WMO

기후변화에 관한 정부간 협의체

UNEP

국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

제2권



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

제2권

에너지

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

제2권

에너지

총괄 주저자
Amit Garg (인도) and Tinus Pulles (네델란드)

감수 편집자
Ian Carruthers (호주), Art Jaques (캐나다), and Freddy Tejada(볼리비아)

제2권은 정장표 교수(경성대학교) 책임 하에 번역된 후 환경관리공단 온실가스관리팀에서 보완・정리하였습니다.

목 차

제 2권 에너지

제 1장 서론

제 2장 고정 연소

제 3장 이동 연소

제 4장 탈루적 배출(Fugitive Emission)

제 5장 이산화탄소 수송, 주입 및 지중 저장

제 6장 기본 접근법(Reference Approach)

제1장

서론

저자

Amit Garg(인도), Kainou Kazunari(일본), and Tinus Pulles(네델란드)

목 차

1 서론 ····· 1.5
1.1 서론 ····· 1.5
1.2 배출원 카테고리 ····· 1.5
1.3 방법론적 접근법 ····· 1.6
1.3.1 화석연료 연소로 인한 배출 ····· 1.6
1.3.1.1 tiers ····· 1.7
1.3.1.2 tiers의 선택 ····· 1.9
1.3.1.3 다른 인벤토리 접근법과의 관계 ····· 1.12
1.3.2 탈루성 배출 ····· 1.13
1.3.3 CO_2 포집 및 저장 ····· 1.13
1.4 자료수집 이슈 ····· 1.13
1.4.1 활동자료 ····· 1.13
1.4.1.1 연료의 정의 ····· 1.14
1.4.1.2 에너지 단위의 변환 ····· 1.21
1.4.1.3 활동자료 출처 ····· 1.22
1.4.1.4 시계열 일관성(Time series consistency) ····· 1.25
1.4.2 배출계수 ····· 1.25
1.4.2.1 CO_2 배출계수 ····· 1.25
1.4.2.2 기타 온실가스 ····· 1.31
1.4.2.3 간접 온실가스 (Indirect greenhouse gases) ····· 1.31
1.5 인벤토리 산정치의 불확도 ····· 1.31
1.5.1 일반사항 ····· 1.31
1.5.2 활동자료의 불확도 ····· 1.31
1.5.3 배출계수의 불확도 ····· 1.32
1.6 QA/QC 및 완전성 ····· 1.34
1.6.1 기본 접근법 (Reference Approach) ····· 1.34
1.6.2 부문간의 잠재적인 이중계산(double counting) ····· 1.35
1.6.2.1 연료의 비-에너지 용도 ····· 1.35
1.6.2.2 연료로서의 폐기물 ····· 1.35
1.6.3 이동 연소 대 고정 연소 ····· 1.35

1.6.4 국가의 범위 ·····1.36
1.6.5 새로운 배출원 ·····1.36
참고문헌 ·····1.37

그 림

그림 1.1 에너지 부문에서의 활동도 및 배출원 구조 ····· 1.8
그림 1.2 연료연소로부터 배출량 산정을 위한 일반화된 의사결정도 ·····1.11
그림 1.3 연료 연소에 대한 유효한 CO_2 배출계수를 위한 확률분포함수 (PDFs)의 일부 전형적인 예 ·····1.33

표

표 1.1 *2006 IPCC 가이드라인*에서 이용되는 연료 유형의 정의 ·····1.15
표 1.2 순발열량 기본값과 95% 신뢰구간에서 상한값 및 하한값 ·····1.23
표 1.3 탄소함량의 기본값 ·····1.27
표 4.1 연소에 대한 CO_2 배출계수 기본값 ·····1.29

박 스

박스 1.1 총발열량와 순발열량 사이의 변환 ·····1.21

1 서론

1.1 서론

에너지 시스템은 대부분의 국가에서 화석연료의 연소에 의해 주로 구성된다. 연소하는 동안 화석연료의 탄소와 수소는 주로 이산화탄소 (CO_2)와 물 (H_2O)로 전환되며, 연료의 화학적 에너지를 열로 방출한다. 이 열은 일반적으로 직접 사용되거나 전기 생산 혹은 수송을 위한 기계적 에너지 생산(일부 전환손실과 함께) 목적으로 사용된다. 에너지 부문은 일반적으로 온실가스 배출인벤토리에서 가장 중요한 부문이며, 선진국에서는 CO_2 배출의 90% 및 전체 온실가스 배출의 75% 이상의 기여도를 보인다. CO_2 배출량은 에너지 부문 배출의 95%를 차지하고, CH_4과 N_2O가 나머지 부분을 차지하고 있다. 고정 연소(Stationary combustion)는 일반적으로 에너지 부문 온실가스 배출의 약 70%를 차지한다. 이들 배출의 절반가량은 발전소 및 정유공장 등의 에너지 산업에서의 연소에서 이루어진다. 이동 연소(Mobile combustion) (도로 및 기타 교통)의 경우는 에너지 부문 배출의 약 4분의 1정도를 보이고 있다.

1.2 배출원 카테고리

에너지 부문은 주로 다음과 같이 구성된다:

- 1차 에너지원의 탐사 및 개발
- 정유공장 및 발전소에서 1차 에너지원을 사용이 용이한 형태로 전환
- 연료의 운송 및 배분
- 고정형 및 이동형 기기에서 연료의 사용

배출은 연소에 의한 이러한 활동, 즉 탈루성 배출 혹은 연소 없이 유출됨으로써 발생한다.

인벤토리 목적에서, 연료 연소는 공정에 열 내지 기계적 작업을 제공하도록 설계된 장치 내에서 연료의 내부 산화 혹은 장치에서 떨어진 곳에서의 사용으로 정의된다. 이 정의는 독특하고 생산적인 에너지 이용을 위한 연료의 연소를 산업공정에서의 화학반응에서 탄화수소(hydrocarbons)의 이용 내지 산업재(industrial products)로서 탄화수소의 이용으로부터 방출되는 열과 분리하는 것을 목적으로 한다. 이 정의를 가능한 충분히 적용하는 것은 *우수실행(good practice)*이지만 산업공정 및 제품 사용(industrial processes and product use ; IPPU) 부문과 구분이 필요한 경우가 존재한다. 이를 위해 아래의 원칙이 채택되었다:

IPPU 공정을 위한 공급원료로부터 직접적 또는 간접적으로 얻어진 연료로부터의 연소 배출은 일반적으로 공정이 발생한 배출원 카테고리의 부분에 할당될 것이다. 이들 배출원 카테고리는 일반적으로 2B 및 2C이다. 그렇지만, 파생 연료(derived fuels)가 다른 배출원 카테고리에서의 연소를 위해 이전된다면, 배출은 에너지 부문 배출원 카테고리의 적절한 부분(일반적으로1A1 내지 1A2)으로 보고되어야 한다. 예제 및 보다 상세한 내용을 위해 박스 1.1과 IPPU 책자(Volume)의 1장의 1.3.2 절을 참고하라.

가스로부터의 총배출이 계산될 때, 에너지 부문으로 이전된 양은 이중계산(double counting)를 방지하기 위해 IPPU 배출원 카테고리에서 정보항목(information item)으로 기록되고 관련된 에너지 부문 배출원 카테고리에서 보고되어야 한다.

전형적으로, 에너지 부문 배출의 단지 몇 퍼센트가 1차 에너지(energy carriers)의 추출, 전환, 수송로부터 탈루성 배출로서 발생한다. 예는 천연가스의 누출, 석탄채굴 동안의 메탄의 배출, 석유/가스 추출 및 정제 동안의 flaring이다[1]. 국가들이 화석연료의 상당한 양을 생산 내지 수송하는 일부 경우에, 탈루성 배출은 국가총계에 훨씬 큰 기여를 할 수 있을 것이다. 석유 및 가스의 생산, 가공, 처리로부터의 연소 및 탈루성 배출은 연해 지역(offshore areas)을 포함하여 시설의 국가적 영토에 따라 할당되어야 한다 (8장 - 1권의 8.2.1절을 참고). 이들 연해 지역은 다른 국가들과 합의된 경제 수역(economic zone)일 것이다.

그림 1.1은 에너지 부문내에서 활동도 구조와 배출원 카테고리를 보여준다. 이 구조는 *1996 IPCC 가이드라인*에서 정의된 것과 같은 코딩법 및 명명법과 UNFCCC에 의해 이용된 CRF(Common Reporting Format)에 기초한다. 이 권(volume)의 기술적 장들(chapters)은 이 배출원 카테고리 구조를 따른다.

1.3 방법론적 접근법

1.3.1 화석연료 연소로 인한 배출

화석연료 연소로부터 배출량 산정을 위해 *2006 IPCC 가이드라인*에서는 3가지 tier를 제시하고 있다. 추가적으로 기본 접근법(Reference Approach)이 제시된다. 이는 부문별 접근법에 관한 독립적인 검사와 단지 매우 제한된 자원 및 자료 구조가 인벤토리 작성자에게 이용가능하다면 국가적 온실가스 배출의 1차 산정치를 생산하기 위해 이용될 수 있다.

2006 IPCC 가이드라인은 배출되는 종(species)에 따라 탄소 배출을 산정한다. 연소과정에서, 대부분의 탄소는 CO_2로 즉시 배출된다. 그렇지만, 일부 탄소는 일산화탄소 (CO), 메탄 (CH_4), 비메탄 휘발성 유기화합물(NMVOCs ; non-methane volatile organic compounds)로 방출된다. 이들 non-CO_2 종으로 배출된 대부분의 탄소는 결국 대기중에서 CO_2로 산화된다. 이 양은 non-CO_2 가스의 배출 산정치로부터 산정될 수 있다 (제1권, 7장을 참고).

연료 연소의 경우에, non-CO_2 가스의 배출은 CO_2에 비해 매우 적은 양의 탄소를 포함하며, Tier 1의 경우, 연료내 총탄소에 의한 CO_2 산정치에 기초하는 것이 보다 정확하다. 이는 non-CO_2 가스의 배출은 일반적으로 잘 알려지지 않은 기술, 유지관리 등과 같은 많은 요인에 좌우되는 반면에, 연료에서의 전체 탄소는 연료에만 좌우되기 때문이다. 보다 높은 tier에서, 이들 non-CO_2 가스에서의 탄소양이 설명될 수 있다.

CH_4 및 N_2O 배출이 기술에 크게 의존적인 반면에 CO_2 배출은 연소 기술에 독립적이기 때문에, 이 장은 고정형 및 이동형의 모든 연소 과정에 적용가능한 CO_2의 기본 배출계수를 단지 제공한다. 연소기술이 배출원 부문 "연소" 내의 배출원 카테고리들간에 매우 다르므로 이들 하위부문들간에 다를 것이기 때문에, 나머지 가스의 기본적인 배출계수는 다음 장들에서 제공된다.

1 선박, 철도, 도로에 의한 에너지(energy carriers)의 수송으로 인한 연소 배출은 이동 연소 과정에 포함된다는 것을 주목하라.

1.3.1.1 TIERS

TIER 1
연소의 모든 배출원으로부터의 배출은 일반적으로 국가 에너지 통계로부터 연소된 연료의 양과 평균 배출계수에 기초하여 산정될 수 있기 때문에, Tier 1 방법은 연료에 기초한다. Tier 1 배출계수는 모든 관련된 직접적인 온실가스에 이용 가능하다.

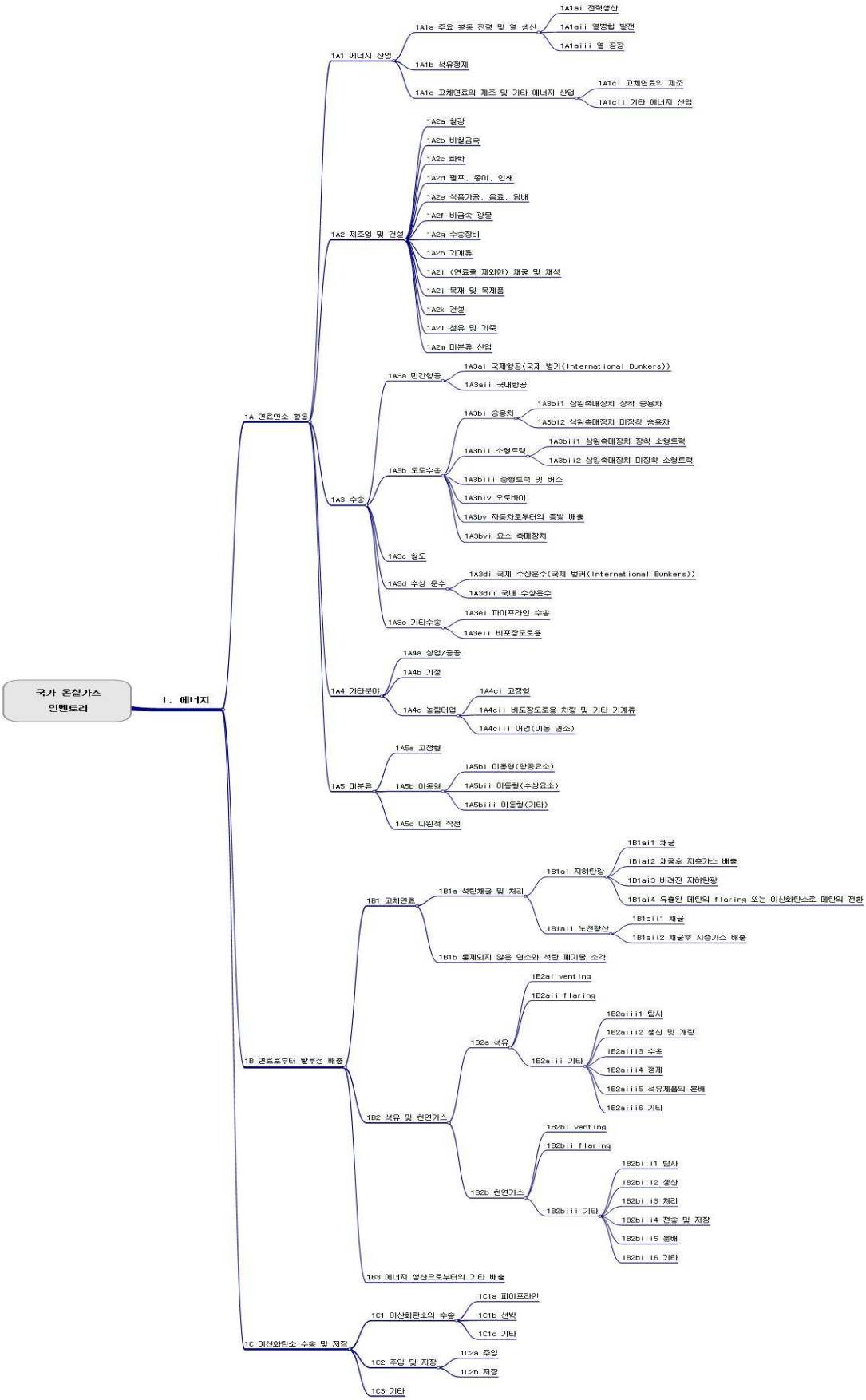
이들 배출계수의 질(quality)은 가스들 간에 다르다. CO_2에 대해, 배출계수는 주로 연료의 탄소 함유량에 의존한다. 연소 조건 (연소 효율성, 슬래그 및 재에 남아있는 탄소 등)은 상대적으로 중요하지 않다. 그러므로, CO_2 배출은 연소되는 연료의 총량과 연료의 평균 탄소함유량에 기초하여 매우 정확히 산정될 수 있다.

그렇지만, 메탄 및 아산화질소의 배출계수는 연소기술 및 작동조건에 의존하며 개별적인 연소 시설들간에 그리고 시간에 따라, 매우 다르다. 이러한 변동성 때문에, 기술적 조건에서의 큰 변동성을 설명해야 하는, 이들 가스에 대한 평균 배출계수의 이용은 상대적으로 큰 불확도를 가져올 것이다.

TIER 2
에너지에 대한 Tier 2 방법에서, 연소로부터의 배출은 Tier 1 방법에서 이용된 것과 유사한 연료 통계치로부터 산정되지만, Tier 1 기본값 대신에 국가 고유의(country-specific) 배출계수가 이용된다. 이용 가능한 국가 고유의 배출계수는 특정한 연료, 연소 기술, 심지어 개별적인 공장에 대해서 다르기 때문에, 이러한 세분화된 조건을 적절히 반영하기 위해 활동자료 역시 보다 세분화되어야 한다. 이러한 국가 고유의 배출계수가 이용된 연료의 다른 카테고리에서의 탄소 함유량에 관한 상세한 자료 또는 해당 국가에서 적용된 연소기술에 관한 상세한 정보가 도출된다면, 산정치의 불확도가 감소할 것이고, 시간에 따른 추세가 보다 잘 산정될 수 있다.

인벤토리 작성자가 non-CO_2 가스에서 배출되거나 달리 산화되지 않은 탄소량의 측정치에 대해 문서화했다면, 이 tier 2의 국가 고유의 배출계수에서 이를 고려할 수 있다. 이것이 어떻게 수행되었는지 문서화하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

그림 1.1 에너지 부문에서 활동도 및 배출원 구조



TIER 3
에너지를 위한 Tier 3 방법에서, 적절한 경우에 개별적인 공장 수준의 상세한 배출모형 내지 측정치 및 자료가 이용된다. 적절히 적용된다면, 보다 상세한 정보 및 노력의 비용이 들지만, 이들 모형 및 측정치는 주로 non-CO_2 온실가스를 위한 보다 나은 산정치를 제공할 것이다.

연통 가스(flue gas)의 지속적인 배출감시(CEM ; Continuous emissions monitoring)는 (상대적으로 높은 비용 때문에) 일반적으로 CO_2 배출만의 정확한 측정을 위해 정당화되지는 않지만, SO_2 또는 NO_x와 같은 기타 오염물질의 측정을 위해 감시기가 설치될 때 동시에 수행될 수 있을 것이다. 연료의 유량을 측정하는 것이 어렵다거나, 연료가 변질되기 쉽다거나 연료분석이 고비용일 때 지속적인 배출감시가 유용하며, 특히 고체연료의 연소에 대해 유용하다. 기체 또는 액체연료에 대한 연료흐름의 직접적인 측정은 품질이 보장된 연료흐름 계량기를 이용하여, CO_2 배출 계산의 정확성을 개선시킬 수 있을 것이다. 측정 자료를 이용하는 것을 고려할 때, 표본의 대표성과 측정방법의 적합성을 평가하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 가장 좋은 측정방법은 공식적인 표준기구에 의해 개발되고 개발된 측정방법의 특성을 결정하기 위해 현장에서 시험된 방법이다. 측정된 자료의 이용에 관한 보다 상세한 정보를 위해, 제1권의 제2장, 자료수집에 대한 접근법을 조사하라.

이러한 모형의 이용을 통해 추가적인 유형의 불확도가 도입되므로 계산된 연료소비와 에너지 통계의 비교, 제1권, 제6장에서 기술된 것과 같은, 불확도 및 계통오차에 관한 철저한 평가를 포함하여, 측정치의 타당성을 검증해야 한다는 것을 주목해야 한다.

인벤토리 작성자가 non-CO_2 가스에서 배출되거나 달리 산화되지 않은 탄소량의 측정치를 잘 문서화했다면, 이 tier의 국가 고유의 배출계수에서 이를 고려할 수 있다. 이것이 어떻게 수행되었는지 문서화하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 배출 산정치가 측정에 기초한다면 이는 CO_2 만의 직접적인 배출을 이미 포함한 것이다.

1.3.1.2 TIERS의 선택

각각의 배출원 카테고리 및 온실가스에 대해, 인벤토리 작성자는 배출원 카테고리 및 가스에 대해 Tiers에서 기술된 것과 같은, 다른 방법의 적용에 관한 선택을 한다. 인벤토리 작성자는 국가총계 내의 배출원 카테고리의 중요성 (제1권의 제4장, 주 카테고리를 참고) 및 시간, 작업인력, 정교한 모형, 예산 측면에서 자원의 이용가능성에 따라, 다른 배출원 카테고리에 대해 다른 tier를 이용할 수 있을 것이다. 주 카테고리에 대한 분석을 수행하기 위해, 이미 계산된 각각의 배출원 카테고리의 상대적 중요성에 관한 자료가 필요하다. 이러한 자료는 이전의 인벤토리로부터 도출될 수 있으며 필요하다면 갱신될 수 있다.

그림 1.2는 연료 연소에 대한 tier를 선택하기 위한 일반화된 의사결정도를 제시한다. 이 의사결정도는 일반적으로 각각의 연료 연소 활동 및 온실가스에 대해 적용된다.

이러한 의사결정도에서 언급되는 측정은 지속적인 측정으로 간주되어야 한다. 지속적인 측정은 보다 광범위하게 이용가능해지고 있으며 지속적인 측정의 증가는 부분적으로 규제 및 배출권 거래(emissions trading)에 의해 요구된다. 의사결정도는 이용 가능한 배출량 측정이 동일한 활동 내에

서 Tier 2 또는 Tier 1 산정과 조합하여 이용될 수 있도록 허용한다(Tier 3). 측정은 대규모 산업 배출원에 대해서만 전형적으로 이용 가능할 것이므로 대부분 고정 연소시설에서 발생할 것이다. CO_2, 특히 기체 및 액체 연료에 대한 지속적인 측정은 대부분 연소전 연료의 탄소 함유량을 결정하기 위해 우선적으로 이용될 것이다. 반면에 non-CO_2 가스에 대해 누적측정이 적용될 수 있을 것이다. 동질적이지 않은 고체연료에 대해, 누적측정은 보다 정확한 배출량 산정을 위한 자료를 제공할지도 모른다.

특히 도로수송에 대해, N_2O 및 CH_4 배출을 산정하기 위한 Tier 2 내지 Tier 3의 산정에 있어 배기가스 제어기술의 적용은 큰 이득을 일반적으로 가져올 것이다. 그렇지만, 일반적으로 CO_2에 대해, 연료 탄소 및 이용된 연료량에 기초한 Tier 1 방법으로 충분할 것이다. 이는 일반적인 의사결정도가 동일한 배출원 카테고리의 다른 가스에 대해 다른 접근법을 가져올 것이라는 것을 의미한다. 도로수송에 대한 배출 모형 및 기술에 또 다른 방법은 소비된 연료량을 이용하는 것이 아니라 차량 운행거리에 기초할 수 있으며, 이러한 모형 및 보다 높은 tier 방법에 적용된 활동자료가 연료 소비 자료와 일치하는 것을 보이는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 연료 소비 자료는 도로수송으로부터 CO_2 배출을 산정하는데 이용될 것이다. 의사결정도는 모형이 연료 소비 통계와 일치한다면, 인벤토리 작성자가 측정을 포함하여, 다른 tier 방법론과 조합하여 정교한 모형을 이용하는 것을 허용한다. 연료 소비와 차량 운행거리간의 불일치가 발견되는 경우에, 연료 소비 통계가 부정확하다는 것을 보일 수 없는 경우, 다른 방법으로 이용된 활동자료는 연료 소비 통계와 일치하도록 조정되어야 한다.

그림 1.2 연료연소로부터 배출량 산정을 위한 일반화된 의사결정도



주: 주 카테고리와 의사결정도 사용에 대해서는, 1권 4장의 "방법론 선택과 주 카테고리의 선정"을 참조한다(제한된 자료에 대해서는 4.1.2절을 참조).

1.3.1.3 다른 인벤토리 접근법과의 관계

*국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 IPCC 가이드라인*은 국가들이 온실가스 인벤토리를 준비하고 보고하도록 구체적으로 설계된다. 일부 국가들은 에너지 부문의 다양한 가스에 관한 인벤토리를 유엔유럽경제위원회(United Nations Economic Commission for Europe; UNECE)의 대기오염물질의 장거리 이동에 관한 협약(Long Range Transboundary Air Pollution; LRTAP)[2]에 제출하도록 또한 요구받을 것이다. UNECE는 인벤토리 보고를 위해 공동의 European Monitoring Evaluation Programme (EMEP)/CORINAIR Emission Inventory Guidebook[3]을 채택했다.
다른 협약(Convention)에 당사국(Parties)인 국가들은 특정한 협약에 보고할 때 적절한 보고절차를 이용해야 한다. IPCC 접근법은 (더 이상의 공간적 해결(spatial resolution)없이) 국가 총계를 계산하고 배출이 발생하는 부문을 확인하기 위한 UNFCCC의 요구를 만족한다. 반면에 EMEP/CORINAIR 접근법은 기술에 기초하며 배출의 공간적 할당(지점 및 지역 배출원(point and area sources))을 포함한다.

양쪽 시스템은 아래와 같은 동일한 기본원칙을 따른다:

- 인간위적 배출(anthropogenic emissions)을 모두 포함(CORINAIR는 자연적 배출을 또한 고려한다.);
- 국가적 배출의 연간 배출원 카테고리 총계;
- 에너지와 비-에너지 관련 배출간의 명확한 구분;
- 활동자료와 배출계수의 상세한 검증을 허용하는 투명성 및 완전한 문서화.

IPCC 접근법과 EMEP/CORINAIR 접근법의 조화에서 상당한 진전이 이루어졌다. UNECE LRTAP 보고는 이제 CRF(Common Reporting Framework)에서 정의된 것과 같은 UNFCCC 분류와 호환적인 배출원 분류를 인정하고 있다. 차이는 단지 일부 특정한 배출원에 대한 통합 수준에서 발생한다. 이러한 차이는 단지 에너지 부문의 수송 배출원 카테고리에서 발생하며, 여기서 UNECE LRTAP은 도로수송으로부터의 배출에서 추가적인 상세한 내용을 요구한다.

개별적인 협약(Conventions)에 제출하기 위한 UNFCCC/IPCC 내지 EMEP/CORINAIR 보고 양식으로 보고서를 생산하는데, 배출 산정치를 포함한, 완전한 CORINAIR 인벤토리가 이용될 수 있도록 CORINAIR 프로그램은 추가적인 부문(sectors) 및 하위부분(sub-divisions)을 포함하는 접근법을 개발하였다. 이러한 제출용 보고서를 완성하기 위해 추가적인 현지의 지식(local knowledge)에 기초한 작은 조정이 필요할 것이다.

접근법들간의 남아있는 주요한 차이는 도로 수송 배출의 공간적 할당이다: CORINAIR는 영토권의 원칙(principle of territoriality) (연료 소비에 따른 배출 할당)을 적용하는 반면에, *2006 IPCC 가이드라인*은 일반적으로 가장 정확한 자료인 것;연료 소비 (일반적으로 연료 소비가 차량 운행거리보다 정확하다)을 따른다. *IPCC 가이드라인*에서는, 연료 판매와 연료 소비로부터 계산된 배출량이

2 미국, 캐나다, 러시아, 아르메니아, 그루지야를 포함한 대부분의 유럽, 카자흐스탄, 키르기스스탄과 같은 일부 중앙아시아 국가를 포함하여 UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution에 49개 당사국이 존재한다.

3 EEA 2005를 참고하라.

상당히 불일치하는 국가들은 보다 높은 tier 방법을 이용하여 실소비량를 산정하고 소비 및 거래로부터의 배출을 따로 보고하는 선택을 할 수 있다. 국가 총계는 연료 소비량과 일치해야 한다.

두 접근법 모두 일반적으로 조화를 잘 이루기 때문에, *2006 IPCC 가이드라인은* 직접적인 온실가스의 배출 (연료의 비-에너지 이용, NMVOCs의 산화로부터 대기중으로 CO_2 유입)과 밀접하게 연결되어 있는 NMVOCs에 관한 권고와 함께 직접적인 온실가스인, CO_2, CH_4, N_2O의 배출에 집중할 것이다. 이용자는 간접적인 온실가스 및 기타 대기 오염물질에 대한 배출 산정방법을 위해 EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook을 참조한다.

1.3.2 탈루성 배출

이 권에서는 CO_2, CH_4, N_2O의 탈루성 배출에 관한 산정을 위한 방법론을 제공한다. 에너지 부문으로부터의 탈루성 배출을 산정하기 위한 방법론은 화석연료 연소를 위해 이용된 방법론과 매우 다르다. 탈루성 배출은 널리 퍼져 있고 직접적으로 측정하기 어려울 것이다. 또한 탈루성 배출에 관한 산정 방법은 배출 유형에 따라 달라진다. 예를 들어, 석탄 채굴시의 탈루성 배출의 산정방법은 석탄층의 지질적 특성에 연관되며, 반면에 석유 및 가스시설로부터의 탈루적 누출에 대한 방법은 장비의 공통적 유형에 연관된다.

지열발전(geothermal power)의 이용과 관련된 인위적 배출(anthropogenic emissions)이 존재할 수 있다. 현 단계에서 이러한 배출을 산정하기 위한 방법론은 없지만 이러한 배출이 측정될 수 있다면, 이는 배출원 카테고리 1.B.3 "에너지 생산으로부터의 기타 배출"에서 보고되어야 한다.

