, 예를 들어, 어떤 방식 아래서도 탄소의 배출과 흡수의 산정이 요구되는 한 최소 양의 집합에 관한 방법론적 지침을 포함할 수 있는 이 방법들에 대해 중립적인 한 방법의 집합으로 발전시키는 필요를 언급하였다 (UNFCCC, 2004).

12.1 서론

임야, 농경지, 그리고 다른 형태의 토지이용에서 수확된 목제품의 많은 부분은 수명주기가 다른 제품으로 존재한다. 이 장에서는 AFOLU 이산화탄소(CO_2) 배출량/흡수량에 대한 수확된 목제품들의 기여도를 산정하고 보고하는 방법에 관한 지침들을 제공하고자 한다.

수확된 목제품은 벌채 지역에 남겨진 모든 목재류(수피를 포함)를 포함한다. 벌채 지역에 남겨진 나뭇가지와 다른 목재류들은 HWP로서 고려하는 것이 아니라, 이 지침서의 4, 5, 6, 8, 9장에서 언급된 연관토지이용 카테고리에서 죽은 유기물질로서 고려하여야 한다. 이 HWP는 탄소저장고를 구성하고 있다[2]. 탄소가 목재에 저장되어 있는 시간은 목재와 목재의 용도에 따라 다양할 것이다. 예를 들면, 장작과 목재소의 잔존물들은 벌채된 그 해에 소각될 것이고, 많은 형태의 종이들은 재활용을 포함한 5년보다 적은 이용수명을 가지는 것이며 건물에 사용되는 제재목 또는 합판은 10년에서 100년 넘게까지 유지될 것이다. 폐기된 수확된 목제품은 오랜 기간 동안 버틸 수 있는 고형쓰레기매립지역(SWDS)에 버려질 수 있다. 사용하는 목재와 SWDS에서 축적량으로 인하여, 일정 기간 동안에 수확된 목제품의 산화는 그 해의 벌채의 전체 양보다고 적거나 또는 잠재적으로 더클 수도 있다. Winjum 등(1998)이 진행한 연구들과 UNFCCC 사무국의 보고서에 따르면, 세계적으로 수확된 목제품에 갇혀있는 탄소의 양은 증가하고 있는 것으로 증가추세를 보인다.

1996년 IPCC 지침서(IPCC, 1997)는 수확된 목제품에 저장되어 있는 탄소 산정 방법을 제공하지 않았고, 기본적인 계산법의 목적에 대해서 "모든 벌채된 탄소 생물량은 제거[벌채된] 해에 산화되어지는..."이라고 표현되는 기본 가정을 권장하였다.[3] 사실상 이는 HWP 축적량은 변하지 않는다는 인식에서 비롯되었다. 즉, HWP 저장소에 대한 연간 탄소 유입과 유출은 동일하다고 가정되었고 이전 목재 축적량에서의 산화는 벌채 이후 직접 동반하는 산화에 의해 대체될 수 있었다(그리고 이후 제거될 수 있었다). 그러므로 더 자세하게, IPCC의 기본 가정은 HWP 저장소로 유입량은 유출량과 동일하다는 가정이었다. 유일하게 확실한 유출양은 산화였기 때문에, 이는 산화의 양은 벌채와 동일하다는 의미였다. 즉, 산화에는 현재 수확된 목제품의 일부분 산화를 포함하고, 산화부분에 이전년도의 이용 중인 HWP의 일부분 산화를 포함하고 있다.

유입량이 일반적으로 유출량과 동일하지 않고 탄소가 연장된 기간 동안 HWP에 저장된 상태로 존재한다고 가정한다면, 저장기간은 AFOLU 이산화탄소(CO_2) 배출량/흡수량에 대한 기여도를 산정하는 지침을 제공할 시점에서 고려할 필요가 있다.

이 장은 또한 한 국가가 자세한 산정을 할 필요 없이 0의 HWP 기여도를 보고할 때에 대하여 지침을 제공한다. 이 지침서는 초기 IPCC 지침에서 제공한 것과 차이가 있다[4]. HWP 기여도의 산정을 본 지침서의 다른 부분의 내용과 일치하도록 계획하고 있다. 특히:

1. HWP에서 배출되는 모든 이산화탄소(CO_2)는 AFOLU 부문에 속하고;
2. 에너지 부분에서 에너지를 목적으로 태우는 목재로부터 배출된 CO_2를 전체 에너지 부분에 포함하지 않는다(바이오연료에서 나온 이산화탄소(CO_2) 배출량을 QA/QC 목적을 위한 메모항목

2 유엔기후변화협약(UNFCCC)의 제 1조항은 저장소를 '저장고는 온실가스 또는 온실가스의 전구체가 저장된 기후시스템의 한 구성물 또는 구성물들이다'라고 정의하고 있다.

3 *1996 IPCC 가이드라인* (제3권, p.5.17, 박스 5)

4 *1996 IPCC 가이드라인*에서는 산림제품의 탄소 축적량은 한 국가가 산림제품의 현존하는 축적량이 사실상 증가한다고 보고할 수 있는 경우에만 국가적 인벤토리로 포함할 것을 제안하였다.

으로 기록함에도 불구하고). 에너지 목적으로 HWP에서 배출된 메탄(CH_4)과 다른 가스들은 에너지 부문에 포함하고;

3. SWDS 내의 HWP에서 배출된 이산화탄소(CO_2)는 HWP의 CH_4 배출량을 포괄하지만 폐기물부문 합계에 포함되지 않는다.

이 장에서 언급할 방법들은 탄소(C)의 배출을 산정하는 것이다. 또한 이 탄소들은 폐기물 부문에서 메탄배출로서도 계산된다. 대기로의 탄소(C) 배출에 대한 이 잠재적 이중 계산법은 이 장에서 산정되는 탄소(C) 배출량에서 매립지의 HWP의 메탄(CH_4) 배출량으로 배출된 탄소(C)를 차감함으로 정정할 수 있다 (12.2.1.5절에서 선택 정정하는 방법에 관한 지침 참조).

다양한 접근법에 대하여 HWP 기여도의 산정을 하기 위해서는 산정을 할 수 있는 연간 변수들의 일반적 세트가 있다. 이들 연간 변수들의 산정을 이용하여, HWP 기여도를 현재 제안된 어떠한 접근법으로도 산정할 수 있다(별첨 12.A1 참조). 모든 자료가 모든 접근법에서 요구되는 것이 아닌 반면, 완벽한 세트는 선택되어진 제안된 접근법들 중 어떠한 접근법이라도 허용할 것이다. 이들 "HWP 변수"들은 다음과 같다:

1. 자국 벌채량과 수입량으로 계산된 HWP 축적량을 포함한 보고국가 내 HWP의 탄소(C) 축적량의 연간변화량 (Gg C yr^{-1}),
2. 다른 국가로 수출되는 HWP 내 탄소(C) 축적량의 연간변화량을 포함한 보고 국가 내의 목재벌채에서 발생하는 HWP 내 탄소(C) 축적량의 연간 변화 (Gg C yr^{-1}),
3. 보고국가로 수입되는 모든 유형의 목재와 종이재료의 연간 수입량 (Gg C yr^{-1}),
4. 보고국가에서 수출되는 모든 유형의 목재와 종이재료의 연간 수출량 (Gg C yr^{-1}),
5. 보고국가 내의 목재생산량에서 연간 벌채량[5] (Gg C yr^{-1}).

다른 접근법의 요구조건에 따라, 이 장에서 AFOLU 이산화탄소(CO_2) 배출량/흡수량에 대한 HWP 기여도를 산정하는데 이용할 수 있는 HWP 변수들을 산정하는 방법을 제시한다.

이 장에서 국가들이 1990년부터 올해까지 모든 연도를 위한 HWP 변수를 산정하도록 매년 이용하게 되는 Tier별 방법들을 제공한다. 이를 실행하기 위하여, 1990년 이전의 수년의 자료가 아래에 설명하듯이 필요하다. Tier 1에 대해서, 설정 값들을 요구된 모든 활동자료와 변수들을 위하여 제안한다. 엑셀 워크시트는 계산을 수행하고 표 12.7 부문별 배경정보를 구성하도록 도와준다. 이 표는 이들 변수가 택일적 접근법으로 HWP 기여도를 산정하는 사용방법을 보여준다. 표 12.7에서 Gg C yr^{-1}로 산정된 HWP변수들을 보여주고, 이 표는 HWP기여도를 계산하는 이들 값을 사용하고 -44/12로 곱함으로 기여도양을 Gg CO_2 yr^{-1} 로 전환한다. 음의 HWP기여도 값은 AFOLU에서의 총배출량을 감소시키고, 양의 기여도 값은 AFOLU의 총배출량을 증가시킨다.

만약 국가들이 표 12.7의 모든 HWP변수들을 표 3.10 AFOLU 배경정보 보고로 제공한다면, 다른 어떠한 접근법으로도 각 국가의 HWP 기여도를 계산해낼 수 있을 것이다.

이 장에 대한 별첨 12A.1은 몇몇 접근법의 예들과 HWP 기여도를 산정하는데 HWP변수를 사용

5 목재에 대한 연간 벌채량에는 산림지만 아니라 모든 종류의 토지부문으로부터 생산된 연료를 포함하는 목재를 위하여 제거된 모든 목질과 수피를 포함한다. 이것에는 통나무가 잘려서 벌채지역에 남아있었던 부분은 포함하지 않는다. 몇몇 국가에서는, 가지, 침엽, 그리고 뿌리, 또는 그루터기 같은 다른 나무 부분들을 수집하여 바이오에너지를 사용하고 있다. 모든 이들 나무 부분들은 합산되어야 한다. 단원 12.2.1.1의 2장과 사장에서 L목재-제거와 L연료의 산정에 어떻게 연결되는지를 알려주는 벌채량을 산정하는 본문을 참조하라.

하는 방법을 제시한다. 이 장에서는 한 국가에서 사용하는 개별 접근법의 선택에 관한 지침서를 제공하지 않는다. 단원 12.6에서 국가인벤토리보고에서 HWP기여도를 보고하는 선택사항들을 보여준다. 보고에 관한 선택사항들에 HWP기여도로서 "0"을 보고하는 것을 포함한다.

부가적으로 AFOLU 이산화탄소(CO_2)로의 HWP기여도를 산정하는 HWP변수들을 결합하는 방법을 제시하면, 정보를 5개의 HWP 변수들로부터 대기 중으로 연간탄소배출량을 계산하는 방법에 관하여 단원12.2.1.4에서 제시한다.

HWP로부터 탄소배출량 산정을 HWP에서 배출된 연간탄소배출량이 전체 AFOLU 시스템의 탄소흡수량과 배출량에 대한 역할을 명확하게 보여주기 위하여 제시한다. 연간 탄소(C) 배출량을 보여주는 것은 연간 벌채량과 연간탄소배출량을 명확하게 비교하는 방법을 설명한다. 단원12.2.1.4에서 사용한 탄소(C)배출량변수들은 다음과 같다.

- $\uparrow C_{HWP\ DC}$ = 보고 국가의 HWP에서 대기 중으로 탄소연간배출량. 이것은 모든 목재 벌채량에서 계산된 탄소배출량을 포함하고 그 국가에 존속하며 그 국가로 수입된 목재수입에서 계산된 탄소배출량을 포함하지만, 수출량($Gg\ yr^{-1}$)은 제외한다. 탄소배출량은 별첨의 그림 12A.1과 12A.2의 ($E + E_W$)에 일치한다.
- $\uparrow C_{HWP\ DC}$ = 보고 국가의 목재벌채로 생산된 HWP에서 대기 중으로 연간탄소배출량. 이것에는 수입량을 제외한 수출된 나무를 포함하는 국가의 모든 목재 벌채량으로부터 배출된 탄소배출량을 포함한다. 이 탄소배출량은 별첨 그림 12A.3의 ($E_{DOM} + E_{EX\ DOM}$)와 일치한다.

변수들의 정의

Tier 1과 2 방법들은 다른 접근법으로 HWP 기여도를 산정하는데 사용될 수 있는 일련의 5가지 변수들에 관한 연간 산정치를 제공한다. 이 변수들에서 두 개는 연간 추가량에 상당하는 두 부분들을 다음과 같은 형태로 가지고 있다. a) 사용 중인 HWP와 b) SWDS의 HWP. 표 12.1에서 이 변수들을 소개한다. 변수 1A, 1B, 2A가 축적량변화인 반면, 이것은 어떠한 보고된 HWP기여도 또는 어떠한 다른 자료도 저장변화량이어야 한다고 암시하지 않는다. 즉, 이것들은 다른 계산접근법들 하에서 원하는 결과를 얻도록 사용할 수 있는 간단한 항목들이다. 또한, 인벤토리 작성자는 변형되거나 새로운 계산법이 필요한 HWP변수들을 변경시킬 것이고 변수들을 산정하는 방법이 변경될 것임을 유의해야만 한다. 예를 들면, HWP를 포괄하는 어떤 것에서 변화가 있을 수도 있고, 보고 국가들 중에 축적량의 분해를 배분하는 방법에서 변화가 있을 수도 있다. 확인된 접근법에 대해서, 식 12.5에서 이들 HWP의 변수와 HWP에서 대기로 탄소배출량의 두 산정법 사이의 관계를 보여준다. 이들 변수사이의 관계는 별첨 그림 12A.1, 12A.2 그리고 12A.3에서 흐름도로 표현된다.

표 12.1
AFOLU CO_2 배출/흡수에 대한 연간 HWP 기여도를 산정하는데 사용되는 HWP 변수들

변수의 정의	변수명칭	
	"사용하는 제품"에서 HWP	SWDS의 HWP
1. 보고국가의 연간탄소저장변화량은, a) 사용 중인 HWP와 b) SWDS의 HWP, 이것은 목재의 자국소모량에서 비롯된 목재탄소다. ($\triangle C_{HWPDC} = \triangle C_{HWP\ IUDC} + \triangle C_{HWP\ SWDSDC}$)	**Variable 1A** $\triangle C_{HWP\ IU\ DC}$	**Variable 1B** $\triangle C_{HWP\ SWDS\ DC}$
2. 연간탄소저장변화량은 a) 사용중인 HWP의 탄소축적량과 b) 제품상태의 목재를 자국벌채로 만드는 SWDS의 HWP, 이것에 수출한 HWP를 포함한다. $\triangle C_{HWPDH} = \triangle C_{HWP\ IUDH} + \triangle C_{HWP\ SWDSDH}$	**Variable 2A** $\triangle C_{HWP\ IU\ DH}$	**Variable 2B** $\triangle C_{HWP\ SWDS\ DH}$
3. 보고 국가로 HWP의 연간수출내의 탄소, 여기에 모든 목재류(통나무, 원목, 종이, 펄프, 그리고 재활용된 종이)를 기초로 한 재료를 포함.	**P_{IM}**	
4. 보고 국가로부터 온 HWP의 연간 수출량에서 탄소, 여기에 모든 목재를 기초로 하는 재료 (통나무, 원목제품, 종이, 펄프, 재생종이) 포함.	**P_{EX}**	
5. 생산을 위한 통나무의 연간 벌채량에서 탄소, 즉, 장작을 포함하는 보고 국가 내의 벌채지역으로부터 제거된 목재.	**H**	

12.2 방법론적 이슈

12.2.1 방법의 선택

이 부분의 설명할 내용은 다음과 같다.

1. 0의 HWP기여도 값을 보고하는 *우수실행(good practice)*과 일치되는 경우에 대한 지침;[6]

2. SWDS의 HWP 탄소의 연간변화량이 0이라고 추측하는 *우수실행(good practice)*과 일치하는 경우

6 이 지침을 0의 HWP 기여도를 보고하는 경우에 대한 1996년 IPCC 지침 내의 지침내용과 교체한다.

에 대한 지침(예를 들면, SWDS에서 나온 연간탄소량은 SWDS로 추가되는 HWP추가량과 같다고 가정하는 것); 그리고

3. HWP 기여도를 계산하는데 사용될 5개 HWP변수를 산정하는 3Tier의 방법. 그림 12.1에서 이들 선택을 하는 지침으로서 의사결정도를 보여준다.

인벤토리 작성자가 HWP축적량의 연간탄소변화량이 유의하지 않다고 판단한다면 HWP 기여도를 0으로 보고할 수 있다. 국가 내의 축적량(변수1A+변수1B) 또는 자국의 목재벌채로 비롯된 HWP축적량의 연간탄소변화량(수출되는 HWP를 포함하여)(변수 2A + 변수 2B) 양쪽을 모두 고려할 것이다. 이 문맥에서 "유의하지 않음"라는 용어는 위의 탄소변화량 측정법 중 하나를 이용한 HWP축적량에서 연간탄소변화량이 한 주 카테고리와 비교할만한 크기라는 의미이다. 만약 연간변화량이 불명확하다면 국가들이 판단하는데 도움이 되는 HWP 변수들을 산정하는 Tier 1 방법을 이용하도록 추천한다. 초점이 대기로 왕복하는 탄소유동에 집중된 AFOLU의 HWP기여도를 보고하도록 바라는 당사국은 명확한 축적량변화가 없더라도 HWP를 보고하기 원할 것이다.

만약 인벤토리 작성자가 총 HWP축적량에서 연간탄소변화가 유의하다고 판단하더라도, SWDS의 HWP 탄소의 연간변화량이 명확한지를 여전히 개별적으로 판단할 수도 있다. 만약 증가하거나 감소하는 것이 명확하지 않다면, 0으로 산정할지도 모른다(변수 1B와 2B는 0이다). 만약 총 HWP축적량의 연간탄소변화량이 다른 주 카테고리들과 비교할만한 크기라고 본다면, 산정이 가능하다고 제안하고 있다. 국가들에게 SWDS의 연간변화량이 불명확한지를 판단하는데 도와주는 HWP변수들은 산정하는 Tier1 방법을 이용하도록 권장한다.

만약 HWP탄소축적량의 연간변화가 명확하다고 판단된다거나 한 국가가 산정하기 위해 선택할 때, 3개 Tier 들 중 하나를 HWP기여도 산정이 되도록 5개 HWP변수의 산정을 하게 선택할 것이다. Tier 1은 자유롭고 쉽게 대부분 국가에서 이용 가능한 FAO(설정 활동자료)의 산림생산자료를 이용한다. Tier1 방법은 SWDS의 탄소 변화(변수 1B)가 폐기물 부문 Tier 1 방법, 설정 자료, 그리고 조사표를 이용하여 계산된다고 설명하고 있다. 한 Tier 1방법에서 변수 1B에서부터 산정된 변수 2B를 제시한다.

그림 12.1의 의사결정도에서 자료이용도의 기본에 대한 HWP변수를 산정하는 한 Tier를 선택하는 방법을 제시하고 있다. 설정 자료를 더욱 정확한 국가 고유 자료와 방법을 이용함으로서 Tier 1, 2, 3을 위하여 산정의 정확성을 증대시키려는 목적으로 제공한다.

UNFCCC에 대한 당사국이 사용되는 접근법들에 대하여 결정하기까지, HWP기여도의 등급은 선택되는 접근법에 달려 있기 때문에, HWP가 주 카테고리인지를 정확히 확인하는 것이 가능하지 않을 것이다. 그러므로 이 부분이 주 카테고리인지를 Tier의 채택을 지시하는데 이용할 수 없다. 현재 보고를 권장하고 미래의 결정들에 대비하기 위하여 두 가지 선택사항이 있다. 첫째로, 그들은 특별한 접근법을 사용하도록 선택할 수 있고 4장 1권에서 제시한 지침에 따라서 이것이 정상적인 방법에서 주 카테고리라고 결정할 수 있다. 또는, 그 배출원이 국가적 온실가스 배출산정에 명확한 영향을 미치는 지 여부를 판단하여 결정할 수 있다. 만약 이 배출원이 명확하다고 판단되면, Tier 2 또는 3의 방법을 이용해야만 한다.

12.2.1.1 Tier 1

HWP 변수들 1A, 2A, 1B, 2B는 수명분석(lifetime analysis)을 포함한 유동-자료 방법을 이용하여 각각 산정된 HWP 탄소의 축적량 내의 연간변화량을 산정치이다. HWP의 분해는 일차로 가정한

다.[7] 이것은 제품의 축적량에서 연간 손실량이 축적량의 일정비율로 산정된다는 뜻이다. "사용 중인 목재"에 저장된 탄소의 변화량 산정은 "사용 중인 목재"의 탄소(C) 저장고로 오/가는 유입량과 유출량을 추적함으로서 이루어진다. 이 저장고로 들어가는 탄소유입량은 역사적 생산량 또는 HWP의 소모비율로부터 산정된다. 폐기물 부문 Tier 1 방법을 SWDS(변수 1B)에서 HWP탄소축적량의 변화량을 산정하는데 사용한다(3장 5권 참조). 한 Tier 1은 변수 1B에서 산정된 변수 2B를 보여준다.

"사용 중인 목재" 저장고의 경우에는, 이 저장고에서 나온 배출량은 산정된 반감기와 일차분해 속도를 산정하는 용도로 만들어진 HWP의 관련분해속도에 기초하여 계산된다.

이 의도는 어떤 UNFCCC 보고연도에 대하여 HWP로부터 나온 총 탄소배출량의 유효한 산정을 제공하고자 함이다. 이것은 총 현존 HWP저장고에 관한 변화량의 자료가 요구된다. 사용 중인 HWP의 조사와 설문자료의 부재에서, 1900년대 이후 HWP 저장으로 유입되는 유입량과 HWP 저장에서 배출되는 유출량을 현재의 유효한 산정을 하기 위하여 사용한다. 현재 연도를 제외하고 보고기간 이전 수년 동안 사용 중인 HWP와 관련된 탄소배출량 또는 축적량 변화는 HWP 축적량에 현재 연도의 순수 추가량을 과대평가될 것이며, 그러므로 현재까지 판단되기로는 과대 또는 과소평가되지도 않는다는 우수실행지침의 목적과 일치하지 않을 것이다.[8]

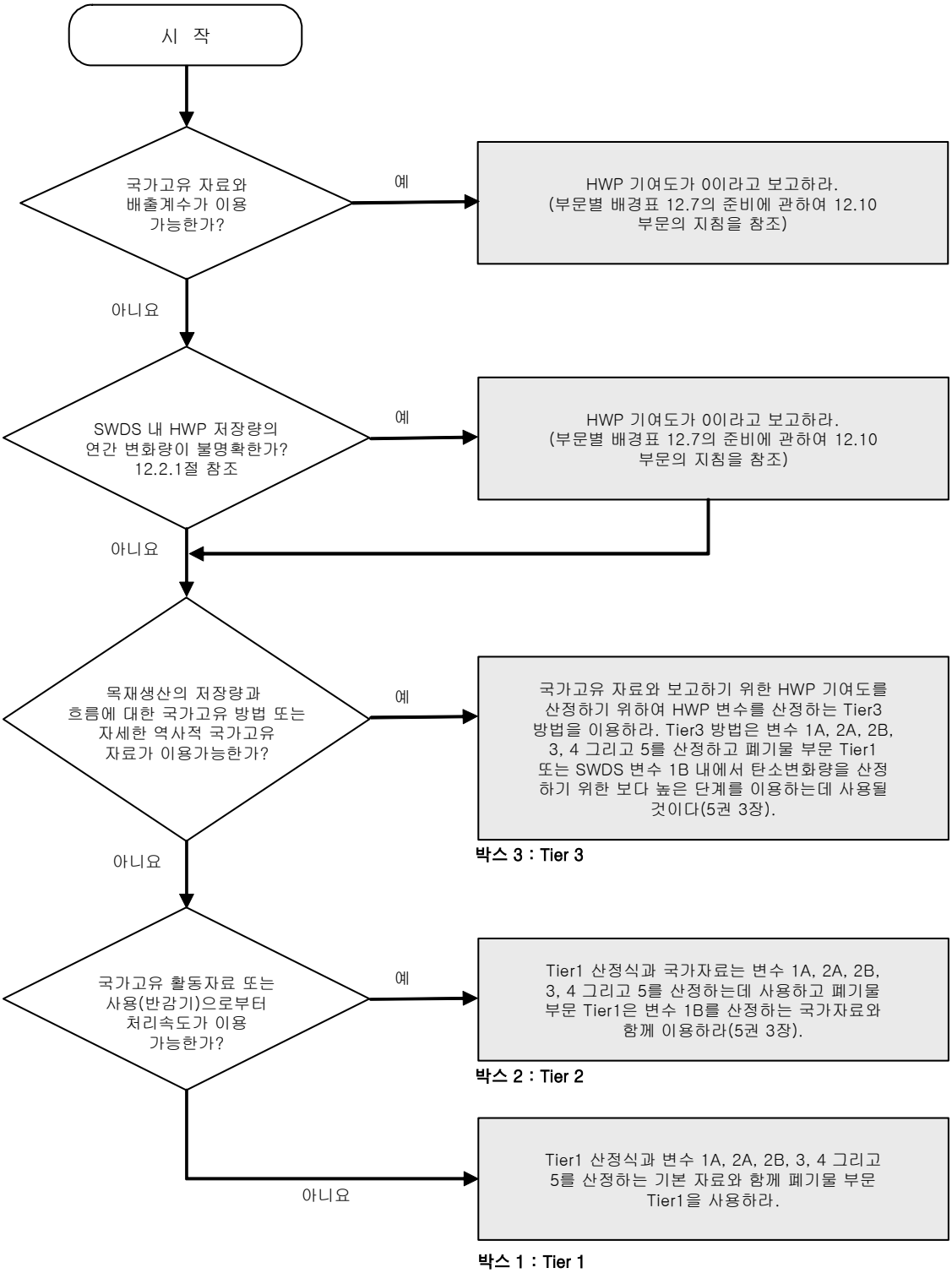
1900년에서 시작하는 자료를 사용 중인 HWP에 추가량을 산정하는데 사용하고, 그 반면에 HWP의 이용량에서 폐기량은 일차분해로 가정하여 산정한다. 이 과정은 이전 목재사용량에서 유래하여 축적된 현존 HWP 축적량을 산정하고, 따라서 총 축적량에서 현재연도의 탄소량이 배출되는 것 계산에 필요하다 ('승계 배출량(inherited emissions)'이라고도 부름).

HWP 변수 3, 4, 5(예를 들어, 각각 P_{IM}, P_{EX}와 H)는 연간 목재수출량과 수입량에서 탄소산정치이고, 그와 동일하게 목재와 연료목재를 위한 연간 벌채량의 탄소의 산정이다. 그들을 FAO 데이터베이스에서 온 다양한 산림목재변수를 함께 더하여 산정한다.

7 다른 분해 개요는 제시되었고(Ford-Robertson, 2003), 이들은 FOD 산정대신으로 사용될 수 있었다. 이 경우에는 이 산정절차는 수식 12.1과 다를 것이며, 각 해의 유입의 분해는 현재년도까지 개별적으로 관측할 것이다. 설정 자료에 대한 남은 논의를 여전히 적용한다.

8 1900년 이전에 목재저장고로 들어간 목재류 때문에 현재년도 HWP 기여도에 대한 기여도는 불명확할 것이라는 판단에 기초하여 1900년대가 선택되었다. 그러므로 1900년 이전 연도를 제거하는 것은 현재까지 평가된 과대 또는 과소평가하지 않는 good Practice를 위배하지 않을 것이다.

그림 12.1 0의 HWP 기여도를 보고하거나 Tier를 선택하기 위한 의사결정도



변수 1A와 2A를 산정하는 일반적인 방법 - "사용 중인 목재"에서 탄소축적량 내의 연간변화량

수식 12.1
탄소 축적량 산정과 보고 국가의 HWP 저장고의 연간 변화량
i = 1900로 시작하고 현재 년도까지 계속한다. 다음을 계산한다.

$$(A) \qquad C(i+1) = e^{-k} \bullet C(i) + \left[\frac{\left(1-e^{-k}\right)}{k}\right] \bullet Inflow(i) \qquad with \;\; C(1900) = 0.0$$

$$(B) \qquad \Delta C(i) = C(i+1) - C(i)$$

주: 일차 분해를 산정하는 식 12.1A에서 사용한 기술의 설명에 대해서는 Pingoud and Wagner (2006)를 참조하라.

여기서:

i = year

C(i) = year i의 초기에 HWP 저장고의 탄소축적량, Gg C

k = 단위로 주어진 일차 분해의 분해 상수, yr 1(k = ln(2) /HL, HL은 수년간의 HWP 저장고의 반감기이다. 반감기는 저장고에서 현재 물질의 반이 줄어드는 연수다.)

Inflow(i) = year I 동안 HWP 저장고로 유입된 양, Gg C yr^{-1}

△C(i) = year I 동안 HWP 저장고의 탄소축적량의 변화, Gg C yr^{-1}

변수 1a의 산정 - 보고국가에서 "사용 중인 목재"에서 탄소 축적량의 연간변화

식 12.1은 Tier 1의 계산표에서 2개 저장고 각각의 탄소변화 산정하는데 이용된다. 두 개의 저장고는 다음과 같다.

1. 사용 중인 원목 제품; 그리고
2. 사용 중인 종이 제품

사용 중인 제품들이 보고 국가에 보관되는 경우에, 두 개의 저장고 사이에 사용되는 제품의 반감기에 명확한 차이가 있다고 알려져 있기 때문에 하나 이상의 저장고가 이용된다. 2개의 탄소(C) 저장고에서 연간변화는, 함께 더해졌을 때, 변수 1A를 제시한다. 이들 저장고로 탄소유입량변수는 제재목, 합판, 다른 원목제품 또는 종이와 종이판을 포함하는 반제품 목재제품의 보고국가 내 연간소모량에서 비롯된다. 소비량은 식 12.2에서 나타난 것 같이 (국내생산량+수입량-수출량)이다. 원목 또는 종이가 주어진 해에 저장고에서 사라지는 속도를 일정손실속도(k)로 확인하며, 편리하게도 몇 해 동안의 반감기에 의해 확인된다. 저장고에서 현재 물질의 반을 잃는데 필요한 연도수가 반감기이다. 원목 또는 종이의 생산, 수입과 수출을 제곱미터 또는 풍건(air dry) Gg에서 탄소(C) 톤수로 전환한다(표 12.4 참조).

식 12.2
국내 소비로부터 연간 생산되는 HWP 제품의 산정

$$Inflow_{DC} = P + SFP_{IM} \quad . \ SFP_{EX}$$

여기서:

$Inflow_{DC}$ = 보고국가에서 목재벌채로 만들어진 원목 또는 종이 제품의 연간 소모량 내의 탄소량(즉, 국내벌채로부터), Gg C yr^{-1}

P = 보고국가에서 원목 또는 종이제품의 연간생산에서 탄소량, Gg C yr^{-1}

SFP_{IM} and SFP_{EX} = 반 가공 목재와 종이제품의 수입과 수출량. 원목 에 대해서는, 이것은 제재목, 합판, 그리고 다른 산업용 통나무를 포함한다. 종이제품에 대해서는, 종이와 종이판을 포함한다. Gg C yr^{-1}

- 보고연도의 이 저장고에서 변화량 산정을 하기 위하여, FAO 데이터베이스에서 1961년까지 유입량에 대한 자료(제품 소비량=생산량+수입량-수출량)를 사용한다.[9] 1961년 이전에서 1900년대까지 기간에 대해서, 1961년 이전 소비량에서 변화량은 국가가 위치한 지역에서 산업용 통나무 생산량에서 변화와 일치한다고 가정한다. 이용된 자료와 인자들은 다음과 같다.
- 제품 소비량을 산정하는데 사용한 FAO 변수는 표 12.5에 제시한다.
- 부피단위로부터 탄소단위로 원목과 종이를 변환하는 설정 요소들은 표 12.4에서 제시한다. 국가들에게 제4장 (임지)에서 표 4.13과 4.14의 목재밀도를 사용하여 인자를 산정하도록 권한다.
- 1961년 전 산업용 통나무 생산량에서 변화량의 지역적 비율은 표 12.3에 제시한다.
- 사용 중인 제품의 반감기는 표 12.2에 제시한다.

벌채지역으로부터 운송된 수확된 목제품 재료의 나머지-위에서 언급한 반 마감된 제품을 제외한 어떤 재료-는 벌채 년도에 산화된다고 가정되어서, HWP 저장고로 유입되지 않는다.

변수 2a의 산정 - 목재가 보고국가에서 벌채로 생산된 "사용 중인 제품"에서 탄소축적량 내의 연간변화량(수출량을 포함)

일반 식12.1은 제품으로 만들기 위한 목재는 보고국가(국내생산)에서 벌채된 나무에서 온 사용 중인 원목과 종이제품에서 연간탄소변화량을 산정하는 Tier 1의 계산표에서 각 2개의 저장고(변수 1A로서)의 탄소변화량을 산정하는데 다시 사용된다. 이것은 수출되고 다른 나라에서 사용 중에 있는 제품을 포함한다. 사용 중인 원목 제품과 사용 중인 종이 제품을 모두 더할 때 탄소축적량은 변수 2A를 제시한다.

이 저장고에 대한 유입량 변수는 보고국가에서 수확된 목제품으로부터 온 모든 제품들의 생산량이다. 연간탄소유입변수를 식 12.3을 이용함으로 산정한다. 만약 괄호 안의 비율이 1보다 작을 때, 이 국가는 산업 통나무(IRW), 나무칩과 목재잔존물의 순수수입국이다. 이들은 제품을 만들기 위해

9 http://faostat.fao.org/를 참조.

사용되며, 생산된 HWP총량이 하는 국내에서 벌채된 IRW로 사용했을 것이다. 만약 괄호안의 비율이 1보다 클 때, 이것은 IRW, 칩, 그리고 잔존물의 순수수출량이 있다는 의미다. 이 식으로 계산된 HWP생산유입량은 이 경우에 HWP생산량보다 더 클 필요가 있는데, 이는 수출된 목재가 다른 국가에서 제품이 만들어지는데 사용되기 때문이다. 사용되는 불명확한 가정은 수출된 IRW, 칩, 그리고 잔존물의 수출국은 보고국가처럼 같은 비율에서 원목 또는 종이 제품을 생산하는데 이들을 이용한다는 것이다.