1.3.3 CO_2 포집 및 저장

IPCC 3차 평가보고서에 따르면, 대기중의 온실가스 농도의 안정화(stabilization)를 달성하기 위해 21세기동안 상당한 양의 CO_2 배출이 방지될 필요가 있다. CO_2 포집 및 저장(CO_2 capture and storage) (CCS)은 화석연료의 이용을 계속하면서 온실가스 농도의 안정화를 위한 다양한 수단중의 하나일 것이다. 이 책자(volume)의 제5장은 CCS 시스템의 개요를 제시하고 CO_2 포집, CO_2 수송, CO_2 주입, 지하의 CO_2 저장을 위한 배출 산정 방법을 제공한다. 전체적인 에너지 부문에 걸쳐 완전하고 일관적인 방식으로 CCS 시스템이 다루어지도록 인벤토리 작성자가 보장하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

1.4 자료수집 이슈

1.4.1 활동자료

에너지 부문에서, 활동자료는 전형적으로 연소된 연료의 양이다. 이러한 자료는 Tier 1 분석을 수행하기에 충분하다. 보다 높은 Tier 접근법에서 연료 특성 및 적용된 연소 기술에 관한 추가적인 자료가 필요하다.

투명성 및 비교가능성을 보장하기 위해, 연료 유형에 대한 일관적인 분류체계가 이용될 필요가 있다. 이 절은 다음을 제공한다:

1. 여러 가지 다른 연료들의 정의
2. 활동자료를 표현하기 위한 단위
3. 활동자료의 가능한 배출원에 관한 지침
4. 시계열 일관성에 관한 지침

에너지 통계(energy statistics) 및 에너지 균형표(energy balances)에 관한 명확한 설명은 국제에너지기구 (International Energy Agency) (IEA)[4]의 "Energy Statistics Manual"에서 제공된다.

1.4.1.1 연료의 정의

연료에 관한 공통적인 용어 및 정의는 국가들이 연료연소 활동으로부터 발생하는 배출을 일관적으로 기술하는데 필요하다. 국제에너지기구(IEA ; International Energy Agency)의 정의에 주로 기초한 연료 유형의 리스트가 아래에 제공된다. 이 정의는 *2006 IPCC 가이드라인*에서 이용된다.

4 OECD/IEA Energy Statistics Manual (2004), OECD/IEA, Paris. 이 출판물은 www.iea.org 에서 무료로 다운로드 받을 수 있다.

표 1.1
***2006 IPCC 가이드라인*에서 이용되는 연료 유형의 정의**

영어 표기		내용
액체 (원유 및 석유 제품)		
원유 (Crude Oil)		원유는 자연적으로 발생하며, 황색에서 흑색이고, 다양한 농도 및 점도를 가지는 탄화수소(hydrocarbons)의 혼합물로 구성된 광물성 오일이다. 이는 또한 lease 분리시설에서 기체형 탄화수소로부터 재생되는 lease 응축액 (separator liquids)을 포함한다.
오리멀젼 (Orimulsion)		베네수엘라에서 자연적으로 발생하는 타르와 비슷한 물질. 이는 직접 태우거나 가벼운 석유제품(light petroleum products)으로 정제될 수 있다.
천연가스액 (Natural Gas Liquids) (NGLs)		NGLs는 천연가스의 제조, 정제, 안정화에서 생산되는 액체 내지 액화 탄화수소이다. 이는 separators, 현장 시설(field facilities), 가스처리 공장(gas processing plants)에서 액체로 재생되는 천연가스 부분이다. NGLs는 ethane, propane, butane, pentane, 천연 가솔린(natural gasoline), 응축액(condensate)을 포함한다. 이는 또한 적은 양의 비-탄화수소(non-hydrocarbons)를 포함할 것이다.
가솔린 Gasoline	자동차용 가솔린 (Motor Gasoline)	이는 비행기를 제외한, 자동차와 같은 내연기관에서 이용하기 위한 가벼운 탄화수소 오일이다. 자동차용 가솔린은 35°C에서 215°C 사이에서 증류되고 지상용 점화엔진을 위한 연료로서 이용된다. 자동차용 가솔린은 TEL (Tetraethyl lead), TML (Tetramethyl lead)과 같은 납 화합물을 포함한, 첨가제(additives), 산화제(oxygenates), 옥탄 개선제(octane enhancers)를 포함할 것이다.
	항공용 가솔린 (Aviation Gasoline)	항공용 가솔린은 항공 피스톤 엔진을 위해 특별히 준비된 모터용 연료(motor spirit)이며, 엔진에 적합한 옥탄가(octane number), -60°C의 어는 점, 일반적으로 30°C와 180°C 경계내의 증류 범위를 가진다.
	제트용 가솔린 (Jet Gasoline)	이는 항공용 터빈파워장치(aviation turbine power units)에서 이용하기 위한 모든 가벼운 탄화수소 오일을 포함한다. 이는 100°C and 250°C 사이에서 증류된다. 이는 부피에서 방향족(aromatic) 함유량이 25%를 넘지않는 방식으로 등유(kerosenes)와 가솔린 내지 나프타를 혼합하여 얻으며, 증기압(vapour pressure)은 13.7 kPa와 20.6 kPa 사이이다. 연료 안정성 및 연소성을 개선하기 위한 첨가제가 포함될 수 있다.
제트용 등유 (Jet Kerosene)		이는 항공용 터빈파워장치를 위해 이용되는 중간 증류액이다. 이는 등유와 동일한 증류특성 및 인화점(flash point)(150°C and 300°C 사이이며 일반적으로 250°C 이하)을 가진다. 추가적으로, 이는 국제 항공 운송 협회(International Air Transport Association) (IATA)에 의해 지정된 특별한 명세(specifications)를 가진다.
기타 등유 (Other Kerosene)		등유는 가솔린과 가스/디젤형 오일간에 휘발성에서 중간인 정제된 석유 증류액로 구성된다. 이는 150°C and 300°C 사이에서 증류되는 중간 오일(medium oil)이다.
혈암유 (Shale Oil)		유모혈암(oil shale)으로부터 추출된 광물성 오일.
가스/디젤 오일 (Gas/Diesel Oil)		가스/디젤 오일은 무거운 가스오일(heavy gas oils)을 포함한다. 가스오일(Gas oils)은 원유의 상압증류(atmospheric distillation)에서 가장 낮은 부분으로부터 얻으며, 반면에 무거운 가스오일은 상압증유에서의 잔여물의 진공 재증류에 의해 얻는다. 가스/디젤 오일은 180°C and 380°C 사이에서 증류된다. 이용에 따라 여러 가지 등급이 이용가능하다; 디젤 압축 점화를 위한 디젤 오일 (자동차, 트럭, 선박 등), 산업적 및 상업적 이용을 위한 light heating oil, 380°C와 540°C 사이에서 증류되고 석유화학 원료로 이용되는 무거운 가스오일을 포함한 기타 가스오일.

표 1.1 (계속)
***2006 IPCC 가이드라인*에서 이용되는 연료 유형의 정의**

영어 표기		내용
액체 (원유 및 석유 제품)		
잔여 연료유 (Residual Fuel Oil)		이 제목은 증류 잔류물로 구성되는 오일을 정의한다. 이는 혼합에 의해 얻어지는 오일을 포함한, 모든 잔여 연료유로 구성된다. 동적 점성도(kinematic viscosity)는 80°C에서 0.1cm^2 (10 cSt) 이상이다. 인화점은 항상 50°C 이상이고 농도는 항상 0.90 kg/l 이상이다.
액화석유가스 (Liquefied Petroleum Gases)		이는 파라핀족(paraffin series)의 가벼운 탄화수소 부분이며, 정유공정, 원유 안정화 공장, 천연가스 처리공장으로부터 파생되며 propane (C_3H_8), butane (C_4H_{10}) 내지 둘의 조합으로 구성된다. 이는 일반적으로 수송 및 저장을 위해 가압하에 액화된다.
에탄 (Ethane)		에탄은 자연적인 기체형 직쇄(straight-chain) 탄화수소 (C_2H_6)이다. 이는 천연가스 및 정유가스(refinery gas) 흐름으로부터 추출된 무색의 파라핀족 가스이다.
나프타 (Naphtha)		나프타는 석유화학산업 (예, 에틸렌 제조 내지 방향족 화합물 생산)내지 정유공장내에서의 개질(reforming) 내지 이성체화(isomerisation)에 의한 가솔린 생산을 위한 원료이다. 나프타는 30°C and 210°C 증류범위에 있는 물질로 구성된다.
역청 (Bitumen)		콜로이드 구조(colloidal structure)를 가진 고체, 반고체, 점성의 탄화수소로, 갈색에서 흑색이며, 원유 증류에서의 잔여물, 상압증류에서 오일 잔여물(oil residues)의 진공증류로 얻어짐. 역청은 아스팔트(asphalt)로 종종 불리며 도로의 포장재 및 지붕잇는 재료(roofing material)로 주로 이용된다. 이 카테고리는 유동화되고 축소(cut back)된 역청을 포함한다.
윤활유 (Lubricants)		윤활유는 증류액 내지 잔여물로부터 생산된 탄화수소이다; 이는 베어링 표면사이의 마찰을 감소시키기 위해 주로 이용된다. 이 카테고리는 축 오일(spindle oil)에서 실린더 오일(cylinder oil)까지의 모든 최종 등급의 윤활유 및 그리스(greases)로 이용되는 오일을 포함하며, 모터용 오일 및 모든 등급의 윤활유에 기초한 양을 포함한다.
석유 코크스 (Petroleum Coke)		석유 코크스는 delayed coking 내지 fluid coking과 같은 공정에서 석유에서 파생된 원료, 진공실 찌꺼기(vacuum bottoms), 타르(tar), 피치(pitches)의 열분해(cracking) 및 탄화(carbonising)에 의해 주로 얻어지는, 흑색 고체로 정의된다. 이는 주로 탄소 (90에서 95%)로 구성되며 낮은 회분(ash) 함유량을 가진다. 이는 철강산업, 가열(heating), 전극 제조, 화학물질 생산을 위한 코크스로(coke ovens)에서 원료로 이용된다. 가장 중요한 두 가지 품질의 제품은 "녹색 코크스(green coke)"와 "하소된 코크스(calcinated coke)"이다. 이 카테고리는 정유공정동안 촉매로 퇴적된 촉매 코크스(catalyst coke)를 또한 포함한다; 이 코크스는 재생 불가능하며 일반적으로 정유공장 원료로 태워진다.
정유공장 원료 (Refinery Feedstocks)		정유공장 원료는 원유로부터 파생된 제품 내지 제품들의 조합이며 정유 산업(refining industry)에서 혼합이 아닌 추가적인 처리를 목적으로 한다. 이는 하나 이상의 구성성분 및/내지 최종 제품으로 전환된다. 이 정의는 정유공장 입구로 들어오는 최종 제품과 석유화학 산업에서 정유 산업으로 반환되는 제품을 포함한다.
기타 오일 (Other Oil)	정유가스 (Refinery Gas)	정유가스는 정유공장에서 원유의 증류 내지 오일 제품(oil products)의 처리 (예, 열분해(cracking)) 동안 얻어지는 비압축 가스(non-condensable gas)로 정의된다. 이는 주로 수소, 메탄, 에탄, 올레핀(olefins)으로 구성된다. 이는 또한 석유화학 산업으로부터 반환되는 가스를 포함한다.
	밀랍 (Waxes)	(일반적인 식 C_nH_{2n+2}을 가지는) 포화된 지방성 탄화수소. 이러한 밀랍은 윤활유에서 밀랍을 제거할 때 추출된 잔여물이고, 12 이상의 탄소 갯수를 가지는 결정구조(crystalline structure)를 가진다. 주된 특성은 45°C 이상의 녹는점을 가지며, 무색, 무취, 반투명이라는 것이다.

표 1.1 (계속)
***2006 IPCC 가이드라인*에서 이용되는 연료 유형의 정의**

영어 표기		내용
고체 (석탄 및 석탄 제품)		
기타 오일 (Other Oil)	백유 (White Spirit) & SBP	백유 및 SBP는 나프타/등유 범위에서 증류되는 정제된 증류 중간생성물로 정의된다. 이는 다음과 같이 세분된다: i) Industrial Spirit (SBP): 30°C and 200°C 사이에서 증류되는 경유(Light oils)로, 손실을 포함하여, 60°C 이하의 5% 부피와 90% 부피 증류점(distillation points)간의 온도차이를 가진다. 달리 말해서, SBP는 휘발유(motor spirit)보다 좁은 cut의 경유(light oil)이다. 위에서 정의된 증류범위에서 cut의 위치에 따라, 7 내지 8 등급의 industrial spirit이 존재한다. ii) 백유(White Spirit): 30°C 이상의 인화점을 가진 Industrial spirit. 백유의 증류범위는 135°C to 200°C 이다.
	기타 석유제품 (Other Petroleum Products)	예를 들어, 타르(tar),유황(sulphur), 그리스(grease)과 같은, 위에서 분류되지 않은 석유 제품을 포함한다. 이 카테고리는 또한 정유공장내에서 생산되는 방향족 화합물(aromatics) (예, BTX 내지 벤젠(benzene), 톨루엔(toluene), 크실렌(xylene)) 및 올레핀(olefins) (예, 프로필렌(propylene))을 포함한다.
무연탄 (Anthracite)		무연탄은 산업 및 주거용으로 이용되는 높은 등급의 석탄이다. 이는 일반적으로 10% 이하의 휘발물(volatile matter)과 높은 탄소 함유량 (약 90%의 고정된 탄소)을 가진다. 총열량(gross calorific value)은 회분이 없지만 습한 상태에서 23 865 kJ/kg (5 700 kcal/kg) 이상이다.
원료탄 (Coking Coal)		원료탄은 용광로(blast furnace) 충전을 지원하기에 적합한 코크스(coke)의 생산을 허용하는 품질을 가진 역청탄(bituminous coal)을 말한다. 총열량(calorific value)은 회분이 없지만 습한 상태에서 23 865 kJ/kg (5 700 kcal/kg) 이상이다.
기타 역청탄 (Other Bituminous Coal)		기타 역청탄은 증기용으로 이용되며 원료탄에 포함되지 않는 모든 역청탄을 포함한다. 무연탄보다 높은 휘발물(10% 이상)과 낮은 탄소 함유량 (90% 이하의 고정된 탄소)의 특성을 가진다. 총열량(calorific value)은 회분이 없지만 습한 상태에서 23 865 kJ/kg (5 700 kcal/kg) 이상이다.
하위 역청탄 (Sub-Bituminous Coal)		건조하고 광물질이 없는 상태에서 17 435 kJ/kg (4 165 kcal/kg)과 23 865 kJ/kg (5 700 kcal/kg) 사이의 총열량을 가지고 31% 이상의 휘발물을 포함하는 덩어리 형태가 아닌 석탄.
갈탄 (Lignite)		갈탄(Lignite/brown coal)은 건조하고 광물질이 없는 상태에서 17 435 kJ/kg (4 165 kcal/kg) 이하의 총열량과, 31% 이상의 휘발물을 가지는 집적되지 않은 석탄.
유모혈암 (Oil Shale) 및 역청암 (Tar Sands)		유모혈암은 열분해(pyrolysis)(고온으로 암석을 가열하는 것으로 구성되는 처리) 될 때, 다양한 고체 생성물과 함께, 탄화수소를 산출하는 상당한 양의 고체 유기물을 포함하는 무기(inorganic), 비다공성(non-porous) 암석이다. 역청암은 종종 역청(bitumen)으로 불리는 점성이 있는 형태의 무거운 원유와 자연적으로 혼합된 모래 (내지 다공성 탄산염 암석)를 말한다. 높은 점도때문에 이러한 원유는 전통적인 재생방법을 통해 재생될 수 없다.
갈탄 연탄 (Brown Coal Briquettes)		갈탄 연탄 (BKB)은 고압하에서 굳혀서 생산되는, 갈탄으로부터 제조된 혼합연료(composition fuels)이다. 이 형태는 건조된 갈탄 미립자와 재를 포함한다.
특허연료 (Patent Fuel)		특허연료는 접착제를 추가하여 무연탄(hard coal) 분말로부터 제조된 혼합연료이다. 그러므로, 생산되는 특허연료의 양은 전환공정에서 소비된 석탄의 실제량보다 약간 높다.

표 1.1 (계속)
***2006 IPCC 가이드라인*에서 이용되는 연료 유형의 정의**

영어 표기		내용
코크스 (Coke)	코크스로 코크스 (Coke Oven Coke)와 갈탄 코크스 (Lignite Coke)	코크스로 코크스는 고온에서 석탄, 주로 원료탄(coking coal)의 탄화로부터 얻어지는 고체 생성물이다. 이는 습기 함유량 및 휘발물이 낮다. 또한 semi-coke, 즉 낮은 온도에서 석탄의 탄화로부터 얻어진 고체 생성물, 갈탄 코크스(lignite coke), 즉 갈탄으로부터 만들어진 semi-coke, 코크스 분탄(coke breeze), 주조용 코크스(foundry coke)가 또한 포함된다. 코크스로 코크스는 또한 야금용 코크스(metallurgical coke)로 알려져 있다.
	가스 코크스 (Gas Coke)	가스 코크스는 가스공장에서 도시가스의 생산을 위해 이용된 무연탄(hard coal)의 부산물이다. 가스 코크스는 가열을 위해 이용된다.
콜타르 (Coal Tar)		역청탄(bituminous coal)의 분해 증류(destructive distillation)의 결과. 콜타르는 코크스로(coke oven) 공정에서 코크스를 만들기 위한 석탄 증류의 액체 부산물이다. 콜타르는 석유화학 산업의 원료(feedstock)로 일반적으로 언급되는 여러가지 다른 유기 제품(예, 벤젠, 톨루엔, 나프탈렌)으로 추가적으로 증류될 수 있다.
파생 가스 (Derived Gases)	가스공장 가스 (Gas Works Gas)	가스공장 가스는 주된 목적이 가스의 제조, 수송, 분배인, 공적 기업 내지 사적 공장에서 생산되는 모든 유형의 가스를 포함한다. 이는 (코크스로에 의해 생산되고 가스공장용 가스로 이전된 가스를 포함한) 탄화(carbonization), 오일 제품 (LPG, 잔여 연료유 등)을 보강한 또는 보강하지 않은 전체 가스화(total gasification), 개질 및 가스 및/내지 공기의 단순한 혼합에 의해 생산된 가스를 포함한다. 이는 천연가스 배관망을 통해 일반적으로 분배되는, 혼합된 천연가스를 제외한다.
	코크스로 가스 (Coke Oven Gas)	코크스로 가스는 철강의 생산을 위한 코크스로 코크스(coke oven coke)의 제조의 부산물로서 얻어진다.
	용광로 가스 (Blast Furnace Gas)	용광로 가스는 철강 산업에서 용광로에서의 코크스의 연소 동안 생산된다. 이는 공장내에서 부분적으로, 그리고 기타 철강 산업 공정 내지 이를 태우는 장비를 갖춘 발전소에서 부분적으로 연료로서 재생되고 이용된다.
	산소 강철로 가스 (Oxygen Steel Furnace Gas)	산소 강철로 가스는 산소 용광로(oxygen furnace)에서 강철 생산의 부산물로서 얻어지며 용광로를 떠날 때 재생된다. 이 가스는 전로가스(converter gas), LD gas, BOS gas 로 또한 알려져 있다.
기체 (천연가스)		
천연가스 (Natural Gas)		천연가스는 (종종 도시가스로 또한 불리는) 혼합 천연가스(blended natural gas), 즉 다른 주요 제품으로부터 파생되고, 일반적으로 천연가스 배관망을 통해 분배되는 다른 가스들 (예, 석탄층 메탄(coal seam methane))과 천연가스의 혼합으로 얻어지는 고열량 가스,를 포함해야 한다. 혼합 천연가스는 대체 천연 가스(substitute natural gas), 즉 주된 원재료가 천연가스, 석탄, 석유, 유모혈암인 탄화수소 화석연료의 화학적 전환에 의해 제조되는 고열량 가스,를 포함해야 한다.

표 1.1 (계속)
***2006 IPCC 가이드라인*에서 이용되는 연료 유형의 정의**

영어 표기		내용
기타 화석연료 (OTHER FOSSIL FUELS)		
도시 폐기물 (Municipal Wastes) (비-바이오매스 부분)		도시 폐기물의 비 바이오매스 부분은 가정, 산업, 병원, 제3의 부문에 의해 생산되고 특정한 시설에서 소각되고 에너지용으로 이용되는 폐기물을 포함한다. 미생물에 의해 분해되지 않는 연료 부분만 여기에 포함되어야 한다.
산업 폐기물 (Industrial Wastes)		산업 폐기물은 일반적으로 특수한 공장에서, 열 및/내지 전력을 생산하기 위해, 직접 연소되며 바이오매스로 보고되지 않는 고체 및 액체 제품 (예, 타이어)로 구성된다.
폐유 (Waste Oils)		폐유는 열 생산을 위해 연소되는 사용된 오일(예, 폐 윤활유)이다.
토탄 (PEAT)		
토탄 (Peat)[5]		연소가능한 연하고, 다공성이거나 압축된, 목질(woody material)을 포함한 식물에서 유래한 퇴적광상(sedimentary deposit)은 (원래상태에서 90%까지의) 높은 수분 함유량을 가지고, 쉽게 잘리며, 연한 갈색에서 진한 갈색의 보다 단단한 부분을 포함할 수 있다. 비-에너지 목적을 위해 이용된 토탄은 포함되지 않는다.
바이오매스 (BIOMASS)		
고체 바이오연료 (Solid Biofuels)	목재/목재 폐기물 (Wood/Wood Waste)	에너지용으로 직접 연소되는 목재 및 목재 폐기물. 이 카테고리는 목탄의 실제 생산량(이는 목탄이 2차 제품이기 때문에 이중계산(double counting)일 것이다)이 아니라 목탄 생산을 위한 목재를 또한 포함한다.
	아황산염 잿물 (Sulphite Lyes) (Black Liquor)	아황산염 잿물은 에너지 함유물(energy content)이 목재 펄프로부터 제거된 목질소(lignin)로부터 발생하는 종이의 제조 동안 황산염(sulphate) 내지 소다(soda) 펄프의 생산에서 압력솥으로부터 나온 알칼리성 잔존액(alkaline spent liquor)이다. 농축된 형태의 이 연료는 일반적으로 65-70% 고체이다.
	기타 주요한 고체 바이오매스 (Other Primary Solid Biomass)	기타 주요한 고체 바이오매스는 목재/목재 폐기물 내지 아황산염 잿물에 포함되지 않는 연료로 직접 이용되는 식물 재료(plant matter)을 포함한다. 식물성 폐기물(vegetal waste), 동물성 재료/폐기물, 기타 고체 바이오매스가 포함된다. 이 카테고리는 목탄 생산을 위한 비목재 투입물(예, 코코넛 껍질)을 포함하지만 바이오연료의 생산을 위한 기타 모든 공급원료(feedstocks)는 제외되어야 한다.
	목탄 (Charcoal)	에너지로서 연소되는 목탄은 목재 및 기타 식물성 재료의 분해 증류(destructive distillation) 및 열분해(pyrolysis)의 고체 잔류물을 다룬다.

5 토탄은 엄격하게 말하면 화석연료가 아니지만, 토탄의 온실가스 배출 특성은 화석연료의 특성과 유사한 것으로 수명주기(life cycle) 연구에서 보여지고 있다 (Nilsson and Nilsson, 2004; Uppenberg et al., 2001; Savolainen et al., 1994). 그러므로 토탄의 연소로부터 발생하는 CO_2 배출은 화석연료에서 처럼 국가 배출량에 포함된다.

표 1.1 (계속)
***2006 IPCC 가이드라인*에서 이용되는 연료 유형의 정의**

영어 표기		내용
액체 바이오연료 (Liquid Biofuels)	바이오가솔린 (Biogasoline)	바이오가솔린은 바이오연료가 혼합되는 액체의 총부피가 아니라 바이오연료의 양과 관련된 연료 부분을 단지 포함해야 한다. 이 카테고리는 bioethanol (바이오매스 및/내지 폐기물의 미생물 분해가능 부분으로부터 생산된 에탄올), biomethanol (바이오매스 및/내지 폐기물의 미생물 분해가능 부분으로부터 생산된 메탄올), bioETBE (bioethanol에 기초하여 생산된 ethyl-tertio-butyl-ether: 바이오연료로 계산된 bioETBE의 부피에 의한 비율은 47%이다), bioMTBE (biomethanol에 기초하여 생산된 methyl-tertio-butyl-ether: 바이오연료로 계산된 bioMTBE의 부피에 의한 비율은 36%이다)를 포함한다.
	바이오디젤 (Biodiesels)	바이오디젤은 바이오연료가 혼합되는 액체의 총부피가 아니라 바이오연료의 양과 관련된 연료 부분을 단지 포함해야 한다. 이 카테고리는 biodiesel (식물성 내지 동물성 오일로부터 생산된, 디젤 품질의 methyl-ester), biodimethylether (바이오매스로부터 생산된 dimethylether), fischer tropsh (바이오매스로부터 생산된 fischer tropsh), 저온 압축된 바이오 오일(bio oil) (기계적 가공만을 통해 지방 종자(oil seed)로부터 생산된 오일), 수송용 디젤에 첨가 내지 혼합되거나, 직접 이용되는 기타 모든 액체 바이오연료를 포함한다.
	기타 액체 바이오연료 (Other Liquid Biofuels)	바이오가솔린 내지 바이오디젤에 포함되지 않는 기타 액체 바이오연료.
기체 바이오매스 (Gas Biomass)	매립지 가스 (Landfill Gas)	매립지 가스는 매립지의 바이오매스 및 고체 폐기물의 혐기성 발효(anaerobic fermentation)로부터 파생되며 열 및/내지 전력을 생산하기 위해 연소된다.
	슬러지 가스 (Sludge Gas)	슬러지 가스는 오수 및 동물성 현탁액(slurries)으로부터 바이오매스 및 고체 폐기물의 혐기성 발효(anaerobic fermentation)로부터 파생되며 열 및/내지 전력을 생산하기 위해 연소된다.
	기타 바이오가스 (Other Biogas)	매립지 가스 내지 슬러지 가스에 포함되지 않는 기타 바이오가스.
기타 비-화석연료 (Other non-fossil fuels)	도시 폐기물 (바이오매스 부분)	도시 폐기물의 바이오매스 부분은 가정, 산업, 병원, 제3의 부문에 의해 생산되고 특정한 시설에서 소각되고 에너지용으로 이용되는 폐기물을 포함한다. 미생물에 의해 분해되는 연료 부분만 여기에 포함되어야 한다.

1.4.1.2 에너지 단위의 변환

에너지 통계 및 기타 에너지 자료에서, 고체, 액체, 기체 연료의 생산 및 소비는 예를 들어, 톤 내지 입방미터 같은 물리적 단위로 지정된다. 이들 자료를 예를 들어, 톤을 줄(joules)과 같은 일반적인 에너지 단위, 이 경우에는 테라줄(terajoules)로 변환하기 위해서는 발열량(calorific values)을 필요로 한다. 가이드라인은 SI 단위 내지 SI 단위의 배수(예, TJ/Mg)로 표현되는, 순 발열량(net calorific values) (NCVs)를 이용한다. 일부 통계기관은 총 발열량(gross calorific values) (GCV)를 이용한다. NCV와 GCV간의 차이는 연료의 연소동안 생산되는 수증기의 잠열(latent heat)이다. 결론적으로 석탄 및 석유에 대해, NCV는 GCV보다 대략 5% 정도 작다. 대부분 형태의 천연 및 제조가스에 대해, NCV는 대략 10% 정도 작다. 아래의 박스 1.1은 연료 특성 (습기, 수소, 산소 함유량)이 알려진다면 변환을 위한 알고리즘을 제공한다. 일반적인 바이오매스 연료에 대해 NCV에서 GCV로의 기본적인 변환, 특히 나무껍질, 목재, 목재 폐기물은 WRI/WBCSD Greenhouse Gas Protocol 웹사이트[6]를 통해 Pulp and Paper Greenhouse Gas Calculation Tools에서 이용가능하다. 국가들이 GCV를 이용한다면, 이를 있는 그대로 확인해야 한다. 이 문제에 관한 추가적인 설명과 한 쪽에서 다른 쪽으로 변환하는 방법에 대해, IEA의 Energy Statistics Manual (OECD/IEA, 2004)을 참고하라.

박스 1.1
총발열량와 순발열량 사이의 변환

단위: MJ/kg - 킬로그램당 메가줄(Megajoules); 1 MJ/kg = 1 기가줄(Gigajoule)/톤 (GJ/톤)

총 CV(Gross CV) (GCV) 내지 '고위발열량(higher heating value)' (HHV)는 실험실 조건하에서의 발열량이다.

순 CV(Net CV) (NCV) 내지 '저위발열량(lower heating value' (LHV)는 보일러(boiler plant)에서 유용한 발열량이다. 차이는 본질적으로 생산된 수증기의 잠열(latent heat)이다.

변환 - MJ/kg에서 총(Gross)/순(Net) (ISO 인수식(As Received*)에 의해):

$$NetCV = GrossCV - 0.212H - 0.0245M - 0.008Y$$

인수식에서(As Received), M은 수분 비율, H는 수소 비율, Y는 산소 비율(탄소, 수소, 산소, 질소, 황의 양을 결정하는 원소 분석(ultimate analysis)으로부터)이다(즉, 전체 수분(Total Moisture) (TM)을 포함).

출처 - World Coal Institute (http://www.worldcoal.org/pages/content/index.asp?PageID=190), 이곳은 보다 상세한 내용을 제공한다.

10^3 톤 단위에서 테라줄(terajoules) 단위로 변환하기 위한 기본적인 NCV 값은 표 1.2에 제시하였

6 http://www.ghgprotocol.org/includes/getTarget.asp?type=d&id=MTYwNjQ 에서 이용가능한 "Calculation Tools for Estimating Greenhouse Gas Emissions from Pulp and Paper Mills, Version 1.1, July 8, 2005"의 9 페이지를 참고하라.

다. 이들 값은 다음의 세 가지 자료원의 통계적 분석에 기초한다:

1. **부속서 I 당사국(Parties)의 연간 온실가스 인벤토리 제출물**: UNFCCC 부속서-1 국가들의 2002년 배출에 대한 2004년의 국내 제출물 (CRF의 Table-1A(b)). 이 자료집합은 33개 이상의 Annex 1 국가들의 개별적 연료들에 대한 순 발열량(Net Calorific Values) (NCVs), 탄소 배출계수(Carbon Emission Factor) (CEF), 탄소 산화계수(Carbon Oxidation Factor) (COF)를 포함한다.
2. **배출계수 데이터베이스**: 2003년 12월 현재, IPCC 배출계수 데이터베이스(Emission Factor Database) (EFDB), 버전-1은 *1996 IPCC 가이드라인*에 포함된 모든 기본값과 EFDB 편집국에 의해 승인된 추가적인 자료를 포함한다. EFDB는 개발도상국을 포함하는 NCV 및 CEF에 대한 국가 고유의 자료를 포함한다.
3. **IEA 데이터베이스**: 2004년 11월 현재, 모든 연료에 대한 국제에너지기구(International Energy Agency) NCV 데이터베이스. IEA 데이터베이스는 개발도상국을 포함한, 많은 국가들의 국가 고유의 NCV 자료를 포함한다.

이들 자료집합에 대해 수행된 통계 분석은 별도의 문서에서 상세히 기술되었다 (Kainou, 2005). 기본적인 값 및 불확도 범위의 표를 작성하기 위해 동일한 자료 집합이 이용되었다.

1.4.1.3 활동자료 출처

공식적으로 인정된 국가단체에 의해 수집된 연료 통계는 일반적으로 가장 적절하고 접근가능한 활동자료이다. 그렇지만, 일부 국가에서, 인벤토리 정보를 작성하는 과제를 맡은 단체가 그들 국가 내에서 이용가능한 자료의 전체 범위에 즉시 접근할수 없어서 그들 국가가 국제 기구에 특별히 제공한 자료를 이용하고자 할 지 모른다.

국제적인 에너지 통계의 두 가지 주요 출처가 현재 존재한다: 국제에너지기구, 유엔 (UN). 양쪽 국제 기구는 설문지 시스템을 통해 회원국 정부로부터 에너지 자료를 수집한다. 그러므로 수집된 자료는 "공식적" 자료이다. 국가가 양쪽 기구의 회원국인 경우에, 보고의 중복을 피하기 위해, UN은 UN 설문지를 완성하도록 요구하는 대신에 OECD 회원국에 대해 IEA 설문지의 사본을 접수한다. 비-OECD 회원국의 통계를 작성할 때, IEA는, 특정 국가들에 대해, 행정부, 컨설턴트, 해당 국가에서 운영되는 에너지 회사로부터 얻은 추가적인 정보를 더한 UN 자료를 이용한다. 기타 국가들의 통계는 해당국의 통계로부터 직접 얻어진다. IEA 출판물에 포함되는 국가의 수는 UN의 국가 수보다 적다.[7]

7 (대략 170개 유엔 회원국의) 대략 130개 국가가 IEA 자료에 포함되며, 전세계 에너지 소비의 대략 98%와 거의 모든 에너지 생산에 해당된다.

표 1.2
순발열량 기본값과 95% 신뢰구간에서 상한값 및 하한값 [1]

연료종류		순발열량 (TJ/Gg)	하한	상한
원유		42.3	40.1	44.8
오리멀젼		27.5	27.5	28.3
천연가스액		44.2	40.9	46.9
가솔린	자동차용 가솔린	44.3	42.5	44.8
	항공용 가솔린	44.3	42.5	44.8
	제트용 가솔린	44.3	42.5	44.8
제트용 등유		44.1	42	45
기타 등유		43.8	42.4	45.2
혈암유		38.1	32.1	45.2
가스/디젤 오일		43	41.4	43.3
잔여 연료유		40.4	39.8	41.7
액화석유가스		47.3	44.8	52.2
에탄		46.4	44.9	48.8
나프타		44.5	41.8	46.5
역청		40.2	33.5	41.2
윤활유		40.2	33.5	42.3
석유 코크스		32.5	29.7	41.9
정유공장 원료		43	36.3	46.4
기타 오일	정유가스[2]	49.5	47.5	50.6
	밀랍	40.2	33.7	48.2
	백유 & SBP	40.2	33.7	48.2
기타 석유제품		40.2	33.7	48.2
무연탄		26.7	21.6	32.2
원료탄		28.2	24	31
기타 역청탄		25.8	19.9	30.5
하위 역청탄		18.9	11.5	26
갈탄		11.9	5.5	21.6
유모혈암 및 역청암		8.9	7.1	11.1
갈탄 연탄		20.7	15.1	32
특허연료		20.7	15.1	32
코크스	코크스로 코크스와 갈탄 코크스	28.2	25.1	30.2
	가스 코크스	28.2	25.1	30.2
콜타르[3]		28	14.1	55
파생 가스	가스공장 가스[4]	38.7	19.6	77
	코크스로 가스[5]	38.7	19.6	77
	용광로 가스[6]	2.47	1.2	5
	산소 강철로 가스[7]	7.06	3.8	15

표 1.2(계속)
순발열량 기본값과 95% 신뢰구간에서 상한값 및 하한값 [1]

연료종류		순발열량 (TJ/Gg)	Lower	Upper
천연가스		48	46.5	50.4
도시 폐기물		10	7	18
산업 폐기물		NA	NA	NA
폐유[8]		40.2	20.3	80
토탄		9.76	7.8	12.5
고체 바이오연료	목재/목재 폐기물[9]	15.6	7.9	31
	아황산염 잿물[10]	11.8	5.9	23
	기타 주요한 고체 바이오매스[11]	11.6	5.9	23
	목탄[12]	29.5	14.9	58
액체 바이오연료	바이오가솔린[13]	27	13.6	54
	바이오디젤[14]	27	13.6	54
	기타 액체 바이오연료[15]	27.4	13.8	54
기체 바이오매스	매립지 가스[16]	50.4	25.4	100
	슬러지 가스[17]	50.4	25.4	100
	기타 바이오가스[18]	50.4	25.4	100
기타 비-화석연료	도시 폐기물	11.6	6.8	18

주 :

1. 95% 신뢰구간의 하한 및 상한은 로그정규분포로 가정하여 국가 인벤토리 보고서, IEA 데이터 및 이용 가능한 국가 데이터를 기초로 데이터 셀이 갖추어졌다. 더욱 상세한 내용은 1.5절에 주어져 있다.

2. 일본 자료; 불확도 범위 : 전문가 판단

3. EFDB ; 불확도 범위 : 전문가 판단

4. 코크스로 가스 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

5-7. 일본 및 영국의 적은 수의 자료 ; 확실도 범위 : 전문가 판단

8. "윤활유"의 폐유 값으로 주어져 있음.

9. EFDB ; 불확도 범위 : 전문가 판단

10. 일본 자료; 불확도 범위 : 전문가 판단

11. 고체 바이오메스 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

12. EFDB ; 불확도 범위 : 전문가 판단

13-14. 에탄올 이론적인 수 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

15. 고체 바이오메스 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

16 -18. 메탄올 이론적인 수 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

일반적으로, 한 국가의 IEA 및 UN 자료는 해당 국가의 국가인벤토리 기관에서 stats@iea.org 내지 energy_stat@un.org에 연락하여 무료로 얻을 수 있다.
다음 두 가지 유형의 연료에 대해서는 특별한 주의가 필요하다.

바이오매스 (Biomass):
바이오매스 자료는 국가 에너지 통계에서 다른 자료보다 일반적으로 불확실하다. 에너지를 위해 이용되는, 바이오매스의 상당 부분은 비공식적 경제의 부분일 것이고, 이러한 연료 유형 (목재, 농업 잔여물, 배설물(dung cakes) 등)의 거래는 국가 에너지 통계에 자주 등록되지 않는다.
AFOLU 4권 4장 (산림지)에서는 연료용 목재 이용에 대한 활동자료를 산정하는 대안적 방법을 제공한다.

에너지 통계 및 AFOLU 통계로부터 자료가 모두 이용 가능한 경우에, 인벤토리 작성자는 이중계산(double counting)를 방지하기 위해 주의를 기울여야 하며, 국가에서 연료용 목재 이용의 가장 가능한 산정치를 얻기 위해 양쪽 배출원으로부터 자료가 어떻게 취합되었는지 표시해야 한다. 바이오매스 연소로부터 발생한 CO_2 배출은 국가 총계에 포함되지 않지만, 이중계산(double counting)의 방지뿐만 아니라 교차검사(cross-checking)를 위한 정보항목(information item)으로 기록된다. 토탄(peat)은 이들 지침에서 바이오매스로 취급되지 않으므로, 토탄으로부터 발생한 CO_2 배출이 산정된다는 것을 주목하라.

폐기물 (Waste):
폐기물 소각은 연소열이 다른 공정에서 에너지로 이용되는 시설에서 발생할 것이다. 이러한 경우 소각되는 폐기물은 연료로 취급되어야 하며 배출은 에너지 부문에서 보고되어야 한다. 연소열을 에너지로 이용하지 않으면서 폐기물이 소각될 때, 배출은 폐기물 소각에서 보고되어야 한다. 양쪽 경우에서의 방법론은 제5권 제5장에서 제공된다. 에너지를 위해 이용되는 폐기물에 있는 바이오매스의 연소로부터의 CO_2 배출은 국가 총계에 포함되지 않지만, 교차검사를 위한 정보항목으로 기록된다.

1.4.1.4 시계열 일관성(TIME SERIES CONSISTENCY)

많은 국가들은 에너지 부문 온실가스 배출에 관한 시계열을 도출하기 위해 이용될 수 있는 에너지 통계의 장기적인 시계열을 가지고 있다. 그렇지만, 많은 경우에 (부문별 연료 및 연료이용의 정의를 포함한) 통계적 실무는 시간에 따라 변하게 될 것이고 최근의 정의 집합에서 에너지 자료의 재계산이 항상 가능하지만은 않다. 연료 연소로부터의 배출 시계열을 작성할 때, 이러한 변화는 시계열 비일관성을 발생시킬 것이며, 이는 *2006 IPCC 가이드라인*의 1권 5장 시계열 일관성(Time Series Consistency)에서 제공되는 방법을 이용하여 처리되어야 한다.

1.4.2 배출계수

1.4.2.1 CO_2 배출계수

연소공정은 소비되는 연료 단위당 에너지의 최대량을 도출하기 위해 최적화되므로, CO_2의 최대량을 전달한다. 효율적인 연료연소는 연료에서 이용가능한 탄소의 최대량의 산화(oxidation)를 보장한다. 그러므로 연료연소에 대한 CO_2 배출계수는 연소공정 자체에 대해 상대적으로 민감하지 않

으므로 연료의 탄소 함유량에만 주로 의존한다.
탄소 함유량은 질량 또는 부피에 기초하여 주요한 연료 종류에 따라 상당히 다를 것이다:

- 천연가스에 대해, 탄소 함유량은, 이송된 상태(delivered state)에서, 주로 메탄이지만 소량의 에탄, 프로판, 부탄, 및 보다 무거운 탄화수소를 포함할 수 있는 가스의 성분에 의존한다. 생산 부지에서 연소되는 천연가스는 일반적으로 훨씬 많은 양의 비메탄 탄화수소를 포함할 것이다. 탄소 함유량은 상대적으로 다를 것이다.
- 에너지 단위당 탄소 함유량은 일반적으로 잔여 연료유(residual fuel oil)와 같은 무거운 제품보다 가솔린 같은 가볍고 정제된 제품에서 적을 것이다.
- 석탄에 대해, 톤당 탄소 배출은 탄소, 수소, 황, 회분, 산소, 질소의 석탄 성분에 따라 상당히 변한다.

에너지 단위로 변환함으로써 이러한 변동은 감소된다.

연소공정으로 들어오는 연료 탄소의 일부는 산화를 피하게 된다. 이 부분은 일반적으로 작으므로 (탄소의 99에서 100%가 산화된다) 표 1.4의 기본 배출계수는 100% 산화를 가정하여 도출된다. 일부 연료에 대해, 산화 부분은 실제 무시할 수 없을 것이며 측정에 기초한, 대표적인 국가 고유의 값이 이용 가능한 경우, 이를 이용해야 한다. 달리 말하면 기본 CO_2 배출계수를 도출할 때 산화되는 탄소의 비율은 1로 가정한다.

표 1.3은 분자량에 기초하여 배출계수가 계산 (표 1.4)될 수 있는 연료의 탄소 함유량을 제공한다. 이들 배출계수는 국가 고유의 계수가 이용가능하지 않을 때에만 제안되는 기본값이다. 보다 상세한 최신 배출계수는 IPCC EFDB에서 이용 가능할 것이다.

바이오매스 연료로부터의 CO_2 배출은 국가 총계에서 포함되지 않지만 정보항목(memo item)으로 보고된다는 것을 주목하라. CO_2의 순 배출 또는 흡수는 AFOLU 부문에서 산정되고 이러한 배출을 고려한다. 토탄(peat)은 바이오연료가 아니라 화석연료로 취급되므로 토탄의 연소로부터의 배출은 국가 총계에 포함된다는 것을 주목하라.

표 1.3에서 제시된 자료는 에너지에 기초하여 각각의 연료에 대한 기본 배출계수를 계산하기 위해 이용된다. 활동자료가 질량단위로 이용가능하다면, 질량단위의 활동자료가 직접 적용될 수 있을 것이다. 이 때 탄소 함유량은 질량 단위에 기초하여야 한다.

표 1.3
탄소량의 기본값

연료종류		기본값[1] (kg/GJ)	하한	상한
원유		20	19.4	20.6
오리멀젼		21	18.9	23.3
천연가스액		17.5	15.9	19.2
가솔린	자동차용 가솔린	18.9	18.4	19.9
	항공용 가솔린	19.1	18.4	19.9
	제트용 가솔린	19.1	18.4	19.9
제트용 등유		19.5	19	20.3
기타 등유		19.6	19.3	20.1
혈암유		20	18.5	21.6
가스/디젤 오일		20.2	19.8	20.4
잔여 연료유		21.1	20.6	21.5
액화석유가스		17.2	16.8	17.9
에탄		16.8	15.4	18.7
나프타		20	18.9	20.8
역청		22	19.9	24.5
윤활유		20	19.6	20.5
석유 코크스		26.6	22.6	31.3
정유공장 원료		20	18.8	20.9
기타 오일	정유가스[2]	15.7	13.3	19
	밀랍	20	19.7	20.3
	백유 & SBP	20	19.7	20.3
기타 석유제품		20	19.7	20.3
무연탄		26.8	25.8	27.5
원료탄		25.8	23.8	27.6
기타 역청탄		25.8	24.4	27.2
하위 역청탄		26.2	25.3	27.3
갈탄		27.6	24.8	31.3
유모혈암 및 역청암		29.1	24.6	34
갈탄 연탄		26.6	23.8	29.6
특허연료		26.6	23.8	29.6
코크스	코크스로 코크스와 갈탄 코크스	29.2	26.1	32.4
	가스 코크스	29.2	26.1	32.4
콜타르[3]		22	18.6	26
파생 가스	가스공장 가스[4]	12.1	10.3	15
	코크스로 가스[5]	12.1	10.3	15
	용광로 가스[6]	70.8	59.7	84
	산소 강철로 가스[7]	49.6	39.5	55

표 1.3 (계속)
탄소량의 기본값

연료종류		기본값[1] (kg/GJ)	하한	상한
천연가스		15.3	14.8	15.9
도시 폐기물[8]		25	20	33
산업 폐기물		39	30	50
폐유[9]		20	19.7	20.3
토탄		28.9	28.4	29.5
고체 바이오연료	목재/목재 폐기물[10]	30.5	25.9	36
	아황산염 잿물[11]	26	22	30
	기타 주요한 고체 바이오매스[12]	27.3	23.1	32
	목탄[13]	30.5	25.9	36
액체 바이오연료	바이오가솔린[14]	19.3	16.3	23
	바이오디젤[15]	19.3	16.3	23
	기타 액체 바이오연료[16]	21.7	18.3	26
기체 바이오매스	매립지 가스[17]	14.9	12.6	18
	슬러지 가스[18]	14.9	12.6	18
	기타 바이오가스[19]	14.9	12.6	18
기타 비-화석연료	도시 폐기물[20]	27.3	23.1	32

주 :

1. 95% 신뢰구간의 하한 및 상한은 로그정규분포로 가정하여 국가 인벤토리 보고서, IEA 데이터 및 이용 가능한 국가 데이터를 기초로 데이터 셀이 갖추어졌다. 더욱 상세한 내용은 1.5절에 주어져 있다.

2. 일본 자료; 불확도 범위 : 전문가 판단

3. EFDB ; 불확도 범위 : 전문가 판단

4. 코크스로 가스 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

5. 일본 및 영국의 적은 수의 자료 ; 확실도 범위 : 전문가 판단

6-7. 일본 및 영국의 적은 수의 자료 ; 확실도 범위 : 전문가 판단

8. 고체 바이오메스 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

9. 윤활유 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

10. EFDB ; 불확도 범위 : 전문가 판단

11. 일본 자료; 불확도 범위 : 전문가 판단

12. 고체 바이오메스 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

13. EFDB ; 불확도 범위 : 전문가 판단

14. 에탄올 이론적인 수 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

15. 에탄올 이론적인 수 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

16. 액체 바이오메스 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

17-19 메탄올 이론적인 수 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

20. 체 바이오메스 ; 불확도 범위 : 전문가 판단

표 1.4
연소에 대한 CO_2 배출계수 기본값

연료종류		기본값 (kg/GJ)	탄소산화계수 기본값	유효 CO_2 배출계수 (kg/TJ)[2]		
				기본값[3]	95% 신뢰구간	
		A	B	C=A*B*44/12*1000	하한	상한
원유		20	1	73,300	71,100	75,500
오리멀젼		21	1	77,000	69,300	85,400
천연가스액		17.5	1	64,200	58,300	70,400
가솔린	자동차용 가솔린	18.9	1	69,300	67,500	73,000
	항공용 가솔린	19.1	1	70,000	67,500	73,000
	제트용 가솔린	19.1	1	70,000	67,500	73,000
제트용 등유		19.5	1	71,500	69,700	74,400
기타 등유		19.6	1	71,900	70,800	73,700
혈암유		20	1	73,300	67,800	79,200
가스/디젤 오일		20.2	1	74,100	72,600	74,800
잔여 연료유		21.1	1	77,400	75,500	78,800
액화석유가스		17.2	1	63,100	61,600	65,600
에탄		16.8	1	61,600	56,500	68,600
나프타		20	1	73,300	69,300	76,300
역청		22	1	80,700	73,000	89,900
윤활유		20	1	73,300	71,900	75,200
석유 코크스		26.6	1	97,500	82,900	115,000
정유공장 원료		20	1	73,300	68,900	76,600
기타 오일	정유가스	15.7	1	57,600	48,200	69,000
	밀랍	20	1	73,300	72,200	74,400
	백유 & SBP	20	1	73,300	72,200	74,400
기타 석유제품		20	1	73,300	72,200	74,400
무연탄		26.8	1	98,300	94,600	101,000
원료탄		25.8	1	94,600	87,300	101,000
기타 역청탄		25.8	1	94,600	89,500	99,700
하위 역청탄		26.2	1	96,100	92,800	100,000
갈탄		27.6	1	101,000	90,900	115,000
유모혈암 및 역청암		29.1	1	107,000	90,200	125,000
갈탄 연탄		26.6	1	97,500	87,300	109,000
특허연료		26.6	1	97,500	87,300	109,000
코크스	코크스로 코크스와 갈탄 코크스	29.2	1	107,000	95,700	119,000
	가스 코크스	29.2	1	107,000	95,700	119,000
콜타르		22	1	80,700	68,200	95,300
파생 가스	가스공장 가스	12.1	1	44,400	37,300	54,100
	코크스로 가스	12.1	1	44,400	37,300	54,100
	용광로 가스[3]	70.8	1	260,000	219,000	308,000
	산소 강철로 가스	49.6	1	182,000	145,000	202,000

표 1.4 (계속)
연소시 CO_2의 배출계수 기본값

연료종류		기본값 (kg/GJ)	탄소산화계수 기본값	유효 CO_2 배출계수 (kg/TJ)[2]		
				기본값[3]	95% 신뢰구간	
		A	B	C=A*B*44/12*1000	Lower	Upper
천연가스		15.3	1	56,100	54,300	58,300
도시 폐기물		25	1	91,700	73,300	121,000
산업 폐기물		39	1	143,000	110,000	183,000
폐유		20	1	73,300	72,200	74,400
토탄		28.9	1	106,000	100,000	108,000
고체 바이오연료	목재/목재 폐기물	30.5	1	112,000	95,000	132,000
	아황산염 잿물5	26	1	95,300	80,700	110,000
	기타 주요한 고체 바이오매스	27.3	1	100,000	84,700	117,000
	목탄	30.5	1	112,000	95,000	132,000
액체 바이오연료	바이오가솔린	19.3	1	70,800	59,800	84,300
	바이오디젤	19.3	1	70,800	59,800	84,300
	기타 액체 바이오연료	21.7	1	79,600	67,100	95,300
기체 바이오매스	매립지 가스	14.9	1	54,600	46,200	66,000
	슬러지 가스	14.9	1	54,600	46,200	66,000
	기타 바이오가스	14.9	1	54,600	46,200	66,000
기타 비-화석연료	도시 폐기물	27.3	1	100,000	84,700	117,000

주 :

1. 95% 신뢰구간의 하한 및 상한은 로그정규분포로 가정하여 국가 인벤토리 보고서, IEA 데이터 및 이용 가능한 국가 데이터를 기초로 데이터 셀이 갖추어졌다. 더욱 상세한 내용은 1.5절에 주어져 있음.
2. TJ = 1000GJ
3. BFG에 대한 배출계수값은 처음부터 이 가스에 이산화탄소를 포함하고 있을 뿐 아니라 이 가스의 연소에 의해 형성.
4. OSF에 대한 배출계수값은 처음부터 이 가스에 이산화탄소를 포함하고 있을 뿐 아니라 이 가스의 연소에 의해 형성.
5. 흑액 연소장치로 부터 배출된 CO2 및 크래프트 제작 석회 로에서 배출된 CO2에서 발생된 바이오메스들을 포함.

1.4.2.2 기타 온실가스

연료 연소로부터의 non-CO_2 가스에 대한 배출계수는 이용되는 기술에 크게 의존적이다. 각 부문에 적용되는 기술은 상당히 다르기 때문에, 배출계수도 달리 제공된다. 그러므로 연료에만 기초하여 이들 가스에 대한 기본 배출계수를 제공하는 것은 유용하지 않다. 그러므로 Tier 1 기본 배출계수는 이후의 장들에서 각 하위부문에 대해 별도로 제공된다.

1.4.2.3 간접 온실가스 (INDIRECT GREENHOUSE GASES)

이 책자(volume)는 간접적 온실가스의 배출량 산정에 관한 지침을 제시하지 않는다. 이들 가스에 대한 정보를 위해, 사용자는 다른 협약들(1.3.1.3절 다른 인벤토리 접근법과의 관계를 참고)에서 제공된 지침을 참조하게 된다. 이러한 배출을 산정하기 위한 기본적 방법은 EMEP/CORINAIR Guidebook에서 제공된다. 제1권의 제7장은 이러한 정보에 연결하는 방법에 대한 상세내용을 제공하고 있다.

1.5 인벤토리 산정치의 불확도

1.5.1 일반사항

인벤토리의 불확도에 관한 일반적인 처리는 *2006 IPCC 가이드라인*의 1권 3장에서 제공된다. 인벤토리의 불확도에 관한 계량적 분석은 활동자료 및 배출계수 모두에 대한 계량적 입력값을 필요로 한다. 이 장은 추가적인 정보가 이용가능하지 않은 경우에 이용되는 권고되는 기본값 불확도 범위(95% 신뢰구간의 상하한)를 제공할 것이다. 하한 (표에서 "하한"으로 표시)은 확률분포함수의 2.5% 백분위수에서 설정되며 상한 (표에서 "상한"으로 표시)은 97.5% 백분위수에서 설정된다.

이 장의 모든 기본값은 기본 배출계수 자체 및 95% 신뢰구간의 상하한 모두에 대해, 세자리 유효숫자로 반올림되었다. 정확한 계산의 적용을 위해 세자리 이상의 값을 제공할 수 있지만, 세자리 이상의 값은 유효한 것으로 간주되지 않는다.

1.5.2 활동자료의 불확도

에너지 부문에서 배출 산정치를 위해 필요한 활동자료는 국가적 및 국제적 에너지 균형 및 에너지 통계로부터 주로 도출된다. 이러한 자료는 일반적으로 정확한 것으로 생각된다. 연료 연소 통계 내지 에너지 균형에 관한 불확도 정보는 책임있는 국내 또는 국제 기관으로부터 얻을 수 있을 것이다.

추가적인 자료가 이용가능하지 않다면, 권고되는 기본적인 불확도 범위는 ±5%인 것으로 가정되어야 한다. 달리 말하면:

- 에너지 통계 또는 에너지 균형표의 값은 활동자료를 위한 산정치로 해석된다.
- 95% 신뢰구간의 하한값은 0.95 × 산정치이다.
- 95% 신뢰구간의 상한값은 1.05 × 산정치이다.

에너지 균형에서 자주 주어지는 "통계적 차이(statistical difference)"는 자료의 불확도에 대한 느낌을 얻기 위해 또한 이용될 수 있을 것이다. "통계적 차이"는 연료의 공급으로부터 파생되는 자료와 연료의 수요로부터 파생되는 자료간의 차이로부터 계산된다. 이 값의 연도별 변화는 상호간 관계를 포함한 모든 기본적 연료 자료의 통합된 불확도를 반영한다. 그러므로, “통계적 차이”의 변화는 특정한 연료에 대한 모든 공급 및 수요 자료의 조합된 불확도의 표시일 것이다. 불확도가 백분율로 표현된다는 것을 상기할 때, 특정한 부문 내지 응용에 대한 연료 연소 자료의 불확도는 “통계적 차이”에 의해 제안된 불확도보다 일반적으로 높을 것이다. 권고된 기본 불확도 범위는 이러한 사고방식에 기초한다. 그렇지만, “통계적 차이”가 0이라면, “통계적 차이”가 없는 것으로 처리하여야 하고 이러한 경우, QA/QC를 위해 자료의 검증이 필요하며, 필요시 개선이 이루어져야 한다.

연료로서 바이오매스에 대한 자료는 화석연료에 비해 잘 통계처리되어 있지 않기 때문에, 바이오매스 연료의 불확도 범위는 상당히 클 것이다. ±50%의 값이 권고된다.