식 12.3
국내 벌채로부터 연간 생산된 HWP 제품의 산정

$$Inflow_{DH} = P \bullet \left[\frac{IRW_H}{IRW_H + IRW_{IM} - IRW_{EX} + WCH_{IM} - WCH_{EX} + WR_{IM} - WR_{EX}} \right]$$

여기서:

$Inflow_{DH}$ = 보고국가에서 벌채된 나무로부터 만들어진(자국생산) 원목 또는 종이제품의 연간 생산에서 탄소량이다. 단위는 Gg C yr^{-1}

P = 보고국가에서 원목 또는 종이제품의 연간생산에서 탄소량, 단위는 Gg C yr^{-1}. 종이제품에는 목질섬유를 포함하고 비 목질 섬유는 제외한다는 것을 유의하라. 종이제품생산에서 목질섬유를 산정하는 한 식을 표 12. 5의 유의 1에 제시한다.

IRW_H = 보고국가에서 산업용 원목 벌채량이다. 이것은 수출을 위한 IRW를 포함하는 원목과 종이제품을 만드는 목재의 벌채를 말한다. [FAO변수를 산업용 RW 생산으로 부른다]. 단위는 Gg C yr-1

IRW_{IM} , IRW_{EX} = 각각 산업용 통나무 수입량과 수출량을 말한다. 단위는, Gg C yr^{-1}

WCH_{IM}, WCH_{EX} = 각각 나무칩의 수입량과 수출량을 말한다. 단위는 Gg C yr^{-1}

WR_{IM}, WR_{EX} = 각각 목재생산공장에서 나온 목재잔존물의 수입량과 수출량을 말한다. 단위는 Gg C yr^{-1}

변수 1A에 대해서와 같이, 두 개의 사용 중인 제품 저장고에서 연간 변화량의 산정은 총목재생산, 산업용 통나무생산량, 현재 년도에서 1900년도까지 수입량과 수출량에 대한 자료가 요구된다. 변수 1A에 대해서, FAO자료를 1961년으로 돌아가는데 사용하고 1900년으로 되돌리는 자료를 1900년에서 1961년까지의 연간변화속도가 1900년에서 1961년 사이의 산업용 통나무 생산량에서 연간 변화속도와 같다고 가정함으로써 산정한다.

사용 중인 제품의 저장고에 대한 반감기 값을 변수 1A와 같다고 가정하고 탄소전환계수를 이것과 같다고 가정한다. 사용한 자료와 입력변수는 다음과 같다.

- 총목재생산량과 산업용 통나무생산량, 수입량과 수출량을 산정하는데 사용하는 FAO 변수를 표 12. 5로 보여준다.
- 원목과 종이를 부피단위에서 탄소단위로 전환하는 설정 계수들을 표 12.4에 보여준다. 국가들을 표 4.13 과 표 4.14에서 목재밀도를 사용하여 계수를 산정하도록 추천한다.
- 1961년 이전의 산업용 통나무 소비량에서 지역적 변화속도를 표 12.3에 제시한다.
- 사용 중인 제품에 대한 반감기를 표 12. 2에 나타낸다.

변수 1B와 2B의 산정 - 보고국가 내의 SWDS에서 탄소 축적량의 연간변화량과 보고국가 내에서 목재가 벌채로 생산되는 SWDS에서 탄소 축적량의 연간 변화량

Tier 1 방법들을 SWDS의 HWP 탄소(C)의 축적을 산정하는데 사용하는데, 이것은 많은 연구에서 일부 경우들에서 SWDS의 HWP 탄소(C)량에 대해서 매우 장기간 저장시간을 보여주기 때문이다 (NCASI, 2004; Gardner *et al.*, 2002; Micales and Skog, 1997).

예를 들면, 변수 1B($\triangle C_{HWP\ SWDS\ DC}$), 즉, 보고국가의 SWDS로 폐기된 자국 소비량으로부터 HWP의 탄소축적량의 변화를 폐기물 부분 Tier 1방법들과 계산표에 의해 직접적으로 산정한다(3장 5권, 단원 3.2.1.1의 "spreadsheet model"과 단원 3.4를 참조). 이 폐기물 부문 지침들은 보고국가의 SWDS로 축적되는 원목과 종이탄소의 양을 산정하는 폐기물 부문의 설정 자료와 입력변수를 사용하는 방법을 설명한다. 폐기물 부문 Tier 1 산정법에 대한 주요점은 HWP로 유래되었다고 판단되는 현재년도에서의 SWDS로 폐기된 탄소 일부를 확인함으로서 SWDS의 탄소변화량을 산정하는 것이다. HWP탄소는 "정원", "목재" 그리고 "종이" 폐기물 부문에 동일하다고 산정한다. 이 계산표는 "HWP" 표에서 HWP로부터 "장기간" 저장된 탄소량을 보여준다. 개별 폐기물 유형표에서 저장된 분해가능한 유기탄소량을 보여준다. 이들 모두는 저장된 HWP탄소량에서 변화를 보여준다. 대기 중으로 탄소배출량이 없는 것을 SWDS 장의 장기 저장고에서 보고한다.

변수 2B($\Delta C_{HWP\ SWDSDH}$)를 산정하기 위해서, 자국벌채로부터 온 변수 1B의 일부를 산정하는 것이 필요하다. 변수 2B의 Tier 1 산정에는 자국 SWDS만의 탄소변화를 산정하는 것은 제한적이다. 다른 국가들의 SWDS에서 탄소변화량을 산정하는 잠재적 Tier 1 방법들은 과대 또는 과소평가를 유도할 수 있으므로, 다른 국가들의 SWDS에서 탄소변화량의 산정은 포함하지 않는 것이 좋다.

자국 벌채로부터 온 변수 1B의 일부는 자국 벌채가 시작된 현재년도에서 국가 내에서 소비된 목재탄소의 비율로 곱함으로써 산정된다(식 12.4). 만약 수입된 목재재료가 몇 해 동안 소비된 모든 목재의 비교적 안정된 비율이었다면, 이 비율이 자국벌채로 비롯된 SWDS에 폐기된 HWP 탄소량의 비율에 대한 논리적인 근사치가 될 것이다.

식 12.4
자국 벌채로부터 온 자국 SWDS의 HWP에서 연간 탄소 변화량의 산정

$$\Delta C_{HWP\ SWDS_{DH}} = \Delta C_{HWP\ SWDS_{DC}} \bullet \left[1 - \left(\frac{Imported\ wood\ material}{Produced\ wood\ material + Imported\ wood\ material}\right)\right]$$

$$Imported\ wood\ material = \begin{bmatrix} IRW_{IM} + WCH_{IM} + WR_{IM} + SawnW_{IM} + WPan_{IM} + \\ P\&PB_{IM} + WPulp\&RecPap_{IM} \end{bmatrix}$$

$$Produced\ wood\ material = IRW_{H}$$

여기서:

$\triangle C_{HWP\ SWDS_{DH}}$ = 변수2B = HWP가 자국 목재 벌채로부터 온 자국 SWDS 내 HWP에서 연간 탄소변화량, 단위는 Gg C yr^{-1}

$\triangle C_{HWP\ SWDS_{DC}}$ = 변수1B = 보고국가의 SWDS에서 HWP의 연간탄소변화량, 단위는 Gg C yr^{-1}

IR_{WH} 와 IR_{WIM} = 각각 보고국가의 산업용 통나무 벌채와 산업용 통나무 수입, 단위는 Gg C yr^{-1}

WCH_{IM} = 나무칩 수출량, Gg C yr^{-1}

WR_{IM} = 목재 생산 공장 수입에서 나온 목재잔존물량, 단위는 Gg C yr^{-1}

$SawnW_{IM}$ = 제재목 수입량, 단위는 Gg C yr^{-1}

$WPan_{IM}$ = 합판 수입량, 단위는 Gg C yr^{-1}

$P\&PB_{IM}$ = 종이와 종이판 수입량, 단위는 Gg C yr^{-1}

$WPulp\&RecPap_{IM}$ = 목재펄프와 재활용된 종이 수입량, 단위는 Gg C yr^{-1}

식 12. 4에 이용된 자료는 표 12.5에서 보여준 FAO변수다.

변수 3, 4, 5의 산정 - 보고국가로 그리고 보고국가에서 생산된 HWP의 연간수입량과 수출량, 그리고 연간 HWP 벌채량

변수 P_{IM}, P_{EX}, 그리고 H에 대한 연간 수입량, 수출량, 그리고 벌채량의 산정에서 최근 연도만을 필요로 한다(별첨 식 12A.3 그리고 12A.4를 참조). 보고기간 전 수년에 대한 자료는 필요가 없다. 설정 수입량, 수출량, 벌채량 자료를 FAOSTAT 데이터베이스에서 획득할 것이다. 필요한 특이한 FAO변수에 대해서 표 12. 5에서 설명하고 있다. 평방미터 또는 제품의 풍건 톤으로부터 전환된 계수들을 표 12.4에서 보여준다.

H(변수 5), 즉, 총 연간 HWP벌채량을 연료목재를 포함하는 벌채지역에 남겨진 모든 목재와 수피로서 정의한다. $L_{wood\text{-}removals}$ 와 $L_{fuelwood}$ 값은 4권의 2장, 식 2.12와 2.13에서 정의된 것처럼 포함될 것이다. 산림지에 대한 $L_{wood\text{-}removals}$과 $L_{fuelwood}$의 산정을 위한 지침은 4권의 4장, 단원 4.2.1에서 찾을 수 있다. 이 변수를 위한 설정 산정은 산업용 통나무에 대한 FAO 데이터베이스의 값에 수피팽창계수를 곱하고 연료목재에 대한 FAO 데이터베이스의 값을 더하는 것이다. 설정 수피팽창계수를 표 12.5의 주 4에서 언급한다.

계산표 모형: Tier별 지침

IPCC 수확된 목제품 생산 모형: 변수 1A, 2A, 2B, 3, 4, 5 산정

모형을 HWP변수를 산정하고 표 3.10 AFOLU 부문별 배경정보를 채우기 위해 사용된 표 12.7을 만드는데 사용할 것이다. 설정 입력변수에서 이미 Tier 1산정하는 것을 포함하거나 Tier 2 산정하는 것을 변경할 것이다. 만약 변수 1B를 폐기물 부문 Tier 1 계산표를 사용하여 산정한다면, 변수 2B를 산정할 것이다.

여기에 HWP변수를 산정하고 표 12.7과 표 3.10 AFOLU 부문별 배경정보를 만드는 모형 계산표를 이용하는 방법에 대한 일반적인 지침을 제시한다.

1. FAOSTAT 웹사이트에서 국가 활동자료(목재와 종이제품의 생산, 수입, 수출)를 내려 받고 이를 "자료" 표의 한 칼럼에 위치시킨다(1961년에서 보고년도까지).

2. 폐기물 부문 Tier 1 모형 계산표로부터 같은 "자료"표의 마지막 두 개의 칼럼까지 SWDS의 저장된 탄소산정치를 옮겨온다(필요할 시 1990년도에서 보고년도까지).
3. 국가이름을 자료표의 A1 셀에 넣는다.
4. "입력변수"표에서 노란부분으로 보이는 설정 입력변수값을 필요시 점검하고 바꾼다.
5. "결과"로 불리는 표에 대해 완성된 표 12. 7에서 결과를 확인한다. 이 표에서 온 결과들이 표 3.10의 수확된 목제품생산에 대한 AFOLU 부문별 배경으로 이동될 수도 있다.
6. "입력변수"와 "결과"표들에서 표, 그래프, 그리고 그림들에서 상세한 결과를 확인한다.

폐기물 부문 Tier 1 모형: 변수 1B를 산정하기

모형 계산표에 포함시킬 수 있는 보고국가의 HWP에 저장된 탄소 산정을 준비하기 위해서는 5권 3장 단원 3.2.1.1 "계산표 모형"과 단원 3.4를 참조한다. 단원 3.2.1.1에서 계산표 모형에 대하여 어떤 연관이 있다. 모형을 이용하는 방법에 대한 상세설명을 "지침들" 계산표에서 찾을 수 있다.

12.2.1.2 Tier 2: 국가 자료 사용

Tier 2는 "사용 중인 제품"과 SWDS의 연간탄소변화량의 산정을 향상시키기 위한 국가고유 자료를 이용한다. 향상된 자료는 아래처럼 국가자료를 포함한다.

- 제품형태와 목재 종에 따른 연간 생산량, 수입량 그리고 수출량
- 탄소로 활동자료를 전환하는 계수들
- 제품들이 사용에서 폐기되는 속도(반감기). 만약 정보가 다양한 목재제품들이 다른 반감기를 가진다는 것을 보여준다면(예를 들면, 제재목 대 합판), 식 12. 1은 분리된 저장고에 대한 탄소변화를 추적하는데 사용할 수 있다. 비단 원목과 종이제품만 아니다.
- DOCf를 포함하는 폐기물 부문 Tier 1 방법에 대한 폐기물 부문 연간활동자료와 입력변수 -SWDS에서 분해 되는 목재와 종이의 비율

12.2.1.3 Tier 3: 국가-고유 방법들

국가들은 더욱 복작하고 상세한 국가고유 방법을 변수 1A, 1B, 3, 4, 5를 산정하기 위하여 발전되기를 바랄 것이다. 일반적으로, 이들은 더욱 복잡한 모형일 것이고 한 접근법에 초점을 맞출 것이다 (Flugsrud *et al.*, 2001). Tier 3 모형을 예로 들면 선형분해 같은 일차 분해를 제외한 분해기작도 이용할 수 있다. 대부분 목재를 수출하는 국가의 수출된 HWP의 수명에 대한 자료가 필요한 변수 2A와 2B에 대한 Tier 3방법들은 발전시키기는 더욱 어렵다. 변수 2A와 2B에 대한 산정을 대부분 제품들을 수출하는 국가들의 분해정보를 획득함으로써 향상시킬 수 있다.

방법 A - 인벤토리에서 연간변화량 산정하기 (축적량 방법)

두 시점 또는 더 많은 시점에 사용하고 있는 HWP의 인벤토리 또는 매립지역에서 HWP를 탄소 축적량-변수 1A와 1B-에서 연간변화량을 산정하는데 사용할 수 있다. 건물구조로 이용되는 제품의

HWP 저장고는 빈번하게 총 HWP 저장고의 중요부분이다. 예를 들면, 건물이 만들어졌을 때와 시간분의 제곱미터 당 목재사용의 변화량을 계산하는 (평균 HWP내용물 당 제곱미터의 면적×목재를 이용한 연관건물유형들의 총면적)을 곱함으로서 HWP 탄소량을 산정할 수 있다. 탄소축적량의 연간변화량을 다른 시간대에서 산정된 인벤토리 사이에서 변화를 기록함으로써 산정할 수 있다. 이런 인벤토리의 예들은 Gjesdal *et al.*, 1996 (노르웨이의 경우); Pingoud *et al.*, 1996, 2001(핀란드의 경우); 그리고 Hashimoto and Moriguchi, 2004 (일본의 경우)에서 언급하고 있다. 이런 경우에, 목재사용 자료를 역사적 자료에서 더하는 어떠한 절차도 현존 HWP 축적량 또는 연간축적량변화를 산정하는데 요구되지 않는다. 이는 유동 방법(Tier 1과 Tier 2)에 비교되는 하나의 이점이다.

방법 B - 상세한 국가자료와 분해유형을 이용하여 유입과 유출흐름 추적하기

과거의 수십 년 전에 시작한 상세한 국가자료와 현재까지 매년 산정을 이용한다. 여기에 (i) 사용중인 HWP 저장고에 더해지는 추가량, (ii) 사용Tier에서 폐기량, (iii) SWDS의 HWP 저장고에 더해지는 추가량, 그리고 (iv) SWDS에서 분해량을 포함한다. SWDS을 위한 산정은 매년 SWDS로 저장되는 HWP를 조사한 산정치를 이용하고, HWP 중 사용된 양과 이 중 SWDS로 변화되는 부분의 비를 이용한 방법은 사용하지 않는다. 이 방법은 또한 Tier 1과 2의 방법처럼 유동자료와 수명분석에 기초하지만, 제품을 사용Tier에서 폐기되는 속도는 Tier 1과 2에서 사용한 일차분해 가정과는 다를 것이다.

방법 C - 직접 유출량 산정을 하는 유동자료방법

수명분석을 하는 유동자료방법 대신에 HWP저장고의 유출량을 직접 산정을 이용하는 유동방법을 원칙적으로 이용할 수 있다. 예들은 매년 에너지를 위해 태우는 탄소목재와 1년 동안 철거되는 건물에 담겨진 탄소에 대한 정보가 될 것이다. 이 방법의 강점은 HWP저장고에 대한 장기 역사적 유입자료가 더 이상 필요하지 않다는 것이다. 그 반면, 이 방법은 분해의 명확한 부분이 확인이 되지 않고 HWP에 담겨진 탄소에 순수첨가량이 과대평가될 수 있는 결과로 인해 HWP의 유출흐름과 산화자료가 유입자표에 비해 훨씬 불확실하여 과소평가될 가능성도 있다는 심각한 약점을 가지기도 한다(Flugsrud *et al.*, 2001; Pingoud *et al.*, 2003 참조).

방법 D - 방법 A, B, 그리고 C를 결합하기

다른 제품에 대해 이용 가능한 매우 정확한 정보를 이용하는 결합된 방법의 한 예는 아래와 같다.

1) 건물과 가구에서 탄소변화를 산정하는 인벤토리의 변화량을 이용하고, 2) 종이제품 내의 탄소변화량을 산정하는 유입량과 유출흐름을 이용한다(노르웨이 경우는 Flugsrud *et al.*, 2001; 일본의 경우는 Hashimoto and Moriguchi, 2004의 예를 참고). 또는, 택일적으로 방법 B와 Tier 1에서와 같이 역사적 소비속도에서 이것을 산정하는 대신해서 최근 몇 년 동안 HWP의 상속받은 탄소축적량을 방법 A, 즉 직접인벤토리에 의해 산정할 수 있다. 그리고 초기값으로 이 탄소축적량을 사용하기 위하여, 다음 년도에서 탄소축적량과 축적량변화를 방법 B에서 온 분해속도를 이용함으로써 산정할 수 있다. HWP인벤토리 자료를 일차분해방법에서 반감기 입력변수로서 결정하는데 도움을 주도록 사용할 수 있다. 설정 반감기를 사용하는 대신에 이들 입력변수들을 실제 인벤토리 자료와 함께 일차분해방법의 최고적합성을 얻도록 선택할 수 있다 (Pingoud *et al.*, 2001 참조).

12.2.1.4 HWP 변수들로부터 대기로 배출되는 탄소 산정

HWP에서 대기 중으로 연간탄소배출량을 다음에 따르는 5가지 HWP변수를 이용하여 두 가지 경우에 대해 산정할 수 있다.

식 12.5

HWP 변수를 이용하여 탄소 배출량 산정

보고국가내의 목재축적량으로부터 연간 탄소배출량에 대해서,

$$(A) \qquad \uparrow C_{HWP\,DC} = H + P_{IM} - P_{EX} - \Delta C_{HWP\,IU\,DC} - \Delta C_{HWP\,SWDS\,DC}$$

보고국가내의 목재벌채로부터 연간탄소배출량에 대해서,

$$(B) \qquad \uparrow C_{HWP\,DH} = H - \Delta C_{HWP\,IU\,DH} - \Delta C_{HWP\,SWDS\,DH}$$

탄소(C) 배출 변수들을 단원 12.1에서 정의한다. 이들 식들은 표 12. 7에 보고하기 위하여 이산화탄소(CO_2) 배출량을 계산하고 단원 12.7에서 기술된 것처럼 표 3.10을 보고하는 AFOLU 배경정보를 계산하는데 이용될 것이다. 만약 탄소배출의 산정이 이용가능하다면, 이들 수식은 총 저장변화량($\triangle C_{HWP\ IU\ DC}$ + $\triangle C_{HWP\ SWDS\ DC}$ 또는 $\triangle C_{HWP\ IU\ DH}$ - $\triangle C_{HWP\ SWDS\ DH}$)을 저장고게 될 것이고, 결과로 나온 식을 탄소배출변수들에 이용하여 이들 총 축적량 변화를 계산하도록 사용할 수 있다.

12.2.1.5 CO_2의 형태로 대기 중으로 배출되는 탄소 산정

만약 매립지에서 HWP로부터 배출된 메탄을 아래와 같이 알고 있다면, 이산화탄소(CO_2)의 형태로 배출된 탄소를 계산할 수 있을 것이다.

- $\uparrow C_{HWP\ DC\ CO2} = \uparrow C_{HWP\ DC} - E_{W\ CH4}$. SWDS 내 HWP에서 나온 메탄형태로 배출된 탄소량을 설명하는 HWP에서 배출된 이산화탄소(CO_2) 형태로 대기 중으로 연간탄소배출. $E_{W\ CH4}$는 고려하는 연도에서 SWDS 내 HWP의 분해로부터 배출되는 메탄(CH_4)의 탄소(C)량이다. 제5권 제3장 3.2 절의 방법론을 사용하면 산정될 수 있다. IPCC 폐기물 모형 계산표는 "폐기물 구성물" 조건에 대해서 자동적으로 이것을 산정한다(이것은 HWP표상에서 목재, 종이 그리고 정원폐기물 부분에서 인벤토리 년도에 배출된 CH4의 탄소의 총계이다).
- $\uparrow C_{HWP\ DH\ CO2} = \uparrow C_{HWP\ DH} - E_{EX\ DOM\ CH4}$. 보고국가의 벌채목재로부터 만들어진 HWP에서 배출된 이산화탄소(CO_2)로서 대기 중으로 연간탄소배출량. $E_{EX\ DOM\ CH4}$는 (자국 내 있던지 또는 수출되든 간에 자국 벌채에서 온 탄소처럼) SWDS에서 배출된 메탄(CH_4) 내 탄(C)소이다. 제5권의 제3장 3.2절의 방법론을 사용하여 산정할 수 있다. IPCC 폐기물 모형 계산표를 이용하기 위하여, SWDS로 폐기물 유입량은 자국 내에서 벌채하여 수출한 HWP을 포함한 자국벌채로부터 HWP를 설명하기 위하여 조정할 필요가 있을 것이고 다른 나라의 SWDS에 추가되도록 조정할 필요가 있다.

12.2.2 배출계수의 선택

Tier 1과 Tier 2는 HWP를 저장고 내에서 현존 탄소량에 적용되는 일정속도 k로 폐기한다는 가정

을 이용한다. 폐기의 일정속도를 저장고 내에서 제품에 대한 여러 해동안의 연관반감기로 설명할 수 있다. 반감기는 사용으로 양이 반이 남겨질 때까지의 연도수이다. 설정 반감기 값, 그리고 연관 폐기속도(k)를 원목제품과 종이제품에 관한 표 12.2에서 나타낸다.

표 12.2
탄소 저장고 내 "사용 중인 제품"에 대한 설정 반감기와 각 연도별로 얻어지는 관련 비율

	원목 제품	종이 제품
반감기(년)	30	2
분해속도 k(k=ln(2)/반감기)	0.023	0.347

출처: *GPG-LULUCF*에 대한 IPCC 보고서의 HWP 별첨 표 3a.1.3에서 요약된 이전 연구에서 사용한 값에 기초함(IPCC, 2003). 표 3a.1.3는 더욱 많은 제품 카테고리에 대한 값을 제공하고 있다.

12.2.3 활동자료의 선택

Tier 1 변수에 대한 활동자료

1961년부터 현재까지 원목의 생산량, 수입량, 수출량을 산정하는데 필요한 FAO 데이터세트와 설정 전환계수를 포함하는 HWP 변수들인 1A, 2A, P_{IM}, P_{EX} 그리고 H를 산정하는데 필요한 종이생산량을 표 12.4와 12.5에서 제시한다. 수십 년 전부터 사용 중인 HWP에서 배출된 현재연도의 탄소배출량을 포함하기 위하여, 산정에 1961년 이전 HWP 자료가 필요하다. 수피를 포함하는 총 벌채량(변수 H)을 산정하기 위하여, 1.13의 설정 수피팽창계수에 제품을 위한 벌채의 FAO 산정치를 곱한다 (Jenkins *et al.*, 2003).

1961년 이전 표 12.5의 변수를 산정하기 위하여, 그들을 식 12. 6을 이용하여 거꾸로 1900년대까지 산정한다. 표 12.6은 1961년 이전의 값을 산정하기 위해 변화량 변수 U의 속도를 사용한다[10]. 1961년 이전의 생산량, 수입량, 수출량에서 변화량을 추측하기 위해 취해선 변화속도는 산업용 통나무 생산량에서 변화속도이다. 주요 세계지역에 대한 U의 설정치는 표 12.3에 제시하였다.

식 12.6
1961년 이전 년도에 관한 표 12.5의 생산량, 수입량, 수출량 산정식

$$V_t = V_{1961} \bullet e^{[U \bullet (t-1961)]}$$

여기서:

Vt = 연도 t에 원목 또는 종이제품에 관한 연간 생산량, 수입량, 또는 수출량. 단위는 Gg C yr^{-1}

t = 연도

V_{1961} = 1961년에 원목 또는 종이제품에 대한 연간생산량, 수입량 또는 수출량, 단위는 Gg C yr^{-1}

10 1961년 이후에 건국된 국가들은 1961년으로 되돌린 FAO 데이터세트에서 자료를 얻을 수 없을 것이다. 현재 생산량, 수입량, 수출량을 1961년으로 되돌려 확장시키는 한 방법은 새로운 국가의 한 부분이었던"오래된"국가에 대한 1961년으로 되돌린 데이터를 검토하는 것이고 1961년도로 되돌린 "오래된" 국가에 대한 각 변수에서 변화속도를 이용하여 1961년도로 되돌린 "새로운"국가 변수를 확장시키는 것이다.

U = 1900과 1961년 사이 보고국가를 포함하는 지역에서 산업용 통나무 소비량에서 산정된 지속적 변화속도(표 12.3 참조), 단위는 yr^{-1}

표 12.3
1900년에서 1961년 기간 동안 세계에서 산업용 원목의 연간 생산(벌채) 속도 산정

지역	증가한 U의 연간 속도
세계 총계	0.0148
유럽	0.0151
러시아	0.0160
북아메리카	0.0143
라틴아메리카	0.0220
아프리카	0.0287
아시아	0.0217
오세아니아	0.0231

출처: *GPG-LULUCF*의 HWP 별첨의 표 3a.1.2 (IPCC, 2003).

주: 각 지역에 대하여 1900년에서 1961년 기간 동안 평균변화량은 1950년에서 1961년의 기록된 실제 변화속도와 1900년에서 1950년의 산정된 변화속도를 합하여 만들어진다. 1900년에서 1950년의 산정된 속도는 1900년에서 1950년의 인구성장의 연간백분율변화와 1950에서 1975년의 1인당 산업용 원목 벌채에서 연간 백분율 변화의 1/2를 더함으로써 만들어진다.

표 12.4
생산단위에서 탄소단위로 전환하기 위한 기본 계수

	통나무, 산업용 통나무, 제재목, 다른 산업용 통나무, 제지용재, 칩, 조각, 목재연료, 목재잔존물		석탄	합판에 대한 평균	종이와 종이판, 펄프, 재생섬유펄프, 재생용지
1. 밀도(oven-dry tonnes per m^3 of solidwood product or oven dry per air dry tonne of pulp or paper product)	온대지역 종	열대지역 종			
	0.45 oven-dry tonne mm^{-3}	0.59 oven-dry tonne m^{-3}	0.9 oven-dry tonne(air dry tonne)$^{-1}$	0.628 oven-dry tonne mm^{-3}	0.9 oven-dry tonne(air dry tonne)$^{-1}$
2. 탄소비율 (tonnes carbon per oven dry tonne of wood material)	0.5	0.5	0.85	0.468	0.5
3. 탄소계수 (tonnes Carbon per m3 of product or per air dry tonne for product) (1열)×(2열)	A = 0.225 tonne C m^{-3}	A = 0.295 tonne C m^{-3}	B = 0.765 tonne C (air dry tonne)$^{-1}$	C = 0.294 tonne C m^{-3}	D = 0.450 tonne C (air dry tonne)$^{-1}$

출처: 온대지역 종의 밀도: 4장 4권의 표 4.14에서 온 평균; 열대지역 종의 밀도: 제4장 제4권의 표 4.15에서 제시된 평균.

표 12.5
Tier 1의 변수와 기본 전환 계수에 필요한 UN FAO의 활동자료

변수의 집합	총변수를 계산하는데 필요한 FAO DB(m^3 for wood Gg for pulp and paper)	기간 (Inv. Yr = 인벤토리 보고 연도도)	탄소 계수 (Gg carbon per m^3 for wood products or perGg for paper & pulp) (값에 관해서 표 12.4 참조)
변수 1A – 원목와 종이제품의 소비량			
원목 제품의 생산량	다른 산업용 통나무	1961- Inv. yr.	A
	제재목	1961- Inv. yr.	A
	합판	1961- Inv. yr.	C
원목 제품의 수입량과 수출량	다른 산업용 통나무	1961-1989	A
	제재목	1961- Inv. yr.	A

	합판	1961- Inv. yr.	C
목재로부터 종이와 종이판의 생산량[아래 주 1 참조]	종이/종이판-생산(P_{PAPER})	1961- Inv. yr.	D
	다른 섬유 펄프-생산량(OFP_P), 수입량(OFP_{IM}), 그리고 수출량(OFP_{Ex})	1961- Inv. yr.	D
종이와 종이판 수입량과 수출량	종이와 종이판	1961- Inv. yr.	D
변수 2A – 보고국가 내의 수확된 목제품으로부터 원목와 종이제품의 생산량			
자국 벌채로부터 온 원목 제품의 생산량[아래 주 2 참조]	위의 변수 1A 원목 제품의 생산량(P_{SW})	1961- Inv. yr.	A
	산업용 통나무벌채량(IRW_H), 수입량(IRW_{IM}), 수출량(IRW_{EX})	1961- Inv. yr.	A
	칩과 파편의 수입량(CP_{IM})과 수출량(CP_{EX})	1961- Inv. yr.	A
자국 벌채로부터 종이와 종이판의 생산[아래 주 3 참조]	위의 변수 1A에서 같이 종이와 종이판 제품의 생산량(P_{PAPER})	1961- Inv. yr.	D
	산업용 통나무 벌채량(IRW_H), 수입량(IRW_{IM}), 수출량(IRW_{EX}) – 위와 같음	1961- Inv. yr.	A
	다른 섬유펄프 - 생산량(OFP_P), 수입량(OFP_{IM}), 수출량(OFP_{EX}) – 위와 같음	1961- Inv. yr.	D
	목재펄프, 재생종이, 재생종이펄프의 수출량($P_{EXPORTS}$)	1961- Inv. yr.	D
변수 3 과 4 – 모든 원목와 종이제품 그리고 목재섬유의 수입량과 수출량			
수입량과 수출량	통나무(연료목재 포함)	1961- Inv. yr.	A
	칩과 파편들	1961- Inv. yr.	A
	목재잔존물	1961- Inv. yr.	A
	숯	1961- Inv. yr.	B
	제재목	1961- Inv. yr.	A
	합판	1961- Inv. yr.	D
	목재펄프	1961- Inv. yr.	D
	재생용지	1961- Inv. yr.	D
변수 5 – 제품을 위한 벌채			
제품을 위한 벌채	산업용 통나무(IRWH),	1961- Inv. yr.	A

[아래 주 4 참조]	연료목재		
주: 1. 목재로부터 종이와 종이판 생산량 = P_{PAPER}-(OFP_P+OFP_IM-OFP_{EX}) 2. 자국 벌채로부터 원목 제품의 생산량 = PSW*IRW_H/(IRW_H+IRW_{IM}-IRW_{EX}+CP_{IM}+CP_{EX}) 3. 자국 벌채로부터 종이제품의 생산량 = (P_{PAPER}+$PP_{EXPORTS}$-(OFP_P+OFP_{IM}-OFP_{EX}))*IRW_H/ (IRW_H+IRW_{IM}-IRW_{EX}+CP_{IM}+CP_{EX}) 4. 변수 H = IRW_H*BF+Fuelwood, BF(수피 계수) 기본값 = 1.13 ; 침엽목재 (1.11), 활엽수목재 (1.15) (Jenkins *et al.*, 2003) 변수와 자료의 출처: FAO STAT Forestry database (FAO 2005)			

12.3 불확도 평가

Tier 1 방법을 이용하는 5개 HWP 변수에서 불확도는 두 방향으로 나타난다.

1. 더욱 정확한 국가 자료는 표 12.2, 12.3, 12.4 그리고 12.5에서 설정 자료와 다를 것이다.

2. 산정방법은 현실세계과정의 단순화이다.

설정 제품생산과 무역 그리고 입력변수를 이용하는 것에 연관된 이 불확도를 표 12.6에서 보여준다. 이 불확도 산정은 출판된 연구 자료와 전문가의 판단에 근거하였다. 만약 국가자료와 입력변수를 사용한다면, 불확도들을 3장의 1권의 지침과 일관되게 평가되어야만 한다.

다른 산업용 통나무 생산량 같이 변수 1A와 2A의 계산이 필요한 몇몇 FAO 활동자료는 높은 불확도를 가질 것이다.

각 5개 HWP변수들에 관한 설정 자료에서 불확도의 영향의 한 산정은 오류전달접근법 또는 3장의 1권에서 논의하였던 Monte Carlo 모사접근법을 이용함으로써 얻을 수 있었다.

계산법이 "사용 중인 제품"과 SWDS에 추가량 그리고 "사용 중인 제품"과 SWDS로 폐기량의 더욱 복잡한 현실세계과정을 단순화하였기 때문에 산정에서 또한 불확도가 제기된다. Tier 1과 Tier 2 방법에 대한 한 단순화는 반제품(원목과 종이)의 상태의 추가량과 폐기물의 추적일 뿐이다. 이상적으로 마지막 용도에서 탄소의 추가와 폐기를 추적하는 것이 가능할 것이다(건물, 가구, 책 등 같이). 최종 이용저장고(건물, 책 등)을 이들 반제품 저장고에 포함시킨다고 가정한다. 추가적 단순화는 사용 중인 제품의 두 저장소(원목과 종이)가 있고 폐기량은 시간이 흐르는 동안 사용 중인 제품 저장고의 내용의 일정비율이라는 가정을 포함한다. 만약 국가자료가 시간이 흐르는 동안 폐기량의 변화량을 포함하여 다른 폐기양상을 가진 생산저장그룹을 지시하도록 이용가능하다면, Tier 3방법에 다른 폐기양상을 허용되도록 추천한다.

설정 자료와 실제 국가자료 사이의 잠재적 차이점들을 가정한다면, Tier 1 방법을 이용한 변수 1A, 1B, 그리고 2B에 대한 산정치는 ±50% 또는 그 이상의 불확도를 가질 수 있다.

HWP를 수출하는 국가들에서 탄소 저장고의 변화량을 산정하는 실제적 어려움 때문에 변수 1A와 1B보다 변수 2A와 2B의 산정과 연관된 불확도가 더 높을 것이다. 변수 2A에 대한 단순화된 가정(자국 벌채로부터 HWP 저장고 내의 탄소축적량 변화)은 수입국가 내의 수확된 목제품의 수명이 자국 소비와 비슷하다는 점이다. 변수 2B에 대한 단순화된 가정은 다른 국가들에서 이용 후 버리지는 SWDS 내 수출된 제품의 명확한 축적량이 보이지 않는다는 점이다. 변수 2A와 2B에서 불확도는 수출량 또는/그리고 수입량의 보다 높은 수준을 가지는 국가들에게 크게 나타날 것이다.

변수 2B에 관한 불확도를 감소시키기 위하여 한 전통적인 산정법에는 SWDS 내 탄소저장변화만 포함시킨다.

변수 P_{IM}, P_{EX}, H에서 불확도는 설정 국가자료의 정확성과 탄소량으로 전환하는 그들의 전환계수와 관련되지만, 변수 1과 2의 경우에서처럼 모형 불확도에 관련되지 않는다.

최종 제품의 국제무역에서 목재 기반의 재료의 양(조립식 건물, 가구, 책 등)은 FAO의 통계에 포함되지 않고, 이중 계산을 피하기 위해서는 저들은 반제품에 초점을 맞춘 Tier 1과 2 방법에서 사용할 수 없다.

폐기물 부문 Tier 1 방법에 관련 있는 불확도의 논의에 대해서는 2장 5권을 참조한다.

설정 자료를 사용하는 Tier 1 산정에 관련된 불확도가 비록 높을 수 있다고 해도, 이런 산정을 통한 작업은 이들을 향상시키는 방법을 확인하는 첫 번째 Tier일 수 있다. 국가자료의 이용, 품질 조절과 품질보증에 관하여 다음 단원에서 제시하는 타당성 Tier의 이용을 포함하는 Tier 2 이용을 통하여 초기 개선이 가능하다.

표 12.6
다섯 가지 연간 HWP 변수를 산정하는 Tier 1에 대한 활동자료와 입력변수 (배출계수)에 연관된 불확도

자료 또는 입력변수의 기술	자료 또는 입력변수	값	불확도 범위 - 개별 국가들에 대한 설정 값에서 가능한 차이점
통나무 벌채 (연료목재를 포함한 생산을 위한 지역으로부터 벌채되고 제거된 목재)	표 12.5의 H	FAO DB	- FAO자료에 대해서 국가 고유
HWP 생산량, 수입량, 수출량 - FAO 자료	Table 12.5 참조	FAO DB	- FAO자료에 대해서 국가 고유 - 생산과 무역 - 체계적 설문조사를 하는 국가에 대하여 1961년 이후 ±15%. - 생산과 무역 - 체계적인 설문조사를 하지 않는 국가들은 1961년 이후 ±50%
제품부피에서 제품 중량 계수로 전환	표 12.4 참조	표 12.4 참조	~ ±25%
열풍건조제품무게를 탄소무게로 전환	표 12.4 참조	0.5	~ ±10%
FAO 자료의 첫해 이전의 생산량, 수입량, 그리고 수출량의 성장속도	U (표 12.3)	표 12.3 참조	- 1961년 이전의 생산량에서 증가속도는 한 지역에 대해서±15%이고 한 지역 내의 한 국가에 대해서는 더 크다. - 1961년 이전 무역에서 증가속도는 한 지역에서 ±50%이고 한 지역에서 한 국가에 대해서는 더 크다.
"사용 중인 제품" 저장고에서 생산된 원목과 종이에 대한 분해 (폐기)속도	K	표 12.2 참조	- 변수 1A를 산정하는 것에 대하여, 반감기에서 부확실성은 ~±50%, k = ln(2)/(half-life), (예비-향후 연구가 필요하고, 시간흐름에 따라 반감기는 다양할 것). - 변수 1B를 산정하는 것에 대하여, 사용 중인 제품의 반감기에 대한 불확도를 다른 국가들로 수출된 제품에 대한 폐기속도의 별도의 불확도에 보다 크게 주어질 것이다.

12.4 품질보증/품질관리

이 단원에서는 Tier 1 방법에 대한 자료와 Tier 2 산정법에 대한 향상을 확인하고 개선하는 것을 포함한 5개의 HWP 변수들의 산정을 향상시키는 방법들을 제시한다.

1. FAO 데이터베이스에서 국가자료(표 12.5)는 생산과 무역에 대한 자료의 이용 가능한 국가의 출처와 일치하거나 FAO자료 대신 국가자료를 이용하는지 확인한다(이것은 변수 1에서 5를 향상할 수 있다).
2. 표 12.4에서 값을 고치기 위하여 나무와 종이제품의 밀도에 대한 국가출처를 점검한다. 나무 밀도 정보를 IPCC배출계수 데이터베이스(EFDB)와 관련 있는 이 지침들의 4장(산림지)에서 표 4.13과 4.14로 제시할 수 있는지 재점검한다(이것은 변수 1에서 5를 향상시킬 수 있다).
3. SWDS에 버려지는 나무와 종이량의 두 산정법을 비교함으로서 변수 1A의 산정을 유효 화하는 다음에 따르는 Tier를 이용한다. 이 변수는 보고국가에서 이용 중인 HWP제품 내 탄소축적량의 연간 변화량이다.

   (i) 수년 동안(예로 1961년부터 현재까지) SWDS에 묻힌 원목과 종이양의 산정에 폐기물 부문 Tier 1방법과 엑셀 워크시트 (아니면, 다른 폐기물 부문 방법과 자료)를 사용한다.

   (ii) 다음의 방법에서 SWDS에 묻힌 원목과 종이 제품의 두 번째 산정을 준비한다.

      a. 1961년부터 현재까지 매년 폐기되는 사용 중인 원목과 종이제품의 양을 산정하는 HWP Tier 1 엑셀 워크시트를 이용한다.

      b. 생산된 재생 종이의 양에 대한 FAO 자료를 이용하여 각 연도마다 재활용으로 재생되는 종이의 양으로 매해 종이 폐기물의 양을 차감한다.

      c. SWDS로 보내진 폐기된 나무와 종이(재생된 양은 제외)의 부분의 산정치를 획득한다. 이것은 타지 않은 부분일 것이다.

      d. SWDS로 가는 비율에 의해 폐기물량(재활용을 위한 재생 이후)를 곱함으로 매해 SWDS에 버려지는 원목과 종이량을 산정한다.

   (iii) 폐기물 부문 Tier 1 방법과 HWP Tier 1 폐기물자료에 기반을 둔 방법으로 매년 폐기물 산정치를 비교한다.

   (iv) 산정치에서 차이를 조정하기 위하여, 변화량을 HWP Tier 1 입력변수로 만들어서 HWP 개수에 기초한 SWDS 폐기량 산정은 폐기물 부문 산정치로부터 SWDS 폐기량과 일치시킬 수 있다고 추천한다. 변동하는 HWP 입력변수는 다음을 포괄한다. 1) 사용 중인 원목과 종이제품에 대한 반감기(표 12.2), 또는 2) HWP 제품자료를 탄소단위로 전환하게 하는 계수들(표 12.4).

4. 변수 1A를 증명하는데 돕는 어떤 추가적 단계-사용 중인 제품에서 HWP 탄소의 연간변화량-는 주거용 건물들과 다른 용도로 분리된 건물에 잡혀 있는 원목 탄소에서 연간변화량의 분리된 산정치를 만들게 하는 식 12.2를 이용하는 것일 수 있다. 다른 반감기는 주거용 건물들에 원목 제품에 대하여 사용될 것이다. 주거용 건물 내의 탄소변화량의 산정치를 다음의 방법에서 만들어진 두 번째 산정치에 비교한다. 현재 두 시점에서 주거용 건물에 갇혀 있는 총탄소량을 계산한다. 각 시점에 대해서, 주거용 건물들의 숫자를 곱하고, 건물 당 평균 제곱미터를 곱하고, 집의 면적 당 원목 사용의 부피(m^3)을 곱하고, 원목의 단위 당 탄소를 곱한다. 이 두 시점 사이에서

주거용 건물들의 탄소량의 차이값을 취하고 1년당 탄소변화량을 산정하기 위한 연도수로 나눈다. 원목 탄소에서 연간변화량의 두 산정치를 일치시키기 위하여, 주거용 건물들에서 원목용도에서 추측되는 반감기를 조절한다.

12.5 완전성

변수 1A와 1B를 산정하기 위해서는 Tier 1과 2 방법(보고국가 내에서, 각각 SWDS와 이용 중인 제품에서 HWP 탄소의 연간변화량)은 소비되는 모든 반제품 목재와 종이제품의 형태로 탄소추가량을 포괄한다. 이렇게 함으로서, 그들은 이들 반제품에서 그 국가에서 만들어지는 모든 2차적 목재제품 내 탄소량을 포함한다. 만약 이 국가가 가구 또는 목재공예품 같이 이차적 목재제품의 명확한 수출국 또는 수입국일 경우, 방법들은 이차적 제품의 수출을 제외하고/하거나 이차적 제품의 수입을 포함하여 HWP 소비량을 조정하도록 받아들일 필요가 있을 것이다.

일부 목재를 2차적 제품(예, 가구)에 직접적으로 사용하지 않고 FAO 또는 국가자료(예, 제재목)에서 보고 된 반제품의 양에 처음부터 포함하지 않는다면, 변수 2A와 2B를 산정하는 Tier 1과 2의 방법(자국 벌채로부터 이용 중인 제품에서 HWP 탄소의 연간변화량)은 모든 반제품과 자국벌채에서 발생하는 2차적 제품탄소량을 포함하는 것으로 보인다. 만약 어떤 제재목을 가구를 만드는데 직접적으로 사용한다면(그리고 제재목에 대한 FAO 국가자료를 포함하지 않는다면), Tier 1과 2 방법들은 사용 중인 제품과 SWDS의 제품으로 탄소유입량을 과소평가하게 될 것이다.

이들 지침들에서 제공한 방법들은 바이오매스 소각 후 포획되고 고형화학물의 한 부분 또는 가스로서 갇혀진 이산화탄소(CO_2)와 연관된 HWP 탄소축적량의 산정을 포함하지 않는다.

12.6 보고와 기록

축적량 변화의 국가적 산정을 산출하는데 사용한 모든 정보를 보고서로 만들고 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이것에는 목재와 종이생산과 무역, 그리고 이용한 입력변수들을 포함한다. 한 해에서 다음해로 축적량변화의 산정을 하는 입력변수에서 변동을 보고서화해야만 한다. 이 국가적 인벤토리 보고서는 사용한 방법의 요약과 출처자료에 대한 문헌을 포함하고 있어서 산정을 하는데 사용하는 Tier들이 재추적이 가능하게 해야 한다.

12.7 표와 워크시트 작성

HWP 기여도를 보고하기 위해서, 하나의 접근법을 선택해야 한다. 표 3.10 AFOLU 부문별 배경에서 다음에 따라오는 것을 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다 (표 12.7와 표 A12.1 참조).

- HWP기여도
- HWP기여도를 산정하는데 사용한 접근법. 만약 HWP기여도를 0으로 가정한다면(단원 12.2.1), 이것에 대한 이유를 선택한 접근법 대신 서술하여야 한다.
- 벌채하고, 수입하고, 수출한 양은 만약 HWP기여도가 0이라고 추측된다고 해도 표 12.7에서 제시해야만 한다.

- HWP로부터 대기 중으로 이산화탄소(CO_2) 배출량 - 적절하다면, (44/12*↑$C_{HWP\ DC}$) 그리고/또는 (44/12*↑$C_{HWP\ DH}$).
- 보고하는 HWP기여도를 산정하는데 사용된 어떤 다른 HWP변수들도 제시해야만 한다.
- 이 인벤토리 작성자를 이 보고서의 비교성과 투명성을 증진시키는 부가적인 정보를 보고하도록 권고한다. 이것은 아래를 포함할 수 있다.
- 위에서 다루지 않은 표 12.1에서 정의한 남은 모든 HWP 변수들
- 다른 부가적인 항목은 만약 한 인벤토리 작성자가 이것이 인벤토리의 투명성에 더해질 수 있다고 믿는다면 특유한 접근법에 대해서 또한 보고할 수 있다.

만약 이 간단한 분해접근법을 보고에 사용한다면, 이 작성자는 다음에 따르는 조건이 이용되는 표 3.10의 배경정보의 서류박스에 표시해야 한다. 1a) HWP의 연간 벌채량에서 탄소량에 상당하는 이산화탄소(CO_2)를 각 지역에서 개별적으로 보고한 순 배출량/흡수량 산정치[예., 산림지의 경우 (-44/12 * H)]로 유지하고(공제하고), 1b) 표 3.10에 기입된 HWP기여도는 국가 내 벌채로부터 $CO_{2배출}$량과 동일하다(44/12* ↑$C_{HWP\ DH}$). 또는 2) 표 3.10에서 HWP 기여도는 [-44/12* (H -↑$C_{HWP\ DH}$)]와 같다.

표 12.7 AFOLU에 대한 부문별 배경자료
총 AFOLU CO_2 흡수량과 배출량과 배경정보에 관한 연간 탄소 HWP 기여도

변수											
	1A	1B	2A	2B	3	4	5	6	7	8	9
Inventory year	소비 부분에서 이용 중인 HWP의 축적량에서 연간변화	소비 부분에서 SWDS에 온 HWP의 축적량에서 연간변화량	자국벌채에서 생산된 이용 중인 HWP의 축적량에서 연간변화량	자국벌채로 생산된 SWDS 내의 HWP의 축적량에서 연간변화량	목재, 그리고 종이제품+목재연료, 펄프, 재생종이, 통나무/칩의 연간 수입량	목재, 그리고 종이제품+목재연료, 펄프, 재생종이, 통나무/칩의 연간수출량	연간 자국 벌채량	HWP 소비(사용 중인 연료목재와 제품들 그리고 SWDS 내의 제품)에서 대기 중으로 탄소의 연간배출량	목재가 자국벌채(이용 중인 제품과 SWDS 내의 제품들에서 온)로부터 온 HWP(연료목재 포함)으로부터 대기 중으로 탄소의 연간배출량	AFOLU CO_2 배출량/흡수량에 HWP 기여도	HWP 기여도를 산정하는데 사용하는 접근법
	Gg C yr^{-1}									Gg CO_2 yr^{-1}	
1900											
.....											

사용한 접근법이 필요하다면 Col 6 또는 7을 보고하시오. Col 6 또는 7은 5를 통하거나 Tier 3 방법을 이용함으로 Cols 1을 이용하여 계산될 것이다. Cols 3, 4, 그리고 5는 항상 보고하시오. 만약 그들을 이용한다면 Cols 1A, 1B, 2A, 2B를 보고하시오. HWP 기여도와 접근법은 선택된 접근법의 기술과 서류상자에 주요 추측점의 기술과 Cols 8과 9를 합하여 보고하여야 한다.
계산하고 이용된 추가적 변수들은 이 결과들의 투명성을 증진시키기 위하여 보고해야만 한다(예, 만약 이것이 이용됐다면, SWDS에서 온 CH4). 만약 필요하면, 추가적 칼럼을 더하시오.

주) $\uparrow C_{HWP\ DC} = H + P_{IM}\ \ P_{EX} - \triangle C_{HWP\ IU\ DC} - \triangle C_{HWP\ SWDS\ DC}$ 그리고 $\uparrow C_{HWP\ DH} = H - \triangle C_{HWP\ IU\ DH} - \triangle C_{HWP\ SWDS\ DH}$

Documentation Box:	

별첨 12.A.1 기타 접근법들

이 별첨은 HWP의 기타 접근법의 설명을 제공한다. 여기에 포함하고 있는 설명들은 접근법들의 원래 설명들에 기초하고 있고 (Brown *et al.*, 1998; and Ford-Robertson, 2003) 인벤토리 작성자를 위하여 부가적 배경정보로 여기에 나타낸다. 여기 한 접근법 포함은 무슨 접근법을 이용하는지에 대한 어떠한 접근법 또는 지침의 보증도 의미하지 않는다. 특별한 인벤토리 용어인 "배출량", "흡수량" 그리고 "소멸원"은 특별한 정의가 주어진 상태로 사용한다는 어떠한 판단 없이 사용된다.

축적량-변화 접근법

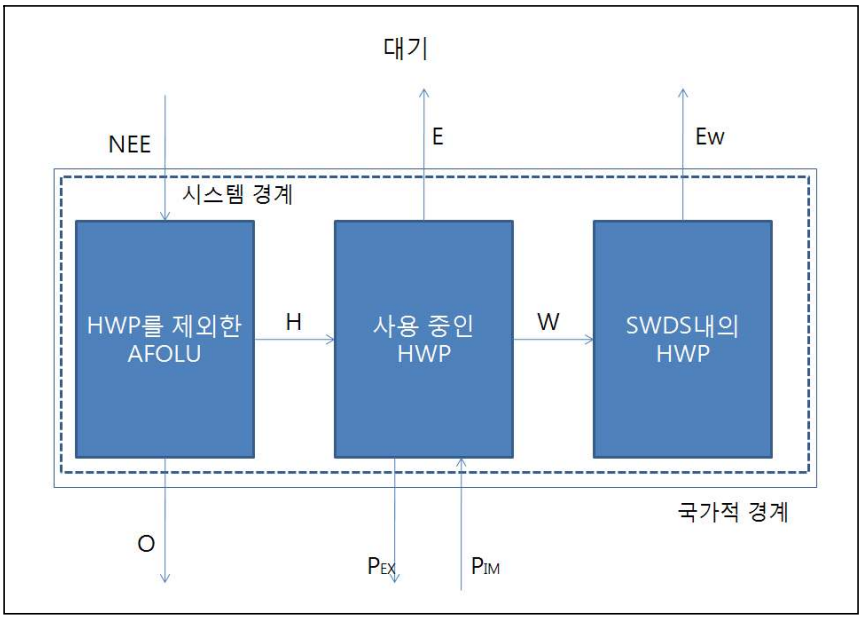


그림 12.A.1 축적량-변화 접근법의 시스템 경계

주: NEE=탄소의 순 생태계 교환량, E=사용 중인 HWP로부터 대기 중으로 탄소 배출량, EW=SWDS 내의 HWP으로부터 대기 중으로 탄소배출량, H= 벌채 지역으로부터 이동된 수확된 목제품 바이오매스의 형태로 탄소전환, W= SWDS으로 목재폐기물의 형태로 탄소전환, PEX = HWP 수출량의 형태에서 탄소전환, PIM = HWP 수입량의 형태에서 탄소전환, O = AFOLU의 나머지로부터 가능한 다른 경계를 넘는 탄소 전환 (여기서는 0이라고 산정됨).

축적량-변화 접근법(SCA)은 산림 저장고 (그리고 다른 목재를 생산하는 토지) 내 목재 탄소(C)량과 보고국가 내 목재 제품 저장고의 변화량을 산정한다. 산림과 다른 목재생산 토지 카테고리에서 탄소(C) 축적량 내의 변화량을 나무가 자라는, 즉, 목재를 생산하는 국가로 간주되는 국가가 보고한다. 목재 저장고에서 변화량을 목재를 사용하는, 즉, 소비하는 국가로 간주되는 국가들이 보고한다. 축적량 변화가 실제로 보고국가에서 일어나기 때문에 이 보고서는 언제 그리고 어디서 축적량 변화가 일어나는지 보여준다.

저장-변화 접근법의 시스템 경계와 고려중인 탄소(C) 저장고를 그림 12A.1에서 제시한다. 저장-변화 접근법에서, AFOLU 부문의 바이오매스 저장고 내 모든 국가적 연간 탄소(C) 축적량 변화를 합하고 국가적 이산화탄소(CO_2) 배출량은 식 12A.1을 이용하여 산정한다.

식 12A.1
축적량-변화 접근법에 의한 AFOLU의 배출량

$$= -44/12 \bullet [\Delta(\text{AFOLU without HWP}) + \Delta C_{HWP\ IU_{DC}} + \Delta C_{HWP\ SWDS_{DC}}]$$

or

$$= -44/12 \bullet [\Delta(\text{AFOLU without HWP}) + \mathbf{H} + P_{IM} - P_{EX} - \uparrow C_{HWP\ DC}]$$

여기서:

△은 각 괄호안의 저장고의 탄소축적량에서 연간변화량을 의미한다. 이 변수들 $\triangle_{CHWP\ IUDC}$와 $\triangle C_{HWP\ SWDSDC}$ 을 표 12.1에서 정의한 것을 유의하시오.

그림 12A.2를 탄소저장 변화량 변수들($\triangle C_{HWP\ IUDC}+\triangle C_{HWP\ SWDSDC}$) 또는 탄소배출량 변수들과 탄소전환 변수들($\uparrow C_{HWP\ DC}$, H, P_{IM}, P_{EX}) 모두를 사용하여 식 12A.3과 12A.4를 표현하는데 사용할 수도 있다.

여기서:

H = HWP에 사용하는 목재의 벌채(연료목재 포함)

$\uparrow C_{HWP\ DC}=E+E_W$

E = 사용 중인 HWP로부터 대기 중으로 탄소배출량

E_W = SWDS에서 HWP로부터 대기 중으로 탄소배출량.(여기에 탄소배출량을 저장-변화 그리고 생산 접근법에서와 같이 C-축적량 변화의 합으로 고려하지 않는다. 사용 중인 HWP은 보고국가에서 소비되는 모든 HWP를 포함하고 SWDS에 있는 HWP는 보고국가의 SWDS로 버려지는 모든 목재기반폐기물을 포함한다(개방폐기와 매립지역 양쪽 다 포함한다)).

P_{EX} = 수출된 목재기반바이오매스의 형태에서 탄소전환

P_{IM} = 수입된 목재기반바이오매스의 형태에서 탄소전환

질량(44/12□△(AFOLU without HWP)이 이미 AFOLU의 나머지에서 대하여 보고되었을 때, HWP모듈에서 보고된 HWP기여도를 식 12A.2로 나타낸다.

식 12A.2
축적량-변화 접근법: HWP 기여도

$$\textit{HWP Contribution to AFOLU Net } CO_2 \text{ emissions}_{SCA} = -44/12 \bullet [\Delta C_{HWP\ IU_{DC}} + \Delta C_{HWP\ SWDS_{DC}}]$$

or

$$\textit{HWP Contribution to AFOLU Net } CO_2 \text{ emissions}_{SCA} = -44/12 \bullet [\mathbf{H} + P_{IM} - P_{EX} - \uparrow C_{HWP\ DC}]$$

HWP 저장고에서 탄소(C) 축적량의 변화가 0이라는 특이한 경우에, HWP 기여도를 0으로 보고한다 (식 12A.2).

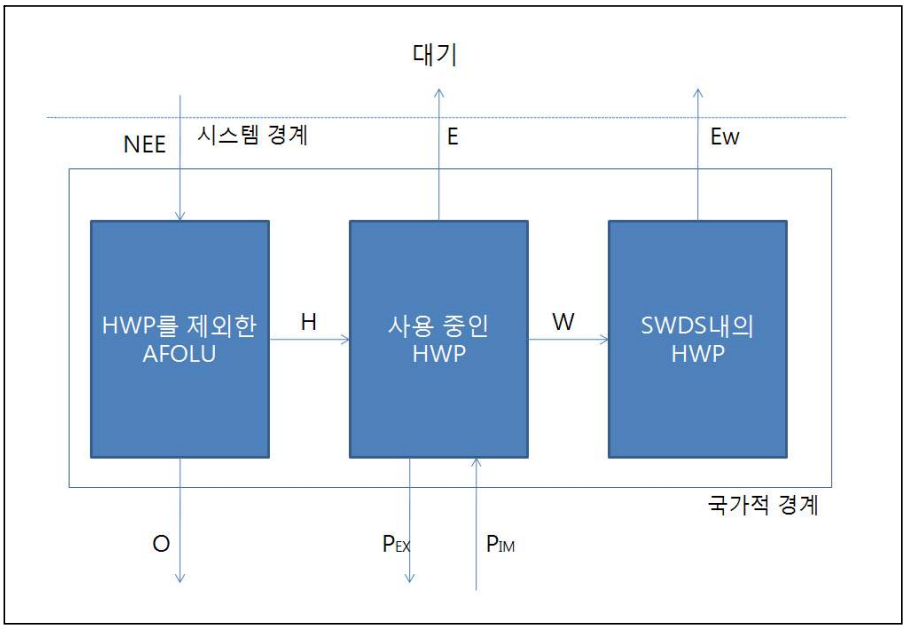


그림 12.A.2 대기흐름 접근법의 시스템 경계

주: NEE=탄소의 순 생태계 교환량, E=사용 중인 HWP에서 대기 중으로 탄소 배출량, E_W=SWDS 내의 HWP으로부터 대기 중으로 탄소배출량, H= 벌채 지역으로부터 이동된 수확된 목제품바이오매스의 형태로 탄소전환, W= SWDS으로 목재 폐기물의 형태로 탄소전환, P_{EX} = HWP 수출량의 형태에서 탄소전환, P_IM = HWP 수입량의 형태에서 탄소전환, O = AFOLU의 나머지로부터 가능한 다른 경계를 넘는 탄소 전환(여기서는 0이라고 산정됨).

대기흐름접근법(AFA)은 국가적 경계 안에서 산림 저장고 (그리고 다른 목재 생산토지)와 목재 생산 저장고에 대한 대기로 오/가는 탄소의 흐름을 산정하고 이들 배출량과 흡수량이 일어나는 곳과 시기를 보고한다. 한 국가는 산림지역과 다른 목재생산 토지 카테고리(산림지의 순분해)에서 나무 바이오매스의 성장과 그들의 국가에서 소비되는 HWP의 산화에서 대기 중으로 탄소배출량 때문에 대기에서 총 탄소(C) 흡수량을 배출량/흡수량의 산정량에 포함한다. HWP에서 대기 중으로 탄소배출량은 보고국가에 대한 수입량으로부터 나오는 탄소(C)배출량을 포함한다.

대기흐름접근법과 고려중인 탄소(C) 저장고의 시스템 경계를 그림 12A.2에서 나타낸다. 이 저장고들은 축적량-변화 접근법에서와 같다. 차이점은 대기흐름접근법은 국가 내 축적량변화보다는 보고국가 내 AFOLU 부문의 대기탄소교환을 산정한다. 국가적 이산화탄소(CO_2) 배출량을 식 12A.3으로 나타낸다.

식 12A.3
대기흐름 접근법에서와 같이 AFOLU로부터 배출량

$$CO_2 \text{ emissions from AFOLU} = -44/12 \bullet (NEE - E - E_W) = -44/12 \bullet (NEE - \uparrow C_{HWP\,DC})$$
$$= -44/12 \bullet [\Delta(\text{AFOLU without HWP}) + \Delta C_{HWP\,IU_{DC}} + \Delta C_{HWP\,SWDS_{DC}} + P_{EX} - P_{IM}]$$

or

$$= -44/12 \bullet [\Delta(\text{AFOLU without HWP}) + H - \uparrow C_{HWP\,DC}]$$

그림 12A.2에서 탄소(C) 축적량 변화와 탄소(C) 전환 변수($\triangle C_{HWP\ IUDC}$, $\triangle C_{HWP\ SWDSDC}$ P_{IM}, P_{EX}) 또는 탄소배출량과 탄소전환변수($\uparrow C_{HWP\ DC}$, H)를 이용함으로 식 12A.3과 12A.4를 표현하는데 사용

할 것이다.

여기서:

NEE = 탄소의 순 생태계 교환량

위에서 제시된 대로 E, E_W, $\uparrow C_{HWP\ DC}$, P_{EX}, P_{IM} 그리고 H를 정의한다.

질량(44/12 • △(AFOLU without HWP)이 어느 곳에서도 보고 될 때, 보고되는 HWP기여도는 식 12A.4에 의해 주어진다.

식 12A.4

대기흐름 접근법: HWP 기여도

$$\textit{HWP Contribution to AFOLU Net } CO_2 \text{ emissions}_{AFA} = -44/12 \bullet [\Delta C_{HWP\ IU_{DC}} + \Delta C_{HWP\ SWDS_{DC}} + P_{EX} - P_{IM} + O]$$

or

$$\textit{HWP Contribution to AFOLU Net } CO_2 \text{ emissions}_{AFA} = -44/12 \bullet [H - \uparrow C_{HWP\ DC}]$$

HWP 저장고에서 탄소(C)의 축적량변화가 0이 되는 특이한 경우에서, 탄소(C) 수입량 빼기 탄소(C) 수출량을 AFOLU 순 이산화탄소(CO_2) 배출량에 대한 HWP 기여도로서 보고해야만 한다(식 12A.4 참조).

생산접근법

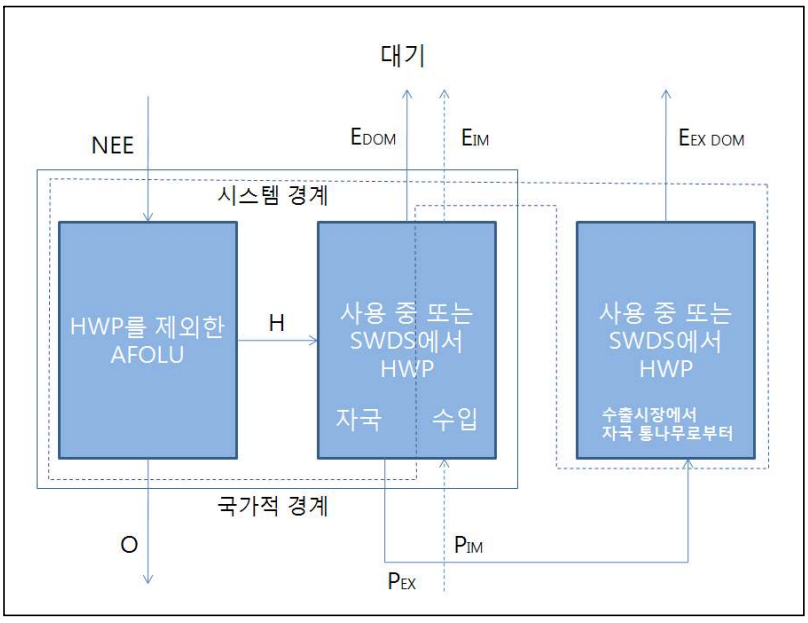


그림 12.A.3 생산 접근법의 시스템경계

주: NEE = 탄소의 순 생태계 교환량, E_{DOM} = 사용 중이고 SWDS에 자국에서 성장하는 HWP의 저장고로부터 대기 중으로 탄소배출량, E_{IM} = 사용 중이고 SWDS에서 수입된 HWP의 저장고로부터 대기 중으로 탄소배출량, $E_{EX\ DOM}$ = 사용 중이고 SWDS에서 수출된 HWP의 저장고로부터 대기 중으로 탄소배출량, H = 벌채지역으로부터 이동된 수확된 목제품 바이오매스의 형태에서 탄소전환, P_{EX} = HWP 수출량의 형태에서 탄소이동, P_{IM} = HWP 수입량의 형태에서 탄소이동, O = AFOUL의 나머지로부터 가능한 다른 경계를 넘는 탄소이동(여기서는 0이라고 산정됨). 주: 자국 원목을 생산하여 생성된 수출시장에서만 HWP는 시스템 경계 안에 위치한다. 이동 P_{EX}는 원칙적으로 양쪽에 포함된다.

생산접근법(PA)은 보고국가의 산림 저장고에서 탄소(C) 축적량 변화와 보고국가에서 목재벌채로부터 만들어진 제품을 포괄하는 목제품 저장고를 산정한다. 목제품 저장고는 다른 국가들에서 사용 상태로 수출하고 저장하는 자국 벌채를 이용하여 만든 제품을 포괄한다. 이 접근법은 자국에서 벌채되는 목재로만으로 만들어진 목재제품의 탄소를 표로 만들고 국가적 축적량에서 목재탄소의 완벽한 목록을 제공하지 않는다. 한 국가에 의해 보고된 어떤 축적량변화가 다른 국가(수출이 일어나는)에서 일어날 것이기 때문에, 저장 변화 보고서는 변화가 일어나는 시기를 지시하지만 그들이 얼어나는 지역을 지시하지 않는다.

A와 고려중인 탄소(C) 저장고의 시스템 경계를 그림 12A. 3에 나타낸다. 국가적 이산화탄소배출량은 식 12.3을 이용함으로 산정할 수 있다.

식 12A.5
생산 접근법에 의한 AFOLU로부터 배출량

$$CO_2 \text{ emissions from AFOLU} = -44/12 \bullet [\Delta(\text{AFOLU without HWP}) + \Delta C_{HWP\ IU_{DH}} + \Delta C_{HWP\ SWDS_{DH}}]$$

or

$$= -44/12 \bullet [\Delta(\text{AFOLU without HWP}) + \mathbf{H} - \uparrow C_{HWP\ DH}]$$

그림 12A.3에서 탄소(C) 축적량변화와 탄소이동변수들($\triangle C_{HWP\ IUDH}$, $\triangle C_{HWP\ SWDSDH}$)과 탄소배출변수들과 탄소이동변수들($\uparrow C_{HWP\ DH}$, H) 모두를 사용하여 식 12A.5와 12A.6을 표현하는데 이용할 것이다. 변수 $\triangle C_{HWP\ IUDH}$와 $\triangle C_{HWP\ SWDSDH}$를 표 12.1에서 정의하고 $\uparrow C_{HWP\ DH} = E_{DOM} + E_{EX\ DOM}$.