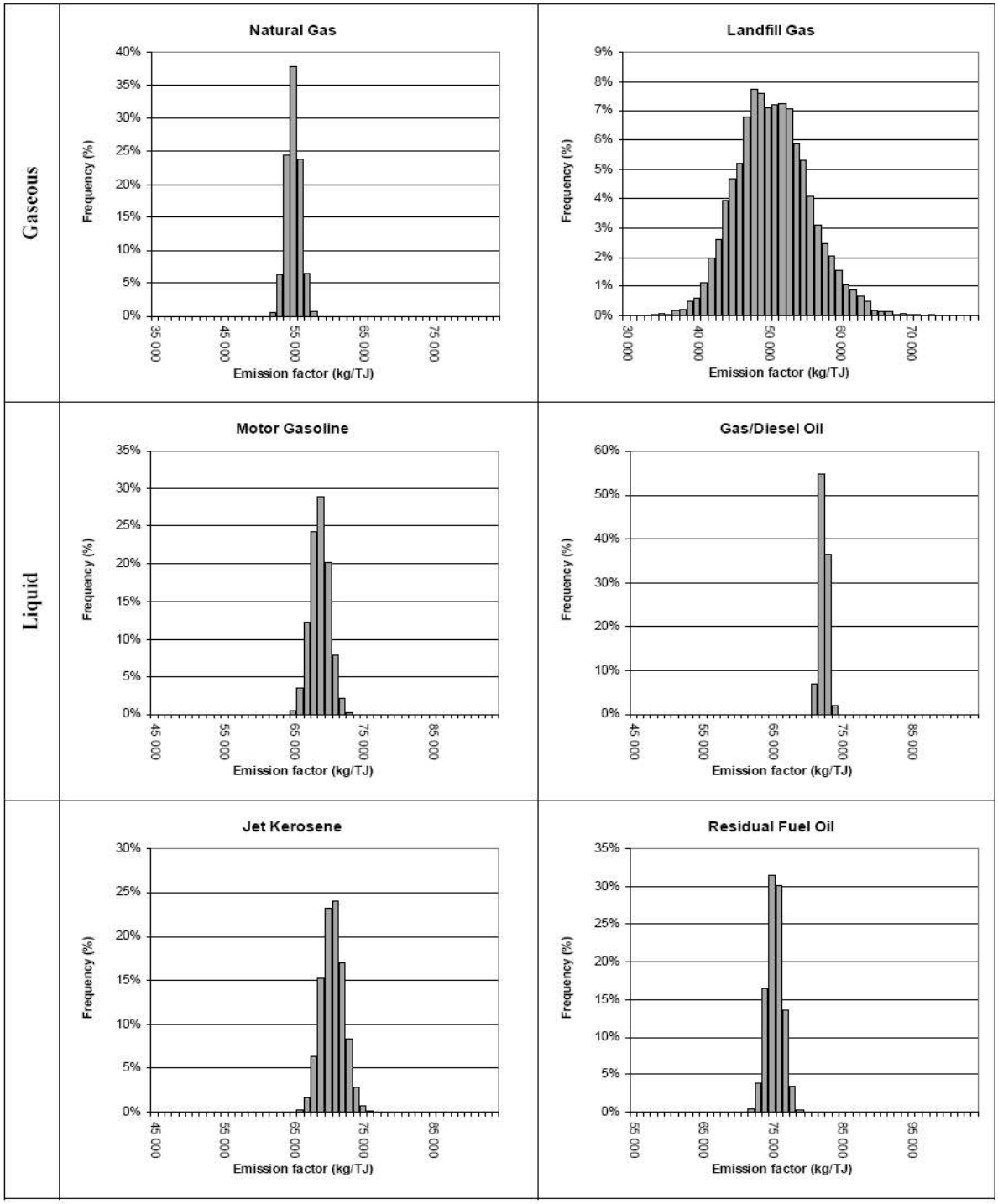
1.5.3 배출계수의 불확도

이 장에서 도출된 기본 배출계수는 연료 특성에 관한 이용 가능한 자료의 통계적 분석에 기초한다. 순발열량에 대해 표 1.2, 연료의 탄소 함유량에 대해 표 1.3에서 제공되는 것처럼 분석은 95% 신뢰구간의 상하한을 제공한다.

표 1.4에서 제공되는 불확도 범위는 이러한 정보로부터, 몬테카를로 분석(Monte Carlo analysis) (5,000회 반복)을 이용하여 계산된다. 이 분석에서, 95% 신뢰구간의 상하한에 로그정규 분포(log-normal distributions)를 확률분포함수로 적용하여 분석한다.

일부 연료에 대해, 최종적으로 유효한 기본값 CO_2 배출계수에 대한 결과적인 확률분포함수를 적용하여 아래의 그림 1.3에 제시하였다.

그림 1.3 연료 연소에 대한 유효한 CO_2 배출계수를 위한 확률분포함수(PDFs)의 전형적인 예.



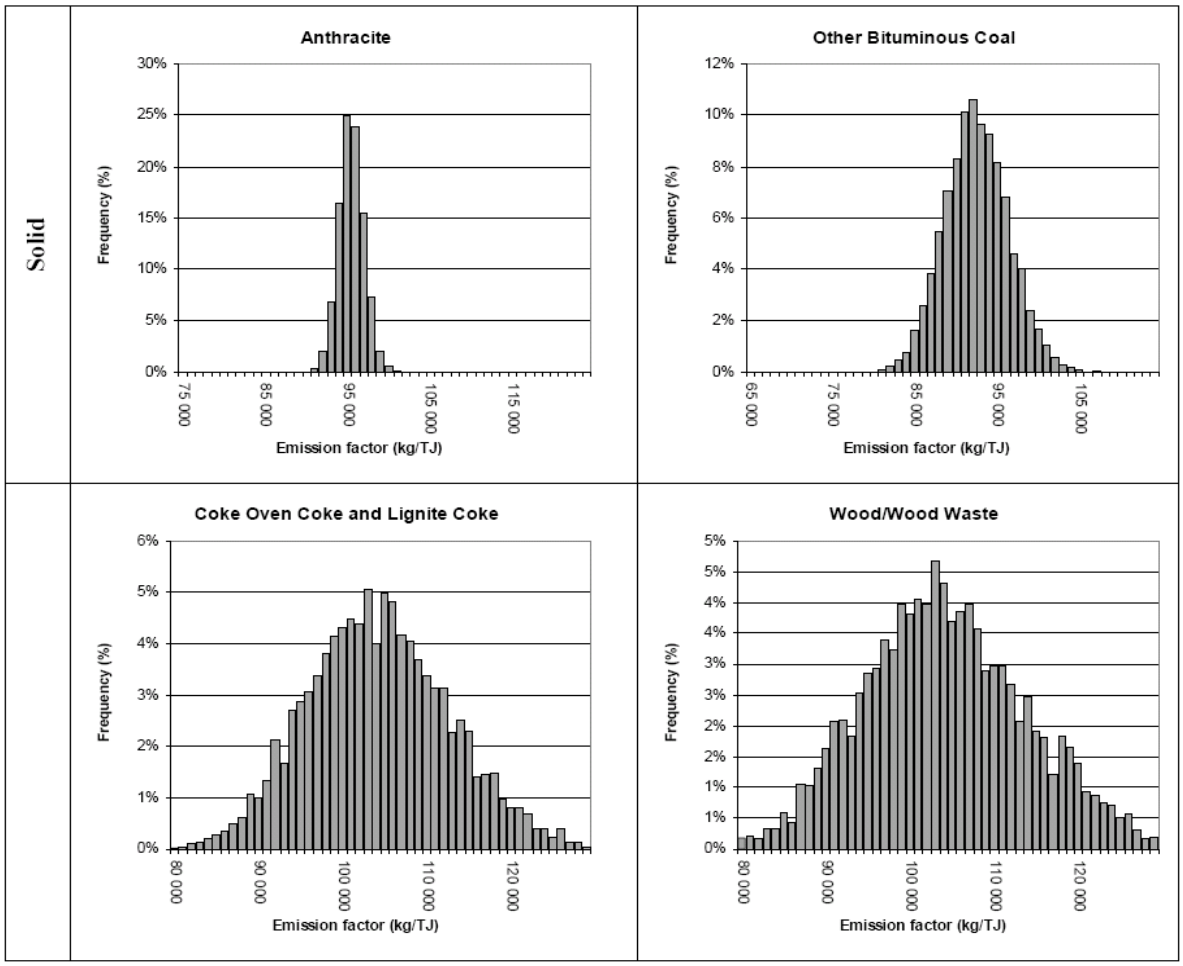


표 1.4에서 제시된 것처럼 불확도 정보는 국가 고유의 배출계수와 기본 배출계수를 비교할 때도 이용될 수 있다. 국가 고유의 배출계수가 95% 신뢰구간에 속할 때, 이는 기본값과 일치하는 것으로 간주될 수 있다. 또한, 이용자는 해당 국가에서 적용하기 위한 국가 고유의 값에 관한 불확도 범위가 그림 1.3에서 제공된 범위보다 작을 것이라고 기대할 수 있을 것이다. non-CO_2 배출계수에 대한 배출계수의 불확도는 이후의 장들에서 다른 배출원 카테고리에 대해 따로 처리된다.

1.6 QA/QC 및 완전성

1.6.1 기본 접근법 (Reference Approach)

연료 연소로부터의 이산화탄소 배출은 많은 국가들에서 온실가스 배출의 대부분을 차지한다. 이들 배출량을 빠르고 쉽게 산정하기 위해 또 다른 독립적인 방법을 이용하는 것은 가치가 있다. 기본 접근법은 단지 매우 제한된 자원 및 자료만이 인벤토리 작성자에게 이용 가능한 경우일지라도, 한 국가에 공급되는 에너지에 기초하여 국가적 온실가스 배출의 1차적 산정치를 생성하는 방법론을 제공한다. 기본 접근법은 하향식 접근법(top-down approach)이며 이런 측면에서 이 장의 Tier 1, 2, 3 방법에서 기술되는 것과 같은 상향식 접근법(bottom-up approach)으로부터 상대적으로 독립적이기 때문에, 기본 접근법은 검증용 교차검사(verification cross-check)로 생각될 수 있다. 그 자체로 이는 에너지 부문을 위해 필요한 QA/QC의 한 방법이다. 기본 접근법은 이 책의 제6장에서

상세하게 기술된다.

기본 접근법은 연료의 생산, 외부적인 거래, 양적인 변화에 대한 통계를 필요로 한다. 이는 또한 탄소가 제외될 필요가 있는 비-에너지 목적을 위해 이용된 연료의 소비에 대한 제한된 양의 자료를 필요로 한다.

기본 접근법은 탄소가 연료의 형태로 국가경제에 들어오면, 이는 온실가스의 형태로 대기중에 방출되거나, 전환되어 (예를 들어, 연료량의 증가로, 제품에 저장되어, 회분에서 이용되지 않은 채로) 온실가스로 대기중에 들어가지 않는다는 가정에 기초한다. 대기중에 방출되는 탄소의 양을 계산하기 위해, 어떻게 연료가 이용되거나 어떤 중간적 변환을 경험하는지 정확히 알 필요는 없다. 이런 관점에서, 이 방법론은 부문별 접근법에서 적용되는 상향식 방법론과 대조적으로 하향식으로 기술될 것이다.

1.6.2 부문간의 잠재적인 이중계산(double counting)

1.6.2.1 연료의 비-에너지 용도

다수의 응용기기를 위해, 주로 대규모 산업공정에서, 화석 탄화수소(fossil hydrocarbons)는 에너지원으로 이용될 뿐만 아니라 예를 들어 공급원료(feedstocks), 윤활유, 용제(solvents) 등과 같은 다른 용도를 가진다. 그러므로 부문별 접근법 (Tier 1, 2, 3)은 연료 연소 통계에 기초한다.
그러므로, 연료 이송(delivery) 통계가 아니라 연료 연소 통계의 이용은 배출 산정치의 이중계산(double counting)를 피하기 위한 핵심이다. 활동자료가 연소된 연료의 양이 아니라 기업 내지 주요 하위카테고리로의 이송량일 때, IPPU (제5장) 또는 폐기물(Waste) 부문으로부터의 배출을 이중계산(double counting)하는 위험이 존재한다.

화석 탄화수소의 비-에너지 용도의 일부 유형에서, 여러 물질을 포함하는 화석탄소(fossil carbon)의 배출이 발생할 것이다. 이러한 배출은 배출이 발생될 때 IPPU 부문에서 보고되어야 한다. 이러한 배출을 산정하는 방법은 제3권, 산업공정 및 제품 이용(Industrial Processes and Product Use)에서 제공된다.

1.6.2.2 연료로서의 폐기물

일부 폐기물 소각로는 열 내지 전력을 또한 생산한다. 이러한 경우에 폐기물 흐름이 국가 에너지 통계에 나타날 것이고 에너지 부문에서 이러한 배출을 보고하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 이는 폐기물 부문에서 배출을 산정하기 위해 폐기물의 총 부피가 이용될 때 이중계산(double counting)를 가져올 수 있을 것이다. 폐기물로부터 발생한 CO_2의 화석연료에서 파생된 부분만이 국가 총배출량에 포함된다. 상세한 내용을 위해 배출을 산정하는 방법론적 주제가 논의되는 제5권(폐기물)-제5장(폐기물의 소각 및 노천소각)을 참고하라.

1.6.3 이동 연소 대 고정 연소

대부분의 배출원에 대해 이동형 및 고정 연소간의 구별은 꽤 명확하다. 그렇지만 에너지 통계에서 이것이 항상 사실은 아니다. 일부 산업에서 연료가 일부분 고정형 장비에 그리고 일부분 이동형

장비에 이용되는 경우가 발생할지 모른다. 예를 들어 이런 경우는 농업, 임업, 건축업 등에서 발생할 수 있을 것이다. 이런 경우가 발생하고 이동형과 고정형간의 분할이 실행가능하지 않을 때, 배출의 가장 큰 부분을 가질 것으로 기대되는 배출원 카테고리에서 배출이 보고될 수 있을 것이다. 이러한 경우에, 그 방법 및 선택을 적절히 문서화하기 위해 주의를 기울여야 한다.

1.6.4 국가의 범위

국가의 범위를 넘어 이동하는 동안, 이동형 배출원은 한 국가에서 판매된 연료의 일부를 두 번째 국가에서 이용하기 위해 소지할지도 모른다. 그렇지만, 이러한 배출을 산정하기 위해, 배출 산정을 위한 판매된 연료의 이용에 관한 원칙은 여러 가지 이유에서 국가 영토에 엄격하게 적용해야 한다:

- 차량 연료탱크 안에서 국경을 넘어 이동하는 연료에 관한 자료는 전혀 이용가능하지 않을 것이고, 가능할지라도 국내 연료 소비 자료보다 훨씬 덜 정확할 것이다.
- 판매된 연료로부터의 배출은 오직 한 국가의 인벤토리에 나타난다는 것이 중요하다. 인접 국가들간에 일관성을 보장하는 것은 거의 불가능할 것이다.
- 대부분의 차량은 자신의 탱크에 연료를 가지고 자국으로 결국 돌아올 것이기 때문에 대부분의 경우에 국경을 넘는 교통량의 순효과(net effect)는 작을 것이다. 단지 "연료 관광(fuel tourism)[8]"의 경우에 이는 사실이 아닐지 모른다.

선박용 연료유(bunker fuels)와 탄소 포집 및 저장에 관련된 국경 문제에 관한 기타 권고는 이후의 장들에서 제공되며, 제1권, 제8장에서 제시된 원칙들과 일치한다.

1.6.5 새로운 배출원

*2006 IPCC 가이드라인*는, 처음으로, 이산화탄소 포집 및 저장 (5장)으로부터 배출을 산정하기 위한 방법을 포함하며, 이는 전체적으로 배출을 저감하는 이들 기술의 효과가 국가인벤토리에 적절히 반영될 수 있게 하기 위해서이다. 가이드라인은 *1996 IPCC 가이드라인*과 *GPG 2000*에 이미 포함된 작업중인 광산(working mines)을 위한 방법을 보완하기 위해, 버려진 탄광 으로부터의 산정 (4.1절) 배출량에 대한 새로운 방법을 또한 포함한다.

8 국경 근처에 사는 사람들은 가솔린 가격이 국가들간에 다르다면 한 국가에서 이용하기 위해 다른 국가에서 가솔린을 사려는 동기(incentive)을 가질지 모른다.
일부 지역에서 이러한 효과는 상당하다. 다음을 참고하라: 국경지역에서의 연료 관광(Fuel tourism), Silvia Banfi, Massimo Filippini, Lester C. Hunt, CEPE, Centre for Energy Policy and Economics, Swiss Federal Institutes of Technology, 2003, http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=incoll&nr=888.

참고문헌

Kainou, K (2005). 'Revision of default net calorific values, carbon content factors, carbon oxidization factors and carbon dioxide emission factors for various fuels in 2006 IPCC GHG Inventory Guidelines'. RIETI, IAI, Govt of Japan.

Nilsson, K and. Nilsson, M (2004). 'The climate impact of energy peat utilization in Sweden - the effect of former land use and after-treatment'. Report IVL B1606.

OECD/IEA, (2004). Energy Statistics Manual

Savolainen, I., Hillebrand, K., Nousiainen, I. and Sinisalo, J. (1994). 'Greenhouse gas impacts of the use of peat and wood for energy.' Espoo, Finland'. VTT Research Notes 1559. 65p.+app.

Uppenberg, S. Zetterberg, L. and Åhman, M. (2001). 'Climate impact from peat utilisation in Sweden'. (2001). Report IVL B1423.

제2장

고정 연소

저자

Darío R. Gómez (아르헨티나) and John D. Watterson (영국)

Branca B. Americano (브라질), Chia Ha (캐나다), Gregg Marland (미국)
Emmanuel Matsika (잠비아), Lemmy Nenge Namayanga (잠비아)
Balgis Osman-Elasha (수단), John D. Kalenga Saka (말라위), and Karen Treanton (국제에너지기구)

부저자(contributing authors)

Roberta Quadrelli (국제에너지기구)

목 차

2. 고정 연소 ····· 2.6
2.1 개요 ····· 2.6
2.2 배출원에 관한 설명 ····· 2.7
2.3 방법론적 이슈 ····· 2.12
2.3.1 방법의 선택 ····· 2.12
2.3.1.1 TIER 1 접근법 ····· 2.12
2.3.1.2 TIER 2 접근법 ····· 2.13
2.3.1.3 TIER 3 접근법 ····· 2.14
2.3.1.4 의사결정도 ····· 2.16
2.3.2 배출계수의 선택 ····· 2.16
2.3.2.1 TIER 1 ····· 2.17
2.3.2.2 TIER 2 국가고유 배출계수 ····· 2.27
2.3.2.3 TIER 3 기술별 배출계수 ····· 2.27
2.3.3 활동자료의 선택 ····· 2.27
2.3.3.1 TIER 1 및 TIER 2 ····· 2.34
2.3.3.2 TIER 3 ····· 2.38
2.3.3.3 다른 부문과 활동자료를 이중계산하는 것을 방지 ····· 2.38
2.3.3.4 바이오매스의 처리 ····· 2.39
2.3.4 이산화탄소의 포집 ····· 2.40
2.3.5 완전성 ····· 2.44
2.3.6 일관적인 시계열 및 재계산의 개발 ····· 2.45
2.4 불확도 평가 ····· 2.45
2.4.1 배출계수의 불확도 ····· 2.45
2.4.2 활동자료 불확도 ····· 2.48
2.5 인벤토리 품질 보증/품질 관리 QA/QC ····· 2.49
2.5.1 보고 및 문서화 ····· 2.49
2.6 워크시트 ····· 2.50

참고문헌 ····· 2.54

식

식 2.1 고정 연소로부터 발생하는 온실가스 배출량 ·····2.13
식 2.2 온실가스에 의한 총배출량 ·····2.13
식 2.3 기술에 의한 온실가스 배출량 ·····2.14
식 2.4 기술 침투에 기초한 연료 소비 산정치 ·····2.15
식 2.5 기술에 기초한 배출량 산정 ·····2.15
식 2.6 CO_2 포집 효율성 ·····2.42
식 2.7 CO_2 포집의 처리 ·····2.43

그 림

그림 2.1 고정 연소로부터 배출량을 산정하기 위한 일반화된 의사결정도 ·····2.18
그림 2.2 전력 및 열 생산설비는 전력 및/혹은 유용한 열을 생산하기 위해 연료를 이용 ·····2.36
그림 2.3 정유공장은 원유를 석유제품으로 변환하기 위해 에너지를 이용 ·····2.36
그림 2.4 연료는 제조업에서 원재료를 제품으로 전환하기 위한 에너지원으로 이용 ·····2.37
그림 2.5 고정 연소 배출원으로부터 발생하는 CO_2의 포집 시스템 ·····2.41
그림 2.6 고정 연소공정과 관련된 CO_2 포집 시스템에 대한 시스템 경계내외의 탄소 흐름 ·····2.42

표

표 2.1 고정 연소를 위해 분리된 상세한 부문 ·····2.8
표 2.2 에너지산업에서 고정 연소를 위한 기본 배출계수 값 ·····2.19
표 2.3 제조업과 건설업에서 고정 연소에 대한 기본 배출계수 값 ·····2.21
표 2.4 상업/공공 부문에서의 고정 연소에 대한 기본 배출계수 값 ·····2.23
표 2.5 가정과 농림어업 부문에서의 고정 연소에 대한 기본 배출계수 값 ·····2.25
표 2.6 에너지 산업 부문 배출계수 ·····2.29
표 2.7 산업부문 배출계수 ·····2.30
표 2.8 킬른, 오븐과 건조기 배출계수 ·····2.31

표 2.9 가정부문 배출계수 ……2.33
표 2.10 상업/공공부문 배출계수 ……2.34
표 2.11 연소전 시스템과 연소후 시스템에서의 전형적 CO_2 포집효율 ……2.43
표 2.12 고정 연소 배출계수에 대한 불확도 추정치 ……2.46
표 2.13 선택된 국가들의 고정연소 배출원 CO_2 배출계수의 불확도 평가 요약 ……2.47
표 2.14 선택된 국가들의 고정연소 배출원 CH_4와 N_2O 배출계수의 불확도 평가 요약 ……2.48
표 2.15 고정연소 활동자료와 관련된 불확도 등급 ……2.49
표 2.16 고정 연소를 위한 배출원별 리스트 ……2.51
표 2.17 고정 배출원에 대한 QA/QC 절차 ……2.52

박 스

박스 2.1 자가생산자 ……2.12

2. 고정 연소

2.1 개요

이 장은 고정 연소로부터 발생하는 배출을 산정하기 위해 필요한 방법 및 자료와 이러한 배출이 보고되어야 하는 부문들을 기술한다. 아래의 내용에 기초하여 3가지 tier로 부문별 접근을 위한 방법들이 제공된다:

- Tier 1: 국가 에너지 통계로부터 나온 연료 소비량 및 기본 배출계수
- Tier 2: 국가 에너지 통계로부터 나온 연료 소비량 및 가능한 경우에 국가 연료 특성으로부터 도출된 국가 고유의 배출계수
- Tier 3: 연료 소비 및 저감기술에 적합한 배출계수와 함께 적용된 연소기술에 대한 자료; 이는 이용 가능한 경우에 모형 및 시설수준의 배출자료를 이용하는 것을 포함한다.

이 장은 모든 배출원 부문(source categories) 및 연료에 대해 기본 Tier 1 배출계수를 제공한다. 데이터베이스 정보의 정확한 이용은 온실가스 인벤토리 작성자의 책임이지만, 국가적 상황에 적절한 정보를 위해 IPCC Emission Factor Database[1]를 참조한다.

이 장은 *GPG 2000*의 'Energy' 장에서 이전에 제시된 요소들을 다룬다. *IPCC 2006 가이드라인s*의 구조는 *IPCC 1996 가이드라인* 및 *GPG 2000*과 다르다. 고정 연소 정보에 대한 변화는 아래에 요약된다.

내용:

- 이 장이 어떤 부문을 다루고, 배출이 어떤 IPCC 배출원 코드(source codes)에 보고되어야 하는지를 상세히 설명하는 표가 포함된다.
- 일부 배출계수가 개정되었고, 일부 새로운 계수가 포함되었다. 배출계수를 포함하는 표는 어떤 계수가 새로운 것이고, 어떤 것이 *IPCC 1996 가이드라인* 및 *GPG 2000*으로부터 개정되었는지 표시한다.
- 보다 좋은 정보가 이용가능하지 않다면, 기본 산화계수는 1로 가정된다.
- Tier 1 부문별 접근법에서, 산화계수는 배출계수와 함께 포함되며, 이는 워크시트를 단순화한다.
- *GPG 2000*에 기초하여, 이 장은 활동자료 및 배출계수 모두의 불확도 평가에 관한 확장된 정보를 포함한다.
- 일부 정의가 변경되거나 정제되었다.
- 이산화탄소 포집 및 저장에 대한 새로운 절이 추가되었다.

구조:

1 http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/efdb/main.php 에서 이용가능함.

- 배출을 산정하기 위한 방법론은 이제 각 Tier 접근법에 대해 보다 작은 절로 세분화되었다.
- 가능한 경우에, CO_2, CH_4, N_2O에 대한 배출계수를 함께 제시하도록 표들을 설계하였다.

2.2 배출원에 관한 설명

부문별로 살펴보면, 고정 연소로부터 발생하는 배출은 1A, 연료연소 활동(표 2.1 참고)내에서 정의된 다수의 사회적 및 경제적 활동에 의해 구분된다. 이는 에너지 산업 (1.A.1), 제조업 및 건설 (1.A.2), 기타 부문 (1.A.4)로 구분되어진다. 이러한 하위부문들은 모든 고정 연소시설을 포함하도록 의도되었지만, 다른 4개의 하위부문들에 할당될 수 없는 배출시설을 1.A.5로 구분할수 있다. 표 2.1은 이 책자의 3장에서 다루어지는 이동 배출원 부문을 1.A.4와 1.A.5에서도 표시한다.

표 2.1
고정 연소를 위해 분리된 상세한 부문[2]

코드 번호 및 이름				정의
1 에너지 (ENERGY)				연료의 연소 및 탈루성 방출로부터 발생하는 모든 GHG 배출. 연료의 비-에너지 용도(non-energy uses)로부터 발생하는 배출은 일반적으로 여기에 포함되지 않고, 산업공정 및 제품 사용(Industrial Processes and Product Use)에서 보고된다.
1 A 연료 연소 활동 (Fuel Combustion Activities)				열을 올리고 이를 열 혹은 기계적인 일(mechanical work)로 공정에 제공하거나 장치로부터 멀리 떨어져 이용하기 위해 설계된 장치내서의 물질의 의도적인 연소로부터 발생하는 배출.
1 A 1	에너지 산업 (Energy Industries)			연료추출 혹은 에너지생산 산업에 의해 연소된 연료로부터 발생하는 배출로 구성된다.
1 A 1	a	주요 활동 전력 및 열 생산 (Main Activity Electricity and Heat Production)		전력생산의 주요활동 생산자, 열병합발전, 열 생산설비(heat plants)으로부터 발생하는 배출의 합계. (이전에 public utilities로 알려진) 주요활동 생산자는 주요활동이 대중에게 공급하는 것인 기업으로 정의된다. 그들은 공적 혹은 사적 소유일 수 있다. 연료의 현장 이용(on-site use)으로부터 발생하는 배출이 포함되어야 한다. 자가생산자(autoproducers) (자신의 주요활동을 지원하는 활동으로서, 자신이 이용하기 위해 전부 혹은 일부분 전력/열을 생산하는 기업)로부터 발생하는 배출은 1 A 1 a 에서가 아니라 그들이 생성되는 부문에 할당되어야 한다. 자가생산자는 공적 혹은 사적 소유일 수 있다.
1 A 1	a	i	전력 생산 (Electricity Generation)	열병합발전소의 배출을 제외한, 주요활동 생산자의 전력 생산을 위한 모든 연료 이용으로부터 발생하는 배출로 구성된다.
1 A 1	a	ii	열병합발전 (Combined Heat and Power Generation)	단일한 CHP 시설에서, 대중에게 판매하기 위한 주요활동 생산자의 열 및 전력 모두의 생산으로부터 발생하는 배출
1 A 1	a	iii	열 생산설비 (Heat Plants)	파이프 네트워크를 통해 판매하기 위한, 주요활동 생산자의 열 생산
1 A 1	b	석유 정제 (Petroleum Refining)		자신이 이용하기 위한 전력 및 열의 생산을 위한 현장 연소(on-site combustion)를 포함한, 석유제품의 정제를 지원하는 모든 연소 활동. 정유공장에서 발생하는 증발성 배출(evaporative emissions)은 포함하지 않는다. 이러한 배출은 1 B 2 a에서 따로 보고되어야 한다.

2 하위부문 1 A 4 및 1 A 5에서 발생하는 이동 배출원(mobile sources)을 위한 방법(Methods)은 3장에서 다루어지며, 배출은 고정 연소에서 보고된다.

표 2.1 (계속)
고정 연소를 위해 분리된 상세한 부문[3]

코드 번호 및 이름				정의
1 A 1	c	고체연료의 제조 및 기타 에너지 산업 (Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries)		목탄의 생산을 포함하여 고체연료로부터 2차, 3차 제품을 제조 동안 연료 이용으로부터 발생하는 연소 배출. 현장의 연료 이용으로부터 발생하는 배출이 포함되어야 한다. 또한 이들 산업에서 자신이 이용하기 위한 전력 및 열 생산을 위한 연소를 포함한다.
1 A 1	c	i	고체연료의 제조 (Manufacture of Solid Fuels)	코크스(coke), 갈탄 연탄(brown coal briquettes), 특허 연료의 생산을 위한 연료 연소로 부터 발생하는 배출.
1 A 1	c	ii	기타 에너지 산업 (Other Energy Industries)	위에서 언급되지 않거나 별도의 자료가 이용가능하지 않은 에너지 생산 산업 자신의 (현장) 에너지 이용으로부터 발생하는 연소 배출. 이는 석탄 채굴, 석유 및 가스 추출, 천연가스의 처리 및 개량뿐만 아니라 목탄, 사탕수수찌거기, 톱밥, 목화 줄기의 생산과 바이오연료의 탄화를 위한 자신의 에너지 이용으로부터 발생하는 배출을 포함한다. 이 부문은 CO_2 포집 및 저장의 연소전 처리로부터 발생하는 배출을 또한 포함한다. 파이프라인 수송으로부터 발생하는 연소 배출은 1 A 3 e에서 보고되어야 한다.
1 A 2	제조업 및 건설 (Manufacturing Industries and Construction)			산업에서 연료의 연소로부터 발생하는 배출. 이들 산업에서 자신이 이용하기 위한 전력 및 열의 생산을 위한 연소를 또한 포함한다. 철강산업내 코크스로에서 연료 연소로부터 발생하는 배출은 제조업이 아니라 1 A 1 c에서 보고되어야 한다. 산업부문으로부터 발생하는 배출은 모든 경제활동에 관한 국제표준산업분류 (ISIC)에 대응하는 하위부문에 의해 지정되어야 한다. 산업에 의한 수송을 위해 이용된 에너지는 여기서가 아니고 수송 (1 A 3)에서 보고되어야 한다. 산업에서 비포장 도로 및 기타 이동형 장비로부터 발생하는 배출은, 가능하면, 별도의 하위부문으로 분리되어야 한다. 각각의 국가에 대해, 오염물질의 중요한 배출자로부터 발생하는 배출뿐만 아니라, 가장 큰 연료소비 산업 부문 ISIC로부터 발생하는 배출이 보고되어야 한다. 제안된 부문 리스트는 아래와 같이 약술된다.
1 A 2	a	철강 (Iron and Steel)		ISIC Group 271 및 Class 2731.
1 A 2	b	비철금속 (Non-Ferrous Metals)		ISIC Group 272 및 Class 2732.
1 A 2	c	화학 (Chemicals)		ISIC Division 24.
1 A 2	d	펄프, 종이, 인쇄 (Pulp, Paper and Print)		ISIC Divisions 21 및 22.
1 A 2	e	식품 가공, 음료, 담배 (Food Processing, Beverages and Tobacco)		ISIC Divisions 15 및 16.

3 하위부문 1 A 4 및 1 A 5에서 발생하는 이동 배출원(mobile sources)을 위한 방법(Methods)은 3장에서 다루어지며, 배출은 고정 연소에서 보고된다.

표 2.1 (계속)
고정 연소를 위해 분리된 상세한 부문[4]

코드 번호 및 이름				정의
1 A 2	f	비금속 광물 (Non-Metallic Minerals)		유리, 도자기(ceramic), 시멘트 등과 같은 제품을 포함한다; ISIC Division 26.
1 A 2	g	수송 장비 (Transport Equipment)		ISIC Divisions 34 및 35.
1 A 2	h	기계류 (Machinery)		수송 장비가 아닌 조립금속제품, 기계류, 장비를 포함한다.; ISIC Divisions 28, 29, 30, 31, 32.
1 A 2	i	(연료를 제외한) 채굴 및 채석 (Mining (excluding fuels) and Quarrying)		ISIC Divisions 13 및 14.
1 A 2	j	목재 및 목제품 (Wood and Wood Products)		ISIC Division 20.
1 A 2	k	건설 (Construction)		ISIC Division 45.
1 A 2	l	섬유 및 가죽 (Textile and Leather)		ISIC Divisions 17, 18, 19.
1 A 2	m	미분류 산업 (Non-specified Industry)		위에 포함되지 않거나 별도의 자료가 이용가능하지 않은 제조업/건설. ISIC Divisions 25, 33, 36, 37을 포함한다.
1 A 4	기타 부문 (Other Sectors)			이러한 부문에서 자신이 이용하기 위한 전력 및 열 생산을 위한 연소를 포함하여, 아래에 기술된 것과 같은 연소 활동으로부터 발생하는 배출.
1 A 4	a	상업용/공공 (Commercial / Institutional)		상업용 및 공공 건물에서의 연료 연소로부터 발생하는 배출; ISIC Divisions 41,50, 51, 52, 55, 63-67, 70-75, 80, 85, 90-93, 99에 포함되는 모든 활동.
1 A 4	b	주거용 (Residential)		가정에서의 연료 연소로부터 발생하는 모든 배출.
1 A 4	c	농업/임업/어업/양어장 (Agriculture / Forestry / Fishing / Fish farms)		농업, 임업, 어업, 양어장과 같은 수산업에서 연료 연소로부터 발생하는 배출. ISIC Divisions 01, 02, 05에 포함되는 활동들. 간선도로 농업용 수송(Highway agricultural transportation)은 제외된다.
1 A 4	c	i	고정형 (Stationary)	펌프, 곡물 건조, 원예용 온실 및 기타 농업, 임업 혹은 수산업에서의 고정 연소에서 연소된 연료로부터 발생하는 배출.
1 A 4	c	ii	비포장 도로용 차량 및 기타 기계류 (Off-road Vehicles and Other Machinery)	농토 및 산림에서 견인차량(traction vehicles)에 의해 연소된 연료로부터 발생하는 배출.

4 하위부문 1 A 4 및 1 A 5에서 발생하는 이동 배출원(mobile sources)을 위한 방법(Methods)은 3장에서 다루어지며, 배출은 고정 연소에서 보고된다.

표 2.1 (계속)
고정 연소를 위해 분리된 상세한 부문[5]

코드 번호 및 이름				정의
1 A 4	c	iii	어업 (이동 연소) (Fishing (mobile combustion))	내륙, 연안, 원양 어업을 위해 연소된 연료로부터 발생하는 배출. 어업은 해당 국가에서 연료를 보급받은 모든 국적(flags)의 선박을 포함해야 한다 (국제적 어업(international fishing)을 포함).
1 A 5	미분류 (Non-Specified)			다른 곳에서 지정되지 않은 연료 연소로부터 발생하는 나머지 모든 배출. 특정 국가의 군대 및 다자간 작전(multilateral operations)에 종사하지 않는 다른 국가의 군대에 이송된 연료로부터 발생하는 배출을 포함한다.
1 A 5	a	고정형 (Stationary)		다른 곳에서 지정되지 않은 고정 배출원에서 연료 연소로부터 발생하는 배출.
1 A 5	b	이동형 (Mobile)		(1 A 4 c ii 혹은 다른 곳에서 포함되지 않은) 차량 및 기타 기계류, 선박, 항공기로부터 발생하는 배출.
1 A 5	b	i	이동형 (항공 요소) (Mobile (aviation component))	다른 곳에서 지정되지 않은 연료 연소로부터 발생하는 나머지 모든 항공 배출. 특정 국가내에서 이송되지만 다자간 작전에 종사하지 않는 다른 국가의 군대에 의해 이용된 연료뿐만 아니라 특정 국가의 군대에 이송된 연료로부터 발생하는 배출을 포함한다.
1 A 5	b	ii	이동형 (수상 요소) (Mobile (water-borne component))	다른 곳에서 지정되지 않은 연료 연소로부터 발생하는 나머지 모든 해상 배출. 특정 국가내에서 이송되지만 다자간 작전에 종사하지 않는 다른 국가의 군대에 의해 이용된 연료뿐만 아니라 특정 국가의 군대에 이송된 연료로부터 발생하는 배출을 포함한다.
1 A 5	b	iii	이동형 (기타) (Mobile (other))	다른 곳에서 포함되지 않은 이동 배출원으로부터 발생하는 나머지 모든 배출.
다원적 작전 (정보항목) (Multilateral operations (Information item))				유엔 헌장에 따른 다자간 작전에 이용된 연료로부터 발생하는 배출. 특정 국가의 군대 및 다른 국가의 군대에 이송된 연료로부터 발생하는 배출을 포함한다.

"제조업 및 건설(Manufacturing industries and Construction)" 부문은 국제표준산업분류(International Standard Industrial Classification)[6]를 이용하여 세분화되었다. 이러한 산업분류는 에너지 통계에 폭넓게 이용된다. 이 표는 ISIC 정의 및 에너지 통계에서의 일반적인 관행에 보다 잘 일치되도록 "제조업 및 건설" 부문에 다수의 산업 부문을 추가하고 있음을 주목하라.

자가생산자(autoproducers)(자신의 주된 활동을 지원하는 활동으로서, 자신이 이용하기 위해 전부 혹은 일부분 전력/열을 생산하는 공적 혹은 사적 기업, 박스 2.1 참고)로부터 발생하는 배출은 1 A 1 a에서가 아니고 배출이 생성되는 부문에 할당되어야 한다.

5 하위부문 1 A 4 및 1 A 5에서 발생하는 이동 배출원(mobile sources)을 위한 방법(Methods)은 3장에서 다루어지며, 배출은 고정 연소에서 보고된다.

6 International Standard Industrial Classification of all Economic Activities, United Nations, New York. 이 출판물은 http://unstats.un.org/unsd/cr/에서 다운로드 받을 수 있다.

박스 2.1
자가생산자 (AUTOPRODUCERS)

전력 및/혹은 열의 자가생산자는 자신의 주요 활동을 지원하며, 주된 사업이 아니라 자신이 이용하거나 판매하기 위해 전력 및/혹은 열을 생산하는 기업이다. 이는 주요 활동으로 전력 및/혹은 열을 생산 및 판매하는 주요 활동 생산자(main activity producers)와 대비되어야 한다. 주요 활동 생산자는 자가생산자처럼 공적 혹은 사적 소유이지만, 이전에는 "공적(Public)" 전력 및 열 공급자로 불렸다. 소유권이 배출에 관한 할당을 결정하지는 않는다는 것을 주목하라.

IPCC 2006 가이드라인은 자가생산(autoproduction)으로부터 발생하는 배출을 1 A 1 a가 아니라, 생성 활동이 발생하는 산업 혹은 상업 부문(branches)에 귀속시키는 점에서 IPCC 1996 가이드라인을 따른다. 1 A 1 a 부문은 단지 주요 활동 생산자를 위해 존재한다.
공장 활동 및 상호관계의 복잡성과 함께, 자가생산자와 주요 활동 생산자간의 명확한 구분이 항상 존재하지는 않을 것이다. 가장 중요한 주제는 모든 시설이 가장 적절한 부문에서 완전하고 일관적인 방식으로 고려되어야 한다는 것이다.

2.3 방법론적 이슈

이 절은 접근법을 어떻게 선택할지 설명하고, 인벤토리 작성자가 요구하는 필요한 활동자료 및 배출계수를 요약한다. 이 절은 제1권 일반적인 지침에서 제시된 것처럼 3가지 tier로 세분화된다. Tier 1 방법은 가장 단순한 계산방법 혹은 최소 자료를 요구하는 방법이며, 가장 덜 정확한 배출산정치를 제공할 것이다. Tier 2 및 Tier 3 방법은 배출산정치를 생성하기 위해 보다 상세한 자료 및 자원 (시간, 전문적 지식, 국가고유의 자료)을 요구한다. 적절히 적용될 수만 있다면, 보다 높은 tier 방법론이 낮은 tier 방법론에 비해 정확하다.

2.3.1 방법의 선택

일반적으로, 고정 배출원으로부터 발생하는 각각의 온실가스 배출은 연료 소비에 해당 배출계수를 곱하여 계산된다. 부문별 접근법에서, "연료 소비(Fuel Consumption)"는 에너지 이용 통계로부터 산정되고 테라줄(terajoules)로 측정된다. 질량 혹은 부피 단위의 연료 소비 자료는 먼저 이들 연료의 에너지 함유량(energy content)으로 전환되어야 한다. 제1장의 1.4.1.2절은 에너지 통계 자료를 어떻게 획득하고 이용하는지에 관한 정보를 포함한다. 다른 연료 및 가스에 대해, 주요부문 분석 및 이중계산 방지에 관한 요구사항과 일치하는 다른 tier 방법이 적용될 수 있다(1.3.1.2절의 일반적 의사결정도를 참고)

2.3.1.1 TIER 1 접근법

Tier 1 방법으로 배출량을 산정하는 것은 각각의 배출원 부문 및 연료에 대해 아래사항을 필요로 한다:

- 배출원 부문에서 연소로 소비되는 연료의 양에 관한 자료
- 배출계수

배출계수는 2.3.2.1절에서 관련된 불확도 범위와 함께 제공되는 기본 값에서 나온다. 배출량 산정을 위해 아래의 식이 이용된다:

식 2.1
고정 연소로부터 발생하는 온실가스 배출량

$$\text{배출량}_{GHG,\text{연료}} = \text{연료 소비}_{\text{연료}} \cdot \text{배출계수}_{GHG,\text{연료}}$$

여기서:
$\text{배출량}_{GHG,\text{연료}}$ = 연료의 유형에 의한 주어진 GHG의 배출량 (kg GHG)
$\text{연료소비}_{\text{연료}}$ = 연소된 연료의 양 (TJ)
$\text{배출계수}_{GHG,\text{연료}}$ = 연료의 유형에 의한 주어진 GHG의 배출계수 (kg gas/TJ). CO_2에 대해, 이는 1로 가정된 탄소 산화계수(carbon oxidation factor)를 포함한다.

배출원 부문의 가스에 의한 총배출량을 계산하기 위해, 식 2.1에서 계산된 배출량이 모든 연료에 대해 합산된다:

식 2.2
온실가스에 의한 총배출량

$$\text{배출량}_{GHG} = \sum_{\text{연료들}} \text{배출량}_{GHG,\text{연료}}$$

2.3.1.2 TIER 2 접근법

Tier 2 방법을 적용하기 위해서는 다음의 자료를 요구한다:

- 배출원 부문에서 연소로 소비되는 연료의 양에 관한 자료
- 각각의 가스에 대한 배출원 부문 및 연료에 대한 국가 고유의 배출계수

Tier 2 하에서, 식 2.1의 Tier 1 배출계수는 국가 고유의 배출계수로 대체된다. 국가 고유의 배출계수는 예를 들어 이용된 연료의 탄소 함유량, 탄소 산화계수, 연료 품질, (특히 non-CO_2 가스에 대해) 배기가스 저감기술의 발전 등을 고려함으로써 개발될 수 있다. 배출계수는 시간에 따라 변하며, 고체 연료의 경우 시간의 변화 및 회분(ash) 속에 남아있는 탄소의 양을 고려해야 한다. 국가 고유의 배출계수를 표 2.2에서 2.5까지에 주어진 배출계수와 비교하는 것은 *우수실행(good practice)*

이다. 이러한 국가 고유의 배출계수가 기본값에 대해 95% 신뢰구간 밖에 존재한다면, 해당 값이 왜 기본값과 유의한 차이가 나는지에 대한 설명이 제공되어야 한다.

국가 고유의 배출계수는 기본 배출계수와 동일할 수도 있고 다를 수도 있다. 국가 고유의 값은 주어진 국가의 상황에 보다 잘 적용되므로, 국가 고유의 값과 관련된 불확도 범위는 기본 배출계수의 불확도 범위보다 작을 것이다. 이러한 기대는 Tier 2 산정치가 Tier 1 산정치보다 낮은 불확도를 가진 배출산정치를 제공한다는 것을 의미한다.

배출량은 질량 혹은 부피에 기초한 연료 소비량과 배출계수의 곱으로 또한 산정될 수 있다. 예를 들어, 에너지 이용을 위한 목적으로 폐기물을 소각할 경우에 발생하는 배출량을 산정하기 위해 제5권의 제5장에서 기술되는 Tier 2 방법을 사용한다고 하면 활동자료의 단위가 질량단위로 제공되면 적절하다.

2.3.1.3 TIER 3 접근법

이전 절에서 기술된 배출량을 산정하는 Tier 1 및 Tier 2 접근법은 배출원 부문 전체에 걸쳐 배출원 부문 및 연료 조합(fuel combination)에 대한 평균적인 배출계수의 이용을 필요로 한다. 실제로, 배출량은 아래와 같은 것에 의존한다:

- 이용되는 연료 종류
- 연소 기술
- 작동 조건
- 통제 기술
- 유지관리의 방법
- 연료를 태우기 위해 이용되는 장비의 연식

Tier 3 접근법에서는 연료 연소 통계를 서로 다른 가능성들에 따라 나누고 이들 차이에 의존적인 배출계수들을 이용함으로써 이를 고려한다. 식 2.3에서, 변수 및 파라미터가 기술 의존적이 되도록 함으로써 이를 표시한다. 여기서 기술은 배출량에 영향을 미칠 수 있는 어떤 장치, 연소 공정, 연료 속성을 나타낸다.

식 2.3
기술에 의한 온실가스 배출량

$$\text{배출량}_{GHG,\,\text{연료},\,\text{기술}} = \text{연료 소비}_{\text{연료},\,\text{기술}} \cdot \text{배출계수}_{GHG,\,\text{연료},\,\text{기술}}$$

여기서:
$\text{배출량}_{\text{GHG 가스,연료,기술}}$ = 연료의 유형 및 기술에 의한 주어진 GHG의 배출량 (kg GHG)
$\text{연료소비}_{\text{연료,기술}}$ = 기술의 유형에 의한 연소되는 연료의 양[7] (TJ)
$\text{배출계수}_{\text{GHG 가스,연료,기술}}$ = 연료의 유형 및 기술에 의한 주어진 GHG의 배출계수 (kg GHG/TJ)

어떤 기술에 대해 연소되는 연료의 양이 직접 알려져 있지 않을 때, 모형에 의해 이를 산정할 수 있다. 예를 들어, 이를 위한 단순한 모형은 배출원 부문에 대한 그 기술 점유율에 기초한다.

식 2.4
기술 점유율에 기초한 연료 소비 산정치

$$연료소비_{연료,\ 기술} = 연료\ 소비_{연료} \cdot t 기술점유율_{기술}$$

여기서:

기술 점유율$_{기술}$ = 주어진 기술이 차지하는 전체 배출원 부문의 비율. 이 비율은 기술들간의 활용도 차이를 적절히 고려하는 것을 보장하는, 생산된 전력과 같은 산출 자료에 기초하여 결정될 수 있다. 배출원 부문에 대한 가스 배출량을 계산하기 위해, 배출원 부문에 적용된 모든 기술들에 대해 식 2.3의 결과를 합산해야 한다.

식 2.5
기술에 기초한 배출량 산정

$$배출량_{GHG,\ 연료} = \sum_{기술} 연료소비_{연료,\ 기술} \cdot t 배출계수_{GHG,\ 연료,\ 기술}$$

모든 연료에 대해 합산함으로써 총배출량이 다시 계산된다 (식 2.2).

Tier 3 배출산정 접근법의 적용은 다음과 같은 것을 요구한다:

- 각각의 관련 기술(이용된 연료 유형, 연소 기술, 작동 조건, 통제 기술, 장비의 유지관리 및 연령)에 대해 배출원 부문에서 연소된 연료의 양에 관한 자료.
- 각각의 기술 (이용된 연료 유형, 연소 기술, 작동 조건, 통제 기술, 산화계수, 장비의 유지관리 및 연령)에 대해 특정한 배출계수.
- 이용가능한 경우 시설 수준 측정치(Facility level measurements)가 또한 이용될 수 있다.

CO_2의 배출량은 연소 기술에 의존하지 않기 때문에 CO_2 배출량을 산정하기 위해 Tier 3 접근법을 이용하는 것은 종종 불필요하다. 그렇지만, CO_2 배출량에 관한 plant-specific 자료가 점점 이용가능해지고 있으며 배출권 거래(emissions trading)에 대한 가능성 때문에 이는 점차 관심을 받고 있다. plant-specific 자료는 연료 흐름 측정치 및 연료의 화학적 성질(fuel chemistry) 혹은 연통가스(flue gas) 흐름 측정치 및 연통가스의 화학적 성질 자료에 기초할 수 있다. 지속적인 배출 감시는 (상대적으로 높은 비용 때문에) CO_2 배출량만의 정확한 측정을 위해서는 일반적으로 정당화되지 않지만 특히 SO_2 혹은 NO_x와 같은 다른 오염물질의 측정을 위해 감시기가 설치될 때 수행될

7 연료 소비는 질량 혹은 부피에 기초하여 표현될 수 있을 것이며, 배출량은 연료 소비와, 호환적인 단위에 기초하여 표현된 배출계수의 곱으로 산정될 수 있다.

수 있을 것이다. 연료흐름 비율을 측정하는 것이 보다 어려운 경우나, 연료가 고도로 변동적이거나 연료 분석(fuel analysis)이 달리 비용이 많이 들 때 지속적인 배출 감시는 고체 연료의 연소에 대해 특히 유용하다. 배출에 관한 포괄적인 설명을 제공하기 위해 엄격하고 지속적인 감시가 요구된다. 일부 시설에 관해 지속적인 배출 감시가 이용되지만 감시 자료(monitoring data)가 전체 보고 부문에 대해 이용가능하지 않을 때 주의가 요구된다.

지속적인 배출 감시는 품질보증 및 품질관리에 대한 주의를 요구한다. 이는 감시 시스템의 인증, 시스템에서의 변화이후의 재인증, 지속적인 작동의 보장을 포함한다[8]. CO_2 측정을 위해, CEM 시스템의 자료는 연료 흐름에 기초한 배출 산정치와 비교될 수 있다.

연소 공정에서 방출되는 온실가스의 농도가 연소 공정으로 흡입되는 대기중의 동일한 가스의 농도 이하라는 것을 상세한 감시에서 보여준다면, 배출량은 0으로 보고될 것이다. 이들 배출량을 "음의 배출량(negative emissions)"으로 보고하는 것은 공기 흡입과 대기중 배출 모두에 관한 지속적인 고품질의 감시를 요구할 것이다.

2.3.1.4 의사결정도

배출량을 산정하는데 이용되는 tier는 이용가능한 자료의 양과 질에 의존할 것이다. 부문이 주요하다면, Tier 2 혹은 Tier 3 접근법을 이용하여 배출량을 산정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 아래의 의사결정도 (그림 2.1)는 고정 연소의 배출원으로부터 배출량을 산정하는데 어떤 tier가 이용되어야 하는가를 선택하는데 도움을 줄 것이다.

의사결정도를 정확히 이용하기 위해, 인벤토리 작성자는 관련된 배출원 부문에 따른, 이용가능한 국가 활동자료 및 국가 혹은 지역의 배출계수 자료에 관한 철저한 조사를 할 필요가 있다. 첫 번째 인벤토리가 작성되기 전에 이러한 조사가 완수될 필요가 있으며, 조사 결과는 정기적으로 검토되어야 한다. Tier 1 접근법을 이용한 초기 계산이 주요배출원(*key source*)을 나타내거나, 산정치가 높은 수준의 불확도와 관련된다면, 자료의 질(data quality)을 개선하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 의사결정도 및 주요배출원 부문 결정은 CO_2, CH_4, N_2O 배출량에 따로따로 적용되어야 한다.

2.3.2 배출계수의 선택

이 절은 CO_2, CH_4 및 N_2O에 대한 기본 배출계수를 제공하고, 보다 높은 Tiers에서 배출계수의 제공을 논의한다. 모든 Tiers에 대한 CO2 배출계수들은 연료의 전체 탄소 함유량 - 재, 미립자, 그을음에 남아있는 산화되지 않은 탄소 부분을 반영한다. 이 부분은 일반적으로 작기 때문에 이 책자의 1장에서 도출된 Tier 1 기본 배출계수는 연료에 포함된 탄소의 완전한 산화 (1인 탄소 산화계수)를 가정하여 이 효과를 무시한다. 일부 고체 연료에 대해, 이 부분은 반드시 사소하지는 않을 것이며, 보다 높은 Tier 산정치가 적용될 수 있다. 이것이 사실로 알려진 경우에 측정 혹은 기타 잘 문서화된 자료에 기초하여, 국가 고유의 값을 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 데이터베이스 자료의 적절한 적용을 확인하는 책임은 인벤토리 작성자에 남아있지만, Emission Factor Database (EFDB)는 기본값보다 국가적 상황에 보다 적합한, 다양한 잘 문서화된 배출계수 및 기

8 예를 들어 다음을 참고하라: U.S. EPA (2005a).

타 파라미터를 제공한다.

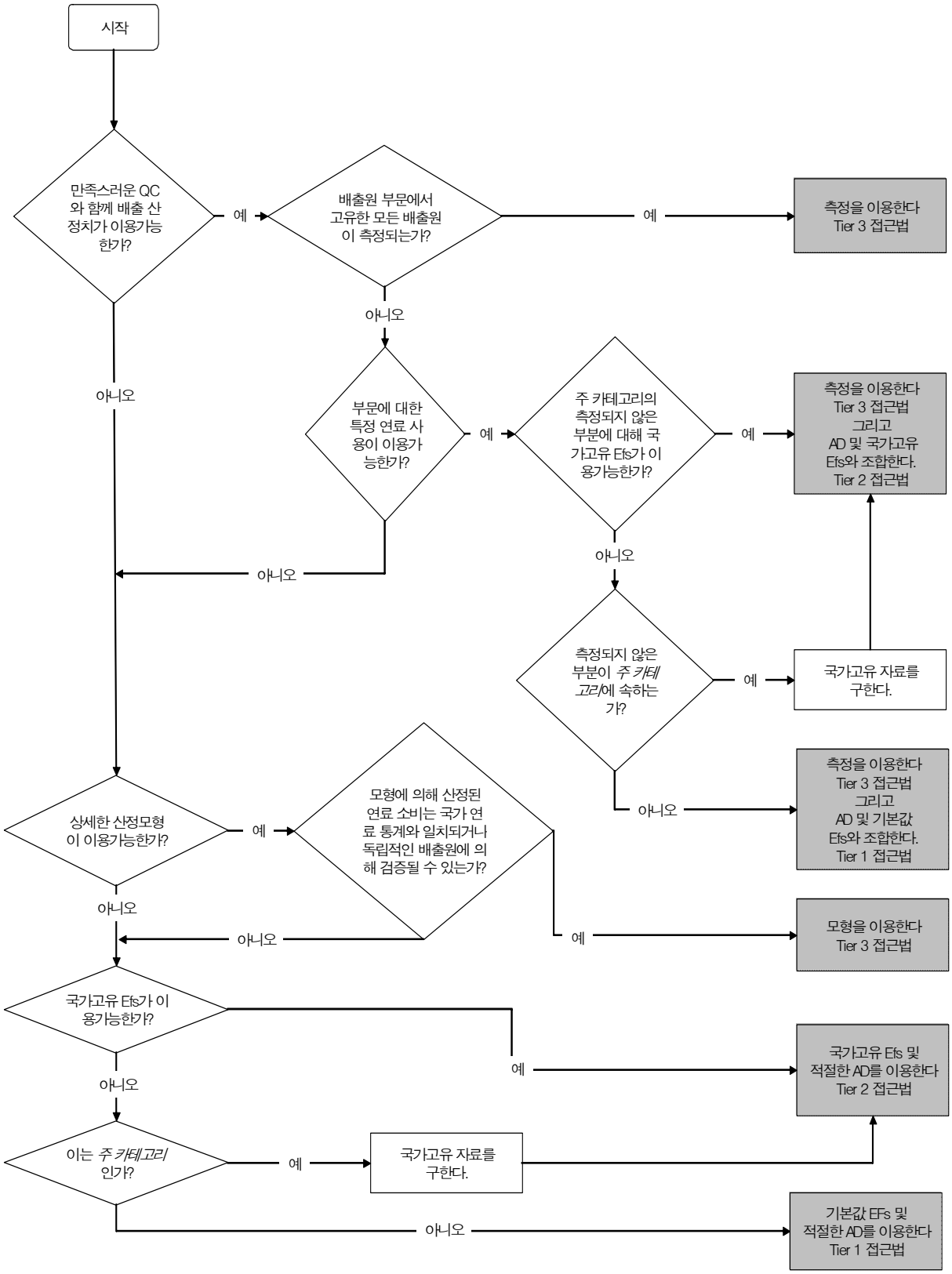
2.3.2.1 TIER 1

이 절은 배출원 부문에 대한 Tier 1 배출 산정치에서의 이용을 위해 고정 배출원에서 이용된 각각의 연료에 대해 일단의 기본 배출계수를 제시한다. 이들은 CO_2에 대해 동일한 배출계수를 가질 것이다. CO_2 배출계수의 도출은 이 책자의 서론 장에서 제시된다. CO_2 배출계수는 순발열량(net calorific value)에 기초하여 kg CO_2/TJ의 단위로 존재하고 연료의 탄소 함유량 및 탄소 산화계수가 1이라는 가정을 반영한다.

서로 다른 배출원 부문에 적용되는 연소 기술의 차이 때문에 서로 다른 배출원 부문에 대해 CH_4 및 N_2O의 배출계수는 다르다. Tier 1에 대해 제시된 기본 계수들은 배출 통제(emission controls)가 없는 기술에 적용된다. 기본 배출계수, 특히 표 2.2와 2.3의 배출계수는 고온에서의 효과적인 연소를 가정한다. 이는 안정적이고 최적의 조건에 적용가능하며 가동, 중지 혹은 부분적 부하(partial loads)에서의 연소의 영향을 고려하지 않는다.

고정 연소에 대한 기본 배출계수는 표 2.2에서 2.5 까지에서 제공된다. CO_2 배출계수는 서론 장의 표 1.4에서 제시된 것과 동일한 것이다. CH_4 및 N_2O 배출계수는 IPCC 1996 가이드라인에 기초한다. 이들 배출계수는 대규모의 인벤토리 전문가들의 전문가 판단(expert judgement)을 이용하여 설정되었으며 여전히 타당한 것으로 생각된다. 3가지 종류 배출계수의 많은 측정이 가능하지 않기 때문에 불확도 범위는 3가지 계수의 + 혹은 - 값으로 설정되었다. 표 2.2에서 2.5까지는 1A 부문에서 보고되는 비포장도로용 기계류(off-road machinery)에 의한 연소로부터 발생하는 CH_4 및 N_2O 배출에 대한 기본 배출계수를 제공하지 않는다. 이들 배출계수는 이 책자의 3.3절에서 제공된다.