질량= 44/12 • △(AFOLU without HWP)를 AFOLU의 나머지에서 보고할 때, HWP모듈로 보고된 HWP기여도를 식 12A.6에서 제시한다.

식 12A.6
생산 접근법: HWP 기여도

$$\textit{HWP Contribution} \text{ to AFOLU Net } CO_2 \text{ emissions}_{PA} = -44/12 \bullet [\Delta C_{HWP\ IU_{DH}} + \Delta C_{HWP\ SWDS_{DH}}]$$

or

$$\textit{HWP Contribution} \text{ to AFOLU Net } CO_2 \text{ emissions}_{PA} = -44/12 \bullet [\mathbf{H} - \uparrow C_{HWP\ DH}]$$

위의 HWP 저장고에서 탄소(C) 의 축적량변화가 0이 되는 특이한 경우에, 순 이산화탄소(CO_2) 배출량 HWP에 대한 HWP기여도는 0으로 기록된다(식 12A.6).

단순한 분해 접근법

목재제품이 거래될 때 그들이 일어나는 시기에, 이 접근법은 대기로 오/가는 탄소(C)의 순 배출량 또는 순 흡수량을 산정하고 보고한다. 산림 성장으로 대기에서 탄소흡수량과 벌채되는 목재제품의 산화로부터 발생한 배출량은 보고국가에 의해 보고된다.

HWP에서 산정하고 보고하는 접근법은 Ford-Robertson (2003)에 의해 제안되었다. 생산접근법이 저장-변화 접근법과 다른 것처럼(생산접근법에 대해서 모든 축적량 변화는 생산자에 의해 설명되고 보고되고 저장-변화 접근법에 대해서는 모든 저장변화들은 그들이 발생한 국가에 의해 보고된다), 단순 분해접근법(SDA)은 대기흐름접근법과 비슷하게 연관된다(단순분해접근법에 대해서는 모든 이산화탄소(CO_2) 배출량은 HWP가 벌채되는 국가에 의해 보고되고, 대기흐름접근법에 대해서는 모든 이산화탄소(CO_2) 배출량은 배출이 발생하는 국가에 의해 보고된다). 단순분해접근법은 HWP저장고가 산림지역에서 활동들에 관련된다고 여겨지고 벌채연도에서 목재의 즉각적 산화를 산정하지 않는다는 점에서 생산접근법과 다르다. 이것은 한해 벌채량 (변수 H, AFOLU 탄소(C) 저장고의 부분으로 남는다. 예로 산림 또는 다른 지역)을 뜻하고 배출량의 부분으로 계산하지 않는다. 단순분해로 산정된 양은 매해 HWP로부터의 배출량이다($\uparrow C_{HWP\ DH}$). 토지 이산화탄소(CO_2) 흡수량 부분으로 연간 벌채량을 포함하여 보고하고, ($44/12^* \uparrow C_{HWP\ DH}$)처럼 HWP기여도를 보고하도록 하는 이 제안은 지금 현재 단순한 한 제안일 뿐이다. 이들 지침에 대해서는, 작성자에게 [-44/12* (H -↑C HWP DH)] 같은 단순분해접근법에 대한 HWP 기여도를 보고하도록 요청한다.

표 A12.1
표 12.7을 이용한 HWP 기여도 계산방법의 개요

접근법	HWP 변수 1-5를 이용하여 HWP 기여도를 측정하는 방법	탄소 배출 산정치(변수 6과 7)과 HWP 변수 3-5를 이용하여HWP 기여도를 산정하는 방법
축적장-변화	$-44/12 \bullet \triangle C_{HWP\ DC}$, [i.e. -44/12 • (Var 1A + Var 1B)]	$-44/12 \bullet (H+P_{IM} - P_{EX} - \uparrow C_{HWP\ DC})$, [즉, -44/12 • (Var 5+Var 3 − Var 4 − Var 6)]
대기흐름	$-44/12 \bullet (\triangle C_{HWP\ DC}+P_{EX}\ P_{IM})$, [즉, -44/12 • (Var 1A+Var 1B − Var 3+Var 4)]	$-44/12 \bullet (H - \uparrow C_{HWP\ DC})$, [즉, -44/12 • (Var 5 − Var 6)]
생산	$-44/12 \bullet \triangle C_{HWP\ DH}$, [i.e. -44/12 • (Var 2A+Var 2B)]	$-44/12 \bullet (H - ñ \uparrow C_{HWP\ DH})$, [i.e. -44/12 • (Var 5 − Var 7)]
단순 분해		이들 지침아래서 HWP 기여도는 아래와 같이 보고하기. $-44/12 \bullet (H - ñ \uparrow C_{HWP\ DH})$, [i.e. -44/12 • (Var 5 − Var 7)] 보고하는데 변화를 제안 AFOLU 토지지역 흡수량(산림 또는 토지)의 부분으로서 (-44/12 • H)보고하기 HWP 기여도 보고하기

참고문헌

Brown, S., Lim, B. and Schlamadinger, B. (1998). Evaluating Approaches for Estimating Net Emissions of Carbon Dioxide from Forest Harvesting and Wood Products. Report of a meeting sponsored by the IPCC held in Dakar, Senegal, 5-7 May, 1998. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/mtdocs/pdfiles/dakar.pdfand http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/mtdocs/dakar.htm

Cowie, A., Pingoud, K. and Schlamadinger, B. (2006). Stock changes or fluxes? Resolving terminological confusion in the debate on land use change and forestry, Climate Policy, Vol. 6, No. 2.

Flugsrud, K, Hoem, B., Kvingedal, E. and Rypdal, R. (2001). Estimating net emissions of CO2 from harvested wood products. SFT report 1831/200. Norwegian Pollution Control Authority, Oslo 47 p. http://www.sft.no/ publikasjoner/luft/1831/ta1831.pdf

Food and Agriculture Organization (2005). FAOSTAT Forestry data. Web site http://faostat.fao.org/faostat/collections?subset=forestry accessed January 3, 2005.

Ford-Robertson, J.B. (2003). Implications of Harvested Wood Products Accounting - Analysis of issues raised by Parties to the UNFCCC and development of a Simple Decay approach. MAF Technical Paper No 2003/5, 30p. Ministry of Agriculture and Forestry, Wellington, New Zealand. http://www.maf.govt.nz/forestry/ publications/index.htm

Gardner, W.D., Ximenes, F., Cowie, A., Marchant, J.F., Mann, S. and Dods, K. (2002). Decomposition of wood products in the Lucas Heights landfill facility. Presented at the Third Australian Conference on 'Life Cycle Assessment -- ""Life Cycle Decision-making for Sustainability"". Queensland, Australia, 17 -- 19 July, 2002. State Forests of New South Wales, Sydney, Australia. (http://www.greenhouse.crc.org.au/crc/ecarbon/enews/gardner.pdf)

Gjesdal, S.F.T., Flugsrud, K., Mykkelbost, T.C. and Rypdal, K. (1996). A balance of use of wood products in Norway, Norwegian Pollution Control Authority SFT, Report 96:04, 54 p.

Haygreen, J.G. and Bower, J.L. (1989). Forest Products and Wood Science -- An Introduction, 2nd edition. Iowa State University Press. Ames, Iowa. 500 p.

Hashimoto, S. and Moriguchi, Y. (2004). Data Book: Material and carbon flow of harvested wood in Japan.

CGER-D034-2004. National Institute for Environmenal Studies, Japan. Tsukuba. 40p. http://wwwcger.nies.go.jp/publication/D034/D034.pdf

IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Tréanton K., Mamaty I., Bonduki Y., Griggs D.J. Callander B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug, T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F. (Eds).Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.

Jenkins, J.C., Chojnacky, D.C., Heath, L.S. and Birdsey, R.A. (2003). National-scale biomass estimators for United States tree species. Forest Science. 49(1):12-35. http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/other_publishers/OCR/ne_2003jenkins01.pdf

Micales, J.A and Skog, K.E. (1997). The decomposition of forest products in landfills. International Biodeterioration and Biodegradation 39(2-3): pp. 145-158

National Council for Air and Stream Improvement, Inc. (NCASI). (2004). Critical Review of Forest Products Decomposition in Municipal Solid Waste Landfills. Technical Bulletin No. 0872. Research Triangle Park, NC: National Council for Air and Stream Improvement, Inc. http://www.ncasi.org/publications/Detail.aspx?id=97

Pingoud, K., Perälä, A.-L. and Pussinen, A. (2001). Carbon dynamics in wood products. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Vol. 6, No. 2, pp. 91-111, 2001.

Pingoud, K., Savolainen, I. and Seppala, H. (1996). Greenhouse impact of the Finnish forest sector including forest products and waste management. Ambio 25:pp. 318-326.

Pingoud, K., Perälä, A.-L., Soimakallio, S. and Pussinen, A. (2003). Greenhouse gas impacts of harvested wood products. Evaluation and development of methods. VTT Research Notes 2189, 138 p. http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2189.pdf.

Pingoud, K. and Wagner, F. (2006). Methane emissions from landfills and decay of harvested wood products: the first order decay revisited. IIASA Interim Report IR-06-004

UNFCC Secretariat (2003). Estimation, reporting, and accounting of harvested wood products - Technical paper. FCCC/TP/2003/7 27 October 2003. Bonn, Germany. http://unfccc.int/resource/docs/tp/tp0307.pdf

UNFCCC Secretariat (2004). Report on the workshop on harvested wood products [held in Lillehammer, Norway, from 30 August to 1 September 2004.] FCCC/SBSTA/2004/INF.11 25 October 2004. Bonn, Germany http://unfccc.int/resource/docs/2004/sbsta/inf11.pdf

Winjum, J. K., Brown, S. and Schlamadinger, B. (1998). Forest harvests and wood products: Sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. Forest Science 44 (2):272-284.

첨부 2장

수식 요약

목 차

A. AFLOU 일반식 A2.3
B. 바이오매스 적용식 A2.4
C. 고사 유기물 적용식 A2.10
D. 토양 탄소 적용식 A2.12
E. 바이오매스 연소 적용식 A2.13
F. 벼경작지 적용식 A2.14
G. 습지 적용식 A2.15
H. 가축식 A2.18
I. 관리되는 토양에서의 아산화질소 및 다른 이산화탄소 방출식 A2.27
J. 경작된 목재 생산물에 대한 식 A2.33

A. AFOLU 일반식

식 2.1
토지 이용도 전 카테고리에 대한 변화의 합으로 추정되는 전체 AFOLU 부분에 대한 연간 탄소(C) 축적량의 변화

$$\triangle C_{AFOLU} = \triangle C_{FL} + \triangle C_{CL} + \triangle C_{GL} + \triangle C_{WL} + \triangle C_{SL} + \triangle C_{OL}$$

여기서;
△C = 탄소(C) 축적량의 변화
토지 이용도 카테고리에 따른 지표 표시;
AFOLU = 농업, 임업 그리고 기타 토지이용
FL = 산림
CL = 농경지
GL = 초지
WL = 습지
SL = 거주지
OL = 기타 토지

식 2.2
토지 이용 카테고리 내의 각 지층의 변화의 합으로 추정되는 연간 탄소(C) 축적량의 변화

$$\triangle C_{LU} = \sum_i \triangle C_{LU_i}$$

여기서;
$\triangle C_{LU}$ = 식 2.1에서 정의된 토지 이용 카테고리(LU)에서 탄소(C) 축적량의 변화
i = 토지 이용 카테고리에서 특정 지층이나 토지 세분화(어떤 생물 종이나 기후지대, 생태유형, 토양특성, 관리방식 등에 의한 것, 3 장 참조)를 의미, i = 1 ~ n.

식 2.3
모든 저장고(pool)의 변화의 합으로 추정되는
토지 이용 카테고리 내의 계층에 대한 연간 탄소(C) 축적량의 변화

$$\triangle C_{LU_i} = \triangle C_{AB} + \triangle C_{BB} + \triangle C_{DW} + \triangle C_{LI} + \triangle C_{SO} + \triangle C_{HWP}$$

여기서;
$\triangle C_{LU_i}$ = 토지 이용 카테고리 내의 계층에 대한 탄소(C) 축적량의 변화
탄소 저장고(pool)에 따른 지표 표시;
AB = 지상부의 바이오매스
BB = 지하부의 바이오매스
DW = 죽은 나무
LI = 낙엽
SO = 토양

HWP = 수확된 목재

식 2.4
제시된 저장고(pool) 내에서 탄소(C)의 증가와 감소에 따른 연간 탄소(C) 축적량의 변화 추정 (획득-손실 방법)

$$\triangle C = \triangle C_G - \triangle C_L$$

여기서;

$\triangle C$ = 저장고(pool)에서의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

$\triangle C_G$ = 탄소(C)의 연간 증가량, tonnes C yr^{-1}

$\triangle C_L$ = 탄소(C)의 연간 감소량, tonnes C yr^{-1}

식 2.5
두 지점에서 추정량의 연평균 차이에 따른
제시된 저장고(pool) 내에서 연간 탄소(C) 축적량의 변화 추정 (비축차 방법)

$$\triangle C = \frac{(\triangle C_{t2} - \triangle C_{t1})}{(t_2 - t_1)}$$

여기서;

$\triangle C$ = 저장고(pool)에서의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

$\triangle C_{t1}$ = 시간 t_1에서 저장고(pool)의 탄소(C) 축적량, tonnes C

$\triangle C_{t2}$ = 시간 t_2에서 저장고(pool)의 탄소(C) 축적량, tonnes C

식 2.6
비 이산화탄소(CO_2)의 대기 배출량 추정

$$Emission = A \quad EF$$

여기서;

Emission = 비 이산화탄소(CO_2), 톤비 이산화탄소(CO_2)

A = 배출원과 관련된 활동자료 (배출원의 유형에 기초한 면적, 가축의 수, 질량)

EF = 특정가스와 배출카테고리에 대한 배출계수, tonnes A^{-1}

B. 바이오매스 적용식

식 2.7
토지이용카테고리 내에 있는 토지에서 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 변화
획득-손실 방법(GAIN-LOSS METHOD)

$$\triangle C_B = \triangle C_G - \triangle C_L$$

여기서;

$\triangle C_B$ = 바이오매스(식 2.3에서와 같이 지상부 바이오매스와 지하부 바이오매스의 합)의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

$\triangle C_G$ = 바이오매스의 성장에 따른 연간 탄소(C) 축적량의 증가, tonnes C yr^{-1}

$\triangle C_L$ = 바이오매스의 손실에 따른 연간 탄소(C) 축적량의 감소, tonnes C yr^{-1}

식 2.8

동일한 토지이용카테고리 내에 있는 토지에서 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 변화

비축차 방법(STOCK-DIFFERENCE METHOD)

$$\triangle C_B = \frac{(\triangle C_{t2} - \triangle C_{t1})}{(t_2 - t_1)} \qquad \text{(a)}$$

여기서

$$C = \sum_{i,j}\{A_{i,j} \quad V_{i,j} \quad BCEF_{Si,j} \quad (1+R_{i,j}) \quad CF_{i,j}\} \qquad \text{(b)}$$

여기서;

$\triangle C_B$ = 바이오매스(식 2.3에서와 같이 지상부 바이오매스와 지하부 바이오매스의 합)의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

C_{t2} = 시간 t_2에서 바이오매스의 총 탄소(C) 축적량, tonnes C

C_{t1} = 시간 t_1에서 바이오매스의 총 탄소(C) 축적량, tonnes C

C = 시간 t_1과 t_2사이에서 바이오매스의 총 탄소(C) 축적량, tonnes C

A = 동일한 토지이용카테고리 내에 있는 토지의 면적, ha

V = 증가한 탄소(C) 축적량의 부피, m^3 ha^{-1}

i = 생태지대 i (*i*는 1~n)

j = 기후영역 j (*j*는 1~n)

R = 지상부 바이오매스에 대한 지하부 바이오매스의 비율, tonne d.m. 지하부 바이오매스(tonne d.m. 지상부 바이오매스)$^{-1}$

CF = 건중물(dry matter)의 탄소(C) 비율, tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$

BCEFs = 지상부 바이오매스의 탄소저장 부피팽창에 대한 바이오매스 전환인자와 확장인자, tonnes 지상부 바이오매스의 성장 (m^3 증가한 탄소(C) 저장 부피)$^{-1}$, (산림면적 에 대한 Table 4.5 참조). BCEFs 증가한 탄소 저장 부피를 지상부 바이오매스로 전환한다. BCEFs 값은 나무 밀도(D)에 대해 다시 구분해야 되는 수고로움이 없이도 산림의 부피에 대한 인벤토리 자료나 기록들에 바로 적용될 수 있기 때문에 훨씬 간편하다. 그리고 이 값들이 지역적으로 유도되고, 탄소(C) 부피에 직접적으로 근거할 때 최상의 결과들을 제공할 수 있다. 하지만 BCEFs 값들의 이용이 가능하지 않거나, 바이오매스 확장인자 (BEFs)와 D 값이 따로 구분되어 추정될 때, 다음과 같은 전환식이 적용될 수 있다:

$$BCEFs = BEFs \bullet D$$

식 2.9

동일한 토지이용카테고리 내에 있는 토지에서 바이오매스 증가에 따른 연간 탄소(C) 축적량의 증가

$$\triangle C_G = \sum_{i,j}(A_{i,j} \bullet G_{TOTALi,j} \bullet CF_{i,j})$$

여기서;

$\triangle C_G$ = 식생의 유형과 기후지대에 따른 동일한 토지이용카테고리내에 남아있는 토지에서 바이오

매스의 성장에 따른 탄소(C) 축적량의 증가, tonnes C yr^{-1}

A = 동일한 토지이용카테고리 내에 남아있는 토지의 면적, ha

G_{TOTAL} = 바이오매스의 연평균 증가, tonnes d.m. ha^{-1} yr^{-1}

i = 생태지대 i (*i*는 1~n)

j = 기후영역 j (*j*는 1~n)

CF = 건중물의 탄소(C) 비율, tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$

식 2.10

바이오매스의 연평균 증가

Tier 1

$G_{TOTAL} = \sum\{G_W \bullet (1+R)\}$ 바이오매스 증가자료(건중물)가 바로 사용됨

Tier 2와 Tier 3

$G_{TOTAL} = \sum\{I_V \bullet BCEF_I \bullet (1+R)\}$ 연간 순증가 자료는 바이오매스 전환계수와 확장계수를 적용하여 G_W를 추정하는데 사용됨

여기서;

G_{TOTAL} = 지상부 바이오매스와 지하부 바이오매스의 연 평균 증가, tonnes d.m. ha^{-1} yr^{-1}

G_w = 특정 목본류의 식생유형에 대한 지상부 바이오매스의 연 평균 증가, tonnes d.m. ha^{-1} yr^{-1}

R = 지상부 바이오매스에 대한 지하부 바이오매스의 비율. 지하부 바이오매스의 변화가 없는 것으로 가정하면, R은 0으로 한다 (Tier 1).

I_V = 특정 식생 유형별 바이오매스의 연 평균 순 증가, m^3 ha^{-1} yr^{-1}

$BCEF_I$ = 증가한 연간 순 부피 (나무껍질 포함)를 특정 식생 유형에 대한 지상부 바이오매스의 증가 (m^3 연간 순 증가)$^{-1}$로 전환하는데 필요한 바이오매스의 전환계수와 확장 계수, (산림지에 대한 Table 4.5 참조). 그런데 $BCEF_R$값의 이용이 가능하지 않거나, 산림벌채(BEF_R)와 산림밀도 (D)에 대한 바이오매스 확장계수 값이 각각 따 로 추정된다면, 다음과 같은 전환식이 사용될 수 있다:

$$BCEF_I = BEF_I \bullet D$$

식 2.11

동일한 토지이용카테고리에 남아있는 토지에서 바이오매스의 손실에 따른 연간 탄소(C) 저장 감소량

$$\triangle C_L = L_{wood\text{-}removals} + L_{fuelwood} + L_{disturbance}$$

여기서;

$\triangle C_L$ = 동일한 토지이용카테고리 내에 남아있는 토지에서 바이오매스의 손실에 따른 연간 탄소 (C) 저장 감소량, tonnes C yr^{-1}

$L_{wood\text{-}removals}$ = 산림벌채에 따른 연간 탄소(C) 감소량, tonnes C yr^{-1} (식 2.12 참조)

$L_{fuelwood}$ = 난방용 땔감수집에 따른 연간 탄소(C) 감소량, tonnes C yr^{-1} (식 2.13 참조)

$L_{disturbance}$ = 교란에 따른 연간 탄소(C) 감소량, tonnes C yr^{-1} (식 2.14 참조)

식 2.12
산림벌채에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 손실량

$$L_{wood\text{-}removals} = \{H \bullet BCEF_R \bullet (1+R) \bullet CF\}$$

여기서;

$L_{wood\text{-}removals}$ = 산림벌채에 따른 연간 탄소(C) 감소량, tonnes C yr^{-1}

H = 연간 벌채량, m^3 yr^{-1}

R = 지상부 바이오매스에 대한 지하부 바이오매스의 비율. 지하부 바이오매스의 변화가 없는 것으로 가정하면, R은 0으로 한다 (Tier 1).

CF = 건중물의 탄소(C) 비율, tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$

$BCEF_R$ = 감소한 바이오매스의 부피를 바이오매스 총 감소량(나무껍질 포함)으로 전환하는데 필요한 바이오매스 전환계수와 확장계수, tonnes 바이오매스 감소 (m^3 바이오매스 감소)$^{-1}$, (산림지에 대한 Table 4.14 참조). 그런데 $BCEF_R$값의 이용이 가능하지 않거나, 산림벌채(BEF_R)와 산림밀도(D)에 대한 바이오매스 확장계수 값이 각각 따로 추정된다면, 다음과 같은 전환식이 사용될 수 있다:

$$BCEF_R = BEF_R \bullet D$$

식 2.13
난방용 땔감수집에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 손실량

$$L_{fuelwood} = [\{FG_{trees} \bullet BCEF_R \bullet (1+R)\} + FG_{part} \bullet D] \bullet CF$$

여기서;

$L_{fuelwood}$ = 난방용 땔감수집에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 손실량, tonnes C yr^{-1}

FG_{trees} = 총 산림에 대해 수집된 난방용 땔감의 부피, m^3 yr^{-1}

FG_{part} = 난방용 땔감으로 수집된 나무 일부분의 부피, m^3 yr^{-1}

R = 지상부 바이오매스에 대한 지하부 바이오매스의 비율. 지하부 바이오매스의 변화가 없다고 가정한다면, R은 0으로 한다 (Tier 1).

CF = 건중물의 탄소(C) 비율, tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$

D = 산림밀도, tonnes d.m. m^{-3}

$BCEF_R$ = 감소한 바이오매스의 부피를 바이오매스 총 감소량(나무껍질 포함)으로 전환하는데 필요한 바이오매스 전환계수와 확장계수, tonnes 바이오매스 감소 (m^3 바이오매스 감소)$^{-1}$. 그런데 $BCEF_R$값의 이용이 가능하지 않거나, 산림벌채(BEF_R)와 산림밀도(D)에 대한 바이오매스 확장계수 값이 각각 따로 추정된다면, 다음과 같은 전환식이 사용될 수 있다:

$$BCEF_R = BEF_R \bullet D$$

식 2.14
교란에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 손실량

$$L_{disturbance} = \{A_{disturbance} \bullet B_W \bullet (1+R) \bullet CF \bullet fd\}$$

여기서;

$L_{disturbance}$ = 교란에 따른 연간 탄소(C) 손실량, tonnes C yr^{-1} (여기서 바이오매스의 양은 총 바이

오매스에 대한 손실량이다. 고사 유기물에서 전환되는 바이오매스와 산화되서 대기 중으로 배출되는 바이오매스의 비율은 식 2.15와 식2.16으로 계산 된다.)

$A_{disturbance}$ = 교란의 영향을 받는 면적, ha yr^{-1}

B_W = 교란의 영향을 받는 토지 면적의 지상부 바이오매스 평균, tonnes d.m. ha^{-1}

R = 지상부 바이오매스에 대한 지하부 바이오매스의 비율. 지하부 바이오매스의 변화가 없다고 가정한다면, R은 0으로 한다 (Tier 1).

CF = 건중물의 탄소(C) 비율, tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$

fd = 교란에 따른 바이오매스의 손실 비율

주: fd는 바이오매스 저장고(pool)로부터 손실된 바이오매스의 비율을 의미한다: 장소를 바꾸는 교란은 모든 바이오매스 (fd = 1)를 없앨 수 있는 반면, 곤충에 의한 교란은 바이오매스의 평균 탄소(C) 농도 중 일부분만 (fd = 0.3)을 없앨 수 있을 것이다. 식 2.14에서는 바이오매스의 탄소(C) 축적량에서 손실되는 탄소(C)에 대해서는 설명하지 않고 있다. Tier 1은 모든 $L_{disturbance}$가 교란의 기간동안 배출된다고 가정한다. 고차수준의 Tier 방법은 이와 같은 탄소(C) 중 일부는 즉시 배출되고, 다른 일부는 고사 유기물의 저장고 (pool) (죽은 나무와 리터)이나 HWP에 삽입된다고 가정한다.

식 2.15
토지이용전환카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 변화 (Tier 2)

$$\triangle C_B = \triangle C_G + \triangle C_{CONVERSION} - \triangle C_L$$

여기서;

$\triangle C_B$ = 토지이용카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

$\triangle C_G$ = 토지이용카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 증가에 의한 연간 탄소(C) 축적량의 증가, tonnes yr^{-1}

$\triangle C_{CONVERSION}$ = 토지이용카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 초기변화, tonnes C yr^{-1}

$\triangle C_L$ = 산림수확, 난방용 땔감수집, 토지이용카테고리의 전환에 따른 교란으로 감소한 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 감소, tonnes C yr^{-1}

식 2.16
토지이용전환카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 초기 변화

$$\triangle C_{CONVERSION} = \sum_i \{(B_{AFTERi} - B_{BEFOREi}) \bullet \triangle A_{TO\_OTHERSi}\} \bullet CF$$

여기서;

$\triangle C_{CONVERSION}$ = 토지이용카테고리의 전환에 따른 바이오매스의 탄소(C) 축적량의 초기 변화, tonnes C yr^{-1}

B_{AFTERi} = 토지이용카테고리의 전환 직후 토지이용유형*i*에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량, tonnes d.m. ha^{-1}

$B_{BEFOREi}$ = 토지이용카테고리의 전환 전 토지이용유형*i*에서 바이오매스의 탄소(C) 축적량, tonnes d.m. ha^{-1}

$\triangle A_{TO\_OTHERSi}$ = 토지이용카테고리가 전환된 해의 토지이용유형*i*의 면적, ha yr^{-1}
CF = 건중물의 탄소(C) 비율, tonne C (tonnes d.m.)$^{-1}$
i = 다른 토지이용카테고리로 전환된 토지이용유형

거주지에서 바이오매스의 추가 식

식 8.1
서식지로 남아있는 서식지에 생존하는 바이오매스 저장고(pool)에서 연간 탄소(C) 변화

$$\triangle C_B = \triangle C_{Trees} + \triangle C_{Shrubs} + \triangle C_{Herbs}$$

여기서;
$\triangle C_B$ = *서식지로 남아있는 서식지*에서 바이오매스 증가에 기인한 연간 탄소 축적량, tonnes C yr^{-1}
$\triangle C_{Trees}$ = *서식지로 남아있는 서식지*에서 나무의 바이오매스 증가에 기인한 연간 탄소 축적량, tonnes C yr^{-1}
$\triangle C_{Shrubs}$ = *서식지로 남아있는 서식지*에서 관목의 바이오매스 증가에 기인한 연간 탄소 축적량, tonnes C yr^{-1}
$\triangle C_{Herbs}$ = *서식지로 남아있는 서식지*에서 초목의 바이오매스 증가에 기인한 연간 탄소 축적량, tonnes C yr^{-1}

식 8.2
총 수관(crown)이 덮인 지역에 기초한 연간 바이오매스 증가

$$\triangle C_G = \sum_{i,j} AT_{i,j} \bullet CRW_{i,j}$$

여기서;
$\triangle C_G$ = *서식지로 남아있는 서식지*에서 바이오매스 증가에 기인한 연간 탄소 축적량, tonnes C yr^{-1}
$AT_{i,j}$ = 나무의 다년 유형 *j* 안의 종류 *i*의 총 수관(crown)이 덮인 면적, ha
$CRW_{i,j}$ = 총 수관(crown)이 덮인 면적에 기초한 나무의 다년 유형 *j* 안의 종류 I의 성장 비율, tonnesC (ha crown cover)$^{-1}$ yr^{-1}

식 8.3
광범위한 종류에서 개개 나무 초목의 수를 근거로 하는 연간 바이오매스 성장

$$\triangle C_G = \sum_{i,j} NT_{i,j} \bullet C_{i,j}$$

여기서;
$\triangle C_G$ = *서식지로 남아있는 서식지*에서 바이오매스 증가에 기인한 연간 탄소 축적량, tonnes C yr^{-1}
$NT_{i,j}$ = 나무의 다년 유형 *j* 안의 종류 *i*의 각각의 수
$C_{i,j}$ = 각각 나무의 다년 유형 *j* 안의 종류 *i*당 연간 평균 탄소 저장, 개개의 tonnesC yr^{-1}

C. 고사 유기물 적용식

식 2.17
고사 유기물의 연간 탄소(C) 축적량의 변화

$$\triangle C_{DOM} = \triangle C_{DW} + \triangle C_{LT}$$

여기서;

△CDOM = 고사 유기물(죽은 나무와 리터)의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr-1

$\triangle C_{DW}$ = 죽은 나무의 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

$\triangle C_{LT}$ = 리터의 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

식 2.18
죽은 나무나 낙엽의 연간 탄소(C) 축적량의 변화 (획득-손실 방법)

$$\triangle C_{DOM} = A \bullet \{(DOM_{in} - DOM_{out}) \bullet CF\}$$

여기서;

$\triangle C_{DOM}$ = 죽은 나무/리터 저장고(pool)의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

A = 관리면적, ha

DOM_{in} = 여러 작용과 교란에 따라 죽은 나무/리터 저장고(pool)로 이동되는 연 평균 바이오매스, tonnes d.m. ha^{-1} yr^{-1} (더 상세한 사항에 대해서는 다음 단원에서 참조할 것)

DOM_{out} = 분해와 교란에 따른 죽은 나무와 리터 저장고로부터의 연 평균 탄소 손실, tonnes d.m. ha^{-1} yr^{-1}

CF = 건중물의 탄소(C) 비율, tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$

식 2.19
죽은 나무나 리터의 연간 탄소(C) 축적량의 변화 (비축차 방법)

$$\triangle C_{DOM} = [A \bullet (DOM_{t2} - DOM_{t1})/T] \bullet CF$$

여기서;

$\triangle C_{DOM}$ = 죽은 나무/리터 저장고(pool)의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

A = 관리면적, ha

DOM_{t1} = 관리면적에서 시간 t_1일 때 죽은 나무/리터 축적량, tonnes d.m. ha^{-1}

DOM_{t2} = 관리면적에서 시간 t_2일 때 죽은 나무/리터 축적량, tonnes d.m. ha^{-1}

$T = (t_2-t_1)$ = 두 번째 축적량 추정과 첫 번째 축적량 추정 사이 기간

CF = 건중물의 탄소(C) 비율, (기준치 = 0.37 리터에서)tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$

식 2.20
고사 유기물로 전환되는 바이오매스의 연간 탄소(C) 축적량의 변화

$$DOM_{in} = \{L_{mortality} + L_{slash} + (L_{disturbance} \bullet f_{BLol})\}$$

여기서;

DOM_{in} = 고사 유기물로 전환되는 바이오매스의 탄소(C), tonnes C yr^{-1}

$L_{mortality}$ = 입목의 손실로 인해 고사 유기물로 전환되는 바이오매스의 탄소(C), tonnes C yr^{-1} (식 2.21 참조)

L_{slash} = (산림벌채나 난방용 땔감수집, 산림수확으로 인해) 잘린 나뭇가지들에서 고사 유기물로 전환되는 바이오매스의 탄소(C), tonnes C yr^{-1} (식 2.22 참조)

$L_{disturbance}$ = 교란에 따른 연간 바이오매스의 탄소(C) 손실량, tonnes C yr^{-1} (식 2.14 참조)

f_{BLol} = 교란에 의한 손실로 분해 되기 위해 지표면(고사 유기물로 전환)위에 남겨진 바이오매스의 비율. Table 2.1에서 알 수 있듯이, 교란에 의해 바이오매스 저장고(pool)로부터 손실된 양은 죽은 나무(Table 2.1의 칸 B)나 리터(칸 C)로 합해지고, 산불(칸 F)의 경우 대기 중으로 배출되며, 산불이 진압된 후 교란이 발생되면 수확된 목재(칸 E)로 전환된다.

주: 만약 뿌리 바이오매스의 증가가 식 2.10으로 계산된다면, 뿌리 바이오매스의 감소 또한 식 2.20과 식 2.22로 계산될 수 있을 것이다.