그림 2.1 고정 연소로부터 배출량을 산정하기 위한 일반화된 의사결정도



주: 주 카테고리와 의사결정도 사용에 대해서는, 1권 4장의 "방법론 선택과 주 카테고리의 선정"을 참조한다(제한된 자료에 대해서는 4.1.2절을 참조).

표 2.2
에너지산업에서 고정 연소에 대한 기본 배출계수 값
(kg of greenhouse gas per TJ on a net calorific basis)

연료		CO_2			CH_4			N_2O		
		기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최고	기본값 배출계수	최소	최고
원유		73 300	71 000	75 500	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
오리멀젼		**r** 77 000	69 300	85 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
천연가스액		**r** 64 200	58 300	70 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
가솔린	자동차용 가솔린	**r** 69 300	67 500	73 000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	항공용 가솔린	**r** 70 000	67 500	73 000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	제트용 가솔린	**r** 70 000	67 500	73 000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
제트용 등유		**r** 71 500	69 700	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
기타 등유		71 900	70 800	73 700	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
혈암유		73 300	67 800	79 200	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
가스/디젤 오일		74 100	72 600	74 800	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
잔여 연료유		77 400	75 500	78 800	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
액화석유가스		63 100	61 600	65 600	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
에탄		61 600	56 500	68 600	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
나프타		73 300	69 300	76 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
역청		80 700	73 000	89 900	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
윤활유		73 300	71 900	75 200	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
석유 코크스		**r** 97 500	82 900	115000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
정유공장 원료		73 300	68 900	76 600	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
기타 오일	정유가스	**n** 57 600	48 200	69 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	밀랍	73 300	72 200	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	백유	73 300	72 200	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	3
	기타석유제품	73 300	72 200	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
무연탄		98 300	94 600	101000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
점결탄		94 600	87 300	101000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
기타 역청탄		94 600	89 500	99 700	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
하위 유연탄		96 100	92 800	100000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
갈탄		101 000	90 900	115000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
유모혈암및 역청암		107 000	90 200	125000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
갈탄 연탄		97 500	87 300	109000	**n** 1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
특허연료		97 500	87 300	109000	1	0.3	3	**n** 1.5	0.5	5
코크스	코크스로 코크스	**r** 107 000	95 700	119 000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
	가스 코크스	**r** 107 000	95 700	119 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3

표 2.2 (계속)
에너지산업에서 고정 연소에 대한 기본 배출계수 값
(kg of greenhouse gas per TJ on a net calorific basis)

연료		CO_2			CH_4			N_2O		
		기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대
콜타르		**n** 80 700	68 200	95 300	**n** 1	0.3	3	**r**1.5	0.5	5
파생 가스	가스공장 가스	**n** 44 400	37 300	54 100	**n** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	코크스로 가스	**n** 44 400	37 300	54 100	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	고로 가스	**n** 260 000	219000	308 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	산소 강철로 가스	**n** 182 000	145 000	202 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
천연가스		56 100	54 300	58 300	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
도시 폐기물 (비-바이오매스 부분)		**n** 91 700	73 300	121 000	30	10	100	4	1.5	15
산업 폐기물		**n** 143 000	110 000	183 000	30	10	100	4	1.5	15
폐유		**n** 73 300	72 200	74 400	30	10	100	4	1.5	15
토탄		106 000	100 000	108 000	**n** 1	0.3	3	**n** 1.5	0.5	5
고체 바이오연료	목재 / 목재 폐기물	**n** 112 000	95 000	132 000	30	10	100	4	1.5	15
	아황산염 잿물	**n** 95 300	80 700	110 000	**n**3	1	18	**n**2	1	21
	기타 주요한 고체 바이오매스	**n** 100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1.5	15
	목탄	**n** 112 000	95 000	132 000	30	10	100	4	1.5	15
액체 바이오연료	바이오 가솔린	**n** 70 800	59 800	84 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	바이오 디젤	**n** 70 800	59 800	84 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	기타 액체 바이오연료	**n** 79 600	67 100	93 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
기체 바이오매스	매립지 가스	**n** 54 600	46 200	66 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	슬러지 가스	**n** 54 600	46 200	66 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	기타 바이오가스	**n** 54 600	46 200	66 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
기타 비-화석연료	도시 폐기물 (바이오매스부분)	**n** 100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1.5	15

(a) Includes the biomass-derived CO_2 emitted from the black liquor combustion unit and the biomass-derived CO_2 emitted from the kraft mill lime kiln.

n IPCC 1996 지침서에 없던 새로운 배출계수를 나타낸다.

r IPCC 1996 지침서부터 수정된 배출계수를 나타낸다.

표 2.3
제조업과 건설업에서 고정 연소에 대한 기본 배출계수 값
(kg of greenhouse gas per TJ on a net calorific basis)

연료		CO_2			CH_4			N_2O		
		기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대
원유		73 300	71 000	75 500	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
오리멀젼		**r** 77 000	69 300	85 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
천연가스액		**r** 64 200	58 300	70 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
가솔린	자동차용 휘발유	**r** 69 300	67 500	73 000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	항공용 휘발유	**r** 70 000	67 500	73 000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	제트용 가솔린	**r** 70 000	67 500	73 000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
제트용 등유		**r** 71 500	69 700	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
기타 등유		71 900	70 800	73 700	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
혈암유		73 300	67 800	79 200	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
가스/디젤유		74 100	72 600	74 800	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
잔여연료유		77 400	75 500	78 800	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
액화 석유가스		63 100	61 600	65 600	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
에탄		61 600	56 500	68 600	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
나프타		73 300	69 300	76 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
역청		80 700	73 000	89 900	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
윤활유		73 300	71 900	75 200	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
석유 코크스		**r** 97 500	82 900	115000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
정류공장 원료		73 300	68 900	76 600	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
그 밖의 석유	정제가스	**n** 57 600	48 200	69 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	접착제(파라핀왁스)	73 300	72 200	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	White Spirit and SBP	73 300	72 200	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	3
	그 밖의 석유산출물	73 300	72 200	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
무연탄		98 300	94 600	101000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
점결탄l		94 600	87 300	101000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
그 밖의 아스팔트 석탄		94 600	89 500	99 700	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
하급 아스팔트 석탄		96 100	92 800	100000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
아탄		101 000	90 900	115000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
유혈암과 역청사		107 000	90 200	125000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
갈색 연탄		97 500	87 300	109000	**n** 1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
특허 연료		97 500	87 300	109000	1	0.3	3	**n** 1.5	0.5	5
코크스	코크스로 코크스	**r** 107 000	95 700	119 000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
	가스 코크스	**r** 107 000	95 700	119 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3

표 2.3(계속)
제조업과 건설업에서 고정 연소에 대한 기본 배출계수 값
(kg of greenhouse gas per TJ on a net calorific basis)

연료		CO_2			CH_4			N_2O		
		기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대
콜타르		**n** 80 700	68 200	95 300	**n** 1	0.3	3	**r**1.5	0.5	5
파생가스	가스공장가스	**n** 44 400	37 300	54 100	**n** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	코크스로 가스	**n** 44 400	37 300	54 100	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	고로가스	**n** 260 000	219000	308 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	산화 강철로 가스	**n** 182 000	145 000	202 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
천연가스		56 100	54 300	58 300	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
도시 폐기물 (비-바이오매스 부분)		**n** 91 700	73 300	121 000	30	10	100	4	1.5	15
산업 폐기물		**n** 143 000	110 000	183 000	30	10	100	4	1.5	15
폐유		**n** 73 300	72 200	74 400	30	10	100	4	1.5	15
토탄		106 000	100 000	108 000	**n** 1	0.3	3	**n** 1.5	0.5	5
고체 바이오연료	목재 / 목재 폐기물	**n** 112 000	95 000	132 000	30	10	100	4	1.5	15
	아황산염 잿물(a)	**n** 95 300	80 700	110 000	**n**3	1	18	**n**2	1	21
	기타 주요한 고체 바이오매스	**n** 100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1.5	15
	목탄	**n** 112 000	95 000	132 000	30	10	100	4	1.5	15
액체 바이오연료	바이오가솔린	**n** 70 800	59 800	84 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	바이오디젤	**n** 70 800	59 800	84 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	기타 액체바이오연료	**n** 79 600	67 100	93 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
기체 바이오매스	매립지 가스	**n** 54 600	46 200	66 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	슬러지 가스	**n** 54 600	46 200	66 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	기타 바이오가스	**n** 54 600	46 200	66 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
기타 비-화석연료	도시폐기물 (바이오매스부분)	**n** 100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1.5	15

(a) Includes the biomass-derived CO_2 emitted from the black liquor combustion unit and the biomass-derived CO_2 emitted from the kraft mill lime kiln.

n IPCC 1996 지침서에 없던 새로운 배출계수를 나타낸다.

r IPCC 1996 지침서부터 수정된 배출 계자를 나타낸다.

표 2.4
상업/공공 부문에서의 고정 연소에 대한 기본 배출계수 값
(kg of greenhouse gas per TJ on a net calorific basis)

연료		CO_2			CH_4			N_2O		
		기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대
원유		73 300	71 000	75 500	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
오리멀젼		**r** 77 000	69 300	85 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
천연가스액		**r** 64 200	58 300	70 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
가솔린	자동차용 가솔린	**r** 69 300	67 500	73 000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	항공용 가솔린	**r** 70 000	67 500	73 000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	제트용 가솔린	**r** 70 000	67 500	73 000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
제트용 등유		**r** 71 500	69 700	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
기타 등유		71 900	70 800	73 700	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
혈암유		73 300	67 800	79 200	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
가스/디젤유		74 100	72 600	74 800	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
잔여 석유연료		77 400	75 500	78 800	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
액화 석유가스		63 100	61 600	65 600	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
에탄		61 600	56 500	68 600	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
나프타		73 300	69 300	76 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
아스팔트		80 700	73 000	89 900	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
윤활유		73 300	71 900	75 200	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
석유 코크스		**r** 97 500	82 900	115000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
정유공장 원료		73 300	68 900	76 600	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
기타 오일	정제가스	**n** 57 600	48 200	69 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	밀랍	73 300	72 200	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	백유	73 300	72 200	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	3
	기타석유제품	73 300	72 200	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
무연탄		98 300	94 600	101000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
점결탄		94 600	87 300	101000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
기타 유연탄		94 600	89 500	99 700	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
하위 유연탄		96 100	92 800	100000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
갈탄		101 000	90 900	115000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
유모혈암및 역청암		107 000	90 200	125000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
갈색 연탄		97 500	87 300	109000	**n** 1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
특허 연료		97 500	87 300	109000	1	0.3	3	**n** 1.5	0.5	5
코크스	코크스로 코크스	**r** 107 000	95 700	119 000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
	가스 코크스	**r** 107 000	95 700	119 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3

표 2.4(계속)
상업/공공 부문에서의 고정 연소에 대한 기본 배출계수 값
(kg of greenhouse gas per TJ on a net calorific basis)

연료		CO_2			CH_4			N_2O		
		기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대
콜타르		**n** 80 700	68 200	95 300	**n** 1	0.3	3	**r**1.5	0.5	5
파생가스	가스공장 가스	**n** 44 400	37 300	54 100	**n** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	코크스로 가스	**n** 44 400	37 300	54 100	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	고로 가스	**n** 260 000	219000	308 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	산소 강철로 가스	**n** 182 000	145 000	202 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
천연가스		56 100	54 300	58 300	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
도시폐기물 (비-바이오매스 부분)		**n** 91 700	73 300	121 000	30	10	100	4	1.5	15
산업 폐기물		**n** 143 000	110 000	183 000	30	10	100	4	1.5	15
폐유		**n** 73 300	72 200	74 400	30	10	100	4	1.5	15
토탄		106 000	100 000	108 000	**n** 1	0.3	3	**n** 1.5	0.5	5
고체 바이오연료	목재 / 목재폐기물	**n** 112 000	95 000	132 000	30	10	100	4	1.5	15
	아황산염 잿물(a)	**n** 95 300	80 700	110 000	**n**3	1	18	**n**2	1	21
	기타 주요한 고체 바이오매스	**n** 100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1.5	15
	목탄	**n** 112 000	95 000	132 000	30	10	100	4	1.5	15
액체 바이오연료	바이오가솔린	**n** 70 800	59 800	84 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	바이오디젤	**n** 70 800	59 800	84 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	기타 액체 바이오연료	**n** 79 600	67 100	93 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
기체 바이오매스	매립지 가스	**n** 54 600	46 200	66 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	슬러지 가스	**n** 54 600	46 200	66 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	기타 바이오가스	**n** 54 600	46 200	66 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
기타 비-화석연료	도시폐기물 (바이오매스부분)	**n** 100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1.5	15

(a) 흑액연소 장치 및 크라프트 공장 석회로에서 배출되는 바이오메스에서 유래된 CO_2 포함
n IPCC 1996 지침서에 없던 새로운 배출계수를 나타낸다.
r IPCC 1996 지침서부터 수정된 배출계수를 나타낸다.

표 2.5
가정과 농림어업 부문에서의 고정 연소에 대한 기본 배출계수 값
(kg of greenhouse gas per TJ on a net calorific basis)

연료		CO_2			CH_4			N_2O		
		기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대
원유		73 300	71 000	75 500	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
오리멀젼		**r** 77 000	69 300	85 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
천연가스액		**r** 64 200	58 300	70 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
가솔린	자동차용 가솔린	**r** 69 300	67 500	73 000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	항공용 가솔린	**r** 70 000	67 500	73 000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	제트용 가솔린	**r** 70 000	67 500	73 000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
제트용 등유		**r** 71 500	69 700	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
기타 등유		71 900	70 800	73 700	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
혈암유		73 300	67 800	79 200	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
가스/디젤유		74 100	72 600	74 800	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
잔여 석유연료		77 400	75 500	78 800	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
액화 석유가스		63 100	61 600	65 600	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
에탄		61 600	56 500	68 600	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
나프타		73 300	69 300	76 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
아스팔트		80 700	73 000	89 900	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
윤활유		73 300	71 900	75 200	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
석유 코크스		**r** 97 500	82 900	115000	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
정유공장 원료		73 300	68 900	76 600	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
기타 오일	정제가스	**n** 57 600	48 200	69 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	밀랍	73 300	72 200	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	백유	73 300	72 200	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	3
	기타석유제품	73 300	72 200	74 400	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
무연탄		98 300	94 600	101000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
점결탄		94 600	87 300	101000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
기타 유연탄		94 600	89 500	99 700	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
하위 유연탄		96 100	92 800	100000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
갈탄		101 000	90 900	115000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
유모혈암및 역청암		107 000	90 200	125000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
갈색 연탄		97 500	87 300	109000	**n** 1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
특허 연료		97 500	87 300	109000	1	0.3	3	**n** 1.5	0.5	5
코크스	코크스로 코크스	**r** 107 000	95 700	119 000	1	0.3	3	**r** 1.5	0.5	5
	가스 코크스	**r** 107 000	95 700	119 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3

표 2.5 (계속)
가정과 농림어업 부문에서의 고정 연소에 대한 기본 배출계수 값
(kg of greenhouse gas per TJ on a net calorific basis)

연료		CO_2			CH_4			N_2O		
		기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대	기본값 배출계수	최소	최대
콜타르		**n** 80 700	68 200	95 300	**n** 1	0.3	3	**r**1.5	0.5	5
파생가스	가스공장 가스	**n** 44 400	37 300	54 100	**n** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	코크스로 가스	**n** 44 400	37 300	54 100	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	고로 가스	**n** 260 000	219000	308 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	산소 강철로 가스	**n** 182 000	145 000	202 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
천연가스		56 100	54 300	58 300	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
도시폐기물 (비-바이오매스 부분)		**n** 91 700	73 300	121 000	30	10	100	4	1.5	15
산업 폐기물		**n** 143 000	110 000	183 000	30	10	100	4	1.5	15
폐유		**n** 73 300	72 200	74 400	30	10	100	4	1.5	15
토탄		106 000	100 000	108 000	**n** 1	0.3	3	**n** 1.5	0.5	5
고체 바이오연료	목재 / 목재폐기물	**n** 112 000	95 000	132 000	30	10	100	4	1.5	15
	아황산염 잿물(a)	**n** 95 300	80 700	110 000	**n**3	1	18	**n**2	1	21
	기타 주요한 고체 바이오매스	**n** 100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1.5	15
	목탄	**n** 112 000	95 000	132 000	30	10	100	4	1.5	15
액체 바이오연료	바이오가솔린	**n** 70 800	59 800	84 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	바이오디젤	**n** 70 800	59 800	84 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
	기타 액체 바이오연료	**n** 79 600	67 100	93 300	**r** 3	1	10	0.6	0.2	2
기체 바이오매스	매립지 가스	**n** 54 600	46 200	66 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	슬러지 가스	**n** 54 600	46 200	66 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
	기타 바이오가스	**n** 54 600	46 200	66 000	**r** 1	0.3	3	0.1	0.03	0.3
기타 비-화석연료	도시폐기물 (바이오매스부분)	**n** 100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1.5	15

(a) 흑액연소 장치 및 크라프트 공장 석회로에서 배출되는 바이오메스에서 유래된 CO_2 포함
n IPCC 1996 지침서에 없던 새로운 배출계수를 나타낸다.
r IPCC 1996 지침서부터 수정된 배출계수를 나타낸다.

2.3.2.2 TIER 2 국가고유 배출계수 (COUNTRY-SPECIFIC EMISSION FACTORS)

*우수실행(good practice)*은 이용가능한 가장 세분화되고, 기술고유 및 국가고유 배출계수를 사용하는 것이다. 특히 서로 다른 고정 연소 배출원에서 직접적인 측정으로부터 도출된 배출계수를 이용하는 것이다. Tier 2 접근법을 이용할 때, 두 가지 가능한 유형의 배출계수가 존재한다:

- 국가적 배출계수: 이들 배출계수는 국내 대기질을 위해 NOx, CO, NMVOCs와 같은 간접 온실가스 배출 측정의 국가 프로그램 의해 개발될 수 있다.
- 지역 배출계수.

1권의 2장은 서로 다른 배출원으로부터 정보를 획득 및 작성하는 일반적 지침, 새로운 자료를 생성하기 위한 특정한 지침 (2.2.3절), 배출계수에 관한 일반적 지침 (2.2.4절)을 제공한다. 배출계수를 얻기 위해 측정치가 이용될 때, 연료 유형 및 조합, 연소 단위(combustion unit)의 유형 및 크기, 연소 조건, 부하(load), 통제 기술의 유형, 유지관리 수준을 포함한 국가의 평균적인 조건을 대표하는 합리적인 수의 배출원을 테스트하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

2.3.2.3 TIER 3 기술별 배출계수 (TECHNOLOGY-SPECIFIC EMISSION FACTORS)

non-CO_2 온실가스의 배출 특성 때문에, 기술별 배출계수가 Tier 3를 위해 필요하다. 표 2.6 에서 2.10까지는, 예제 목적으로, 주요한 기술 및 연료 유형에 의한 대표적인 CH_4 및 N_2O 배출계수를 제공한다. 상세한 상향식 인벤토리 작업을 하는 전문가는 이들 계수를 출발점으로 또는 비교를 위해 이용할 것이다. 이들은 표시된 각각의 기술에 대한 통제되지 않은 배출계수를 보여준다. 그러므로, 이들 배출계수 자료는 일부 국가에서 실행중인 통제 기술(control technology)의 수준을 포함하지 않는다. 예를 들어, 통제 정책이 배출 프로필(emission profile)에 상당한 영향을 미치는 국가에서 이용하기 위해서는 개별적인 계수 혹은 최종 산정치가 수정될 필요가 있을 것이다.

2.3.3 활동자료의 선택

고정 연소에 대해, 모든 tier를 위한 활동자료는 연소되는 연료의 종류와 양이다. 대부분의 연료 소비자 (기업, 소규모 상업용 소비자, 가계)는 그들이 소비하는 고체, 액체, 기체 연료에 대해 일반적으로 가격을 지불한다. 그러므로, 그들이 소비하는 연료의 질량 혹은 부피가 측정 혹은 계량된다. 이산화탄소의 양은 일반적으로 산화되지 않은 탄소 부분을 고려하여, 연료 소비 자료 및 연료의 탄소 함유량으로부터 쉽게 계산된다.
연소하는 동안 형성되는 non-CO_2 온실가스의 양은 이용되는 연소 기술에 의존하므로, non-CO_2 온실가스의 배출량을 엄격히 산정하기 위해 연료 연소 기술에 관한 상세한 통계가 필요하다.
연소되는 연료의 양 및 유형은 다음과 같은 리스트의 하나 혹은 조합된 원천으로부터 얻어진다.

- 국가 에너지 통계 기관 (국가 에너지 통계 기관은 연료를 소비하는 개별 기업으로부터 연소된 연료의 양 및 유형에 관한 자료를 수집할 것이다)

- 기업에 의해 국가 에너지 통계 기관에 제공된 보고서 (이들 보고서는 대규모 연소 공장의 운영자 혹은 소유자에 의해 생성될 것이다)
- 기업에 의해 규제기관에 제공된 보고서 (예를 들어, 기업이 배출통제 규정을 어떻게 따르는지 자세히 설명하기 위해 생성되는 보고서)
- 연소 장비에 책임이 있는 기업내 개인
- 표본 기업에 의해 소비된 연료의 유형 및 양에 관한 통계기관의 주기적인 조사
- 연료 공급자 (이들은 소비자에게 이송된 연료의 양을 기록하며, 일반적으로 경제활동코드 (economic activity code)로 소비자의 신원을 또한 기록할 것이다)

표 2.6
에너지 산업 부문 배출계수

		배출계수[1] (kg/TJ energy input)	
기초 기술	**형 태**	**CH_4**	**N_2O**
액체 연료			
Residual Fuel Oil/Shale Oil Boilers	Normal Firing	r 0.8	0.3
	Tangential Firing	r 0.8	0.3
Gas/Diesel Oil Boilers	Normal Firing	0.9	0.4
	Tangential Firing	0.9	0.4
Large Diesel Oil Engines >600hp (447kW)		4	NA
고체 연료			
미분탄 연소 보일러	Dry Bottom, wall fired	0.7	r 0.5
	Dry Bottom, Tangentially fired	0.7	r 1.4
	Wet Bottom	0.9	r 1.4
유연탄 스프레더 스토커 보일러 (Bituminous Spreader Stoker Boilers)	With and without re-injection	1	r 0.7
유연탄 유동층 보일러 (Bituminous Fluidised Bed Combustor)	Circulating Bed	1	r 61
	Bubbling Bed	1	r 61
유연탄 싸이클론 로 (Bituminous Cyclone Furnace)		0.2	1.6
갈탄 대기 유동층 보일러 (Lignite Atmospheric Fluidised Bed)		NA	r 71
천연가스			
보일러		r 1	n 1
가스 점화 가스터빈 >3MW		r 4	n 1
대형 이중연료 엔진 (Large Dual-Fuel Engines)		r 258	NA
복합발전(Combined Cycle)		n 1	n 3
토탄			
Peat Fluidised Bed combustor[2]	Circulating Bed	n 3	7
	Bubbling Bed	n 3	3
바이오메스			
목제/ 폐목제 보일러[3]		n 11	n 7
목제 회수 보일러		n 1	n 1

출처 :

US EPA, 2005b except otherwise indicated. 수치들은 기본적으로 총 발열량을 근거로 함 ; 이들 수치는 순 발열량은 석탄과 오일에 대한 총 발열값 보다 5% 낮고, 천연가스에 대해서는 10% 낮은 것으로 가정한 수치들에 의해 전환되었음.

1. 출처 : Tsupari et al, 2006.
2. 수치들은 기본적으로 총 발열량을 근거로 함; 이들 수치는 마른 목제의 순 발열값이 총 발열값보다 20% 낮은 것으로 가정하여 전환되었음.(Forest Product Laboratory, 2004).

NA, 이용할 수 없는 자료

n IPCC 1996 지침서에 없던 새로운 배출계수를 나타낸다.

r IPCC 1996 지침서부터 수정된 배출계수를 나타낸다.

표 2.7
산업부문 배출계수

		배출계수[1] (kg/TJ energy input)	
기초 기술	**형 태**	**CH_4**	**N_2O**
액체 연료			
Residual Fuel Oil Boilers		3	0.3
Gas/Diesel Oil Boilers		0.2	0.4
Large Stationary Diesel Oil Engines > 600hp (447 kW)		**r** 4	NA
액화 석유가스 보일러		**n** 0.9	**n** 4
고체 연료			
Other Bituminous/Sub-bit. Overfeed Stoker Boilers		1	**r** 0.7
Other Bituminous/Sub-bit. Underfeed Stoker Boilers		14	**r** 0.7
Other Bituminous/Sub-bituminous Pulverised	Dry Bottom, wall fired	0.7	**r** 0.5
	Dry Bottom, tangentially fired	0.7	**r** 1.4
	Wet Bottom	0.9	**r** 1.4
Other Bituminous Spreader Stoker		1	**r** 0.7
Other Bituminous/Sub-bit. Fluidised Bed combustor	Circulating Bed	1	**r** 61
	Bubbling Bed	1	**r** 61
천연가스			
Boiler		**r** 1	**n** 1
Gas-Fired Gas Turbines[2] >3MW		4	1
Natural Gas-fired Reciprocating Engines[3]	2-Stroke Lean Burn	**r** 693	NA
	4-Stroke Lean Burn	**r** 597	NA
	4-Stroke Rich Burn	**r** 110	NA
Biomass			
목제 / 목제 폐기물 보일러[4]		**n** 11	**n** 7

1. 출처 : US EPA, 2005b except otherwise indicated. 수치들은 기본적으로 총 발열량을 근거로 함 ; 이들 수치는 순 발열량은 석탄과 오일에 대한 총 발열값 보다 5% 낮고, 천연가스에 대해서는 10% 낮은 것으로 가정한 수치들에 의해 전환되었음. 이 백분율 조정은 총 발열량에서 순발열량으로 어떻게 변환시키에 대한 OECD/IEA의 가정이다.
2. 요인은 높은 부하(80%)에서의 운영에서만 기인됨.
3. 대부분의 천연가스 점화 왕복기관 엔진은 파이프라인 컴프레서와 저정 및 가스처리장치와 같은 천연가스 산업에서 사용된다.
4. 수치들은 기본적으로 총 발열량을 근거로 함 ; 이들 수치는 마른 목제의 순 발열값이 총 발열값보다 20% 낮은 것으로 가정하여 전환되었음.(Forest Product Laboratory, 2004).

NA, 이용할 수 없는 자료
n IPCC 1996 가이드라인에 없던 새로운 배출계수를 나타낸다.
r IPCC 1996 가이드라인부터 수정된 배출계수를 나타낸다.

표 2.8
킬른, 오븐과 건조기 배출계수

산업	오염원	배출계수[1] (kg/TJ energy input	
		CH_4	N_2O
시멘트, 석회	로 - 천연가스	1.1	NA
시멘트, 석회	로 - 석유	1.0	NA
시멘트, 석회	로 - 석탄	1.0	NA
코킹법, 강(steel)	코크스 오븐	1.0	NA
화학공정, 목제, 아스팔트, 구리, Phosphate	건조기 - 천연가스	1.1	NA
화학공정, 목제, 아스팔트, 구리, Phosphate	건조기 - 석유	1.0	NA
화학공정, 목제, 아스팔트, 구리, 인산염	건조기 - 석탄	1.0	NA

1. 출처 : Radian, 1990. 수치들은 기본적으로 총 발열량을 근거로 함; 이들 수치는 순 발열량은 석탄과 오일에 대한 총 발열값 보다 5% 낮고, 천연가스에 대해서는 10% 낮은 것으로 가정한 수치들에 의해 전환되었음. 이 백분율 조정은 총 발열량에서 순발열량으로 어떻게 변환시키에 대한 OECD/IEA의 가정이다.

NA, 이용할 수 없는 자료

인벤토리 작성자가 연료 소비 자료를 수집하고 이용할 때 이들이 따라야 하는 다수의 우수실행(good practice)이 존재한다. 가능한 경우에, 이송된 연료의 양이 아니라 연소된 연료의 양을 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.[9] 환경에 관한 보고 규정(environmental reporting regulation)하에 있는 기업들로부터 배출 자료를 수집하는 기관들은 이에 기초하여 연료 연소 자료를 요구할 것이다. 활동자료의 도출 혹은 검토를 위한 일반적인 프레임워크에 관한 추가적인 정보를 위해, 1권의 2장, 자료수집에 대한 접근법을 조사하라.

non-CO_2 온실가스 배출의 기술고유(technology-specific) 특성 때문에, 엄격한 배출 산정치를 제공하기 위해 상세한 연료 연소 기술 통계가 필요하다. 이용된 연료의 단위로 활동자료를 수집하고, 주된 기술 유형들에 의해 이용된 연료의 할당분(share)으로 가능한 한 세분화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 연료 소비 및 연소 기술의 상향식 조사(bottom-up survey) 혹은 전문가 판단 및 통계적 표본추출에 기초한 하향식 할당(top-down allocations)을 통해 세분화는 달성될 수 있다. 전문적인 통계기관 혹은 행정부서에서 정규적인 자료 수집 및 처리를 일반적으로 맡고 있다. 인벤토리 프로세스(inventory process)에 이들 부서의 대표자를 포함하는 것은 적절한 활동자료의 획득을 촉진할 것이다. 일부 배출원 부문 (예, 농업 부문에서의 연소)에 대해, 고정형 장비에서 이용된 연료를 이동형 기계류에서 이용된 연료로부터 분리하는 데 어려움이 존재할 것이다. 이러한 두 가지 배출원의 non-CO_2 가스에 대한 서로 다른 배출계수가 주어질 때, *우수실행(good practice)*은 간접적인 자료 (예, 펌프의 수, 평균적인 소비, 양수(water pumping)에 대한 필요 등)를 이용하여 이들 배출원 각각의 에너지 이용에 관한 할당분을 도출하는 것이다. 다른 국가로부터 이용가능

9 기업에 이송된 액체 및 고체 연료의 양은 연소된 양과 일반적으로 다르다. 이 차이는 일반적으로 기업이 보유한 재고량(stocks)에 더해지거나 차감되는 양이다. 국가 연료 발란스 표에 보이는 재고량 수치는 최종 소비자가 보유한 재고량을 포함하지 않거나, 특정한 배출원 부문 (예를 들어 전력 생산자)이 보유한 재고량만을 포함할 것이다. 이송량 수치는 이동 배출원 또는 공급원료(feedstock)로 이용된 양을 또한 포함할 것이다.

한 전문가 판단 및 정보도 또한 적절할 것이다.

전력 자가생산 (자체생산)에 대한 *우수실행(good practice)*은 배출이 생성된 배출원 부문에 배출을 할당하고 공정열(process heat)과 같은 다른 최종적 이용(end-uses)와 관련된 배출과 구분하여 이를 확인하는 것이다. 많은 국가에서, 자가생산과 관련된 통계가 이용가능하고 정기적으로 갱신되므로, non-CO_2 배출량을 산정하는데 활동자료가 심각한 장애가 되지는 않을 것이다.

기밀성(confidentiality)이 문제가 되는 경우에, 영향을 받는 기업과의 직접적인 논의는 종종 자료가 이용가능하도록 한다. 그렇지 않다면 연료 소비 혹은 배출을 다른 기업의 것과 통합하는 것으로 일반적으로 충분하다. 제한된 자료 원천 혹은 기밀성 이슈의 처리에 관한 추가적인 정보을 위해, 1권의 2장, 자료수집에 대한 접근법을 조사하라.

표 2.9
가정부문 배출계수

기본 기술	구조	배출계수[1] (kg/TJ 에너지 투입량)	
		CH_4	N_2O
액체 연료			
잔여 연료유 연소장치 (Residual Fuel Oil Combustors)		1.4	NA
가스/디젤 오일 연소장치 (Gas/Diesel Oil Combustors)		0.7	NA
난방로 (Furnaces)		5.8	0.2
액화석유가스 난방로 (Liquefied Petroleum Gas Furnaces)		1.1	NA
기타 등유 스토브 (Other Kerosene Stoves)[2]	Wick	**n** 2.2 – 23	1.2 – 1.9
액화석유 가스 스토브 (Liquified Petroleum Gas Stoves)[2]	Standard	**n** 0.9 – 23	0.7 – 3.5
고체 연료			
무연탄 히터 (Anthracite Space Heaters)		**r** 147	NA
기타 유연탄 스토브 (Other Bituminous Coal Stoves)[3]	Brick or Metal	**n** 267 – 2650	NA
천연가스			
보일러 및 난방로 (Boilers and Furnaces)		**n** 1	**n** 1
바이오매스			
갱목(Wood Pits)[4]		200	NA
목재 스토브 (Wood Stoves)[5,6]	Conventional	**r** 932	NA
	Non-catalytic	**n** 497	NA
	Catalytic	**r** 360	NA
목재 스토브 (Wood Stoves)[7]		**n** 258 – 2190	4 – 18.5
목재 벽난로 (Wood Fireplaces)[6]		NA	**n** 9
목탄 스토브 (Charcoal Stoves)[8]		**n** 275 – 386	**n** 1.6 – 9.3
기타 주요 고체 바이오매스 (농업용 폐기물) 스토브 (Other Primary Solid Biomass (Agriculture Wastes) Stoves)[9]		**n** 230 – 4190	**n** 9.7
기타 주요 고체 바이오매스 (분변) 스토브 (Other Primary Solid Biomass (Dung) Stoves)[10]		**n** 281	**n** 27

[1] 출처: 달리 표시되지 않으면 US EPA, 2005b. 수치들은 원래 총 발열량(gross calorific value)에 기초하였으며, 순 발열량(net calorific values)가 석탄 및 석유에 대해 5%, 천연가스에 대해 10% 정도 총 발열량보다 낮다고 가정하여 순 발열량로 전환되었다. 이러한 백분율 수정은 총 발열량에서 순 발열량로 어떻게 전환하는지에 대한 OECD/IEA 가정이다.

[2] 출처: Smith *et al.*, 1992, 1993; Smith *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2000. 중국 (CH_4), 인도 및 필리핀 (CH_4 및 N_2O)에서 다수의 가정용 스토브에 대해 수행된 실험적 연구의 결과.

[3] 출처: Zhang *et al.*, 2000. 중국에서 다수의 가정용 스토브에 대해 수행된 실험적 연구의 결과.

[4] 출처: Radian, 1990; 개정된 *IPCC 1996 가이드라인*에서 수정.

[5] 미국의 스토브. 전통적 스토브는 배출 저감 기술 혹은 설계의 특징을 가지고 있지 않으며, 대부분의 경우에, 1986년 7월 이전에 제조되었다.

[6] 수치들은 원래 총 발열량에 기초하였으며, 건조된 목재의 순 발발열량 20% 정도 총 발열량보다 낮다고 가정하여 순 발열량로 전환되었다 (Forest Product Laboratory, 2004).

[7] 출처: Bhattacharya *et al.*, 2002; Smith *et al.*, 1992, 1993; Smith *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2000. 캄보디아, 중국, 인도, 라오스, 말레이시아, 네팔, 필리핀 및 태국에서 수집된 다수의 전통적 스토브 및 개량된 스토브에 대해 수행된 실험적 연구의 결과. 인도 및 필리핀의 스토브에서만 N_2O가 측정되었다. 이 값은 초기 연소 단계 동안 생산된 목탄의, 이후 단계에서의, 연소를 고려하는 최종적인 배출계수를 나타낸다.

[8] 출처: Bhattacharya *et al.*, 2002; Smith *et al.*, 1992, 1993; Smith *et al.*, 2000. 캄보디아, 인도, 라오스, 말레이시아, 네팔, 필리핀 및 태국에서 수집된 다수의 전통적 스토브 및 개량된 스토브에 대해 수행된 실험적 연구의 결과. 인도 및 필리핀의 스토브에서만 N_2O가 측정되었다.

[9] 출처: Smith *et al*, 2000; Zhang *et al.*, 2000. 중국 (CH_4) 및 인도 (CH_4 및 N_2O)에서 다수의 가정용 스토브에 대해 수행된 실험적 연구의 결과.

[10] 출처: Smith *et al.*, 2000. 인도에서 다수의 가정용 스토브에 대해 수행된 실험적 연구의 결과.

NA, 자료가 가용하지 않음.

n *IPCC 1996 가이드라인*에서 제시되지 않은 새로운 배출계수를 표시함.

r *IPCC 1996 가이드라인* 이후에 개정된 배출계수를 표시함.

표 2.10
상업/공공부문 배출계수

기본 기술	구조	배출계수[1] (kg/TJ 에너지 투입량)	
		CH_4	N_2O
액체 연료			
잔여 연료유 보일러 (Residual Fuel Oil Boilers)		1.4	0.3
가스/디젤 오일 보일러 (Gas/Diesel Oil Boilers)		0.7	0.4
액화석유가스 보일러 (Liquefied Petroleum Gases Boilers)		**n** 0.9	**n** 4
고체 연료			
기타 유연탄/아역청탄. 대량 공급 보일러 (Other Bituminous/Sub-bit. Overfeed Stoker Boilers)		**n** 1	**n** 0.7
기타 유연탄/아역청탄. 소량 공급 보일러 (Other Bituminous/Sub-bit. Underfeed Stoker Boilers)		**n** 14	**n** 0.7
기타 유연탄/아역청탄. 수동 공급 장치 (Other Bituminous/Sub-bit. Hand-fed Units)		**n** 87	**n** 0.7
기타 유연탄/아역청탄. 미분탄 보일러 (Other Bituminous/Sub-bituminous Pulverised Boilers)	Dry Bottom, wall fired	**n** 0.7	**n** 0.5
	Dry Bottom, tangentially fired	**n** 0.7	**n** 1.4
	Wet Bottom	**n** 0.9	**n** 1.4
기타 유연탄 스프레더 스토커 (Other Bituminous Spreader Stokers)		**n** 1	**n** 0.7
기타 유연탄/아역청탄. 유동층 보일러 (Other Bituminous/Sub-bit. Fluidised Bed Combustor)	Circulating Bed	**n** 1	**n** 61
	Bubbling Bed	**n** 1	**n** 61
천연가스			
보일러 (Boilers)		**r** 1	**r** 1
가스 연소형 가스 터빈 >3MWa (Gas-Fired Gas Turbines >3MWa)		**n** 4	**n** 1.4
바이오매스			
목재/목재 폐기물 보일러 (Wood/Wood Waste Boilers)[2]		**n** 11	**n** 7

[1] 출처: US EPA, 2005b. 수치들은 원래 총 발열량(gross calorific value)에 기초하였으며, 순 발발열량 석탄 및 석유에 대해 5%, 천연가스에 대해 10% 정도 총 발열량보다 낮다고 가정하여 순 발열량로 전환되었다. 이러한 백분율 수정은 총 발열량에서 순 발열량로 어떻게 전환하는지에 대한 OECD/IEA 가정이다.

[2] 수치들은 원래 총 발열량에 기초하였으며, 건조된 목재의 순 발발열량 20% 정도 총 발열량보다 낮다고 가정하여 순 발열량로 전환되었다 (Forest Product Laboratory, 2004).

n *IPCC 1996 가이드라인*에서 제시되지 않은 새로운 배출계수를 표시함.

r *IPCC 1996 가이드라인* 이후에 개정된 배출계수를 표시함.

2.3.3.1 TIER 1 및 TIER 2

에너지 부문에서 연소에 대한 Tier 1 접근법에서 이용되는 활동자료는 국가 통계기관에 의해 작성된, 에너지 통계로부터 도출된다. 비교가능한 통계는 국가 보고서에 기초하여, 국제 에너지 기구 (International Energy Agency) (IEA)에 의해 출판된다. 국가 인벤토리 작성자에게 국가 자료가 직접적으로 이용가능하지 않다면, 무료로 해당 국가의 자료를 받기 위해 stats@iea.org로 IEA에 요청할 수 있을 것이다.

연료소비에 관한 주요 자료는 일반적으로 질량 혹은 부피 단위로 수집된다. 연료의 탄소 함유량은 일반적으로 에너지 함유량과 상관관계가 있고, 연료의 에너지 함유량이 일반적으로 측정되기 때문에, 연료 소비치를 에너지 단위로 전환하는 것이 권고된다. 연료 소비치를 전통적인 에너지 단위로 전환하기 위한 기본값이 1.4.1.2절에서 제공된다.

에너지 통계 및 발란스 방법론에 관한 정보는 IEA에 의해 출판된 "Energy Statistics Manual"에서 이용가능하다. 중요한 배출원 부문에 관한 핵심 주제가 아래에서 제공된다.

에너지 산업

에너지 산업에서, 화석연료는 전환과정(conversion processes)을 위한 원재료이자 이들 과정을 가동하는 에너지의 원천이다. 에너지 산업은 세 가지 종류의 활동으로 구성된다:

1. 1차 연료 생산 (예, 석탄 채굴과 석유 및 가스 추출);
2. 2차 혹은 3차 화석연료로의 전환 (예, 정유공장에서 원유를 석유 제품으로, 코크스로(coke ovens)에서 석탄을 코크스 및 코크스로 가스(coke oven gas)로 전환)
3. 비화석 에너지(energy vectors)로의 전환 (예, 화석연료에서 전력 및/혹은 열로 전환).

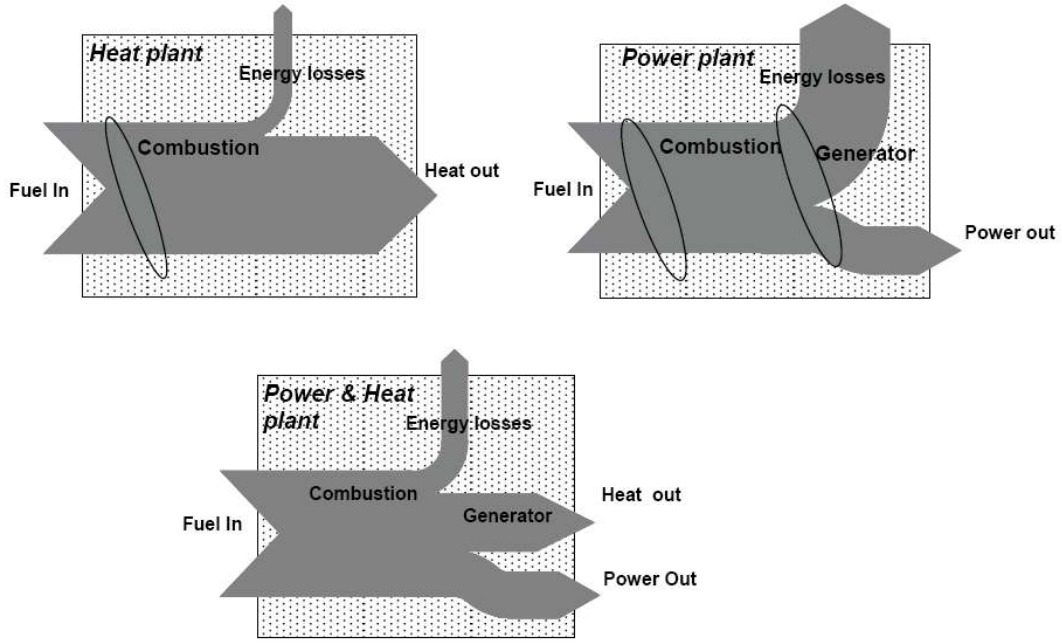
생산 및 전환과정 동안 발생하는 연소로부터 발생하는 배출은 에너지 산업에서 집계된다. 에너지 산업에 의해 생산된 2차 연료로부터 발생하는 배출은 그들이 이용되는 부문에서 집계된다. 활동자료를 수집할 때, 에너지 산업에서 연소된 연료와 2차 혹은 3차 연료로 전환된 연료를 구별하는 것은 필수적이다.

전력 및 열 생산 (MAIN ACTIVITY ELECTRICITY AND HEAT PRODUCTION)

(공공 전력 및 열 생산(public electricity and heat production)으로 이전에 알려져있는) 전력 및 열 생산은 연료에 저장된 화학적 에너지를 전력 (발전에서 집계) 혹은 열 (열 생산에서 집계) 혹은 모두 (열병합발전(combined heat and power), CHP에서 집계)로 전환한다; 표 2.1을 참고하라.

그림 2.2는 에너지 흐름을 보여준다. 전통적 발전소에서, 환경으로의 전체 에너지 손실은 연료에 있는 화학 에너지의 70% 정도일 것이며, 이는 연료 및 특정 기술에 좌우된다. 현대의 고효율 발전소에서, 손실은 연료에 포함되어 있는 화학 에너지의 약 절반으로 내려간다. 열병합 발전소에서 연료에 있는 대부분의 에너지는 (산업공정 혹은 가정용 난방 혹은 유사한 이용을 위해) 전력 혹은 열로 최종 이용자에게 이송된다. 화살표의 두께는 관련된 에너지 흐름의 상대적인 크기를 대략 나타낸다.

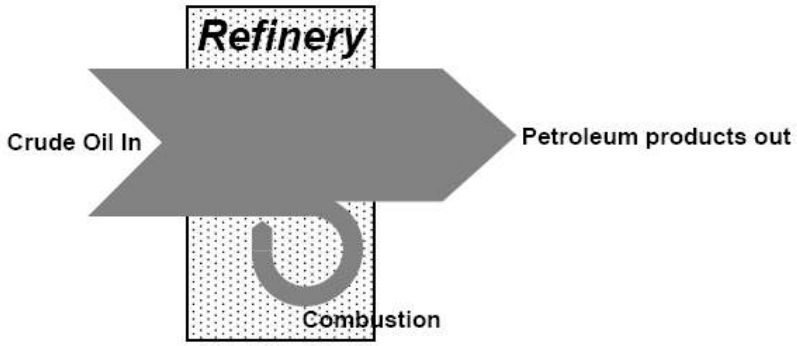
그림 2.2 전력 및 열 생산설비는 전력 및/혹은 유용한 열을 생산하기 위해 연료를 이용.



석유 정제 (PETROLEUM REFINING)

정유공장에서, 원유는 광범위한 제품으로 전환된다 (그림 2.3). 이러한 변환이 발생하기 위해, 원유로부터 얻은 제품의 에너지 함유량의 일부는 정유공장에서 이용된다 (표 2.1 참고). 이는 에너지 통계로부터 활동자료를 도출하는 것을 복잡하게 한다.

그림 2.3 정유공장은 원유를 석유제품으로 변환하기 위한 에너지 이용.



원칙적으로 모든 석유제품은 정제 공정을 위해 필요한 공정 열과 증기를 제공하기 위한 연료로서 연소할 수 있다. 석유제품은 타르, 역청, 중질 연료유(heavy fuel oils)와 같은 무거운 제품에서 가스오일(gas oils), 나프타, 디젤유, 등유와 같은 중간 증류물, 그리고 자동차용 가솔린, LPG, 정제가스(refinery gas)와 같은 가벼운 제품까지 넓은 범위를 포함한다.

많은 경우에, 정제 공정을 가동하기 위해 필요한 열 및 증기를 생산하기 위해 정유공장에서 이용되는 정확한 제품 및 연료는 에너지 통계로부터 쉽게 도출되지 않는다. 정유공장내에서 연소되는 연료는 기술의 복잡성 및 연식(vintage)에 따라, 전형적으로 정유공장에 투입된 전체 연료의 6%에

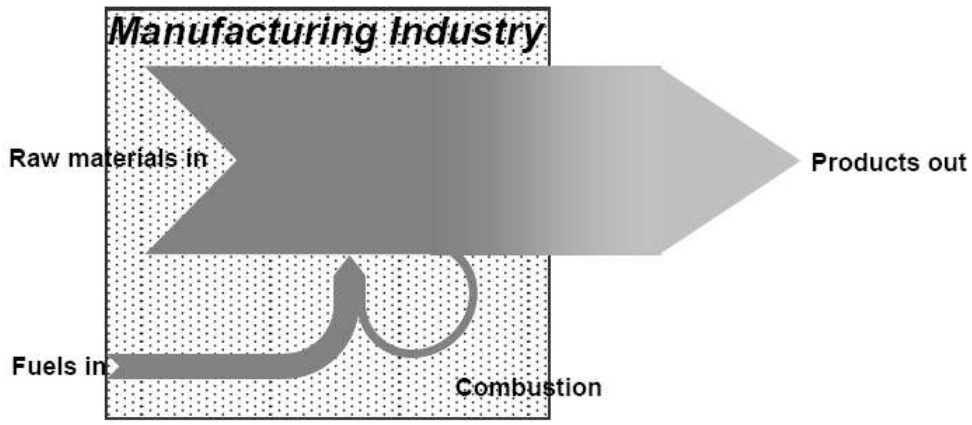
서 10%에 달한다. 에너지 통계에 의해 보고되는 적절한 값을 선택 혹은 검증하기 위해 정유산업에 연료 소비량을 요구하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

제조업 및 건설(MANUFACTURING INDUSTRIES AND CONSTRUCTION)

제조업에서, 원재료는 그림 2.4에서 개략적으로 제시되는 것처럼 제품으로 전환된다. 건설에 대해 동일한 원칙이 적용된다: 투입은 건축자료를 포함하며 산출은 건물이다.

제조업은 일반적으로 제품의 특성에 따라 분류된다. 이는 편리한 상호참조를 위해 표 2.1에서 이용되는 경제적 활동의 국제표준산업분류(International Standard Industrial Classification)를 통해 이루어진다.

그림 2.4 연료는 제조업에서 원재료를 제품으로 전환하기 위한 에너지원으로 이용.[10]



제조업에서 이용되는 원재료에 화석연료가 또한 포함될 수 있다. 예제로는 석유화학제품 (예, 메탄올), 기타 bulk chemicals (예, 암모니아), 코크스가 입력물인 primary iron의 생산이 포함된다. 일부 경우에, 공정을 가동하는 에너지가 제조공정의 화학반응으로부터 직접 전달될 것이기 때문에, 상황은 보다 복잡하다. 이에 관한 예는 primary iron 및 강(steel)의 제조이다. 여기서 코크스와 철광석간의 화학반응은 공정을 가동하는데 충분한 가스 및 열을 생성한다[11]. 공급원료(feedstock)의 처리로부터 얻은 가스와, 공급원료로부터 직접 얻은 공정연료(process fuels)로부터 발생하는 배출에 관한 보고는 이 책자의 1.2절에서 언급된 원칙 및 IPPU 책자에서 제공되는 상세한 지침을 따른다. 요약하면, 배출된 가스를 생산한 IPPU 배출원 부문에서 배출이 발생한다면 이는 그 배출원 부문에서 산업공정 배출로서 남는다. 가스가 IPPU 부문의 또다른 배출원 부문 혹은 에너지 부문으로 전송된다면, 가스가 발생하는 부문에서 그것에 관련된 탈루성, 연소, 기타 배출이 보고되어야 한다. 인벤토리 작성자는 동일한 화석연료가 에너지 및 공급연료 목적 모두를 위해 이용되는 경우 (예, 합성가스 생산, 카본 블랙(carbon black) 생산)에 공정들로부터 발생하는 배출을 구별하고 정

10 일부 산업에서 원재료에 화석연료가 포함될 지 모른다. 어떤 연료는 생산공정에서 생성된 부산물 혹은 폐기물 흐름에서 파생될 지 모른다.

11 철강(Iron and Steel)에 관한 European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (IPPC) (http://eippcb.jrc.es/)의 가장 좋은 이용가능한 기술의 참고문서 (BREFs)는 공정을 위한 열 요구량의 3분의 1이 송풍 공기 가열기(blast air heaters)에서 생산 및 연소되는 고로 가스(blast furnace gas)로부터 발생한다는 것을 보여준다. 또한 송풍 공기가 코크스를 통과할 때 CO의 생산에 의해 생성되는 열은 엄격하게는 광석의 감소 부분이 아니다.

확한 부문에서 이들 배출을 보고하는 것을 상기하게 된다.

일부 국가는 세분화된 활동자료를 얻는데 어려움에 직면하거나 산업별 배출원 부문에 대한 다른 정의를 가질 것이다. 예를 들어, 일부 국가는 노동자의 주거용 에너지 소비를 산업용 소비에 포함할 것이다. 이러한 경우에, 정의와의 차이(deviations)를 기록해야 한다.

2.3.3.2 TIER 3

Tier 3 산정치는 개별적인 시설 수준에서 자료를 통합하며, 이러한 유형의 정보는 배출권 거래 체계의 요구사항 때문에, 점점 이용가능해지고 있다. 시설 수준 자료의 적용범위가 국가 에너지 통계내의 분류 범위와 정확히 대응하지 않는 경우가 종종 있으며, 이는 다양한 정보원들을 조합하는 데 어려움을 초래할 수 있다. 자료를 조합하는 방법은 일반적인 지침 및 보고에 관해 1권의 2장에서 논의된다.

2.3.3.3 다른 부문과 활동자료를 이중계산하는 것을 방지

연료 이송 통계 대신에 연료 연소 통계의 이용은 배출 산정치의 이중계산를 방지하는 핵심이다. 그렇지만, 모든 거주용 혹은 상업용 배출원의 연료 소비 혹은 배출량을 측정하는 것은 실용적이지 않기 때문에, 연료연소 자료는 좀처럼 완전하지 않다. 그러므로, 이러한 접근법을 이용하는 국가 인벤토리는 일반적으로 대규모 배출원에 대한 연소 자료와 기타 배출원의 이송 자료의 혼합을 포함한다. 인벤토리 작성자는 다수의 배출원으로부터 자료를 조합할 때 배출의 이중계산 및 누락을 모두 피하도록 주의를 기울여야 한다.

활동자료가 연소된 연료량이 아니라 기업 혹은 주요 하위부문에 이송된 양일 때, IPPU 혹은 폐기물(Waste) 부문으로부터 발생하는 배출을 이중계산하는 위험이 존재한다. 이중계산의 확인이 항상 쉽지는 않다. 어떤 공정에 이송 및 이용된 연료는 공장의 다른 곳에서 연료로 이용되거나 연료 용도로 제3자에게 판매되는 부산물을 발생시킬지 모른다 (예, 코크스 및 고로에 들어가는 기타 탄소 투입물로부터 파생되는 고로 가스). 이중계산 혹은 누락을 피하기 위해 고정 배출원 부문과 관련 산업부문간의 산정치를 조정하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 화석연료 탄소(fossil fuel carbon)가 보고되고 화석연료 탄소의 이중계산가 원칙적으로 발생할 수 있는 일부 부문 및 하위부문이 아래에 요약되어 있다.

- IPPU – 코크스, 에탄, 가스/디젤 오일, LPG, 나프타, 천연가스와 같은 에너지 공급원료로부터 비연료 제품의 생산.

  에너지 원료의 증기 개질(steam reforming) 혹은 부분적 산화를 통한 합성가스 (syngas), 즉 일산화탄소 및 수소의 혼합물의 생산은 이러한 공정이 CO_2를 배출하기 때문에 특별한 주의를 기울일 필요가 있다. 합성가스는 암모니아, 포름알데히드, 메탄올, 순수한 일산화탄소, 순수한 수소와 같은 화학물질의 생산에서 중간 생성물이다. 이들 공정으로부터 발생하는 배출은 IPPU 부문에서 설명되어야 한다. CO_2 배출은 가스가 단기 동안만 저장된다면 배출 지점(point of emission)에서 집계되어야 한다 (예, 암모니아 생산의 부산물로서 생성되는 식음료 산업에서 이용되는 CO_2).

  합성가스는 전력 생산을 위한 상대적으로 최신인 석탄가스화 복합발전(Integrated Gasification

Combined Cycle; (IGCC) 기술에서 고체 및 액체의 연료용 원료(fuel feedstocks)의 부분적 산화/가스화에 의해 또한 생산된다. 전력을 생산하기 위해 IGCC에서 합성가스가 생성될 때, 관련된 배출은 1A, 연료 연소에서 설명되어야 한다.

카바이드(carbides)의 생산에서, 탄소가 풍부한 연료, 특히 석유 코크스(petroleum coke)가 탄소 원천으로 이용될 때 CO_2가 방출된다. 이러한 배출은 IPPU 부문에서 설명되어야 한다.

추가적인 정보를 위해, 공급원료 및 기타 비에너지 용도로부터 발생하는 탄소 배출의 완전성 검사(completeness check)에 관한 상세한 내용을 제공하는, 3권을 참고하라.

- IPPU, AFOLU – 금속 생산에서 환원제(reducing agent)로서 탄소의 이용

  광석으로부터 금속의 상업적 생산에서 환원제로서 석탄, 코크스, 천연가스, 미리 구운 양극(prebaked anodes), 석탄 전극봉(coal electrodes)을 이용함에 따라 발생하는 온실가스 배출은 IPPU 부문에서 설명되어야 한다. 목재칩(Wood chips) 및 목탄이 그 공정의 일부에서 또한 이용될 것이다. 이러한 경우에, 결과적인 배출은 AFOLU 부문에서 집계된다. 부산물 연료 (코크스로가스(coke oven gas) 및 고로 가스)가 이들 공정의 일부에서 생산된다. 이러한 연료는 판매되거나 공장내에서 이용될 것이다. 이들은 국가 에너지 발란스에 포함되거나 그렇지 않을 것이다. 결론적으로 배출을 이중으로 집계하지 않도록 주의를 기울여야 한다.

- 에너지, 폐기물 – 탄광 폐기물, 매립지 가스, 오수 가스로부터 발생하는 메탄

  이러한 경우에, 고정 연소에서 설명되는 연료의 양이 "석탄 채굴 및 처리로부터 발생하는 탈루성 배출", "폐기물 소각", "폐수 처리 및 방출" 각각으로부터 넘어온 양과 동일하도록 보장하는 것이 중요하다.