식 2.21
입목손실에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 손실량

$$L_{mortality} = \sum(A \bullet G_W \bullet CF \bullet m)$$

여기서;

$L_{mortality}$ = 입목손실 때문에 고사 유기물로 전환되는 바이오매스의 탄소(C), tonnes C yr^{-1} A = 동일한 토지이용카테고리에 남아있는 토지의 면적, ha

G_W = 지상부 바이오매스의 성장, tonnes d.m. ha^{-1} yr^{-1}

CF = 건중물의 탄소(C) 비율, tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$

m = 지상부 바이오매스의 성장 비율로 표현되는 손실률

식 2.22
입목손실에 따른 바이오매스의 연간 탄소(C) 손실량

$$L_{slash} = [\{H \bullet BCEF_R \bullet (1+R)\}-\{H \bullet D\}] \bullet CF$$

여기서;

L_{slash} = 지상부 바이오매스에서 (산림벌채나 난방용 땔감수집, 산림수확으로 인해) 잘린 나뭇가지들 (죽은 뿌리도 포함)에서 전환되는 탄소(C), tonnes C yr^{-1}

H = 연간 산림수확 (산림벌채 또는 난방용 땔감수집), m^3 yr^{-1}

$BCEF_R$ = 감소한 바이오매스의 부피를 바이오매스 총 감소량(나무껍질 포함)으로 전환하 는데 필요한 바이오매스 전환계수와 확장계수, tonnes 바이오매스 감소 (m^3 바이오매스 감소)$^{-1}$. 그런데 $BCEF_R$값의 이용이 가능하지 않거나, 산림벌채(BEF_R)와 산림밀도(D)에 대한 바이오매스 확장계수 값이 각각 따로 추정된다면, 다음과 같은 전환식이 사용될 수 있다:

$$BCEF_R = BEF_R \bullet D$$

◦ D = 산림밀도, tonnes d.m. m^{-3}

◦ 바이오매스 확장계수(BEF_R)는 나무나 산림의 비상품성 구성성분을 고려하기 위해 상품성 있는 산림벌채량을 지상부 총 바이오매스의 부피로 확장한다. 그리고 BEF_R의 단위는 없다.

R = 지상부 바이오매스에 대한 지하부 바이오매스의 비율, tonne d.m. 지하부 바이오매스(tonne

d.m. 지상부 바이오매스)$^{-1}$. 만약에 뿌리 바이오매스의 증가가 식 2.10(Tier 1)에 포함되지 않는다면, R은 0으로 한다.

CF = 건중물의 탄소(C) 비율, tonne C (tonne d.m.)$^{-1}$

식 2.23
토지전환에 따른 죽은 나무와 리터의 연간 탄소(C) 축적량의 변화

$$\triangle C_{DOM} = \{(Cn - C_o) \bullet A_{on}\}/T_{on}$$

여기서;

$\triangle C_{DOM}$ = 죽은 나무나 리터의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

C_o = 원래의 토지이용카테고리에서 죽은 나무/리터의 탄소(C) 축적량, tonnes C ha^{-1}

C_n = 새로운 토지이용카테고리에서 죽은 나무/리터의 탄소(C) 축적량, tonnes C ha^{-1}

A_{on} = 새로운 토지이용카테고리로 전환되고 있는 면적, ha

T_{on} = 새로운 토지이용카테고리로 전환되는데 걸리는 기간, yr. Tier 1의 기준치는 탄소(C) 축적량의 증가에 대해서는 20년으로 하고, 탄소(C) 손실량에 대해서는 1년으로 한다.

D. 토양 탄소 적용식

식 2.24
토양의 연간 탄소(C) 축적량의 변화

$$\triangle C_{Soils} = \triangle C_{Mineral} - L_{Organic} + \triangle C_{Inorganic}$$

여기서;

$\triangle C_{Soils}$ = 토양의 연간 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

$\triangle C_{Mineral}$ = 무기토양의 연간 유기탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

$L_{Organic}$ = 배수가 되는 유기 토양에서 연간 손실되는 탄소(C), tonnes C yr^{-1}

$\triangle C_{Inorganic}$ = 토양의 연간 무기탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1} (Tier 3 방법을 적용하지 않으면, 0으로 가정)

식 2.25
무기토양에서 연간 유기탄소(C) 축적량의 변화

$$\triangle C_{Mineral} = (SOC_0 - SOC_{(0-T)})/D$$

$$SOC = \sum(SOC_{REFc,s,i} \bullet F_{LUc,s,i} \bullet F_{MGc,s,i} \bullet F_{Ic,s,i} \bullet A_{c,s,i})$$

(주: T가 ≥20년이면, 이 식에서 T는 D로 대체된다)

여기서;

$\triangle C_{Mineral}$ = 무기토양에서 연간 탄소(C) 축적량의 변화, tonnes C yr^{-1}

SOC_0 = 인벤토리 기간 중 마지막 해의 유기탄소(C) 축적량, tonnes C

$SOC_{(0-T)}$ = 인벤토리 기간 중 첫 해의 유기탄소(C) 축적량, tonnes C

SOC_0와 $SOC_{(0-T)}$는 탄소(C) 축적량 기준치와 저장변화계수가 각 시점 (시간=0과 시간=0-T)에서 토지이용과 관리방법 그리고 이에 해당하는 토지면적에 따라 정해지는 박스 내의 SOC 공식을 이용해서 계산된다.

T = 각 인벤토리기간을 초과하는 기간, yr

D = 저장변화계수의 시간 의존도, yr. 대개 20년이며, 계산된 계수들(F_{LU}, F_{MG}, F_I)에 의해 성립된 가정에 기초한다. T가 D를 초과하는 경우, 인벤토리기간(0-T)에 대한 연간 변화율을 구하기 위해 T값을 사용한다.

c = 기후지대. *s*는 토양유형, *i*는 각 나라에 존재하는 관리시스템

SOC_{REF} = 탄소(C) 축적량 기준치, tonnes C ha^{-1} (표 2.3)

F_{LU} = 특정 토지용도의 하부 시스템이나 토지이용시스템의 저장변화계수, 단위 없음

[주: 자연교란의 영향을 알아보기 위해 산림토양에서 탄소(C)를 추정할 때 F_{ND}는 F_{LU}로 대체된다.]

F_{MG} = 토지관리에 따른 저장변화계수, 단위 없음

F_I = 유기물 투입에 따른 저장변화계수, 단위 없음

A = 추정된 토지면적, ha. 모든 토지는 일반적인 생화학적 특성 (즉, 기후나 토양유형)을 지니며, 인벤토리 기간을 초과하는 토지관리 기간은 분석을 위해 종합적으로 다루어진다.

식 2.26
배수 되는 유기 토양에서 연간 손실 탄소

$$L_{Organic} = \sum_c (A \bullet EF)_c$$

여기서;

$L_{Organic}$ = 배수가 되는 유기 토양에서 연간 손실되는 탄소(C), tonnes C yr^{-1}

A = 기후 유형 c에서 배수되는 유기 토양 토지 면적, ha.

주: A는 11단원 식 11.2과 11.2에서 N_2O 배출 추정에 사용된 같은 면적(F_∞)이다.

EF = 기후 유형 c에서 배출계수, tonnes C $ha^{-1}yr^{-1}$

E. 바이오매스 연소 적용 식

식 2.27
연소에 의한 온실가스 배출 추정

$$L_{fire} = A \bullet M_B \bullet C_f \bullet G_{ef} \bullet 10^{-3}$$

여기서;

L_{fire} =연소에 의한 온실가스 배출량, 각각의 tonnes GHG, CH_4, N_2O, 등

A = 연소 면적, ha

M_B = 연소에 이용 가능한 연료량, tonnes ha^{-1}. 이것은 바이오매스, 리터(litter) 그리고 죽어있는 목재를 포함한다. Tier 1의 방법이 사용될 때 리터와 죽어있는 목재 저장고(pool)은 토지 이용 변화가 있는 곳을 제외하고는 0으로 가정한다.

C_f = 연소 계수, 단위 없음 (기준치는 표 2.6)

G_{ef} = 배출계수, g kg^{-1} 건조 연소 물질 (기준치는 표 2.5)

주: M_B와 C_f를 사용 할 수 없는 자료에서 실제 연소(M_B와 C_f) 기준치는 (표 2.4) Tier 1 방법론에서 사용될 수 있다.

F. 벼 경작지 적용식

식 5.1
벼 경작지에서 CH_4 방출

$$CH_{4\ Rice} = \sum_{i,j,k}(EF_{i,j,k} \bullet t_{i,j,k} \bullet A_{i,j,k} \bullet 10^{-6})$$

여기서;

$CH_{4\ Rice}$ = 벼 경작지 에서 연간 메탄 방출, Gg CH_4 yr^{-1}

$EF_{i,j,k}$ = *i, j* 그리고 *k* 조건에서 일(daily) 방출 계수, kg CH_4 $ha^{-1}day^{-1}$

$t_{i,j,k}$ = *i, j* 그리고 *k* 조건에서 벼 경작 기간, day

$A_{i,j,k}$ = *i, j* 그리고 *k* 조건에서 연간 벼 수확 면적, ha day^{-1}

i, j 그리고 *k* = 다른 생태계, 물의 정체 유형 그리고 유기 개량제 양과 벼에서 CH_4 방출이 변화할지도 모르는 다른 조건을 표현

식 5.2
일 방출 계수 보정

$$EF_i = EF_c \bullet SF_w \bullet SF_p \bullet SF_o \bullet SF_{s,r}$$

여기서;

EF_i = 특정 수확 지역에서 일 방출 계수 보정

EF_c = 유기 개량제 없이 지속적인 범람 지역의 방출 계수 기준선

SF_w = 경작 기간 동안 물 정체의 차이를 설명하는 조정 계수 (표 5.12)SF_p = 경작 기간 이전 시즌에 물 정체의 차이를 설명하는 조정 계수 (표 5.13)

SF_o = 조정 계수는 적용된 유기 개량제의 양과 유형에 따라 변화함 (식 5.3, 표 5.14)

$SF_{s,r}$ = 토양 유형, 벼 품종, 등 변화 가능한 요소에 대한 조정 계수

식 5.3
유기 개량제의 CH_4 조정 계수 보정

$$SF_o = (1 + \sum_i ROA_i \cdot CFOA_i)^{0.59}$$

여기서;

SF_o = 조정 계수는 적용된 유기 개량제의 양과 유형에 따라 변화함 (식 5.3, 표 5.14)

ROA_i = 유기 개량제 *i*의 적용 비율 , 짚의 건중량과 다른 생중량, tonnes ha^{-1}

$CFOA_i$ = 유기 개량제 *i*의 환산 계수(경작 이전에 바로 적용된 짚에 관한 상대적인 효과에 관한) 표 5.14

G. 습지 적용식

식 7.1
습지에서 CO_2 방출

$$CO_{2\_W} = CO_{2\_Wpeat} + CH_{2\_Wflood}$$

여기서;

CO_{2_w} = 습지에서 CO_2 방출, Gg CO_2 yr^{-1}

CO_{2_Wpeat} = 이탄 생산을 위해 관리된 이탄지에서 CO_2 방출, Gg CO_2 yr^{-1}

CH_{2_Wflood} = 범람한 토지(변환되는 토지)에서 CO_2 방출, Gg CO_2 yr^{-1}

식 7.2
이탄 추출 중 이탄지에서 CO_2 방출

$$CO_{2\,WW_{peat}} = (CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{off\text{-}site}}} + CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{on\text{-}site}}}) \cdot \left(\frac{44}{12}\right)$$

여기서;

$CO_{2\,WW_{peat}}$ = 이탄 추출을 하는 토지에서 CO_2 방출, Gg CO_2 yr^{-1}

$C_{WW_{peat_{off\text{-}site}}}$ = 원예의 사용에 의해 제거되는 이탄으로부터 현장 밖 CO_2-C 방출, Gg C yr^{-1}

$C_{WW_{peat_{on\text{-}site}}}$ = 배수된 이탄 퇴적물로부터 현장 CO_2-C 방출, Gg C yr^{-1}

식 7.3
관리 이탄지에서 CO_2-C 방출(Tier 1)

$$CO_2\text{-}C_{WW_{peat}} = (CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{off\text{-}site}}} + CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{on\text{-}site}}})$$

여기서;

$CO_2\text{-}C_{WW_{peat}}$ = 이탄 추출을 하는 토지에서 CO_2-C 방출, Gg CO_2 yr^{-1}

$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{off\text{-}site}}}$ = 이탄 퇴적물(모든 생산 단계)로부터의 현장 방출, Gg C yr^{-1}

$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{on\text{-}site}}}$ = 원예의 사용에 의해 제거되는 이탄으로부터의 현장 밖 방출, Gg C yr^{-1}

식 7.4
관리 이탄지에서 현장 토양 CO_2-C 방출(Tier 1)

$$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{on\text{-}site}}} = \left[\frac{(A_{peatRich} \cdot EF_{CO_{2peatRich}}) + (A_{peatPoor} \cdot EF_{CO_{2peatPoor}})}{1000}\right] + \triangle C_{WWpeatB}$$

여기서;

$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{on\text{-}site}}}$ = 이탄 퇴적물(모든 생산 단계)로부터의 현장 방출, Gg C yr^{-1}

$A_{peatRich}$ = 이탄 추출(모든 생산단계)을 위해 관리되는 영양이 풍부한 이탄 토양 면적, ha

$A_{peatPoor}$ = 이탄 추출(모든 생산단계)을 위해 관리되는 영양이 부족한 이탄 토양 면적, ha

$EF_{CO_{2peatRich}}$= 이탄 추출을 위해 관리되거나 혹은 이탄 추출 후 버려지는 영양이 풍부한 이탄 토양에서의 CO_2 방출 계수, tonnes ha^{-1} yr^{-1}

$EF_{CO_{2peatPoor}}$ = 이탄 추출을 위해 관리되거나 혹은 이탄 추출 후 버려지는 영양이 부족한 이탄 토양에서의 CO_2 방출 계수, tonnes ha^{-1} yr^{-1}

$\triangle C_{WWpeatB}$ = 식물 정화에 의한 바이오매스 안에서 탄소 저장 변화로부터의 CO_2-C 방출, Gg C yr^{-1}

식 7.5
관리 이탄지에서 현장 밖 CO_2-C 방출(Tier 1)

$$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{off\text{-}site}}} = \frac{(W_{dry\text{-}peat} \cdot Cfraction_{Wt\text{-}peat})}{1000}$$

or

$$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{off\text{-}site}}} = \frac{(Vol_{dry\text{-}peat} \cdot Cfraction_{vol\text{-}peat})}{1000}$$

여기서;

$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{off\text{-}site}}}$ = 원예의 사용에 의해 제거되는 이탄으로부터의 현장 밖 방출, Gg C yr^{-1}

$W_{dry\text{-}peat}$ = 추출된 이탄의 완전 건중량, tonnes yr^{-1}

$Vol_{dry\text{-}peat}$ = 추출된 이탄의 완전 건조 부피, m^3 yr^{-1}

$Cfraction_{Wt\text{-}peat}$= 완전 건조되는 이탄 중 탄소의 비율, 질량에 대한, tonnesC (완전 건조 이탄 tonne)$^{-1}$

$Cfraction_{vol\text{-}peat}$ = 완전 건조되는 이탄 중 탄소의 비율, 부피에 대한, tonnesC (완전 건조 이탄 tonne)$^{-1}$

식 7.6
관리 이탄지에서 현장 CO_2-C 방출(Tiers 2,3)

$$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{on\text{-}site}}} = (CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{conversion}}} + CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{extraction}}} + CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{rewetting}}} + CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{post}}})$$

여기서;

$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{on\text{-}site}}}$= 이탄 퇴적물(모든 생산 단계)로부터의 현장 방출, Gg C yr^{-1}

$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{conversion}}}$ = 이탄 추출 위한 토지 변환으로부터의 현장 CO_2-C 방출, Gg CO_2 yr^{-1}

$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{extraction}}}$ = 이탄 추출 지역 표면에서의 CO_2-C 방출, Gg CO_2 yr^{-1}

$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{rewetting}}}$= 현장 밖 제거 이전의 이탄 비축으로부터 CO_2-C 방출, Gg CO_2 yr^{-1}

$CO_2\text{-}C_{WW_{peat_{post}}}$ = 절단된 이탄 토지 위에 버려진 토양으로부터 CO_2-C 방출, Gg CO_2 yr^{-1}

식 7.7
이탄 추출 중 이탄지에서 N_2O방출

$$N_2O_{WW_{peatExtraction}} = (A_{peatRich} \cdot EF_{N_2O-N_{peatRich}}) \cdot \frac{44}{28} \cdot 10^{-6}$$

여기서;

$N_2O_{WW_{peatExtraction}}$ = 이탄 추출을 위해 관리된 이탄지에서 직접적인 N_2O 방출, Gg N_2O yr^{-1}

$A_{peatRich}$ = 배수가 되고 있는 버려진 지역을 포함하고, 이탄 추출을 위해 관리된 영양이 풍부한 이탄 토양 지역, ha

$EF_{N_2O-N_{peatRich}}$ = 배수된 영양이 풍부한 습지 유기 토양의 방출 계수, kg N_2O-N $ha^{-1}yr^{-1}$

식 7.8
이탄 추출을 위해 배수하는 이탄지에서 CO_2-C 방출

$$CO_2-C_{LW_{peat_{ex-situ}}} = (-\triangle C_{WW_{peatB}}) + (-\triangle C_{WW_{peatDOM}}) + CO_2-C_{LW_{peat-drainage}}$$

여기서;

$CO_2-C_{LW_{peat_{ex-situ}}}$ = 이탄 추출을 위해 변환 중인 토지에서의 CO_2-C 방출, Gg C yr^{-1}

$\triangle C_{WW_{peatB}}$ = 살아있는 바이오매스에 비축된 탄소 변화로부터 CO_2-C 방출, Gg C yr^{-1}

$\triangle C_{WW_{peatDOM}}$ = 고사 유기물 저장고(pool)에 비축된 탄소 변화로부터 CO_2-C 방출, Gg C yr^{-1}

= 배수 중 토양에서 CO_2-C 방출, Gg CO_2 yr^{-1}

식 7.9
이탄 추출을 위해 배수하는 이탄지 토양에서 CO_2-C 방출

$$CO_2-C_{LW_{peat-drainage}} =$$

$$\left[\frac{(A_{drained-peat_{Rich}} \cdot EF_{CO_2drained-peat_{Rich}}) + (A_{drained-peat_{Poor}} \cdot EF_{CO_2drained-peat_{Poor}})}{1000}\right]$$

여기서;

$CO_2-C_{LW_{peat-drainage}}$ = 이탄 추출을 위해 변환된 토지의 토양에서의 CO_2-C 방출, Gg C yr^{-1}

$A_{drained-peat_{Rich}}$ = 배수 중인 영양이 풍부한 이탄 토양 면적, ha

$A_{drained-peat_{Poor}}$= 배수 중인 영양이 부족한 이탄 토양 면적, ha

$EF_{CO_2drained-peat_{Rich}}$ = 배수된 영양이 풍부한 이탄 토양의 CO_2-C 방출 계수, tonne $ha^{-1}yr^{-1}$

$EF_{CO_2drained-peat_{Poor}}$ = 배수된 영양이 부족한 이탄 토양의 CO_2-C 방출 계수, tonne $ha^{-1}yr^{-1}$

식 7.10
영구적 범람지로 변화된 토지의 살아있는 생물량에서 탄소비축량의 연간 변화

$$\triangle C_{LWfloodLB} = [\sum_i A_i \bullet (B_{Afteri} - B_{Beforei})] \bullet CF$$

$$CO_{2\_LWflood} = \triangle C_{LWfloodLB} \bullet \frac{-44}{12}$$

$\triangle C_{LWfloodLB}$ = 범람지로 변한 토지의 생물량에서 탄소비축량의 연간 변화, 톤 C yr^{-1}
A_i = 원 토지 이용 i에서 범람지로 변화되는 연간 토지 면적, ha yr^{-1}
$B_{After i}$ = 범람지로 변한 직후의 생물량, 톤 d.m.ha^{-1} (내정치 = 0)
$B_{Before i}$ = 범람지로 변하기 직전의 생물량, 톤 d.m.ha^{-1}
CF = 건조물의 탄소 부분 (내정치 = 0.5), 톤 C (톤 d.m.)$^{-1}$
$CO_{2\_LWflood}$ = 범람지로 변한 토지의 연간 이산화탄소 방출, 톤 CO_2 yr^{-1}

H. 가축식

식 10.1
연평균 개체수

$$AAP = Days\_alive \bullet \left(\frac{NAPA}{365}\right)$$

AAP = 연평균 개체수
NAPA = 연간 생산되는 동물 수

식 10.2
순 유지 에너지 산출계수

$$Cf_i(in\_cold) = Cf_i + 0.0048 \bullet (20 - ℃)$$

Cf_i = 표 10.4에 있는바와 같이 각 동물 카테고리마다 다양한 계수 (NE_m 산출계수), MJ $day^{-1}kg^{-1}$
℃ = 동절기 평균 일기온

식 10.3
순 유지 에너지

$$NE_m = Cf_i \bullet (Weight)^{0.75}$$

NE_m = 생존유지를 위해 동물이 필요로 하는 순 에너지, MJ day^{-1}
Cf_i = 표 10.4에 있는바와 같이 각 동물 카테고리마다 다양한 계수 (NE_m 산출계수), MJ $day^{-1}kg^{-1}$
Weight = 동물의 생체중, kg

식 10.4
순 활동 에너지 (축우 및 들소)

$$NE_a = C_a \bullet NE_m$$

NE_a = 활동을 위해 동물이 필요로 하는 순 에너지, MJ day^{-1}
C_a = 동물의 사육 조건에 대응하는 계수 (표 10.5, 활동 계수)
NE_m = 생존유지를 위해 동물이 필요로 하는 순 에너지, MJ day^{-1}

식 10.5
순 활동 에너지 (양)

$$NE_a = C_a \bullet (weight)$$

NE_a = 활동을 위해 동물이 필요로하는 순 에너지, MJ day^{-1}
C_a = 동물의 사육 조건에 대응하는 계수 (표 10.5, 활동 계수)
weight = 동물의 생체중, kg

식 10.6
순 생장 에너지 (축우 및 들소)

$$NE_g = 22.02 \bullet \left(\frac{BW}{C \cdot MW}\right)^{0.75} \bullet WG^{1.097}$$

NE_g = 생장에 필요한 순 에너지, MJ day^{-1}
BW = 개체군에서 동물의 평균 생체중, kg
C = 계수 (암컷 0.8, 거세한 수컷 1.0, 수컷 1.2)
MW = 적당한 신체 조건에서 성체 암컷의 성숙한 생체중, kg
WG = 개체군에서 동물의 평균 일 체중증가, kg day^{-1}

식 10.7
순 생장 에너지 (양)

$$NE_g = \frac{WG_{lamb} \cdot (a + 0.5b(BW_i + BW_f))}{365}$$

NE_g = 생장에 필요한 순 에너지, MJ day^{-1}
WG_{lamb} = 체중 증가 (BW_f - BW_i), kg yr^{-1}
BW_i = 이유시 생체중
BW_f = 생후 1년 생체중 혹은 1년 이전의 경우 도살시 생체중, kg
a, b = 표 10.6에 기술된 상수

식 10.8
유즙 분비를 위한 순 에너지 (육우, 젖소 및 들소)

$$NE_l = Milk \bullet (1.47 + 0.40 \bullet Fat)$$

NE_l = 유즙 분비를 위한 순 에너지, MJ day^{-1}
Milk = 우유 생산량, kg of milk day^{-1}
Fat = 우유의 지방함량, % by weight

식 10.9
양의 유즙 분비를 위한 순 에너지 (유생산 알려진 경우)

$$NE_l = Milk \bullet EV_{milk}$$

NE_l = 유즙 분비를 위한 순에너지, MJ day^{-1}
Milk = 우유 생산량, kg of milk day^{-1}
EV_{milk} = 1kg 유생산을 위해 필요한 순 에너지. 4.6 MJ kg^{-1}의 내정치 (AFRC, 1993) 가 유지방함량 7% 중량에 해당되어 사용될 수 있다.

식 10.10
양의 유즙 분비를 위한 순 에너지 (유생산 알려지지 않은 경우)

$$NE_l = \left[\frac{(5 \cdot WG_{wean})}{365}\right] \cdot EV_{milk}$$

NE_l = 유즙 분비를 위한 순에너지, MJ day^{-1}
WG_{wean} = 출생과 도축사이 어린양의 체중증가, kg
EV_{milk} = 1 kg 유생산을 위해 필요한 순 에너지. 4.6 MJ kg^{-1}의 내정치 (AFRC, 1993)가 사용될 수 있다.

식 10.11
순 노동 에너지 (축우 및 들소)

$$NE_{work} = 0.10 \bullet NE_m \bullet Hours$$

NE_{work} = 순 노동 에너지, MJ day^{-1}
NE_m = 생존유지를 위해 동물이 필요하는 순 에너지(식 10.3), MJ day-1
Hours = 일일 노동 시간 수

식 10.12
양모 생산을 위한 순 에너지 (양)

$$NE_{wool} = \left(\frac{EV_{wool} \cdot Production_{wool}}{365}\right)$$

NE_{wool} = 양모 생산에 필요한 순 에너지, MJ day^{-1}
EV_{wool} = 생산된 양모 kg당 에너지 값 (건조후 윤내기전 무게측정), MJ kg^{-1}. 24 MJ kg^{-1}의 내정치(AFRC, 1993)가 이번 측정시 사용될 수 있다.

식 10.13
순 임신 에너지 (축우/들소 및 양)

$$NE_p = C_{pregancy} \bullet NE_m$$

NE_p = 임신에 필요한 순 에너지, MJ day^{-1}
$C_{pregancy}$ = 임신 계수 (표 10.7 참조)
NE_m = 생존유지를 위해 동물이 필요하는 순 에너지(식 10.3), MJ day^{-1}

식 10.14
생존유지를 위해 사료에서 이용되는 순 에너지와 소모되는 소화되기 쉬운 에너지의 비

$$REM = [1.123-(4.092 \bullet 10\text{-}3 \bullet DE\%)+[1.126 \bullet 10\text{-}5 \bullet (DE\%)2]-(\frac{25.4}{DE\%})]$$

REM = 음식물중 생존유지를 위해 사용되는 순 에너지와 소모되는 소화되기 쉬운 에너지의 비
DE% = 총에너지의 백분율로 표시되는 소화되기 쉬운 에너지

식 10.15
생장을 위해 사료에서 이용되는 순 에너지와 소모되는 소화되기 쉬운 에너지의 비

$$REG = [1.164-(5.160 \bullet 10\text{-}3 \bullet DE\%)+[1.308 \bullet 10\text{-}5 \bullet (DE\%)2]-(\frac{37.4}{DE\%})]$$

REG = 음식물중 생장을 위해 이용되는 순 에너지와 소모되는 소화되기 쉬운 에너지의 비
DE% = 총에너지의 백분율로 표시되는 소화되기 쉬운 에너지

식 10.16
축우/들소 및 양의 총 에너지

$$GE = [(NE_m + NE_a + NE_1 + NE_{work} + NE_p)/REM) + (NE_g + NE_{wool})/REG)]/DE\%/100$$

GE = 총 에너지, MJ day^{-1}
NE_m = 생존유지를 위해 동물이 필요로 하는 순 에너지(식 10.3), MJ day^{-1}
NE_a = 순 동물 활동 에너지 (식 10.4 및 10.5), MJ day^{-1}
NE_l = 유즙 분비를 위한 순 에너지 (식 120.8, 10.9 및 10.10), MJ day^{-1}
NE_{work} = 순 노동 에너지 (식 10.11), MJ day^{-1}
NE_p = 임신에 필요한 순 에너지 (식 10.13), MJ day^{-1}
REM = 음식물중 생존유지를 위해 사용되는 순 에너지와 소모되는 소화되기 쉬운 에너지의 비 (식 10.14)
NE_g = 생장에 필요한 순 에너지 (식 10.6 및 10.7), MJ day^{-1}
NE_{wool} = 양모 생산에 필요한 순 에너지 (식 10.12), MJ day^{-1}
REG = 음식물중 생장을 위해 이용되는 순 에너지와 소모되는 소화되기 쉬운 에너지의 비 (식 10.15)
DE% = 총에너지의 백분율로 표시되는 소화되기 쉬운 에너지

식 10.17
생장중 및 생장이 멈춘 축우의 건초 섭취 추정

$$DMI = BW^{0.75} \bullet [(0.2444 \bullet NE_{ma} - 0.0111 \bullet NE_{ma}^{2} - 0.472)/NE_{ma}]$$

DMI = 건초 섭취, kg day^{-1}
BW = 생체중, kg
NE_{ma} = 사료 중 음식물의 순 에너지 또는 표 10.8에 주어진 내정치, MJ kg^{-1}

식 10.18a
성숙된 육우의 건초 섭취 추정

$$DMI = BW^{0.75} \bullet [(0.0119 \bullet NE_{ma}^{2} + 0.1938)/NE_{ma}]$$

DMI = 건초 섭취, kg day^{-1}
BW = 생체중, kg
NE_{ma} = 사료 중 음식물의 순 에너지 또는 표 10.8에 주어진 내정치, MJ kg^{-1}

식 10.18b
성숙된 젖소의 건초 섭취 추정

$$DMI = [(5.4 \bullet BW)/500)/(100\text{-}DE\%)/100)]$$

DMI = 건초 섭취, kg day^{-1}
BW = 생체중, kg
DE% = (저질의 마초의 경우 대개 45-55 %)

식 10.19
가축 카테고리의 장내 발효 방출

$$Emissions = EF_{(T)} \bullet (N_{(T)}/10^{6})$$

Emission = 장내발효로 방출되는 메탄기체, Gg CH_4 yr^{-1}
$EF_{(T)}$ = 정의된 가축 개체군의 방출계수, kg CH_4 $head^{-1}$ yr^{-1}
$N_{(T)}$ = 국가내 가축종/카테고리 T의 머릿수
T = 가축의 종수/ 카테고리

식 10.20
가축 장내 발효로부터의 총 방출

$$\text{Total } CH_{4\text{Enteric}} = \sum_i Ei$$

Total $CH_{4Enteric}$ = 장내발효로 방출되는 총메탄기체, Gg CH_4 yr^{-1}
E_i = *i*번째 가축 카테고리 및 부카테고리의 방출

식 10.21
가축 카테고리 장내발효의 메탄 방출 계수

$$EF = [GE \bullet (Y_m/100) \bullet 365/55.65]$$

EF = 방출계수, kg CH_4 $head^{-1}$ yr^{-1}
GE = 총 섭취 에너지, MJ $head^{-1}$ day^{-1}
Y_m = 메탄 전환계수, 음식물에서 메탄으로 전환된 총에너지 백분율. 계수 55.65(MJ/kg CH_4)가 메탄의 에너지함량이다.

식 10.22
거름 관리로부터의 메탄 방출

$$CH_{4Manure} = \sum_{(T)} (EF_{(T)} \bullet N_{(T)})/10^6$$

$CH_{4Manure}$ = 정의된 개체군의 거름 관리로부터의 메탄방출, Gg CH_4 yr^{-1}
$EF_{(T)}$ = 정의된 가축 개체군의 방출계수, kg CH_4 $head^{-1}$ yr^{-1}
$N_{(T)}$ = 국가내 가축종/카테고리 T의 머릿수
T = 가축의 종수/ 카테고리

식 10.23
거름 관리로부터의 메탄 방출 계수

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} \bullet 365) \bullet [B_{o(T)} \bullet 0.67\ kg/m^3 \bullet \sum_{S,k} (MCF_{S,k}/100) \bullet MS_{(T,S,k)}$$

$EF_{(T)}$ = 가축 카테고리 T의 연간 메탄 방출, kg CH_4 animal day^{-1}
$VS_{(T)}$ = 하루에 가축 카테고리 T에서 배출되는 휘발성 고체, 건조물 kg animal day^{-1}
365 = 연간 VS 생산 계산의 기초, days yr^{-1}
$B_{o(T)}$ = 가축 카테고리 T에 의해 생산되는 퇴비의 최대 메탄 발생 수용력, m^3 CH_4 kg^{-1} of VS excreted
0.67 = 메탄 1 m^3을 1 kg로 전환시 사용되는 계수
$MCF_{(S,k)}$ = 기후 지역 k에 의한 각 퇴비 관리 시스템 S의 메탄 전환계수, %
$MS_{(T,S,k)}$ = 기후 지역 k에서 퇴비관리 시스템 S를 이용, 퇴비가 처리되는 가축 카테고리 T의 비율

식 10.24
휘발성 고체 배출율

$$VS = [GE \bullet (1-(DE\%/100)) + (UE \bullet GE)] \bullet [(1-ASH)/18.45]$$

VS = 건초유기물을 기초로 한 일일 휘발성 고체 방출, kg VS day-1
GE = 총 섭취 에너지, MJ day-1
DE% = 백분율로 표시되는 사료의 소화능 (예 60%)
(UE GE) = GE의 비율로 표시되는 소변 에너지. 일반적으로 0.04 GE가 대부분의 반추동물에 의해 배출되는 소변 에너지로 여겨질 수 있다 (85% 이상의 곡물로 된 사료로 사육된 반추동물 또는 돼지의 경우 0.02로 감소). 가능하다면 각국에 고유한 값을 사용.
ASH = 건조물 사료 섭취 비율로 계산되는 퇴비의 회 함량 (예, 축우의 경우 0.08). 가능하다면 각국에 고유한 값을 사용
18.45 = 건조물 kg 당 음식물 GE의 전환계수 (MJ kg^{-1}). 이 값은 가축에 의해 일반적으로 소모되는 광범위한 마초 및 곡물기초 사료에 걸쳐 상대적으로 일정하다.

식 10.25
거름 관리로부터 직접적 아산화질소 방출

$$N_2O_{D(mm)} = \sum_S [\sum_T [N_{(T)} \bullet N_{ex(T)} \bullet MS_{(T,S)}] \bullet EF_{3(S)}] \bullet 44/28$$

$N_2O_{D(mm)}$ = 국가내 퇴비 관리로부터의 직접적 아산화질소 방출, kg N_2O yr^{-1}
$N_{(T)}$ = 국가내 가축종/카테고리 T의 머릿수
$N_{ex(T)}$ = 국가내 가축종/카테고리 T의 머릿수당 연간 평균 질소 배출, kg N $animal^{-1}yr^{-1}$
$MS_{(T,S)}$ = 국가 거름관리 시스템 S에서 관리되는 각 가축 종/카테고리 T의 총 연간 질소 배출 부분, 단위 없음
$EF_{3(S)}$ = 국가 거름관리 시스템 S로부터의 직접적 아산화질소 방출 계수, kg N_2O-N/거름관리시스템 S의 kg N
S = 거름 관리 시스템
T = 가축의 종/카테고리
44/28 = $(N_2O\text{-}N)_{(mm)}$방출을 $N_{2}O_{(mm)}$ 방출로 전환하는 계수

식 10.26
거름 관리로부터 휘발되는 질소 손실

$$N_{volatilization\text{-}MMS} = \sum_S [\sum_T [N_{(T)} \bullet N_{ex(T)} \bullet MS_{(T,S)}) \bullet (Frac_{GasMS}/100)_{(T,S)}]]$$

$N_{volatilization\text{-}MMS}$ = NH_3 및 NO_x의 휘발로 인해 손실되는 퇴비 질소의 량, kg N yr^{-1}
$N_{(T)}$ = 국가내 가축종/카테고리 T의 머릿수
$N_{ex(T)}$ = 국가내 가축종/카테고리 T의 머릿수당 연간 평균 질소 배출, kg N $animal^{-1}yr^{-1}$
$MS_{(T,S)}$ = 국가 거름관리 시스템 S에서 관리되는 각 가축 종/카테고리 T의 총 연간 질소 배출 부분, 단위 없음

$Frac_{GasMS}$ = 거름관리시스템 S에서 NH_3 및 NO_x로 휘발되는 가축카테고리 T의 관리되는 거름 질소 백분율, %

식 10.27
거름 관리로부터 질소 휘발로 인한 간접적 아산화질소 방출

$$N_2O_{G(mm)} = (N_{volatilization\text{-}MMS} \bullet EF_4) \bullet 44/28$$

$N_2O_{G(mm)}$ = 국가내 퇴비 관리로부터 질소 휘발로 인한 간접적 아산화질소 방출, kg N_2O yr^{-1}
EF_4 = 대기로부터 토양 및 수면에 침강되는 아산화질소 방출 계수, kg N_2O-N (kg NH_3-N + NO_x-N volatilised)$^{-1}$; 내정치는 0.01 kg N_2O-N (kg NH_3-N +NO_x-N volatilised)$^{-1}$, 11장 표 11.3에 나와있음

식 10.28
거름관리 시스템에서 침출로 인한 질소 손실

$$N_{leaching\text{-}MMS} = \sum_S [\sum_T [N_{(T)} \bullet N_{ex(T)} \bullet MS_{(T,S)}) \bullet (Fracl_{eachMS}/100)_{(T,S)}]]$$

$N_{leaching\text{-}MMS}$ = 거름관리 시스템에서 침출되는 거름질소의 량
$N_{(T)}$ = 국가내 가축종/카테고리 T의 머릿수
$N_{ex(T)}$ = 국가내 가축종/카테고리 T의 머릿수당 연간 평균 질소 배출, kg N $animal^{-1}yr^{-1}$
$MS_{(T,S)}$ = 국가 거름관리 시스템 S에서 관리되는 각 가축 종/카테고리 T의 총 연간 질소 배출 부분, 단위 없음
$Frac_{leachMS}$ = 퇴비의 고형 및 액형 저장시 유출 및 침출로 인한 가축 카테고리 T의 관리되는 퇴비 질소의 손실 백분율 (일반적 범위 1-20%)

식 10.29
거름 관리에서 침출로 인한 간접적 아산화질소 방출

$$N_2O_{L(mm)} = (N_{leaching\text{-}MMS} \bullet EF_5) \bullet 44/28$$

$N_2O_{L(mm)}$ = 국가내 거름관리에서 침출 및 유출로 인한 간접적 아산화질소 방출, kg N_2O yr^{-1}
EF_5 = 질소 침출 및 유출로 부터의 아산화질소 방출 계수, kg N_2O-N/kg 침출 및 유출되는 N (내정치는 0.0075 kg N_2O-N (kg N 침출/유출), 11장 표 11.3에 나와있음

식 10.30
연간 질소 배출율

$$N_{ex(T)} = N_{rate(T)} \bullet (TAM/1000) \bullet 365$$

$N_{ex(T)}$ = 가축 카테고리 T의 연간 질소 배출, kg N $animal^{-1}yr^{-1}$
$N_{rate(T)}$ = 내정 N 배출율, kg N (1000 kg 동물 질량)$^{-1}$ day^{-1} (표 10.19 참조)
$TAM_{(T)}$ = 가축 카테고리 T의 전형적 동물 질량, kg $animal^{-1}$

식 10.31
연간 질소 배출율 (TIER 2)

$$N_{ex(T)} = N_{intake(T)} \bullet (1-N_{retention(T)})$$

$N_{ex(T)}$ = 연간 질소 배출율, kg N $animal^{-1}$ yr^{-1}
$N_{intake(T)}$ = 동물종/카테고리 T의 머릿수당 연간 질소 섭취, kg N $animal^{-1}yr^{-1}$
$N_{retention(T)}$ = 종/카테고리 T의 동물에 의해 보존되는 연간 질소 섭취 비율, 단위없음

식 10.32
축우의 질소 섭취율

$$N_{intake(T)} = (GE/18.45) \bullet (CP\%/100/6.25)$$

$N_{intake(T)}$ = 카테고리 T의 동물당 소모되는 일일 질소, kg N $animal^{-1}$ day^{-1}
GE = 소화가능한 에너지, 유생산, 임신, 현중량, 성숙시 중량, 중량 증가율 및 IPCC 상수에 기초한 장내모델에서 동물의 총에너지 섭취, MJ $animal^{-1}$ yr^{-1}
18.45 = 건조물 kg당 음식물 GE 전환계수. 이 값은 가축에 의해 일반적으로 소모되는 광범위한 마초 및 곡물기초 사료에 걸쳐 상대적으로 일정하다.
CP% = 섭취되는 음식물중 날 단백질 백분율
6.25 = 음식 단백질 kg을 음식 질소 kg로 전환시 사용되는 계수, kg 사료 단백질 (kg N)$^{-1}$

식 10.33
축우의 질소 보존율

$$N_{retention(T)} = [Milk \bullet (Milk\ PR\%/100)/6.38] + [WG \bullet [268-(7.03 \bullet NE_g/WG)]/1000/6.25\ ]$$

$N_{retention(T)}$ = 카테고리 T의 동물당 보존되는 일일 질소, kg N animal-1 day-1
Milk = 우유생산, kg $animal^{-1}$ day^{-1} (젖소에만 해당)
Milk PR% = 우유의 단백질 백분율, 지방백분율이 입력치이며 4%로 가정할 때 [0.19 + 0.4 • % Fat]으로 계산
6.38 = 우유 단백질을 우유 질소로 전환시 사용되는 계수, kg 단백질 (kg N)$^{-1}$
WG = 체중 증가, 각 가축 카테고리마다 입력, kg day^{-1}
268 및 7.03 = NRC(1996)의 식 3-8의 상수
NE_g = 현중량, 성숙시 중량, 중량 증가율 및 IPCC 상수에 기초한 가축 특징에서 계산되는 순 생장 에너지, MJ day^{-1}
1000 = gram을 kg으로 전환, g kg^{-1}

6.25 = 음식 단백질 kg을 음식 질소 kg로 전환시 사용되는 계수, kg 단백질 $(kg\ N)^{-1}$

식 10.34

관리되는 토양, 사료, 연료 또는 건축 적용을 위한 이용가능한 관리되는 거름 질소

$$N_{MMS\_Avb} = \sum_{S}\{\sum_{T}[\ [(N_{(T)} \bullet N_{ex(T)} \bullet MS_{(T,S)}) \bullet (1\text{-}Frac_{LossMS}/100)]+[N_{(T)} \bullet MS_{(T,S)} \bullet N_{beddingMS}]\ ]\}$$

N_{MMS_Avb} = 관리되는 토양, 사료, 연료 또는 건축 적용을 위한 이용가능한 관리되는 거름 질소의 량, kg N yr^{-1}

$N_{(T)}$ = 국가내 가축종/카테고리 T의 머릿수

$N_{ex(T)}$ = 국가내 가축종/카테고리 T의 머릿수당 연간 평균 질소 배출, kg N $animal^{-1}yr^{-1}$

$MS_{(T,S)}$ = 국가 거름관리 시스템 S에서 관리되는 각 가축 종/카테고리 T의 총 연간 질소 배출 부분, 단위 없음

$Frac_{LossMS}$ = 거름 관리 시스템 S에서 손실되는 가축 카테고리 T의 관리되는 거름질소 량, % (표 10.23 참조)

$N_{beddingMS}$ = 깔짚으로부터의 질소 량(알려진 유기 깔짚 사용의 경우 고체 저장 및 깊은 깔짚 MMS에 적용됨), kg N $animal^{-1}$ yr^{-1}

S = 거름 관리 시스템

T = 가축의 종/카테고리

I. 관리되는 토양에서의 아산화질소 및 다른 이산화탄소 방출 식

식 11.1

관리된 토양에서 직접적 아산화질소 방출 (TIER 1)

$$N_2O_{Direct}\text{-}N = N_2O\text{-}N_{Ninputs} + N_2O\text{-}N_{OS} + N_2O\text{-}N_{PRP}$$

$$N_2O\text{-}N_{inputs} = [\ [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})\ \ EF_1] + [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR}\ \ EF_{1FR}]\ ]$$

$$N_2O\text{-}N_{OS} = [\ (F_{OS,CG,Temp} \bullet EF_{2CG,Temp}) + (F_{OS,CG,Trop} \bullet EF_{2CG,Trop}) + (F_{OS,F,Temp,NR} \bullet EF_{2F,Temp,NR}) + (F_{OS,F,Temp,NP} \bullet EF_{2F,Temp,NP}) + (F_{OS,F,Trop} \bullet EF_{2F,Trop})\ ]$$

$$N_2O\text{-}N_{PRP} = [\ (F_{PRP,CPP} \bullet EF_{3PRP,CPP}) + (F_{PRP} \bullet EF_{3PRP,SO})\ ]$$

N_2O_{Direct}-N = 관리된 토양에서 생산되는 연간 직접적 아산화질소 방출, kg N_2O-N yr^{-1}

$N_2O\text{-}N_{Ninputs}$ = 관리된 토양으로 유입된 질소로부터의 연간 직접적 아산화질소 방출, kg N_2O-N yr^{-1}

$N_2O\text{-}N_{OS}$ = 관리된 유기 토양으로부터의 연간 직접적 아산화질소 방출, kg N_2O-N yr^{-1}

$N_2O\text{-}N_{PRP}$ = 목초지에 유입된 분뇨로부터의 연간 직접적 아산화질소 방출, kg N_2O-N yr^{-1}

F_{SN} =토양에 적용된 합성 질소 비료의 연간 량, kg N yr^{-1}

F_{ON} = 토양에 적용된 동물 거름, 퇴비, 오수 슬러지 및 다른 유기 질소 첨가물의 연간 량 (주: 오수 슬러지를 포함하면, 오수슬러지로부터의 아산화질소 방출을 두 번 셈하지 않도록 폐수부분을

교차 점검할 것), kg N yr^{-1}

F_{CR} = 질소고정 작물을 포함한 작물 잔여물 및 토양으로 재생 및 반환되는 마초/목초로부터의 연간 질소 량 (지상 및 지하), kg N yr^{-1}

F_{SOM} = 토지 이용 또는 관리 변화에 따른 토양 유기물로부터의 토양 탄소소실과 연계되어 광물화된 광물 토양의 연간 질소 량, kg N yr^{-1}

F_{OS} = 관리/배수되는 유기토양의 연간 면적, ha (주: 아래첨자 CG, F, Temp, Trop, NR 및 NP는 각각 경작지, 초지, 임지, 온대, 열대, 고영양, 빈영양을 나타냄)

F_{PRP} = 방목지, 목장, 농장의 초본동물에 의해 퇴적되는 연간 분뇨질소 량, kg N yr^{-1} (주: 아래첨자 CPP 및 SO는 각각 축우, 가금류 및 돼지, 그리고 양 및 다른 동물을 나타냄)

EF_1 = 질소 유입으로부터의 아산화질소 방출 계수, kg N_2O-N (kg N input)$^{-1}$ (표 11.1)

EF_{1FR} = 침수된 쌀로 유입된 질소로부터의 아산화질소 방출 계수, kg N_2O-N (kg N input)$^{-1}$ (표 11.1)

EF_2 = 배수/관리된 유기토양으로부터의 아산화질소 방출 계수, kg N_2O-N (kg N input)$^{-1}$ (주: 아래첨자 CG, F, Temp, Trop, NR 및 NP는 각각 경작지, 초지, 임지, 온대, 열대, 고영양, 빈영양을 나타냄)

EF_{3PRP} = 방목지, 목장, 농장의 초본동물에 의해 퇴적되는 분뇨질소의 아산화질소 방출계수, kg N_2O-N (kg N input)$^{-1}$ (주: 아래첨자 CPP 및 SO는 각각 축우, 가금류 및 돼지, 그리고 양 및 다른 동물을 나타냄)

식 11.2
관리된 토양에서 직접적 아산화질소 방출 (TIER 2)

$$N_2O_{Direct\text{-}N} = \sum_i (F_{SN} + F_{ON}) \bullet EF_{1i} + (F_{CR} + F_{SOM}) \bullet EF_1 + N_2O\text{-}N_{OS} + N_2O\text{-}N_{PRP}$$

EF_{1i} = 조건 i에서 합성 비료 및 유기 질소 적용으로부터의 아산화질소 방출을 위해 개발된 방출계수 (kg N_2O-N (kg N input)$^{-1}$); i = 1, ..., n.

식 11.3
토양에 가해진 유기질소 첨가로부터의 질소

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}$$

F_{ON} = 초본 동물에 의한 것 외의 토양에 가해진 유기 질소 비료의 총 연간 량, kg N yr^{-1}

F_{AM} = 토양에 가해진 동물 거름 질소의 연간 량, kg N yr^{-1}

F_{SEW} = 토양에 가해진 총 오수 질소 (오수 질소가 두 번 셈되지 않도록 폐수부분과 조화시킴) 의 연간 량, kg N yr^{-1}

F_{COMP} =토양에 가해진 총 퇴비 질소의 연간 량 (퇴비의 거름 질소가 두 번 셈되지 않도록 함), kg N yr^{-1}

FOOA = 비료로 사용되는 다른 유기 첨가물의 연간 량 (용출 폐수, 새똥, 양조폐수 등), kg N yr^{-1}

식 11.4
토양에 가해진 동물 거름으로부터의 질소

$$F_{AM} = N_{MMS\_Avb} \bullet [1-(Frac_{FEED} + Frac_{FUEL} + Frac_{CNST})]$$

F_{AM} = 토양에 가해진 동물 거름 질소의 연간 량, kg N yr^{-1}
N_{MMS_Avb} = 토양 적용, 사료, 연료 혹은 건축에 이용가능한 관리된 거름 질소의 량, kg N yr^{-1} (10장의 식 10.34 참조)
$Frac_{FEED}$ = 사료로 사용되는 관리된 거름 부분
$Frac_{FUEL}$ = 연료로 사용되는 관리된 거름 부분
$Frac_{CNST}$ = 건축에 사용되는 관리된 거름 부분

식 11.5
방목지, 목장 및 농장의 초본 동물에 의해 축적되는 분뇨의 질소

$$F_{PRP} = \sum_T [(N_{(T)} \bullet N_{ex(T)}) \bullet MS_{(T,PRP)}]$$

F_{PRP} = 방목지, 목장 및 농장의 초본 동물에 의해 축적되는 분뇨의 질소, kg N yr^{-1}
$N_{(T)}$ = 국가내 가축종/카테고리 T의 머릿수
$N_{ex(T)}$ = 국가내 가축종/카테고리 T의 머릿수당 연간 평균 질소 배출, kg N $animal^{-1}yr^{-1}$
$MS_{(T,PRP)}$ = 방목지, 목장 및 농장에 축적되는 각 가축 종/카테고리 T의 총 연간 질소 배출 부분

식 11.6
작물 잔여물 및 마초/목초 재생으로부터의 질소 (TIER 1)

$$F_{CR} = \sum_T \{Crop_{(T)} \bullet (Area_{(T)} - Area\ burnt_{(T)} \bullet C_f) \bullet Frac_{Renew(T)} \bullet [RAG_{(T)} \bullet NAG_{(T)} \bullet (1-Frac_{Remove(T)}) + RBG_{(T)} \bullet NBG_{(T)}] \}$$

F_{CR} = 질소고정 작물을 포함한 작물 잔여물 및 토양으로 재생 및 반환되는 마초/목초로부터의 연간 질소 량 (지상 및 지하), kg N yr^{-1}
$Crop_{(T)}$ = 작물 *T*의 연간 건조물 수확량, kg N yr^{-1}
$Area_{(T)}$ =작물 *T*의 총 연간 수확면적, ha yr^{-1}
Area $burnt_{(T)}$ = 작물 *T*의 태워진 연간 면적, ha yr^{-1}
C_f = 연소 계수 (단위없음) (2장의 표2.6 참조)
$Frac_{Renew(T)}$ = 연간 재생되는 작물 T의 총면적 부위. 목초지가 평균 매 X년마다 재생되는 국가의 경우, $Frac_{Renew}$ = 1/X. 연간 작물 $Frac_{Renew}$ = 1
$RAG_{(T)}$ = 작물 *T*의 지상부 잔여 건조물과 수확량의 비 ($Crop_{(T)}$), kg d.m. (kg d.m.)$^{-1}$,
= $AG_{DM(T)} \bullet 1000/Crop_{(T)}$ (표 11.2의 정보로 $AG_{DM(T)}$를 계산)
$N_{AG(T)}$ = 작물 T의 지상부 잔여물 질소 함량, kg N (Kg d.m.)$^{-1}$, (표 11.2)
$Frac_{Remove(T)}$ = 사료, 깔짚 및 건축과 같은 목적에 연간 제거되는 작물 *T*의 지상부 잔여물 부분,

kg N (kg crop-N)$^{-1}$. 자료를 얻기위해 국가내 전문가 조사가 필요함. $Frac_{Remove}$ 자료가 없을 경우, 제거가 없는 것으로 간주함.

$R_{BG(T)}$ = 작물 *T*의 지하부 잔여물과 수확량의 비, kg d.m. (kg d.m.)$^{-1}$. 대체 자료가 없으면, $R_{BG(T)}$는 표 11.2에 있는 R_{BG-BIO}와 총 지상부 생체량과 작물수확량의 비를 곱하여 계산할 수 있다. (= $[AG_{DM(T)} \bullet 1000 + Crop_{(T)})/Crop_{(T)}]$, (또한 표 11.2에 있는 정보로 $AG_{DM(T)}$을 계산함)

$N_{BG(T)}$ = 작물 *T*의 지하부 잔여물 질소 함량, kg N (kg d.m.)$^{-1}$ (표 11.2)

T = 작물 또는 마초 유형

식 11.7
보고된 작물 수확량의 건조중량 보정

$$Crop_{(T)} = Yield\ Fresh_{(T)} \bullet DRY$$

$Crop_{(T)}$ = 작물 *T*의 건조물 수확량, kg d.m.ha^{-1}

$Yield\_Fresh_{(T)}$ = 작물 *T*의 건조전 수확량, kg fresh weight ha^{-1}

DRY = 수확된 작물 *T*의 건조물 부분, kg d.m. (kg fresh weight)$^{-1}$

식 11.7A
F_{CR} 추정을 위한 대안적 접근법 (표 11.2 사용)

$$F_{CR} = \sum_{T} \{ AG_{DM(T)} \bullet (Area_{(T)} - Area\ burnt_{(T)} \bullet CF) \bullet Frac_{Renew(T)} \bullet [N_{AG(T)} \bullet (1-Frac_{Remove(T)}) + R_{BG-BIO(T)} \bullet N_{BG(T)}] \}_{l}$$

F_{CR} = 질소고정 작물을 포함한 작물 잔여물 및 토양으로 재생 및 반환되는 마초/목초로부터의 연간 질소 량 (지상 및 지하), kg N yr^{-1}

식 11.8
토지이용 또는 관리변화를 통한 토양 탄소손실의 결과로 인한 광물 토양에서 광물화되는 질소 (TIER 1 및 TIER 2)

$$F_{SOM} = \sum_{LU} [(\triangle C_{Mineral,\ LU} \bullet \frac{1}{R}) \bullet 1000]$$

F_{SOM} = 토지 이용 또는 관리 변화에 따른 토양 탄소소실의 결과로 광물화된 광물 토양의 연간 순 질소 량, kg N

$\triangle C_{Mineral,\ LU}$ = 각 토지 이용 유형(*LU*), 탄소 톤 (주: Tier 1의 경우, $\triangle C_{Mineral,\ LU}$는 모든 토지 이용 및 관리 시스템에서 단일한 값을 지님. Tier 2 사용시, $\triangle C_{Mineral,\ LU}$ 값은 개별적 토지이용 및/또는 관리 시스템에 의해 나뉘어짐

R = 토양 유기물의 C:N 비. 내정치 15 (10에서 30까지의 불확도 범위)가 지역의 보다 구체적인 자료가 없을 시 임지 또는 초지에서 경작지로의 토지 이용 변화를 포함한 상황에 사용된다. 내정치 10 (8에서 15까지의 불확도 범위)이 *경작-유지-경작*의 관리 변화를 포함한 상황에 사용된다. C:N 비는 시간, 토지 이용, 또는 관리 방식에 따라 변한다. 국가가 C:N비를 문서화한다면 시간, 토지이용, 또는 관리방식에 따라 다른 값을 사용할 수 있다.

LU = 토지 이용 및/또는 관리 시스템 유형

식 11.9
관리된 토양에서 휘발된 질소의 대기 *침강으로 유래된 아산화질소 (TIER 1)*

$$N_2O_{(ATD)}\text{-}N = [(F_{SN} \bullet Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \bullet Frac_{GASM})] \bullet EF_4$$

$N_2O_{(ATD)}$-N = 관리된 토양에서 휘발된 질소의 대기 침강으로부터 생산된 아산화질소의 연가 량

F_{SN} = 토양에 가해진 합성비료 질소의 연간 량, kg N yr^{-1}

$Frac_{GASF}$ = NH_3 및 NO_x로 휘발되는 합성 비료 질소 부분, kg 휘발되는 N (kg 가해진 N)$^{-1}$ (표 11.3)

F_{ON} = 토양에 가해진 관리된 동물 거름, 퇴비, 오수슬러지 및 다른 유기 질소 첨가물의 연간 량, kg N yr^{-1}

F_{PRP} = 방목지, 목장 및 농장의 초본 동물에 의해 축적되는 연간 분뇨 질소, kg N yr^{-1}

$Frac_{GASM}$ = NH_3 및 NO_x로 휘발되는 가해진 유기 질소비료 (F_{ON}) 및 초본동물에 의해 축적되는 분뇨 질소 (F_{PRP}) 부분, kg 휘발성 N (가해진 또는 축적된 질소 kg)$^{-1}$ (표 11.3)

EF_4 = 토양 및 수면으로 침강된 질소로부터의 아산화질소 방출계수, [kg N-N_2O (kg 휘발성 NH_3-N + NO_x-N)$^{-1}$] (표 11.3)

식 11.10
침출/유출이 일어나는 지역의 관리된 토양에서 침출/유출된 질소로부터의 아산화질소 (TIER 1)

$$N_2O_{(L)}\text{-}N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \bullet Frac_{LEACH\text{-}(H)} \bullet EF_5$$

N_2O(L)-N = 1년 동안 용탈과 유수가 일어나는 지역에서 경작되는 토양에 첨가된 N의 용탈과 유수로부터 생성되는 N_2O-N의 양. kg N_2O-N yr^{-1}

F_{SN} = 1년 동안 용탈과 유수가 일어나는 지역의 토양에 첨가된 합성 비료 N의 양 kgN yr^{-1}

F_{ON} = 1년 동안 용탈과 유수가 일어나는 지역의 토양에 공급된 축산가축 퇴비, 비료, 하수 슬러지와 다른 종류의 유기 질소의 양. kgN yr^{-1}

F_{PRP} = 1년 동안 용탈과 유수가 일어나는 지역에서 채식 동물에 의해 침적된 대소변 질소의 양. kgN yr^{-1} (식 11.5)

F_{CR} = 1년 동안 용탈과 유수가 일어나는 지역에서 질소 고정 작물을 포함한 곡물 잔류물과 마초/목초로부터 토양으로 재공급되는 질소의 양, kgN yr^{-1}

F_{SOM} = 1년 동안 용탈과 유수가 일어나는 지역에서 토지이용도나 관리의 변화로 토양 유기물로부터 토양 탄소의 감소와 함께 광물토양에서 광물화되는 질소의 양, kgN yr^{-1} (식 11.8)

$Frac_{LEACH}$-(H) = 용탈과 유수가 일어나는 지역에서 관리되는 토양에 공급되거나 광물화되고 용탈과 유수를 통해 제거되는 질소의 분율 (표 11.3)

E_{F5} = 용탈과 유수되는 질소로부터 발생하는 N2O의 배출계수 kg N_2O-N (kg N 용탈되거나 유수되는 질소)$^{-1}$ (표 11.3)

식 11.11
관리되는 토양으로부터 휘발된 질소의 대기 중 침적으로부터 발생하는 N_2O
(TIER 2)

$$N_2O_{(ATD)}\text{-}N = \sum_i (F_{SN_i} \cdot Frac_{GASF_i}) + [(F_{ON} + F_{PRP}) \cdot Frac_{GASM}] \cdot EF_4$$

$N_2O_{(ATD)}$-N = 1년 동안 관리되는 토양으로부터 휘발된 질소의 대기 중 침적으로부터 발생하는 N_2O, kg N_2O-N yr^{-1}

F_{SNi} = *1 년 동안* 다른 조건 i에서 토양에 공급된 합성 비료 질소의 양, *kg N* yr^{-1}

FracGASF*i* = 다른 조건 i에서 NH3와 NOx로 휘발되는 합성 비료 N의 분율, *휘발된 질소 kg(공급된 N kg)*$^{-1}$

F_{ON} = 1년동안 토양에 공급된 축산가축 퇴비, 비료, 하수 슬러지와 다른 종류의 유기 질소의 양

F_{PRP} = 1년 동안 채식 동물에 의해 침적된 대소변 질소의 양, kg N yr^{-1}

$Frac_{GASM}$ = NH_3와 NOx로 휘발된 F_{ON} 과F_{PRP}의 분율. (kg of N 공급되거나 침적된 질소)$^{-1}$ (Table 11.3)

EF_4 = 대기 침적을 통해 토양과 수체 표면으로 공급되는 질소로부터 발생하는 N2O의 배출계수. , [kg N-N_2O (kg NH_3-N + NOx-N volatilised)$^{-1}$] (표 11.3)

식 11.12
연간 석회 공급으로부터 발생하는 CO_2 배출량

$$CO_2\text{-C Emission} = (M_{Limestone} \bullet EF_{Limestone}) + (M_{Dolomite} \bullet EF_{Dolomite})$$

CO_2 -C 배출 = 1년 동안 석회 공급으로부터 배출되는 탄소, tonnes C yr^{-1}

M = 1년 동안 석회암 ($CaCO_3$) 또는 백운석 ($CaMg(CO_3)^2$)의 양, tonnes yr^{-1}

EF = 배출계수 , tonne of C (석회암 또는 백운석) $^{-1}$

식 11.13
연간 요소 공급으로부터 발생하는 CO_2 배출량

$$CO2.C\ Emission = M\ .\ EF$$

CO_2-C Emission = **연간 요소 공급으로부터 발생하는 CO_2 배출량**, tonnes C yr^{-1}

M = 연간 요소 시비량, tonnes urea yr^{-1}

EF = 배출계수, tonne of C (tonne of urea)$^{-1}$

J. 경작된 목재 생산물에 대한 식

식 12.1

탄소 축적량과 기록 국가의 HWP 저장고의 연간 변화에 대한 추정

I=1900에서 시작, 연도를 나타냄

Starting with i = 1900 and continuing to present year, compute

Note: 일차 감소를 추정하기 위해 식 12.1A에 사용된 기술의 설명을 위해 Pingoud and Wagner (2006) 참조.

(A) $C(i+1) = e^{-k} \cdot C(i) + [\frac{(1-e^{-k})}{k}] \cdot \infty low(i) \; with \; C(1900) = 0.0$

(b) $\triangle C(i) = C(i+1) - C(i)$

i = 연도

C(i) = 연도 i에 해당하는 HWP 저장고의 탄소 축적량, Gg C

k = 일차 감소 상수, yr^{-1} (k = ln(2) / HL, HL HWP의 반감기. 반감기는 저장고에서 물질의 절반이 감소하는데 걸리는 시간)

Inflow(i) = 연도 i동안 HWP 저장고로 유입되는 양. Gg C yr^{-1}

$\triangle$C(i) = 연도 i동안 HWP 저장고의 탄소 축적량 변화. Gg C yr^{-1}

식 12.2

1년 동안 국내에서 소비되는 양으로부터 생성된 HWP 생산품 추정

$$Inflow_{DC} = P + SFP_{IM} \, . \, SFP_{EX}$$

$Inflow_{DC}$ =1년 동안 기록하는 국가에서 경작된 나무에서 유래한 고체 목재 또는 종이 생산물의 소비량, Gg C yr^{-1}

P = 1년 동안 기록하는 국가에서 고체 목재 또는 종이 생산물의 생산량에 포함된 탄소. Gg C yr^{-1}

SFP_{IM} and SFP_{EX} = 반가공된 목재와 종이 생산물의 수출입. 고체 목재: 톱질이 된 나무, 패널과 다른 공업용 통나무. 종이 생산물: 종이, 판지. Gg C yr^{-1}

식 12.3

1년 동안 국내 수확으로부터 생산된 HWP 생산물 추정.

$$Inflow_{DH} = P \cdot [\frac{IRW_H}{IRW_H + IRW_{IM} - IRW_{EX} + WCH_{IM} - WCH_{EX} + WR_{IM} - WR_{EX}}]$$

$Inflow_{DH}$ = 1년 동안 기록하는 국가에서 경작된 나무에서 유래한 고체 목재 또는 종이 생산물에 함유된 탄소, Gg C yr^{-1}

P = 1년 동안 기록하는 국가에서 고체 목재 또는 종이 생산물의 생산량에 포함된 탄소. Gg C yr^{-1}. 종이 생산물은 목재 섬유를 포함하고 비목재 섬유는 포함하지 않는다. 종이 생산물 생산의 목재 섬유를 추정하는 식은 표 12.5의 note 1에 있음.

IRW_H =기록하는 국가의 공업용 통나무 경작. 고체 목재와 수출을 위한 IRW를 포함하는 종이 생산물을 만들기 위한 나무의 경작을 뜻함. [FAO 변수는 공업용 RW 생산이라 불린다], Gg C

yr^{-1}
IRW_{IM} , IRW_{EX} = 공업용 통나무 수입과 수출. Gg C yr^{-1}
WCH_{IM}, WCH_{EX} = 나무조각 수입과 수출. Gg C yr^{-1}
WRI_M, WRE_X = 나무 생산물 제분 수입과 수출로부터 생성되는 나무 잔재물, Gg C yr^{-1}

식 12.4
HWP가 국내 경작으로부터 형성되는 국내 SWDS의 HWP내의 탄소의 연간 변화량 추정

$$\triangle C_{HWPSWDS_{DH}} = \triangle C_{HWPSWDS_{DC}} \cdot [1-(\frac{Imported\ wood\ material}{Produced\ wood\ material + Imported\ wood\ mat}$$

$$Imported\ wood\ material = [IRW_{IM} + WCH_{IM} + WR_{IM} + SawnW_{IM} + WPan_{IM} + P\&PB_{IM} + Wpulp\&ReaPap_{IM}]$$

$\triangle C_{HWP\ SWDSDH}$ = 변수 2B = 1년 동안 HWP가 국내 경작으로부터 형성되는 국내 SWDS의 HWP내의 탄소의 변화량, Gg C yr^{-1}
$\triangle C_{HWP\ SWDS\ DC}$ = 변수 1B = 1년 동안 기록하는 국가에서 SWDS내의 HWP내의 탄소의 변화량. Gg C yr^{-1}
IRW_H and IRW_{IM} = 기록하는 국가에서 공업용 통나무 경작량과 공업용 통나무 수입량. Gg C yr^{-1}
WCH_{IM} = 나무조각 수입, Gg C yr^{-1}
WR_{IM} = 나무 생산물 제분 수입으로부터 발생하는 나무 잔재물, Gg C yr^{-1}
$SawnW_{IM}$ = 톱질한 나무 수입량, Gg C yr^{-1}
$WPan_{IM}$ = 나무 패널 수입량, Gg C yr^{-1}
$P\&PB_{IM}$ = 종이와 판지 수입량, Gg C yr^{-1}
$WPulp\&RecPap_{IM}$ = 목재펄프와 재생된 종이 수입량

식 12.5
HWP 변수를 사용한 탄소 배출 추정
1년 동안 기록하는 국가에서 나무 축적량으로부터 공급되는 탄소의 양
(*A*) ↑ $CHWP\ DC = H + PIM - PEX - \triangle CHWP\ IU\ DC - \triangle CHWP\ SWDS\ DC$
1년 동안 기록하는 국가에서 나무 경작량으로부터 공급되는 탄소의 양
(*B*) ↑ $CHWP\ DH = H - \triangle CHWP\ IU\ DH - \triangle CHWP\ SWDS\ DH$

식 12.6
1961년 이전에 표 12.5에 있는 생산, 수입 또는 수출 변수를 추정하기 위한 식.

$$V_t = V_{1961} \bullet e^{[U\square(t-1961)]}$$

V_t = 연도 t에 고체 목재 또는 종이 생산물의 연간 생산, 수입 및 수출량, *Gg C* yr^{-1} *t = 년*
*V*1961 = 1961년에 해당하는 고체 목재 또는 종이 생산물의 연간 생산량, 수입 또는 수출량. *Gg C* yr^{-1}
U = 1900년과 1961년 사이에 기록하는 국가를 포함하는 지역에서 소비한 공업용 통나무의 지속적인 변화율의 추정치. (표 12.3), yr^{-1}

부록 1 연소 잔여물 (숯)의 CO_2 제거: 미래의 방법론적 개발을 위한 근거

배경지식

숯은 식물과 화석연료의 불완전 연소 시 생성 된다 (Goldberg, 1985). 숯, 재, 그을음 등과 같은 연소 생성물은 검은 탄소 (BC: Black carbon)이라 일컬어진다. BC는 상반되는 화학적 성질을 지닌 물질들이 비균질적으로 혼합된 것이기 때문에 생물학적 또는 화학적 분해가 잘 일어나지 않는다. 또한 BC는 토양, 다른 산림 퇴적물이나 해양 퇴적물에도 분포한다.

화재로 인해 생성된 BC의 많은 양 (80% 이상)은 생성된 지역에서 가까운 곳에 남아 있다. 그 후 토양에 혼합되어 더 오랫동안 남아 있을 수 있게 된다. 그러나 또한 BC는 하천이나 대기 중 경로를 통해 해양 퇴적물로 이동될 수 있는데, 이 중 대부분은 하천을 통해 유입된다. 그 결과 해양으로 유입되는 대부분의 입자상 BC는 연안 퇴적물에 침적되는 반면, 더 적은 양은 더 깊은 해양 퇴적물에 침적된다. 입자상 BC의 다른 부분들은 대기 중으로 산재된다. 이 BC의 대부분은 7일 이상 되는 체류 시간동안 해양으로 이동되고 최종적으로 깊은 해양 퇴적물로 이동되는데, 이곳에서 BC는 매우 안정적이다.

지난 수 십 년 동안 지구의 대기권과 생물권내의 BC 농도는 관심사가 되어왔다. 왜냐하면, BC는 에어로졸 상태에서 태양복사에너지를 강력하게 흡수하기 때문이다. BC는 퇴적물과 얼음 코어 안에 있는 고생물환경에 대한 기록을 제공할 수 있으며, 또한 지리학적 시간 범위에 걸쳐 대기 상에 산소의 주요 공급원이었을지도 모른다. 특히 재의 형태로서 BC는 탄소가 상대적으로 비활성일 수 있는 방법 중 한 형태이기 때문에 중요하다. 그러므로 BC는 상대적으로 빠른 생물 대기권 탄소 순환에서 더 느린 지질학적 탄소 순환으로 탄소를 제거할 수 있는 주요한 요소로 작용할 수 있는 큰 잠재력을 가지고 있다 (Graetz and Skjemstad, 2003; Schimidt, 2004; Druffel, 2004).

전 지구적 탄소 수지에서의 검은 탄소의 역할

산림 생태계의 BC의 형성과 지속에 대한 최근 총설에서 Forbes et al. (2006)은 식생 화재와 화석연료 연소로부터 생성되는 BC의 양을 50-270 Tg yr^{-1}로 추정했다. 이 값은 매우 큰 탄소 유동이며, 이에 대한 주요한 질문은 이미 산림과 해양 생태계에 축적된 BC의 거대한 양으로부터 배출되는 탄소의 양보다 연간 BC 생성 속도가 더 빠를 것인지 하는 문제이다. 현재 이 질문에 명확하게 답하는 것은 가능하지 않을지라도, 온실기체 인벤토리에서 BC의 역할을 고려할 미래에 개발될 방법을 가능하게 하고 전지구적 탄소 수지에서 BC의 역할을 더 잘 이해할 수 있는 연구를 계속하는 것은 중요하다.

Forbes et al. (2006)은 또한 믿을만한 방법론 개발을 하기 위해 필요한 중요한 논제들을 제시하였다. 그들은 BC가 형성되는 속도를 일관되게 묘사하는 방법론의 필요성을 제안했고, 화재에 의해 소모된 탄소 (CC: consumed C)의 양의 상대적 비율로 표현되어야 한다고 제안했다. 그들은 이런 방식으로 표현하면 (BC/CC) BC 형성 속도는 초지나 사바나 화재 시 3 % 이하였고, 산림 화재 시에는 4-5 % 인 것을 알아내었다. 저자들은 물리적 측정에만 기초한 BC 형성 속도 추정치는 매

우 신뢰할 수 없다고 결론 내리고 (유의하게 과대 추정하게 됨), 그 이유는 부분적으로 연소된 물질을 여러 범위로 포함하고 있는 화재 이후 잔재물에서 BC를 분석하고 정량화 하는 것이 불가능하기 때문이다.

BC는 토양과 퇴적물에서 광화학과정과 미생물적 과정에 의해 천천히 분해된다. 그러나 BC에 영향을 미치는 요소나 더 긴 시간 동안 일어나는 분해에 대한 지식은 매우 제한되어 있다. 배양실험과 같은 연구에 의하면 생물학적 과정을 통한 BC 분해가 매우 느리다; BC는 산림 토양에서는 유기 탄소의 40%, 깊은 해양 퇴적물에서는 12-31% 까지 차지할 수 있다. 그리고 수천 년 이상의 방사성탄소 연대를 가지고 있다. 그러므로 BC는 상당한 반감기를 가지고 있는 것으로 보이며, 생물권 탄소 순환에 있어서 생물 유래 물질 중 가장 안정적이다. 이러한 상대적인 무반응성은 산림, 사바나 그리고 초지 화재를 통해 BC로 전환된 탄소의 추정치인 3-5%가 매우 느린 전환률을 지닌 전 지구적 탄소 순환의 주요한 요소로 고려되어야 한다는 것을 뜻한다.

결론

BC가 전 지구적 탄소 순환에 미치는 영향을 더 잘 측정하기 위해서는 집중적으로 식생 화재가 일어나는 생태계에서 BC의 생성과 분해 속도에 대한 더 많은 이해가 필요하다. 더 나아가, BC가 강이나 대기 중으로 이동되는 것에 대한 평가가 더 세밀한 규모로 밝혀져야 하며, 육지와 해양 퇴적물의 BC 분해 속도에 대한 이해가 더 필요하다. 이를 통하여 BC를 고려하는 온실기체 인벤토리가 개발될 수 있고, 대기, 생물권과 해양의 BC 유동의 추정치에 대한 불확도와 차이를 최소화 할 수 있다. 그 결과로 더 정확한 전지구적 검은 탄소 수지를 만들 수 있고, BC의 전지구적 탄소 순환에서 잠재적인 저장고로서의 역할을 더 잘 이해하게 될 것이다.

참고문헌

Druffel, E.R.M. (2004). Comments on black carbon in the global carbon cycle. *Marine Chem.* **92**:197-200.

Forbes, M.S., Raison, R.J., and Skjemstad, J.O. (2006). Formation, transformation and transport of black carbon

(charcoal) in terrestrial and aquatic ecosystems. *Journal of the Science of the Total Environment* (in press).

Goldberg, E.D. (1985). Black Carbon in the Environment: Properties and Distribution. John Wiley and Sons, New York; 198 pp.

Graetz, R.D. and Skjemstad, J.O. (2003). The charcoal sink of biomass burning on the Australian continent.

CSIRO Atmospheric Research Technical Paper; no 64.

Schmidt, M.W.I (2004). Carbon budget in the black. *Nature* **427**:305-306.

부록 2 영구적인 침수지로 전환된 토지에서 CO_2 배출량 산정을 위한 가능한 접근법: 미래의 방법 개발을 위한 근거

침수 이후 경과한 시간은 침수된 지역의 온실기체 유동이나 기체들의 종류에 주요한 영향을 미친다. 최근의 전 세계적인 데이터의 통계적 분석은 침수 후에 갑작스럽게 빠른 배출의 증가가 나타나고, 이후 이 배출은 상대적으로 안정된 단계에 도달한다. (Tremblay *et al., 2005; Therrien et al., 2005; Soumis et al., 2005; and Huttunen et al., 2002, 2003).* 침수 후의 배출 감소 속도는 저수지가 위치해 있는 지역에 따라 결정될 지도 모르나 약 10 년 주기로 변화하는 것으로 보인다 (Delmas *et al., 2005; Abril et al., 2005; Tremblay et al., 2005).*

침수 후 첫 번째 약 10년 동안 이산화탄소(CO_2) 배출은 침수 전의 육지의 유기물질의 분해에 의한 것으로 보인다. 쉽게 분해되는 탄소와 영양염류는 생산자 유기체에게 이용되며 대사된다. 이 기간 이후, 이산화탄소(CO_2) 배출은 배수지역으로부터 침수지역으로 이동된 유기물의 유입에 의해 유지된다 (Houel, 2003; Helie, 2004; Cole and Caraco, 2001). 이산화탄소(CO_2) 배출을 중복 계산하는 것을 피하기 위해, 기본적인 방법론은 오로지 침수 후 첫 번째 10년만을 고려한다.

토지 이용도 변화에 의해서만 야기되는 배출 (침수 전 벌목에 의한 이산화탄소(CO_2) 또는 non-CO_2 배출) 은 이 장 다른 곳에서 제공되는 방법론을 이용해 추정해야 한다. 침수 전에 토지는 벌목할 수도 있다. 유기물은 태우거나 수확할 수도 있다 (예: 목재). 이러한 결과로 나타나는 배출은 침수 전의 탄소 저장량의 변화 추정을 위한 이 장에 있는 적절한 방법론을 이용해 추정되어야 한다. 이러한 배출은 배출이 일어나는 해에 추정하여야 한다.

침수와 토양 벌목 후에 변화한 토양에서 발생하는 이산화탄소(CO_2)는 다음과 같은 경로를 통해 일어날 수 있다

- 대기-수체 경계면을 가로지르는 분자 확산을 통한 확산 배출; 이산화탄소(CO_2) 배출의 주요 경로이다.
- 퇴적물에서 수체를 통과해 기포로서 발생하는 기포 배출: 이산화탄소(CO_2) 배출의 매우 미미한 경로이다.
- 탈기, 정수 압력의 갑작스런 변화에 의해 발생하는 배출, 저수지 물이 터빈이나 여수로를 흐를 때 대기/수체 교환 표면적의 증가 등에 의해 발생 한다 (Duchemin, 2000; Helie, 2004; Soumis *et al.*, 2004; and Delmas *et al.*, 2005).

이 부속서는 복잡성 증가에 따라 1단계, 2단계 그리고 3단계라 불리는 세 방법론의 계층을 제시하고 있다.

1, 2 단계는 오직 확산 배출만 추정한다. 3 단계는, 세부적인 측정에 기반 한 것인데, 침수된 토양

으로부터의 이산화탄소(CO_2) 배출의 모든 상대적인 유동을 포함한다. 3 단계는 탈기를 포함하고 연령, 지리학적 분포, 수온 등을 고려한다. 3 단계 방법은 이 부록에서 더 이상 설명하지는 않겠다. 그러나 3 단계를 이용하고자 하는 국가는 각자에 적합한 배출계수를 유도해내기 위해서 박스 2a.1을 참고해야 한다. 3 단계를 사용할 때는 침수지역에서 나오는 배출 계산을 위해서는 저수 기간에 대해 추정하여야 한다. 표 2a.1은 이산화탄소(CO_2) 배출 경로에 관련된 세 가지 방법의 적용 범위를 요약하였다.

박스 2a.1
국가에 합당한 배출계수 유도

국가에 합당한 배출계수를 유도하기 위한 프로그램은 다른 영역과의 잠재적인 중복과 배출의 적절한 기여를 신중하게 고려해야 한다. 예를 들어 유역 내에서 비료 적용이나 하수처리에 의해 최종적으로 배출되는 아산화질소(N_2O)의 경우 침수 지역 분류에 기록하지 말아야 한다.

일반적으로 국가 특정한 배출계수의 유도를 위해서는 저수지 표면으로부터 배출되는 온실기체의 실질적인 측정이 필요하다. 각각의 배출계수는 한 국가 안에서 우점하는 저수지 유형에 대해 개발되어야 한다. 요구되는 노력을 최소화하기 위해 저수지는 우선 저수지들 사이의 변이에 주요한 영향을 주는 계수들, 특히 기후 지대와 지리학적 기본특성들 (pH에 많은 영향을 미치는 계수들)을 고려한 카테고리들로 유형화 하여야 한다. 지도들과 국가적 생태학 분류는 이 업무를 수행할 때 유용할 수 있다.

각 저수지 카테고리 안에서, 측정 전략은 대표적인 유동 값을 얻기 위해 필요할 경우, 저수지 수명, 지형학적 특성, 관리 카테고리, 영양 염류 상태와 다른 연관된 계수들을 이용해 계획되어야 한다. 마지막으로 어떤 단일 저수지 내에서든, 엄격히 계획된 유동 샘플링 구조가 물의 깊이와 조류, 연안으로부터의 근접성과 수생 식물의 존재에 따른 공간적 다양성, 일주와 계절적 순환에 따른 시간적인 변이 등을 고려하기 위해 적용되어야 한다. 유동 측정은 전체 해에 걸쳐 이루어져야 하며, 되도록 수년에 걸친 측정이 좋다.

유용한 정보는 다음 참고문헌들에서 구할 수 있다. Therrien *et al., 2005; Duchemin et al., 2006; Delmas et al., 2005; Abril et al., 2005; Rosa et al., 2004; Soumis et al., 2004; Tavares de lima, 2002; Huttunen et al., 2002; Duchemin, 2000; Duchemin et al., 1999; Rosa et al., 1996; and Duchemin et al., 1995.*

배출계수의 개발은 확산, 기포, 그리고 탈기 등 우세한 배출 형태를 고려해야 한다. 저수지의 상류와 하류에 있는 다양한 위치에서의 메탄(CH_4)과 이산화탄소(CO_2)의 수중 농도 측정은 탈기 배출을 추정하기 위해 필요하다.

표 2A.1 침수지로 전환된 토지에서 CO_2 배출 경로와 단계	
	CO_2
1 단계	• 확산 배출
2 단계	• 확산 배출
3 단계	• 모든 배출

방법의 선택

그림 2a.1의 순서도는 적당한 단계를 선택하는 과정을 통해 인벤토리 컴파일러를 보여준다. 단계 선택과 인벤토리 제공 기관들 간에 나타나는 시공간적 편차는 활성도와 배출계수 가용성 뿐 아니라 전국가의 온실기체 배출에 있어서 저수지가 기여하는 정도에 달려있다.

단계 1

단계 1은 기본적인 배출계수와 매우 결합시킨 지역 데이터를 이용하여 저수지로부터 이산화탄소(CO_2) 배출을 추정하는 단순화된 방식이다. 단계 1에 포함된 유일한 이산화탄소(CO_2) 배출 경로는 얼음이 없는 동안에 일어나는 확산이다. 얼음이 덮여 있는 동안의 이산화탄소(CO_2) 확산 배출은 0으로 추정한다. 기본적인 가설은 이산화탄소(CO_2) 배출이 침수가 일어난 후 첫 번째 10년 동안에만 제한된다는 것이고, 그 이후의 이산화탄소(CO_2) 배출은 다른 지역 (상류의 농업지역)으로부터 저수지에 들어온 탄소(C)로부터 일어난다는 것이다. 제2장의 식 2.16은 지상부 생체량이 침수 전에 제거되었다면 토양이 침수 지역으로 변환된 것으로 인한 지상부 생체량의 탄소(C) 축적량 변화를 추정하기 위해 사용될 수 있다. 만약 지상부 생체량이 전소되었다면, 식 2.14나 2.27을 사용할 수 있다 (바이오매스 연소에 따른 배출). 또한, 아래 서술된 유동식은 벌목되지 않은 탄소(C)로부터의 이산화탄소(CO_2) 배출을 추정하기 위한 모든 경우에 사용될 수 있다.

조사지에 남겨진 지상부 생체량의 분해와 토양 유기물은 둘 다 배출에 기여할 것이다. 식 2a.1은 이러한 이산화탄소(CO_2) 배출에 대한 단계 1 방법을 보여준다.

식 2a.1
침수지로 전환된 토지에서 배출되는 CO_2 (단계 1)

$$CO_2Emissions_{LWflood} = P \bullet E(CO_2)_{diff} \bullet Af_{lood,total\_surface} \bullet f_A \bullet 10^{-6}$$

여기서:

$CO_2Emissions_{LWflood}$ = 침수지로 전환된 토지로부터의 전체 CO_2 배출량, *Gg* CO_2 yr^{-1}

P = 1년 동안 얼음이 덮이지 않은 날 수. days yr^{-1}

$E(CO_2)_{diff}$= 일일 확산 배출 평균량, kg CO_2 ha^{-1} day^{-1}

$Af_{lood,total\_surface}$ = 침수지역, 호수, 강을 포함한 전체 저수지 표면적, ha

f_A = 최근 10년 내 침수된 전체 저수지 지역의 분율

식 2a.1로 추정된 이산화탄소(CO_2) 배출은 매우 불확실하다. 왜냐하면 기본적인 배출계수가 장소-특이적 조건과 침수 후의 시간의 차이를 고려하지 않기 때문이다. 식 2a.1의 사용은 또한 식 2.14, 2.16 또는 2.27과 함께 쓰일 때 배출을 과다 추정할 수 있다. 단계 2 방법을 쓰는 국가는 침수 후 이산화탄소(CO_2) 배출의 적절한 시간적 변화를 좀 더 정확히 나타낼 수 있다.

단계 2

단계 2에서는 국가-특이적 배출계수를 사용하여 이산화탄소(CO_2) 확산 배출을 추산한다. 단계 2에서는 저수지에서 유래한 이산화탄소(CO_2) 배출을 식 2a.2에 나타난 방식을 따라 추정한다. 단계 1의 경우와 마찬가지로, 국가-특이적 연구 결과가 다른 경향을 보이지 않는 한, 단계 2를 사용할 때 침수된 지역으로 전환된 지역으로부터의 이산화탄소(CO_2) 배출은 침수 후 10년 동안만 적용해야 한다. 확산 배출량 추정은 저수지가 얼음이 덮였을 시기와 덮이지 않았을 시기를 구분하는 데에도 적용될 수 있다 (Duchemin *et al.*, 2006). 이는 추운 기후에 해당하는 나라에 있어 정확성이 더 개선된다는 의미를 나타낼 수도 있다. 침수지역 면적은 더 나아가 기후지역, 지리학적 요소 또는 상자 2a.1에 나열된 연관된 변수들에 의해 분해 될 수 있다.

식 2a.2

침수지로 전환된 지역에서 배출되는 CO_2 (단계 2)

$$CO_2Emissions_{LWflood} = \left[\frac{\left((P_f \bullet E_f(CO_2)_{diff}) + (P_i \bullet E_i(CO_2)_{diff})\right) \bullet}{\left(A_{flood,surface} \bullet f_A \bullet 10^{-6}\right)}\right]$$

여기서:

$CO_2Emissions_{LWflood}$ = 침수지로 전환된 토지로부터의 전체 CO_2 배출량, *Gg* CO_2 yr^{-1}

P_f = 얼음이 덮이지 않은 기간, days yr^{-1}

$P_{i□}$ = 얼음이 덮인 기간, days yr^{-1}

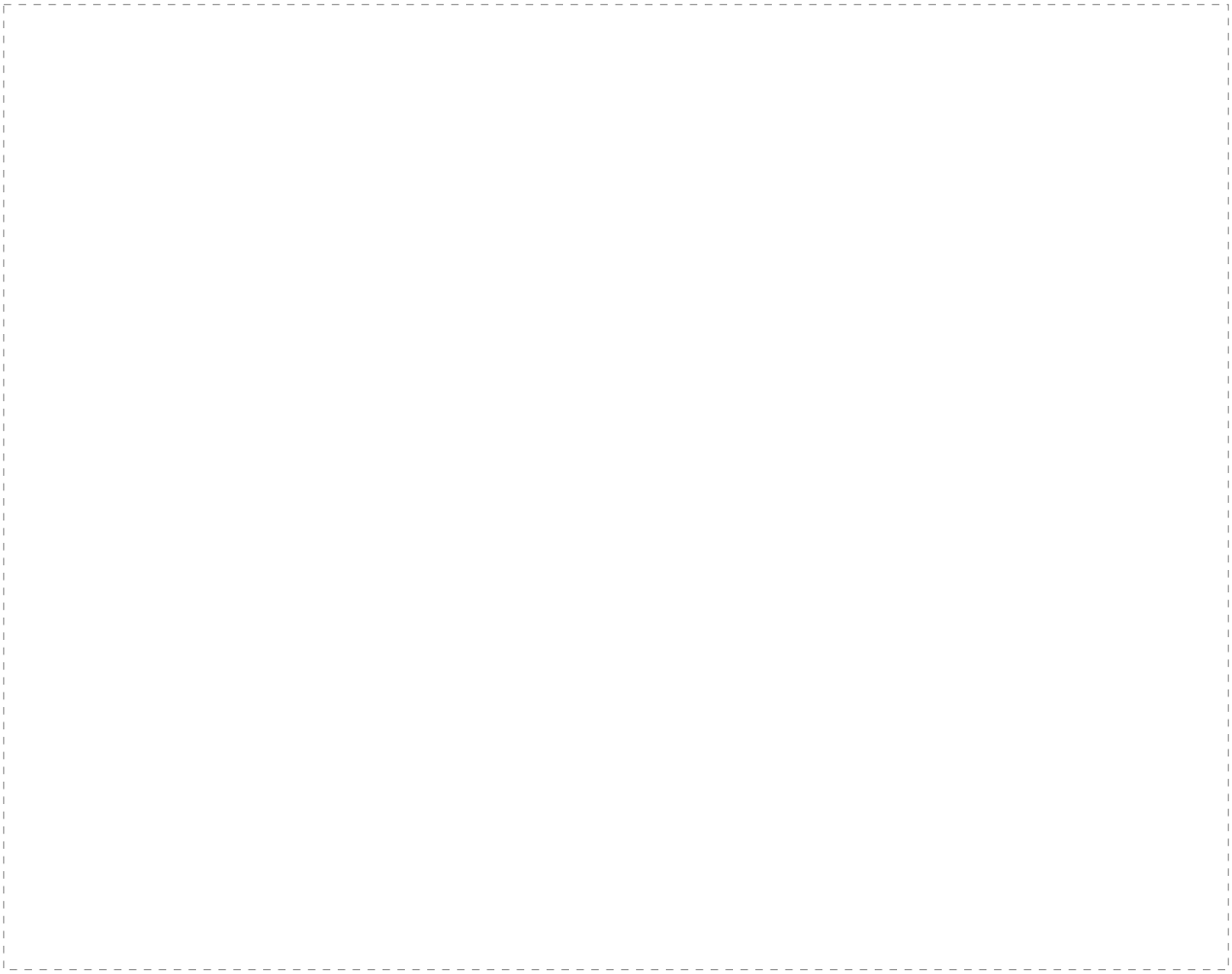
$E_f(CO_2)_{diff}$ = 얼음이 덮이지 않은 기간 동안 대기와 수체 경계를 통한 평균 일일 확산 배출량, kg CO_2 ha^{-1} day^{-1}

$E_i(CO_2)_{diff}$ = 얼음이 덮인 기간 동안 대기와 수체 경계를 통한 평균 일일 확산 배출량, kg CO_2 ha^{-1} day^{-1}

$A_{flood,total\_surface}$ = 침수지, 호수, 강을 포함한 전체 저수지 표면적, ha

f_A = 최근 10년 내 침수된 전체 저수지 지역의 분율

그림 2a.1. 적절한 단계를 선택하기 위한 순서도



단계 3

이산화탄소(CO_2) 배출량 추정을 위한 3단계 방법은 종합적이다. 또한, 이산화탄소 배출 경로에 따라 탈기 배출 (degassing emission)과 같은 국가별 특수한 데이터 자료를 포함하여야 한다. 배출계수는 모든 가능한 배출원의 시간적 지역적 변이로 나눌 수 있다. 3 단계에서는 이중으로 계산되는 것을 피하기 위해 범람된 유기물 분해에서 유래한 것과 강의 유역의 유기물 분해에서 유래되는 것을 나누었다.

배출계수의 선택

단계 1 방법을 적용하기 위한 주요 기본 값은 이산화탄소의 확산을 통한 배출계수이다. 표 2a.2는 다양한 기후대에서 측정한 배출량을 나타낸다. 측정된 배출량은 배출원의 수표면과 대기 사이와 같은 배출원에서의 알려진 지역적 (배출원 내부와 지역간 변이), 시간적 변이 (건기/우기 및 계절적 변이, 연간 변이)를 모두 포함하였다. 단계 1은 해빙기만 고려하였다. 결빙기 기간의 이산화탄소 배출은 실제로는 배출이 일어나고 있음에도 불구하고, '0'으로 가정했다. 모든 데이터 자료는 수력 발전이나, 홍수 제어를 위한 저수지에서 얻었다.

단계 2에서는 가능한 국가별 배출계수를 사용해야 했고, 겨울(결빙기)기간의 배출이 포함되었다. 국가별 배출계수의 산정은 박스 2a.1에 설명되어 있다. 국가별 배출계수의 산정은 명백하게 증명되어진 것이어야 하며, 인정할 수 있는 종설을 통해 출판된 것이어야 한다. 박스 2a.1의 가이드라인은 단계 3에서의 배출계수 산정에도 적용가능하다.

활동자료의 선택

몇몇의 다른 종류의 활동도 데이터는 국가 영토 내부의 잠재적인 배출원의 지역적, 시간적 변이에 따른 범람된 지역에서의 배출에 대한 추정이 필요하다.

침수지

단계 1에서는 전체 저수지와 지난 10년간 침수된 비(f_A)가 필요하다. 더 높은 단계에서의 사용을 위해서는 범람된 지역의 분포에 대한 정보와 상응하는 시간에 따른 세밀한 배출 분석이 필요하다. 각 국가는 배수지역 분석(drainage basin cover analysis), 국가 댐 데이터베이스, 국제 대댐회 (International Commission on Large Dams: ICOLD, 1998) 또는 세계 댐 위원회(World Commission on Dam : WCD, 2000)의 보고서를 이용해 범람 지역에 대한 정보를 얻을 수 있다. 범람 지역은 빠르게 변화하기 때문에, 각 국가는 최신의 갱신된 저수지 면적 데이터를 사용하여야 한다. 2단계 보다 낮은 단계에서, 활동도 데이터는 적절한 카테고리에 의해 나눠져야 했다. 2단계와 3단계에서, 각 국가는 박스 2a.1에 나와 있는 것과 같은 저수지의 이름, 타입, 지형 좌표, 연간 저수량, 표면적, 깊이, 유출률 등의 계수에 관한 최신의 데이터나 정보를 포함한 국가 저수지 정보를 만들어야 한다.

결빙기/ 해빙기

모든 단계에서, 이산화탄소 배출 추정을 위해서는 저수지의 결빙이나, 해빙 기간에 대한 정보가 필요하다. 이러한 정보는 국가 기상 서비스에서 얻을 수 있다.

유출/방수 용량

단계 3에서는 이산화탄소(CO_2) 배출 추정을 위해서 범람된 지역의 유출 및 방수 용량이 필요하다.

댐의 상류 및 하류에서의 이산화탄소(CO_2) 농도

단계 3에서는 탈기 배출(degassing emission)의 추정을 위해, 댐의 상류 및 하류에서의 이산화탄소(CO_2) 농도가 필요하다. 이의 측정을 위한 기술에 대한 정보는 박스 2a.1에 나와 있는 참고문헌들로부터 얻을 수 있다.

표 2A.2

침수지에서 측정된 CO_2 배출량

기후	확산성 배출(해빙기) $E_f(CO_2)_{diff}$(kg CO_2 ha^{-1} day^{-1})					참고문헌
	중간값	최소값	최대값	측정 개수 (N_m)	조사된 저수지 개수(N_{res})	
극/아한대 습윤 지역	11.8	0.8	34.5	1011	20	Bergström *et al.*, 2004; Åberg *et al.*, 2004; Huttunen *et al.*, 2002
춥고 습한 지역	15.2	4.5	86.3	633	20	Duchemin, 2000; Schlellhase et al., 1994 ; Duchemin *et al.*, 1999 ;Duchemin *et al.*, 1995; Tremblay et al., 2005
따뜻하고 습한 지역	8.1	-10.3	57.5	507	33	Duchemin, 2000; Duchemin, 2002a ; St-Louis *et al.*, 2000; Smith and Lewis, 1992 ; Tremblay *et al.*,2005
따뜻하고 건조한 지역	5.2	-12.0	31.0	390	43	Soumis *et al.*, 2004 ; Therrien *et al.*, 2005
열대, 습윤 지역	44.9	11.5	90.9	642	7	Keller and Stallard, 1994; Galy-Lacaux *et al.*, 1997; Galy-Lacaux, 1996; Duchemin *et al.*, 2000; Pinguelli Rosa *et al.*, 2002; Tavares de lima *et al.*, 2002; Tavares de lima, 2005
열대, 건조한 지역	39.1	11.7	58.7	197	5	Pinguelli Rosa *et al.*, 2002; Dos Santos, 2000

두 번째 줄의 값은 각각의 문헌에서 측정된 이산화탄소 배출 값들의 중간값이다. 측정 빈도 분포가 불규칙적이고, 각각의 평균값들이 극값에 의해 이미 왜곡되어 있기 때문에 중간값을 사용하였다. 최소 및 최대값은 주어진 기후지역에서의 가장 낮은 값과 가장 높은 값을 의미한다. 이 값은 각각의 변이를 나타낸다.

N_m= 측정 개수, N_{res}: 조사된 저수지 개수

이러한 측정들은 인위적 배출이 아닌 것을 포함할 수 있을 수 있다(예: 상류 지역에서 배출된 이산화탄소). 또한, 인위적 배출이 이중으로 계산되었을 수 있기 때문에(예: 저수지역의 도시지역에서의 폐수), 과대평가 되었을 수 있다.

불확도 평가

저수지에서 발생되는 온실 기체 배출의 추정에 있어 가장 큰 불확도를 가지는 두 가지 배출원은 여러 경로의 배출계수(확산, 기포, 탈기)와 저수지 표면적의 추정이다.

배출계수

표 2a.2에서 나타난 이산화탄소(CO_2) 확산 배출은 아한대와, 온대지역에서는 10자리에서 100자리 수까지, 열대 지방에서는 한자리에서 100배까지 차이가 날 수 있다. 그러므로 표 2a.2에서 제시된 배출계수를 사용하는 것은 큰 불확도를 초래한다. 첫 10년간은 저수지의 연령에 따라 이산화탄소(CO_2) 거동에 큰 차이가 있으므로, 이러한 방법은 이산화탄소 배출을 과소평가 할 수 있다.

온대 지방과 열대 지방에서 특수하게 나타나는 이산화탄소(CO_2) 탈기 배출은 3단계에서 불확도의 큰 원인이 된다. 몇몇의 연구들에 따르면, 이러한 이산화탄소 배출은 온대 건조한 지역과 온대 습윤한 저수지에서 배출되는 전체 이산화탄소(CO_2) 양의 30%에 이르기도 한다 (Soumis *et al.*, 2004). 추운 온대 지역에서 탈기 이산화탄소(CO_2) 배출은 저수지에서 배출되는 전체 이산화탄소 양의 5%보다 적다 (Duchemin 2000; Hélie, 2003).

배출계수에서의 불확도를 줄이기 위해서는, 국가에서 생태계 연구의 시간적, 지역적 변이를 고려한 정확하고 통계적으로 검증된 시료 채취 방법을 개발하여야 한다.

침수지의 표면적

댐 뒤쪽의 침수 지역에 대한 정보는 국가 통계 정보를 통해 이용 가능하여야 하며, 10% 범위 내의 정확도를 가져야 한다. 댐에 대한 국가 데이터베이스를 이용 할 수 없는 지역에서는 다른 정보를 이용하여야 한다. 특히 넓은 지역의 침수 지역을 가지고 있는 지역의 댐 뒤쪽의 침수지역 면적은 50%가 넘는 불확도를 가지고 있다. 작은 댐들의 위치나 타입, 기능에 대한 정보는 얻기 어렵지만, 이용 가능한 데이터를 바탕으로 한 저수지의 크기 분포를 기본으로 한 통계적 추정은 가능하다. 저수지는 여러 목적에 의해 축조 되고, 이의 영향에 대한 가능한 데이터나 표면적에 대한 불확도는 국가별 상황에 따라 다르다.

참고문헌

Åberg, J., Bergström, A.K., Algesten, G., Söderback, K. and Jansson, M. (2004). A comparison of the carbon balances of a natural lake (L. Östräsket) and a hydroelectric reservoir (L. Skinnmuddselet) in northern Sweden, Water Research, 28, 531-538.

Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, A.M. and Matvienko, B. (2005). Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana). Global Biogeochemical Cycle (in press).

Bergström, A.K., Algesten, G., Sobek, S., Tranvik, L. and Jansson, M. (2004). Emission of CO_2 from hydroelectric reservoirs in northern Sweden, Arch. Hydrobiol., 159, 1, 25-42.

Cole, J.J. and Caraco, N.F. (2001). Carbon in catchments: connecting terrestrial carbon losses with aquatic metabolism. Marine and Freshwater Research, 52:101-110

Delmas, R.. Richard, S., Guérin, F., Abril, G., Galy-Lacaux, C., Delon, C. and Gr□goire, A. (2005). Long Term Greenhouse Gas Emissions from the Hydroelectric Reservoir of Petit Saut (French Guiana) and Potential Impacts. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (Eds.). Greenhouse gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 293-312.

dos Santos, M.A. (2000). Inventário emissões de gases de efeito estufa derivadas de Hidréletricas, PhD. Dissertation, University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 154p.

Duchemin, E., Lucotte, M., Canuel, R. and Soumis, N. (2006). First assessment of CH_4 and CO_2 emissions from shallow and deep zones of boreal reservoirs upon ice break-up, Lakes and Reservoirs: Research and Management, 11:9-19.

Duchemin É. (2000). Hydroelectricity and greenhouse gases: Emission evaluation and identification of biogeochemical processes responsible for their production, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 321 p (available on CD-ROM).

Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R. and Chamberland, A. (1995). Production of the greenhouse gases CH_4 and CO_2 by hydroelectric reservoirs of the boreal region, Global Biogeochemical Cycles, 9, 4, 529-540.

Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R., Almeida Cruz, D., Pereira, H.C., Dezincourt, J. and Queiroz, A.G. (2000). Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir and from other reservoirs worldwide, Verh. Internat. Verein. Limnol., 27, 3, 1391-1395.

Duchemin, É., Canuel, R., Ferland, P. and Lucotte, M. (1999). Étude sur la production et l'émission de gaz à effet de serre par les réservoirs hydroélectriques d'Hydro-Québec et

des lacs naturels (Volet 2), Scientific report, Direction principal Planification Stratégique - Hydro-Québec, 21046-99027c, 48p.

Fearnside, P.M. (2002). Greenhouse gas emissions from a hydroelectric reservoir (Brazil's Tucurui dam) and the energy policy implications, Water Air and Soil Pollution 133, 1-4, 69-96. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use Ap2.8 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Galy-Lacaux, C. (1996). Modifications des échanges de constituants mineurs atmosphériques liées à la création d'une retenue hydroélectrique. Impact des barrages sur le bilan du méthane dans l'atmosphère, PhD dissertation, Université Paul Sabatier, Toulouse (France), 200 p.

Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Jambert, C., Dumestre, J.-F., Labroue, L., Richard, S. and Gosse, P. (1997). Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: a case study in French Guyana, Global Biogeochemical Cycles, 11, 4, 471-483.

Hélie, J.F. (2004). Geochemistry and fluxes of organic and inorganic in aquatic systems of eastern Canada: examples of the St-Lawrence River and Robert-Bourassa reservoir: Isotopic approach, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 205p.

Houel, S. (2003). Dynamique de la matière organique terrigène dans les réservoirs boréaux, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 121p.

Huttunen, J.T., Alm, J., Liikanen, A., Juutinen, S., Larmola, T., Hammar, T., Silvola, J. and Martikainen, P.J. (2003). Fluxes of methane, carbon dioxide and nitrous oxide in boreal lakes and potential anthropogenic effects on the aquatic greenhouse gas emissions, Chemosphere, 52, 609-621

Huttunen, J.T., Väisänen, T.S., Hellsten, S.K., Heikkinen, M., Nykänen, H., Jungner, H., Niskanen, A., Virtanen, M.O., Lindqvist, O.V., Nenonen, O.S. and Martikainen, P.J. (2002). Fluxes of CH_4, CO_2, and N_2O in hydroelectric reservoir Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland, Global Biogeochemical Cycles, 16, 1, doi:10.1029/2000GB001316.

International Commission on Large Dams (ICOLD) (1998). World register of Dams 1998. Paris. International Comittee on large Dams (Ed.). Metadatabase.

Keller, M. and Stallard, R.F. (1994). Methane emission by bubbling from Gatun lake, Panama, J. Geophys. Res., 99, D4, 8307-8319.

Rosa, L.P., Schaeffer, R. and Santos, M.A. (1996). Are hydroelectric dams in the Brazalian Amazon significant sources of greenhouse gases? Environmental Conservation, 66, No. 1: 2-6. Cambridge University Press.

Rosa, L.P., Santos, M.A., Matvienko, B., Santos, E.O. and Sisar, E. (2004). Greehouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical Regions, Climatic Change, 66: 9-21.

Rosa, L.P., Matvienko Sikar, B., dos Santos, M.A., Matvienko Sikar, E. (2002). Emissoes de

dioxido de carbono e de metano pelos reservatorios hydroelectricos brasileiros, Relatorio de referencia Inventorio brasileiro de emissoes antropicas de gase de efeito de estufa, Ministerio da Ciencia e tecnologia, Brazil, 199p.

Schlellhase, H.U. (1994). B.C. Hydro Strategic R&D; Carbon project - Reservoir case study, Powertech Labs inc., Final Report, 1-57.

Smith, L.K. and Lewis, W.M. (1992). Seasonality of methane emissions from five lakes and associated wetlands of the Colorado Rockies, Global Biogeochemical Cycles, 6, 4, 323-338

Soumis, N., Lucotte, M., Duchemin, É., Canuel, R., Weissenberger, S., Houel, S. and Larose, C. (2005). Hydroelectric reservoirs as anthropogenic sources of greenhouse gases. In Water Encyclopedia. Volume 3: Surface and agricultural water, sous la dir. de J. H. Lehr et J. Keeley. p. 203-210. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Soumis, N., Duchemin, É., Canuel, R. and Lucotte, M. (2004). Greenhouse gas emissions from reservoirs of the western United States, Global Biogeochem. Cycles, 18, GB3022, doi:10.1029/2003GB002197.

St-Louis, V., Kelly, C.A., Duchemin, É., Rudd, J.W.M. and Rosenberg, D.M. (2000). Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases: A global estimate, Bioscience, 50, 9, 766-775.

Tavares de Lima, I. (2005). Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon hydroreservoirs, Chemosphere, In Press

Tavares de Lima, I. (2002). Emissoa de metano em reservatorio hidreletricos amazonicos atraves de leis de potencia (Methane emission from Amazonian hydroelectric reservoirs through power laws), PhD Dissertation, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil, 119 p.

Therrien, J. (2005). Am□nagement hydroélectrique de l'Eastmain-1 – Étude des gaz à effet de serre en milieux aquatiques 2003-2004. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. à la Société d'énergie de la Baie James. 48 p. et annexes.

Therrien, J. (2004). Flux de gaz à effet de serre en milieux aquatiques - Suivi 2003. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. présenté à Hydro-Québec. 52 p. et annexes. Appendix 2: Estimating CO_2 emissions from lands converted to permanently flooded lands 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Ap2.9

Therrien, J., Tremblay, A. and Jacques, R. (2005). CO_2 Emissions from Semi-arid Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm et M. Garneau (Eds.). Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 233-250.

Tremblay, A., Therrien, J., Hamlin, B., Wichmann, E. and LeDrew, L. (2005). GHG Emissions from Boreal Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (Eds.). Greenhouse gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series,

Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 209-231.

WCD (2000). Dams and Development a New Framework for Decision-Making, The Report of the World Commission on Dams, Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA, 356 p.

부록 3 침수지에서의 CH_4 배출: 미래의 방법론적 개발을 위한 근거

이 장에서는 완료된 가이드라인이라기보다는 미래의 방법론 개발에 대한 근거를 소개 하려한다.

침수된 지역에서는 저수지의 연령이나 깊이, 침수 이전의 토지 이용도, 기후, 관리 방법과 같은 여러 요인들에 따라 상당한 양의 메탄 기체를 배출한다. 이산화탄소 배출과 달리, 메탄 배출은 시간적, 공간적으로 큰 변이를 보인다. 현재 침수지에서의 메탄 기체 거동의 측정은 배출에 대한 정확한 기본값을 정하기에는 충분하지 않다 (특히 기포를 통한 배출과 탈기 배출). 게다가 인도, 중국, 러시아와 같이 상당한 지표가 물에 잠겨 있는 나라들의 경우 가용한 자료들이 없다.

아한대 지방과 온대 지방의 저수지에서 메탄 거동에 관하여 측정한 연구에 따르면, 메탄 거동은 침수 후 경과 시간에 크게 영향을 받지 않는 결과를 나타냈다. 그러나 열대 지방에서는 침수 후 경과 시간이 확산이나 기포, 탈기 배출을 통한 메탄의 배출에 유의한 영향을 주는 결과를 보였다. 이러한 결과는 프랑스령 가이아나에 위치한 Petit-Saut 저수지에서만 나타났지만 (Abril *et al.*, 2005), 몇몇의 열대 저수지에서는 기포를 통한 배출이 높았다(Duchemin *et al.*, 2000; Stallard and Keller, 1994). Petit-Saut 저수지에서 개발된 모델이 아이보리코스트에서의 용해된 메탄 농도 예측에 매우 잘 맞았다 (Galy-Lacaux *et al.*., 1998).

침수된 지역에서 메탄은 주로 침수된 토양에서 발생되고, 발생된 기체는 수층과 대기의 경계면에서 머무를 수 있다는 증거가 있다 (Houel, 2003; Duchemin, 2000; Abril *et al.*, 2005).

3a.1 침수된 상태로 유지되는 침수지

이 장에서는 침수된 상태로 유지되는 침수지에서 메탄 배출량을 산정하는 방법에 대한 정보를 제공할 것이다. 이 정보들은 이용 가능한 문헌들로부터 산출되었고, 이러한 배출원에서 메탄 배출량을 미리 예측해 보려 하는 나라들에는 유용하게 사용될 수 있을 것이라고 생각된다. 침수된 지역에서의 메탄 배출이 상당한 양에 이를 것이라고 예상되고, 이 보고서를 이용하여 배출을 산정해보려는 나라들은 총체적인 불확도를 줄이기 위해 국가별 특수한 요인들에 대한 연구를 진행해야 한다. 이러한 요인들의 개발을 위한 가이드라인은 부록 2의 박스 2a.1에 있다.

3A.1.1 침수된 상태로 유지되는 침수지에서의 CH_4 배출

방법론적 문제점들

침수된 후의 메탄 발생은 다음과 같은 경로로 일어날 수 있다:

- 확산에 의한 배출, 공기와-수표 경계면의 분자 확산에 의한 배출
- 기포를 통한 배출, 기포의 형태로 저층부터 수체를 이동하여 배출; 온대 및 열대 지방에서 메탄 배출의 주요 경로

- 탈기를 통한 배출, 회전, 방수로 인한 공기/수표 경계면의 증가와 같은 급작스러운 압력의 변화로 인한 배출; 얼마 되지 않은 열대 저수지에서의 주요 메탄 배출 경로.

Tier 1 방법에서는 확산에 의한 배출만을 고려하였다. Tier 2 방법은 기포를 통한 배출을 포함하였으며, 가능한 선에서 결빙기와 해빙기를 나누어서 고려하였다. Tier 3 방법은 상세한 측정을 기본으로 모든 침수 지역에서 탈기 배출 및 저수지 전체를 총한 수온, 지형적 위치, 깊이를 고려한 메탄 배출량을 포함한다. 이 장에서의 Tier 3 방법은 장래의 방법을 포함하고 있지 않지만, 각 나라는 Tier 3 방법을 이용하기 위하여 국가별 배출 요소들에 대한 연구를 수행하여야 한다. 표 3a.1에서 세 가지 Tier 방법별로 다루는 메탄 배출 경로에 대하여 요약하였다.

표 3A.1
배출 방법 및 고려 범위 개요

	CH_4
Tier 1	• 확산에 의한 배출
Tier 2	• 확산에 의한 배출 • 기포를 통한 배출
Tier 3	• 모든 배출

다음 장에서는 Tier 2와 Tier 1 방법을 이용한 메탄 배출량 추정에 관하여 기술할 예정이다.

방법의 선택

침수된 지역에서의 메탄 배출은 기포를 통하여, 확산 및 탈기를 통하여 일어난다. 그림 3a.1의 의사결정도는 적절한 선택을 통한 침수지역에서의 메탄 배출에 관한 정보를 제공할 것이다. Tier 선택과 지형적 시간적 정도는 활동도 데이터와 국가 온실 기체 배출에서 저수지역의 중요도와 같은 배출계수에 따라 달라진다. 국가별 과학적 증거 및 데이터는 Tier 1 방법의 기본값보다 항상 더 나은 것이어야 한다.

Tier 1

침수 지역에서의 메탄 배출 추정을 위한 Tier 1 방법은 해빙기의 확산에 의한 배출만 고려한다. 결빙기의 배출은 0이라고 가정한다. 식 3a.1은 표 3a.2에서의 측정된 배출량과 국가별 침수 지역의 넓이를 이용하여 계산 가능하다.

식 3A.1

침수지에서 CH_4 배출량 (Tier 1)

$$CH_4Emission_{WWflood} = P \bullet E(CH_4)_{diff} \bullet A_{flood\_total\_surface} \bullet 10^{-6}$$

여기서:

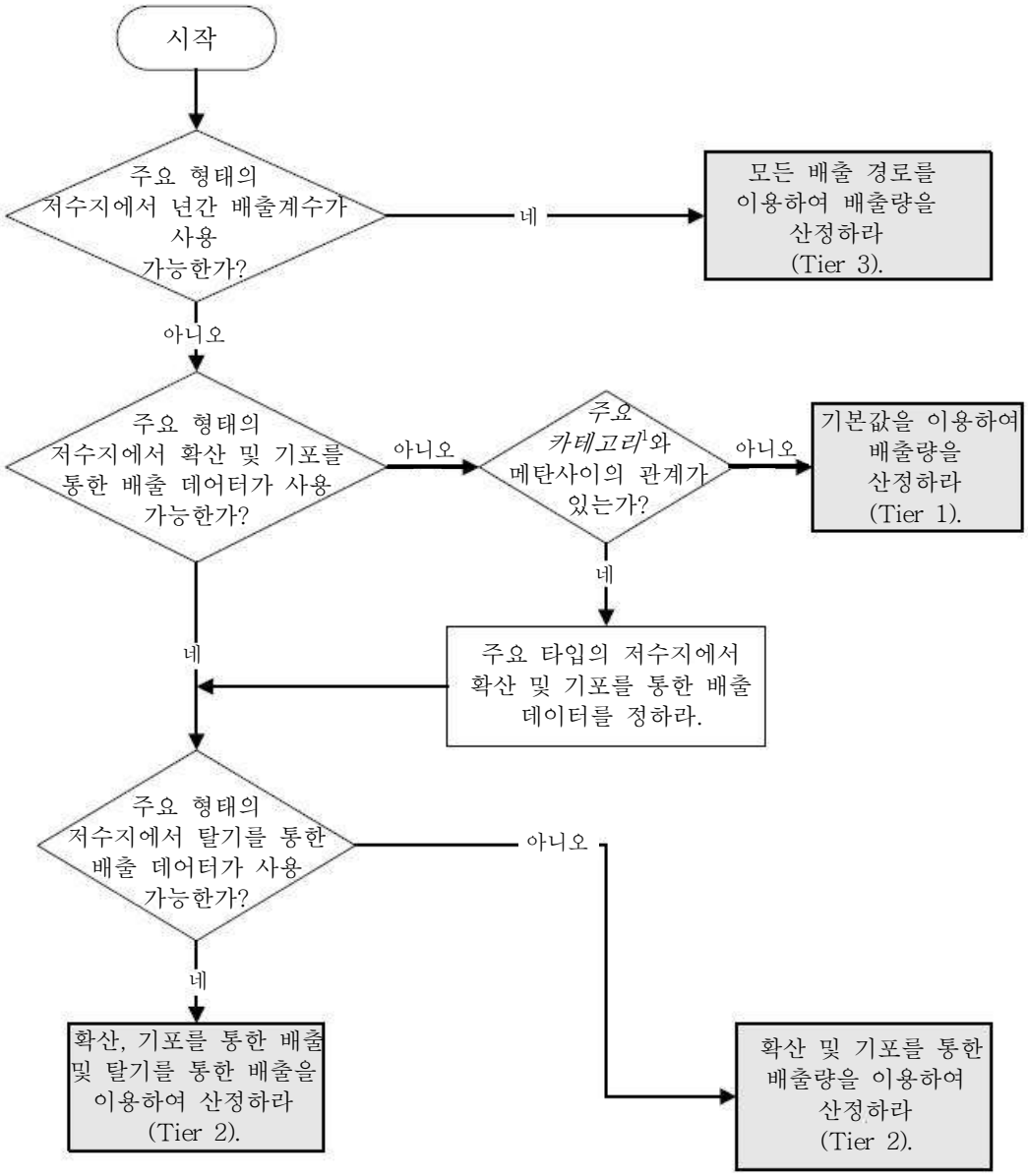
$CH_4Emission_{WWflood}$ = 침수지역에서의 총 메탄 배출량, Gg CH_4 yr^{-1}

P = 해빙기, day yr^{-1} (대부분 년간 추정에서는 365를 이용하거나, 결빙기가 있는 지역에서는 이것보다 적다)

$E(CH_4)_{diff}$ = 확산을 통한 일평균 방출량, kg CH_4 ha^{-1} day^{-1}

$A_{flood\_total\_surface}$ = 침수된 땅, 호수, 강 등을 포함한 침수된 지역의 표면적, ha

그림 3a.1 침수된 상태로 유지되는 침수지에서 CH_4 배출량 산정을 위한 의사결정도



주:

1: *주요 카테고리*와 의사 결정도 사용을 위하여 제1권 제2장의 "방법적 선택과 주요 카테고리의 확인" 참고 (4.1.2장)

2: 카테고리 전체에 대하여 배출/흡수가 25~30% 에 이르는 경우에 하위 카테고리가 의미 있다.

Tier 2

Tier 2 방법을 이용한 메탄 배출량 추정을 위해서는 국가별 확산 및 기포를 통한 배출계수와 가능하다면 결빙기 및 해빙기 동안의 확산 및 기포를 통한 배출계수를 알아야 한다. 저수지역은 부록 2장의 박스 2a.1에서 나누어져 있는 기후대에 따라 나누어져야 한다. 이 방법은 식 3a.2에 기술되어 있다.

식 3A.2
침수지에서 CH_4 배출량 (Tier 2)

$$CH_4 Emissions_{WWflood} = \begin{bmatrix} \left(P_f \bullet Ef(CH_4)_{diff} \bullet A_{flood,surface}\right) + \\ \left(P_f \bullet Ef(CH_4)_{bubble} \bullet A_{flood,surface}\right) + \\ \left[P_i \bullet \left(E_i(CH_4)_{diff} + E_i(CH_4)_{bubble}\right) \bullet A_{flood,surface}\right] \end{bmatrix}$$

여기서:

$CH_4Emission_{WWflood}$ = 침수지역에서의 총 메탄 배출량, Gg CH_4 yr^{-1}

P_f = 해빙기, day yr^{-1}

P_i= 결빙기, day yr^{-1}

$E_f(CH_4)_{diff}$ = 해빙기 동안 확산을 통한 일평균 방출량, kg CH_4 ha^{-1} day^{-1}

$E_f(CH_4)_{bubble}$ = 해빙기 동안 기포를 통한 일평균 방출량, kg CH_4 ha^{-1} day^{-1}

$E_i(CH_4)_{diff}$ = 결빙기 동안 확산을 통한 일평균 방출량, kg CH_4 ha^{-1} day^{-1}

$E_i(CH_4)_{bubble}$ = 결빙기 동안 기포를 통한 일평균 방출량, kg CH_4 ha^{-1} day^{-1}

$A_{flood,\ surface}$ = 침수된 땅, 호수, 강 등을 포함한 침수된 지역의 표면적, ha

배출계수의 선택

Tier 1

Tier 1에서의 주요 기본값은 확산을 통한 메탄 방출 계수이다. 표 3a.2에서는 여러 기후대에서 측정된 배출량을 보여주고 있다. 주어진 연구로의 확정을 위하여, 이 연구들은 저수지부터의 지역적 (배출원 내부와 지역간 변이), 시간적 변이 (건기/우기 및 계절적 변이, 연간 변이)를 모두 포함하였다. Tier 1에서의 기본값은 해빙기에만 사용하여야 한다. 결빙기 기간의 메탄 방출은 없는 것으로 가정한다. 기본값의 사용이 용이하지 않을 때에는 국가는 기본값과 비슷한 정도의 배출계수값을 사용하여야 한다(가장 비슷한 기후대의 배출 이용).

Tier 2

Tier 2를 이용하기 위해서는 기존의 기본값에서 더 나아가 국가별 배출계수가 고려되어야 한다. 또한, 국가별 배출계수 산정에 필요한, 겨울의 배출량과 기체를 통한 매탄 배출량이 필요하다. 국가별 배출계수 값과 기본값의 혼합사용은 장래에 모든 범위의 환경 및 관리 상황을 고려하는데 이용될 수 있을 것이다. 국가별 배출계수의 산정은 부록 2장의 박스 2a.1에 설명되어 있다. 국가별 배출계수의 산정은 명백하게 증명되어진 것이어야 하며, 인정할 수 있는 종설을 통해 출판된 것이

어야 한다.

활동자료의 선택

몇몇의 다른 종류의 활동도 데이터는 국가 영토 내부의 잠재적인 배출원의 지역적, 시간적 변이에 따른 범람된 지역에서의 배출에 대한 추정이 필요하다. 이러한 활동도 데이터는 7.3.2장에서 다루었던 이산화탄소 배출과 같은 데이터를 요구한다.

침수지

국가별 침수 면적에 대한 데이터는 확산과 기포에 의한 배출을 산정하기 위해 모든 tier에서 필요로 한다. 이를 대체하기 위해, 각 국가는 배수지역 분석(drainage basin cover analysis), 국가 댐 데이터베이스, 국제 대댐회 (International Commission on Large Dams: ICOLD, 1998) 또는 세계 댐 위원회 (World Commission on Dam : WCD, 2000)의 보고서를 이용해 침수 지역에 대한 정보를 얻을 수 있다. 범람 지역은 빠르게 변화하기 때문에, 각 국가는 최신의 갱신된 저수지 면적 데이터를 사용하여야 한다. 데이터나 정보를 포함한 국가 저수지 정보를 만들어야 한다.

결빙기/ 해빙기

Tier 2,3에서 메탄 배출량 추정을 위해서는 저수지의 결빙이나, 해빙 기간에 대한 정보가 필요하다. 이러한 정보는 국가 기상 서비스에서 얻을 수 있다.

유출/방수 용량

Tier 3에서는 메탄 배출 추정을 위해서 범람된 지역의 유출 및 방수 용량이 필요하다.

댐의 상류 및 하류에서의 CH_4 농도

Tier 3에서 탈기 배출의 추정을 위해, 댐의 상류 및 하류에서의 메탄 농도가 필요하다. 이의 측정을 위한 기술에 대한 정보는 참고 2장의 박스 2a.1에 나와 는 참고문헌들로부터 얻을 수 있다.

불확도 평가

저수지에서 발생되는 온실 기체 배출의 추정에 있어 가장 큰 불확도를 가지는 두 가지 방출지는 여러 경로의 배출계수(확산, 기포, 탈기)를 정하는 것과 저수지 표면적의 추정이다.

배출계수

표 3a.2에서 나타난 것과 같이, 확산 배출은 아한대와, 온대지역에서는 하나에서 두 개 정도, 열대 지방에서는 하나에서 세 개 정도의 차수 차이가 난다. 그러므로 표 2a.2에서 제시된 배출계수를 사용하는 것은 큰 불확도를 초래한다.

탈기를 통한 메탄 배출도 불확도를 초래하는 이유이다. 탈기 방출은 침수된 열대 지방에서의 중요한 온실기체 방출 경로로 (Galy-lacaux *et al.*, 1997), 그 양이 9년 된 저수지의 전체 온실기체 배출량에 40%에 이른다 (Dalmas *et al*, 2005). 반면 많은 수의 저수지에서의 탈기 방출은 작거나 무시할 수 있다 (Duchemin, 2000; Soumis *et al.*, 2004). 따라서 메탄의 탈기 방출 거동에 관한 사용가능한 이론이 적립될 때까지, 탈기 방출은 사례별 연구로 행해져야 한다.

배출계수에서의 불확도를 줄이기 위해서는, 국가에서 생태계 연구의 시간적, 지역적 변이를 고려한 정확하고 통계적으로 검증된 시료 채취 방법을 개발하여야 한다. 또한, 결빙기와 해빙기의 정확한 구분이 이루어 져야 한다 (Duchemin *et al.*, 2005). 이러한 시료 채취 방법에는 충분한 시료 개수와 충분한 저수지의 개수 및 시료 채취 기간에 대해 명시하여야 한다. 시료 채취 지점 개수의

선택은 통계적 접근 방법을 통해 이루어져야한다. 무엇보다 국가는 참고 2장의 박스 2a.1에 나와 있는 계수들에 대해 고려하여야 한다.

침수지의 표면적

대댐(>100km^2) 뒤쪽의 침수 지역에 대한 정보는 국가 통계 정보를 통해 이용 가능하여야 하며, 10% 범위 내의 정확도를 가져야 한다. 댐에 대한 국가 데이터베이스를 이용 할 수 없는 지역에서는 다른 정보를 이용하여야 한다. 특히 넓은 지역의 침수 지역을 가지고 있는 지역의 댐 뒤쪽의 침수지역 면적은 50%가 넘는 불확도를 가지고 있다. 작은 댐들의 위치나 타입, 기능에 대한 정보는 얻기 어렵지만, 이용 가능한 데이터를 바탕으로 한 저수지의 크기 분포를 기본으로 한 통계적 추정은 가능하다. 저수지는 여러 목적에 의해 축조 되고, 이의 영향에 대한 가능한 데이터나 표면적에 대한 불확도는 국가별 상황에 따라 다르다.

표 3A.2

침수지에서 측정된 CH_4 배출량

기후	확산성 배출(해빙기) $E_f(CH_4)_{diff}$(kg CH_4 ha^{-1} day^{-1})					참고문헌
	중간값	최소값	최대값	측정 개수 (N_m)	조사된 저수지 개수(N_{res})	
극/아한대 습윤 지역	0.086	0.011	0.3	253	13	Blais 2005; Tremblay *et al.* 2005; Therrien, 2004; Therrien, 2005; Huttunen *et al.*, 2002; Lambert, 2002; Duchemin, 2000
춥고 습한 지역	0.061	0.001	0.2	233	10	Tremblay *et al.*, 2005; Therrien, 2004; Blais, 2005; Lambert, 2002; Duchemin *et al.*, 1999
따뜻하고 습한 지역	0.150	-0.05	1.1	416	16	Tremblay *et al.*, 2005; Soumis *et al.*, 2004; Duchemin, 2000; Smith and Lewis, 1992
따뜻하고 건조한 지역	0.044	0.032	0.09	135	5	Therrien *et al.*, 2005; Therrien, 2004; Soumis *et al.*, 2004
열대, 습윤 지역	0.630	0.067	1.3	303	6	Tavares de lima, 2005; Abril *et al.*, 2005; Therrien, 2004; Rosa *et al.*, 2002; Tavares de lima *et al.*, 2002; Duchemin *et al*l., 2000; Galy-Lacaux *et al.*, 1997; Galy-Lacaux, 1996; Keller and Stallard, 1994
열대, 건조한 지역	0.295	0.070	1.1	230	5	Rosa *et al.*, 2002; Dos Santos, 2000

두 번째 줄의 값은 각각의 문헌에서 측정된 메탄 배출 값들의 중간값이다. 측정 빈도 분포가 불규칙적이고, 각각의 평균값들이 극값에 의해 이미 왜곡되어 있기 때문에 중간값을 사용하였다. 최소 및 최대값은 주어진 기후지역에서의 가장 낮은 값과 가장 높은 값을 의미한다. 이 값은 각각의 변이를 나타낸다.

N_m= 측정 개수, N_{res}: 조사된 저수지 개수

이러한 측정들은 인위적 배출이 아닌 것을 포함할 수 있을 수 있다(예: 상류 지역에서 배출된 탄소). 또한, 인위적 배출이 이중으로 계산되었을 수 있기 때문에(예: 저수지역의 도시지역에서의 폐수), 과대평가 되었을 수 있다.

3a.2 침수지로 전환된 토지

침수지로의 토지 변화에 대한 실제 지식은 표 3a.2의 측정으로 알아낸 배출량으로부터 알아낼 수 있다. 인벤토리 제작자는 침수지로 변한 토지에서의 메탄 배출을 산정하기 위해 3a.1에 서술된 Tier 1,2,3 방법을 사용하여야 한다.

참고문헌

Abril, G., Guérin, F., Richard, S., Delmas, R., Galy-Lacaux, C., Gosse, P., Tremblay, A., Varfalvy, L., dos Santos, M.A. and Matvienko, B. (2005). Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-years old tropical reservoir (Petit-Saut, French Guiana), Global Biogeochemical Cycle, 19, doi:10292005GB002457.

Blais, A.-M. (2005). Étude des gaz à effet de serre en milieux aquatiques Relevés de terrain 2005. Rapport d'Environnement Illimité à Hydro-Québec Production. 30 p. and annexes.

Delmas, R., Richard, S., Guérin, F., Abril, G., Galy-Lacaux, C., Delon, C. and Grégoire, A. (2005). Long Term Greenhouse Gas Emissions from the Hydroelectric Reservoir of Petit Saut (French Guiana) and Potential Impacts. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (Eds.). Greenhouse gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 293-312.

dos Santos, M.A. (2000). Inventário emissões de gases de efeito estufa derivadas de Hidréletricas, PhD. Dissertation, University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil, 154p.

Duchemin, E., Lucotte, M., Canuel, R. and Soumis, N. (2006). First assessment of CH4 and CO2 emissions from shallow and deep zones of boreal reservoirs upon ice break-up, Lakes and Reservoirs: Research and Management, 11:9-19. Appendix 3: CH4 Emissions from Flooded Land: Basis for Future Methodological Development 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Ap3.7

Duchemin, É. (2000). Hydroelectricity and greenhouse gases: Emission evaluation and identification of biogeochemical processes responsible for their production, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 321 p (available on CD-ROM).

Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R. and Chamberland, A. (1995). Production of the greenhouse gases CH4 and CO2 by hydroelectric reservoirs of the boreal region, Global Biogeochemical Cycles, 9, 4, 529-540.

Duchemin, É., Lucotte, M., Canuel, R., Almeida Cruz, D., Pereira, H.C., Dezincourt, J. and Queiroz, A.G. (2000). Comparison of greenhouse gas emissions from an old tropical reservoir and from other reservoirs worldwide, Verh. Internat. Verein. Limnol., 27, 3, 1391-1395.

Duchemin, É., Canuel, R., Ferland, P. and Lucotte, M. (1999). Étude sur la production et l'émission de gaz à effet de serre par les réservoirs hydroélectriques d'Hydro-Québec et des lacs naturels (Volet 2), Scientific report, Direction principal Planification Stratégique - Hydro-Québec, 21046-99027c, 48p.

Galy-Lacaux, C. (1996). Modifications des échanges de constituants mineurs atmosphériques

liées à la création d'une retenue hydroélectrique. Impact des barrages sur le bilan du méthane dans l'atmosphère, PhD dissertation, Université Paul Sabatier, Toulouse (France), 200 p.

Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Jambert, C., Dumestre, J.-F., Labroue, L., Richard, S. and Gosse, P. (1997). Gaseous emissions and oxygen consumption in hydroelectric dams: a case study in French Guyana, Global Biogeochemical Cycles, 11, 4, 471-483.

Galy-Lacaux, C., Delmas, R., Kouadio, G., Richard, S. and Gosse, P. (1998). Long-term greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs in tropical forest regions, Global Biogeochemical Cycles, 13, 2, 503-517.

Hélie, J.F. (2004). Geochemistry and fluxes of organic and inorganic in aquatic systems of eastern Canada: examples of the St-Lawrence River and Robert-Bourassa reservoir: Isotopic approach, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 205p.

Houel, S. (2003). Dynamique de la matière organique terrigène dans les réservoirs boréaux, PhD. Dissertation, Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec), Canada, 121p.

Huttunen, J.T., Väisänen, T.S., Hellsten, S.K., Heikkinen, M., Nykänen, H., Jungner, H., Niskanen, A., Virtanen, M.O., Lindqvist, O.V., Nenonen, O.S. and Martikainen, P.J. (2002). Fluxes of CH4, CO2, and N2O in hydroelectric reservoir Lokka and Porttipahta in the northern boreal zone in Finland, Global Biogeochemical Cycles, 16, 1, doi:10.1029/2000GB001316.

International Commission on Large Dams (ICOLD) (1998). World Register of Dams 1998. Paris. International Comittee on large Dams (Ed.). Metadatabase.

Keller, M. and Stallard, R.F. (1994). Methane emission by bubbling from Gatun lake, Panama, J. Geophys. Res., 99, D4, 8307-8319.

Lambert, M. (2002). Campagne d'échantillonnage sur les émissions de gaz à effet de serre des réservoirs et des lacs environnants - Rapport de terrain 2001. Rapport présenté à la Direction Barrage et environnement par la Direction Environnement, Hydro-Québec, 108 p and appendix.

Rosa, L.P., Matvienko Sikar, B., dos Santos, M.A., and Matvienko Sikar, E. (2002). Emissoes de dioxido de carbono e de metano pelos reservatorios hydroelectricos brasileiros, Relatorio de referencia Inventorio brasileiro de emissoes antropicas de gase de efeito de estufa, Ministerio da Ciencia e tecnologia, Brazil, 199p.

Smith, L.K. and Lewis, W.M. (1992). Seasonality of methane emissions from five lakes and associated wetlands of the Colorado Rockies, Global Biogeochemical Cycles, 6, 4, 323-338

Soumis, N., Duchemin, É., Canuel, R. and Lucotte, M. (2004). Greenhouse gas emissions from reservoirs of the western United States, Global Biogeochem. Cycles, 18, GB3022, doi:10.1029/2003GB002197.

Tavares de Lima, I. (2005). Biogeochemical distinction of methane releases from two Amazon

hydroreservoirs, Chemosphere, (in press)

Tavares de Lima, I. (2002). Emissoa de metano em reservatorio hidreletricos amazonicos atraves de leis de potencia (Methane emission from Amazonian hydroelectric reservoirs through power laws), PhD Dissertation, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, Brazil, 119 p.

Therrien, J. (2004). Flux de gaz à effet de serre en milieux aquatiques - Suivi 2003. Rapport de GENIVAR Groupe Conseil Inc. présenté à Hydro-Québec. 52 p. et annexes. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use Ap3.8 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Therrien, J., Tremblay, A. and Jacques, R. (2005). CO2 Emissions from Semi-arid Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm et M. Garneau (Eds.). Greenhouse Gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 233-250.

Tremblay, A., Therrien, J., Hamlin, B., Wichmann, E. and LeDrew, L. (2005). GHG Emissions from Boreal Reservoirs and Natural Aquatic Ecosystems. In Tremblay, A., L. Varfalvy, C. Roehm and M. Garneau (Eds.). Greenhouse gas Emissions: Fluxes and Processes, Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments. Environmental Science Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 209-231.

WCD (2000). Dams and Development a New Framework for Decision-Making, The report of the World Commission on Dams, Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, VA, 356 p.

국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

발 행 : 환경부/환경관리공단
발행일 : 2008년 10월
편 집 : 환경관리공단 온실가스관리팀
인천시 서구 경서동 종합환경연구단지

Tel: 032-560-2190 / Fax: 032-560-2294
e-mail: ghg@emc.or.kr
Website: www.emc.or.kr

* 본 보고서는 환경관리공단 홈페이지(www.emc.or.kr)와 기후변화홍보포털(www.gihoo.or.kr)에서 다운로드 받으실 수 있습니다.