- 폐기물 – 폐기물의 소각

  폐기물 연소로부터 에너지가 재생될 때, 관련된 온실가스 배출은 에너지 부문의 고정 연소에서 설명된다. 에너지 목적이 아닌 폐기물 연소는 폐기물 배출원 부문에서 보고되어야 한다; 5권의 5장 (폐기물의 소각 및 공개 연소)을 참고하라. 폐기물의 용량을 평가하고 플라스틱 및 기타 화석 탄소물질을 포함하는 부분과 생물에 의해 생성되는 부분(biogenic part)을 구별하고 그에 따라 관련된 배출량을 산정하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 화석탄소 부분으로부터 발생하는 CO_2 배출은 연료 부문인 기타 연료(*Other fuels*)에 포함될 수 있으며, 바이오매스 부분으로부터 발생하는 CO_2 배출은 정보항목(information item)으로 보고되어야 한다. 보다 높은 tier 산정을 위해, 인벤토리 작성자는 폐기물 책자(Waste Volume)의 5장을 참고할 것이다. 해당 국가에서 폐유(used oils)를 태우는 정도를 평가하고, 그것이 연료로 이용된다면 에너지 부문에서 이러한 배출을 산정 및 보고하기 위해 폐유를 재생하는데 책임이 있는 사람과 접촉하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

- 에너지 - 이동형 연소

주된 주제는 농업용 및 비포장 도로용(off-road) 차량의 이중계산를 방지하도록 보장하는 것이다.

2.3.3.4 바이오매스의 처리

바이오매스는 특수한 경우이다:

- 바이오매스 연료로부터 발생하는 CO_2 배출은 AFOLU 방법론의 일부로서 AFOLU 부문에서 산

정 및 보고된다. 보고용 표에서, 바이오연료(biofuels)의 연소로부터 발생하는 배출은 정보항목(information items)으로 보고되며 이중계산를 방지하기 위해 부문별 혹은 국가 총계에 포함되지 않는다. 이 장에서 제시되는 배출계수 표에서, 사용자가 이러한 정보항목을 산정할 수 있도록 기본 CO_2 배출계수가 제시된다.

- 바이오매스에 대해, 에너지 부문에서 정보항목으로 포함하기 위해 에너지 목적을 위해 연소되는 바이오매스의 부분만이 산정되어야 한다.
- 그렇지만, CH_4 and N_2O 배출은 그들의 효과가 양적 변화(stock changes)와 더불어 AFOLU 부문에서 산정되기 때문에 부문 및 국가 총계에서 산정되고 포함된다.
- 연료재(fuel wood)에 대해, 활동자료는 IEA 혹은 FAO (유엔연합식량농업기구(Food and Agriculture Organisation of the United Nations))로부터 이용가능하다. 이러한 자료는 국가적 배출원에서 발생하며 관련된 조직을 발견하기 위해 국가 통계기관과 접촉함으로써 인벤토리 작성자는 국가적 상황에 관해 보다 잘 이해할 수 있다.
- 농작물 잔여물 (다른 주요한 고체 바이오매스 부분) 및 연료재에 대해, 활동자료에 대한 산정방법은 AFOLU 책자의 5장에서 이용가능하다.
- 일부 예에서, 바이오연료(biofuels)는 화석연료와 함께 연소될 것이다. 이러한 경우에, 화석 및 비화석 부분간에 분리가 되어야 하며 배출계수들이 적절한 부분들에 적용되어야 한다.

2.3.4 이산화탄소의 포집

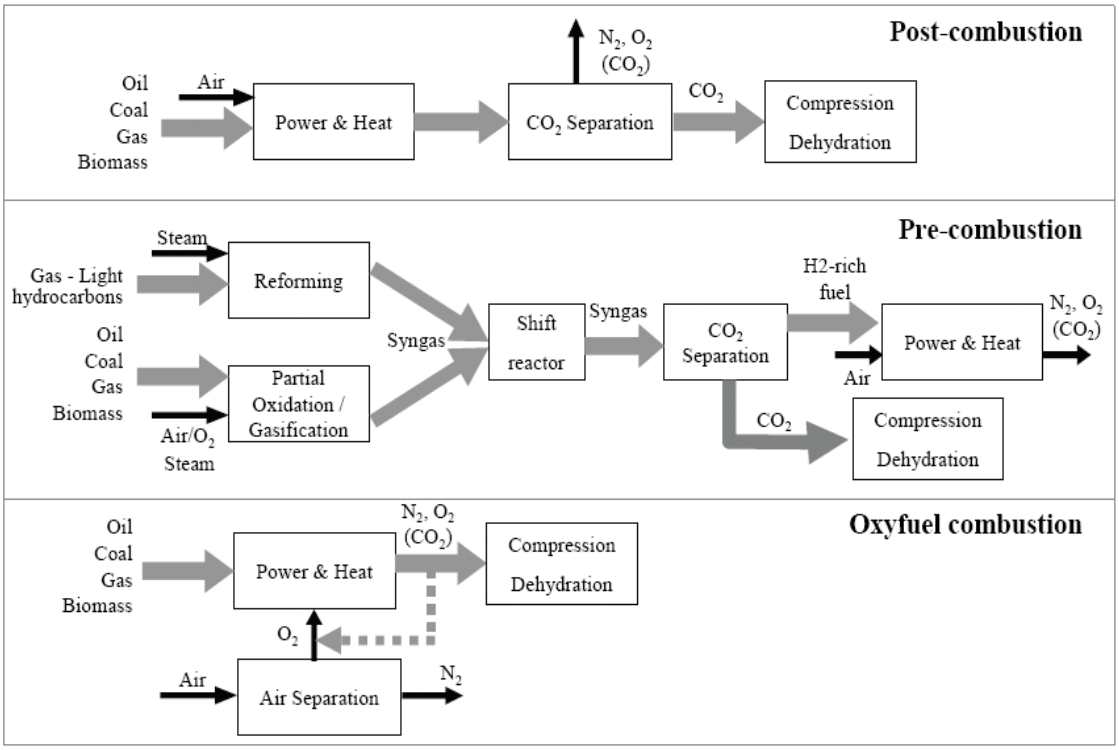
포집 및 저장은 대기중으로 배출될 가스 흐름에서 이산화탄소를 저감하며, 고갈된 유전 및 가스전 혹은 심해의 염분을 포함하는 대수층(saline aquifers)과 같은, 지질적 저장소(geological reservoirs)에 장기간 저장하기 위해 이를 이전한다. 에너지 부문에서, 이산화탄소 포집 및 저장 사업의 후보에는 발전소 및 천연가스 sweetening units와 같은 대규모 고정 배출원이 포함된다. 이 장은 단지 연소 활동, 특히 발전소에 관한 활동과 관련된 CO_2 포집을 다룬다. 포집 지점에서 지질적 저장소까지 이산화탄소의 이전으로부터 발생하는 탈루성 배a출(Fugitive emissions) 및 저장 장소 자체로부터 발생하는 배출은 이 책자의 5장에서 다루어진다. 공정흐름(process streams)에서 CO_2를 포집하는 산업에서 다른 가능성이 또한 존재한다. 이는 3권에서 다루어진다.

화석연료 및/혹은 바이오매스의 연소로부터 발생하는 CO_2 포집을 위한 세 가지 주요 접근법이 존재한다 (그림 2.5). 연소후 포집(Post-combustion capture)은 대기중에서 연료(석유, 석탄, 천연가스, 바이오매스)의 연소에 의해 생성되는 연통가스(flue gases)로부터 CO_2를 흡수하는 것을 말한다. 연소전 포집(Pre-combustion capture)은 에너지 원료를 증기 및/혹은 산소 혹은 공기와 반응시켜 합성가스 (syngas), 즉 일산화탄소와 수소의 혼합물을 생산하는 것을 의미한다. 일산화탄소는 CO_2와 보다 많은 수소를 생성하는 shift reaction에 의해 증기와 반응한다. shift reactor를 떠난 흐름은 고순도 CO_2 흐름과 보일러, 가스터빈, 연료전지와 같은 많은 응용기기에서 이용될 수 있는 H_2가 풍부한 연료로 분리된다.

순산소 연소(Oxy-fuel combustion)는 연료 연소를 위해 공기 대신에 거의 순수한 산소 혹은 거의 순수한 산소와 CO_2가 풍부한 재활용 연통가스의 혼합물을 이용한다. 연통가스는 연료의 완전연소를 보장하기 위해 필요한 여분의 산소와 함께 주로 H_2O 및 CO_2를 포함한다. 이는 연료내의 기

타 성분, 공급된 산소 흐름내의 희석제(diluents), 대기에서 시스템으로 공기누출로 인한 연료 내의 불활성 물질(inert matter)을 또한 포함할 것이다. 수증기를 응축하기 위한 냉각후에, 순수한 연통가스는 이용된 연료 및 특정한 산소-연료 연소공정에 따라 대략 80%에서 98%의 CO_2를 포함한다.

그림 2.5 고정 연소 배출원으로부터 발생하는 CO_2의 포집 시스템



이산화탄소 포집은 화석연료 소비의 증가와 함께 일부 에너지 소요(energy requirements)를 가진다. 포집 공정은 100% 미만으로 효율적이므로, 일부 CO_2는 여전히 가스 흐름으로부터 배출될 것이다. IPCC Special Report on CO_2 Capture and Storage (Thambimuthu et al., 2005)의 3장은 에너지 및 산업 공정 부문에서 발생하는 서로 다른 흐름으로부터 CO_2를 포집하기 위한 현존 및 새로운 기술에 관한 철저한 개요를 제공한다.

연소공정에서 발생하는 흐름으로부터 CO_2를 포집하기 위한 세 가지 접근법에서 탄소 흐름에 관한 일반적인 체계가 그림 2.6에서 묘사된다. 이 장에서 고려되는 시스템 경계는 발전소 혹은 중요한 기타 공정, CO_2 흡수 장치, 포집된 CO_2의 압축/탈수(compression/dehydration)을 포함하지만 CO_2 수송 및 저장 시스템은 포함하지 않는다. 이러한 일반적인 체계는 연소전 포집 시스템이 (다종생산 공장(polygeneration plants)으로 또한 알려진) 다제품 플랜트(multi-product plants)에 적용될 수 있는 가능성을 또한 고려한다. 이 장에서 고려되는 다종생산의 유형은 전력 및/혹은 열과 수소, 화학물질, 액체연료와 같은 다양한 공동제품(co-products)을 생산하기 위해 화석연료 원료를 이용한다. 연소후 및 순산소 연소 포집 시스템과 관련된 공정에서 탄소성 공동제품(carbonaceous coproducts)은 전형적으로 생산되지 않는다.

그림 2.6 고정 연소공정과 관련된 CO_2 포집 시스템에 대한 시스템 경계내외의 탄소 흐름

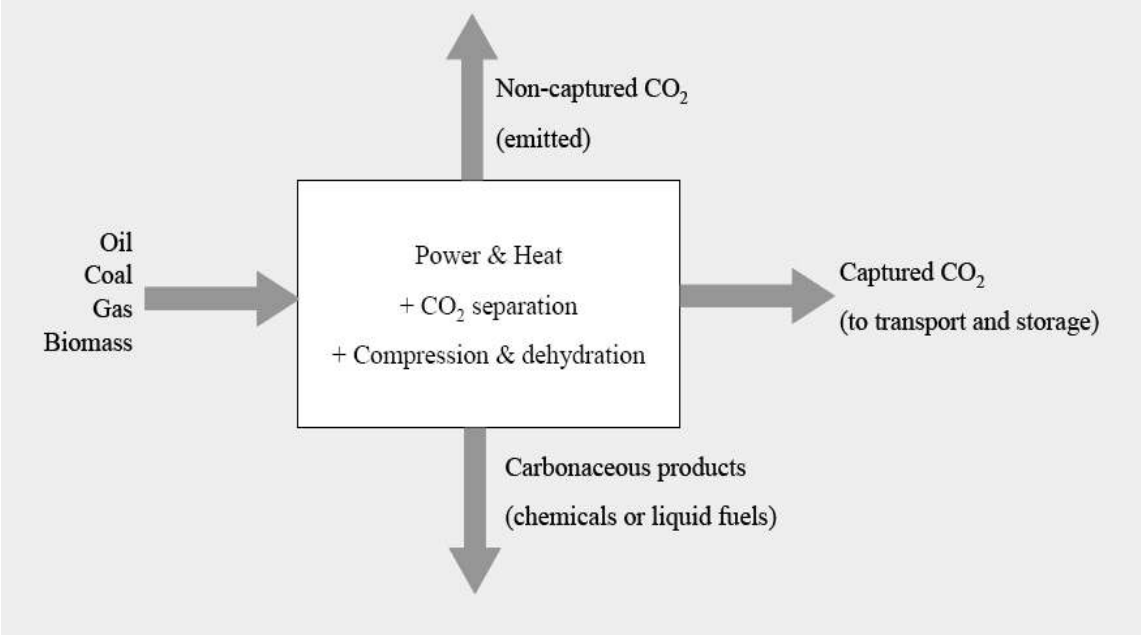


그림 2.6에서 표현된 시스템의 CO_2 포집 효율성(capture efficiencies)은 식 2.6에서 제시된다. 표 2.11은 여러 연구에서 최근에 보고되었던 중요한 연소후 및 연소전 시스템에 대한 CO_2 포집 효율성의 산정치를 요약한다. CO_2 포집 시설로부터 배출량을 산정하기 위해 효율성 계수(efficiency factors) 대신에 포집된 부피에 관한 측정자료를 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*일 때 설명적 목적을 위해서만 이러한 정보가 제공된다.

식 2.6
CO_2 포집 효율성

$$\text{효율성}_{CO_2\text{포집기술}} = \frac{C_{\text{포집된}CO_2}}{C_{\text{연료}} - C_{\text{제품}}} \cdot 100$$

여기서:

$\text{효율성}_{CO_2\text{포집기술}}$ = CO_2 포집 시스템 효율성 (%)

$C_{\text{포집된}CO_2}$ = 포집된 CO_2 흐름에서의 탄소량 (kg)

$C_{\text{연료}}$ = 공장에 투입되는 화석연료 혹은 바이오매스에서의 탄소량 (kg)

$C_{\text{제품}}$ = 공장의 탄소성 화학물질 혹은 연료 제품에서의 탄소량 (kg)

표 2.11
연소전 시스템과 연소 후 시스템에서의 전형적 CO_2 포집효율

기술	효율성 (%)			참고문헌
발전 설비 / 포집 시스템	평균	최소	최대	
미분 아역청탄/유연탄 (250-760 MWe, 41-45% 순 설비 효율성)[1,2]/ 아민(Amine)에 기초한 연소후 포집.	90	85	96	Alstom, 2001; Chen *et al*., 2003; Gibbins *et al*., 2005; IEA GHG, 2004; Parsons, 2002; Rao and Rubin, 2002; Rubin *et al*., 2005; Simbeck, 2002; Singh *et al*., 2003.
천연가스 병합발전 (380-780 MWe, 55-58% 순 설비 효율성, LHV)[1]/ 아민(Amine)에 기초한 연소후 포집.	88	85	90	CCP, 2005; EPRI, 2002; IEA GHG, 2004; NETL, 2002; Rubin *et al*., 2005.
IGCC (400-830 MWe, 31-40% net plant efficiency)[1]/ 물리적인 용제에 기초한 연소전 포집 (Selexol)	88	85	91	IEA GHG, 2003; NETL, 2002; Nsakala *et al*., 2003; Parsons, 2002; Rubin *et al*., 2005; Simbeck, 2002.
전력 + H_2 설비 (석탄, 2600-9900 GJ/시간 투입용량)[1]/ 물리적인 용제에 기초한 연소전 포집 (대부분 Selexol)	83	80	90	Kreutz *et al*., 2005, Mitretek, 2003; NRC, 2004; Parsons, 2002.
전력 + dimethyl ether (석탄, 7900-8700 GJ/시간 투입용량)[1]/ 물리적인 용제에 기초한 연소전 포집 (Selexol 혹은 Rectisol)	64	32	97	Celik *et al*., 2005; Larson, 2003
전력 + 메탄올 (석탄, 9900 GJ/시간 투입용량)[1]/ 물리적인 용제에 기초한 연소전 포집 (Selexol)	60	58	63	Larson, 2003
전력 + Fischer-Tropsch liquid (석탄, 16000 GJ/시간 투입용량)1/ 물리적인 용제에 기초한 연소전 포집 (Selexol)	91	-	-	Mitretek, 2001

[1] CO_2 포집 시스템이 없는 참조 설비

[2] 이들 옵션에는 전력 생산과 포집 시스템을 통합하는 새로운 설계 뿐만 아니라 연소후 포집 시스템을 갱신한 기존 설비가 포함된다.

TIER 3 CO_2 배출 산정치

이는 새로운 기술이기 때문에, Tier 3에서 공장에 고유한(plant-specific) 보고를 필요로 한다. 포집 및 저장을 수행하는 공장은 가스 흐름에 의해 제거되고 지질적 저장소로 이전되는 가스량을 계측할 것이다. 측정된 자료로부터 도출되는 포집 효율성(Capture efficiencies)은 검증용 교차검사로서 표 2.11의 값과 비교될 수 있다.

그러므로 Tier 3에서, CO_2 배출은 이 장의 이전 절들에서 기술된 것과 같은 산정된 연료소비 - 저감된 계측량으로부터 산정된다.

식 2.7

CO_2 포집의 처리

$$\text{배출량}_s = \text{생산량}_s - \text{포집량}_s$$

여기서:

s = 포집이 발생하는 배출원 부문 혹은 하위부문

포집량 = 포집되는 양

생산량s = 비 포집(no capture)을 가정한 가이드라인을 이용하여, 산정된 배출량

배출량s = 배출원 부문 혹은 하위부문에 대해 보고된 배출량

이러한 방법은 포집 공정으로 인한 공장에서의 에너지 소비 증가를 자동적으로 고려하며 (이는 연료 통계에 반영될 것이기 때문이다), 차감에 의해 잔여 배출량이 보다 정확히 산정되기 때문에, 포집 효율성의 독립적인 산정을 필요로 하지 않는다. 바이오연료가 공장에 공급되면, 대응하는 CO_2 배출량은 0일 것이므로 (AFOLU 부문에서 처리하기 때문에 이는 이미 국가 총계에 포함된다), 장기적인 저장소로 이전된 가스량의 차감은 음의 배출량(negative emissions)을 제공할 것이다. 바이오매스 탄소가 영구적으로 저장되면, 이는 대기로부터 제거될 것이기 때문에 이는 정확하다. 이에 관한 결론은 탄소가 화석배출원 또는 최근의 바이오매스 생산으로부터 발생되는지에 관계없이, CO_2 수송, CO_2 주입, 저장소 자체로부터 발생하는 이후의 배출량이 국가의 전체 배출량에 집계되어야 한다는 것이다. 이것이 5.3절 (CO_2 수송), 5.4절 (주입), 5.5절 (지질적 저장소)에서 지하 저장소에 저장되는 CO_2의 기원을 참조하지 않는 이유이다. 저감량 계측은 산업적 관행에 맞게 이루어져야 하며 일반적으로 대략 1% 정도로 정확할 것이다.

이후의 이용 및 단기적 저장을 위한 CO_2 양은 CO_2 배출이 인벤토리의 다른 곳에서 설명될 때를 제외하고는 CO_2 배출량에서 차감되지 말아야 한다[12].

2.3.5 완전성 (Completeness)

연료 연소로부터 발생하는 배출의 완전한 산정치는 IPCC 2006 가이드라인에서 확인된 모든 연료 및 모든 배출원 부문을 포함해야 한다. 동일한 배출원 부문에서 CO_2, CH_4, N_2O 배출량을 산정하기 위해 동일한 기본적 활동자료를 이용함으로써 완전성을 수립해야 한다.

연료 생산자에 의해 이송된 모든 연료가 설명되어야 한다. 기업의 잘못된 분류 및 소규모의 상업적 고객 및 가계에 공급하기 위한 분배자(distributors)의 이용은 연료 이송 통계(fuel delivery statistics)의 할당에서 체계적 오차의 가능성을 증가시킨다. 특정한 경제부문의 연료 소비에 대한 수치를 제공하는 표본조사 자료가 존재하는 경우에, 이 수치는 대응하는 이송자료와 비교될 것이다. 어떠한 체계적 차이가 있는지 확인해야 하며 그에 따라 이송 자료의 할당에 대한 수정이 이루어질 것이다.

최종 소비자가 연료를 직접 수입한다면 고체 및 액체 연료에 관한 체계적인 과소 보고(under-reporting)가 또한 발생할 것이다. 직접적인 수입은 세관 자료에 포함되므로 연료 공급 통계에 포함될 것이지만, 국내 공급자에 의해 제공되는 연료 이송 통계에는 포함되지 않을 것이다. 소비자에 의한 직접적인 수입이 중요하다면, 공급량과 이송량간의 통계적 차이는 중요성을 드러낼 것이다. 철강 및 시멘트 같은 제조부문에서 전용 광산에서 공급되는 연료의 자가이용이 발생할 지 모르며, 이는 또한 과소 보고의 잠재적 원천이다. 다시 한번, 소비조사 결과와의 비교는 어떤 주된 배출원 부문이 직접적인 수입에 관련되는지를 드러낸다. 바이오매스 연료에 대해, 비상업적으로 거래되는 바이오매스 연료의 가능한 이용을 포함하여, 그 이용에 관해 국가 에너지 통계기관과 상의해야 한다.

12 예제에는 최종제품으로 인해 CO_2가 설명되는, 요소의 생산 (3권, 3.2절)과 메탄을 생산에서의 CO2의 이용 (3권, 3.9절)이 포함된다.

화석연료의 생산자 재고량의 변화 및 에너지산업에 의한 자가 연료연소와 같은 일부 활동이 기존 인벤토리에서 불충분하게 다루어졌다는 것을 경험상 알고 있다. 이는 또한 바이오매스 연료 및 폐기물 연소에 대한 통계에 적용된다. 필요하다면 포함되는 자료의 보충적 원천뿐만 아니라 통계기관, 부문별 전문가, 조직과 함께 그들의 존재를 분명히 검사해야 한다. 1권의 2장은 일반적으로 자료수집을 다룬다.

2.3.6 일관적인 시계열 및 재계산의 개발

배출량을 산정하기 위해 일관적인 방법을 이용하는 것은 시계열 일관성(time series consistency)을 보장하는 주된 메커니즘이다. 그렇지만, 시간에 따른 연료 품질의 변동은 표 2.2에서 2.5까지에서 나열된 국가적 연료 특성부여 혹은 연료 유형의 한계내에서 고려하는데 또한 중요하다. 이는 연료를 질량 혹은 부피 단위에서 산정에 이용되는 에너지 단위로 전환하기 위해 이용되는 발열량(calorific values)의 변화에 전형적으로 반영되는, 탄소 함유량의 변화를 포함한다. 시간에 따른 발열량의 변화가 국가 에너지 통계를 구성하는데 이용되는 정보에 실제로 반영되는지 인벤토리 작성자가 검사하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

IPCC 2006 가이드라인의 적용은 배출계수 혹은 일부 배출의 부문 분류와 같은, 인벤토리의 일부 구성요소들의 개정을 가져올 것이다. 예를 들어, 화석연료의 비연료 용도(non-fuel use)로부터 발생하는 CO_2 배출의 구성요소는 IPCC 1996 가이드라인의 에너지 부문에서 IPCC 2006 가이드라인의 IPPU 부문으로 이동할 것이다. 에너지 부문에 대한 IPCC 1996 가이드라인은 화석연료 이용으로부터 전체적인 잠재적 배출량을 산정하고 수명이 긴 제품에 최종적으로 저장되는 탄소 부분을 차감했지만, IPCC 2006 가이드라인은 IPPU 부문에서 모든 비연료 용도를 포함한다. 이는 에너지 부문으로부터 보고되는 CO_2 배출량의 약간의 감소와 IPPU 부문에서 보고되는 배출량의 증가를 가져올 것이다. 일관적인 시계열의 보장에 관한 추가적인 정보를 위해, 1권의 5장, 시계열 일관성을 조사하라.

2.4 불확도 평가

2.4.1 배출계수의 불확도

화석연료 연소에 대해, CO_2 배출계수의 불확도는 상대적으로 낮다. 이러한 배출계수는 연료의 탄소 함유량에 의해 결정되므로 불확도의 크기에 관한 물리적 제약이 존재한다. 그렇지만, 석유제품, 석탄, 천연가스의 CO_2 배출계수의 불확도에 고유한 차이가 존재할 것이라는 것을 주목하는 것이 중요하다. 석유제품은 탄소 함유량 및 발열량의 가능한 범위를 제한하는 상당히 엄격한 명세(specifications)를 전형적으로 따르며, 상대적으로 적은 수의 정유공장 및/혹은 수입 터미널로부터 또한 공급된다. 대조적으로 석탄은 다양한 범위의 탄소 함유량 및 발열량를 가지는 석탄들을 생산하는 광산으로부터 공급될 것이고 장비를 특정한 석탄의 특성과 일치하도록 적응시키는 사용자와의 계약하에서 대부분 공급된다. 그러므로 국가 수준에서, 단일한 에너지 상품인 "석탄(black coal)"은 어떤 범위의 CO_2 배출계수를 가진다.

CH_4 및 특히 N_2O의 배출계수는 상당히 불확도가 높다. 배출계수의 높은 불확도는 적절한 측정

및 이후의 일반화의 결여, 측정의 불확도, 배출을 생성하는 공정에 관한 불충분한 이해 때문일 것이다. 더욱이, 공정 조건의 확률적 변화 때문에, 이들 가스에 대한 실시간 배출계수의 높은 변동이 발생할 지 모른다 (Pulles and Heslinga, 2004). 이러한 변동은 분명히 배출 산정치의 불확도에 또한 기여할 것이다. 배출계수의 불확도가 실증적 자료에서 거의 알려져 있지 않거나 접근할 수 없다. 결론적으로, 불확도는 간접적인 원천 혹은 전문가 판단으로부터 관습적으로 도출된다. IPCC 1996 가이드라인 (Table A1-1, Vol. I, p. A1.4)는 에너지에 관한 CO_2 배출계수에 대해 7%의 전반적인 불확도값을 제안한다.

EMEP/CORINAIR Guidebook ratings (EMEP/CORINAIR, 1999)로부터 도출된, 표 2.12에서 보이는 불확도는 국가고유(country-specific) 산정치가 존재하지 않는 경우에 이용될 것이다.

표 2.12
고정 연소 배출계수에 대한 불확도 산정치

부문	CH_4	N_2O
공공 전력, co-generation, 지역 난방	50-150%	10의 차수(Order of magnitude)*
상업용, 공공, 가정 연소	50-150%	차수
산업용 연소	50-150%	차수

* 즉, 평균값의 1/10에서 평균값의 10배까지의 불확도 범위를 가짐.
출처: IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (2000)

이들 불확도는 (국가에 고유하거나 IPCC 가이드라인으로부터 가져오거나 관계없이) 기존의 배출계수에 대해 이용될 수 있는 반면에, 국가의 연소 조건를 대표하지 않는 배출계수를 적용하는 것과 관련된 추가적인 불확도는 존재할 것이다. 국가고유 배출계수가 이용된다면 불확실성은 표 2.12의 값보다 낮을 수 있다. 1권에서 제공되는 전문가 판단에 관한 지침을 고려하는 국내 전문가들로부터 이들 불확도의 산정치를 구하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

인벤토리 불확도를 평가 및 작성하는데 현재 상대적으로 거의 경험이 없다. 소수의 이용가능한 결과가 전형적이고 비교가능한지 여부와 이러한 분석의 주된 약점이 무엇인지 평가하기 위해 보다 많은 경험이 요구된다. 온실 인벤토리의 불확도 평가를 다루는 일부 논문이 peer-reviewed 문헌에 최근 등장했다. Rypdal and Winiwater (2001)는 온실가스 인벤토리의 불확도를 평가하고 5개국 즉 오스트리아 (Winiwarter and Rypdal, 2001), 네덜란드 (van Amstel et al., 2000), 노르웨이 (Rypdal, 1999), 영국 (Baggott et al., 2005), 미국 (EIA, 1999)에 의해 보고된 결과들을 비교했다. 보다 최근에, Monni et al. (2004)는 핀란드 온실가스 인벤토리의 불확도를 평가했다.

표 2.13 및 2.14는 위에서 언급된 연구들에서 보고된, 고정 연소에 대한 배출계수의 불확도 평가를 요약한다. 이 정보를 보충하기 위해, (대응하는 2003 National Greenhouse Gas Inventory submission to the UNFCCC에서 보고된 것처럼) 각 국가에 의해 이용된 접근법 및 배출계수가 표 2.13 및 2.14에 추가되었다. CH_4 및 N_2O와 비교할 때 보다 높은 tier 접근법과 보다 많은 국가고유(country-specific) (CS) 배출계수가 CO_2에 대해 이용되었다. 반대로, N_2O에 대해 보다 낮은 tier 접근법 및 기본 배출계수에 대한 보다 큰 의존이 이용되었다. 이 정보는 주로 설명적 목적을 위해 제공된다. 이들 불확도 범위는 불확도 평가에 종사하는 국내 전문가에 의해 출발점으로 또는

비교를 위해 이용될 수 있을 것이다.

표 2.13
선택된 국가들의 고정연소 배출원 CO_2 배출계수의 불확도 평가 요약

국가	95% 신뢰구간[1]	분포	2003년 GHG 인벤토리 제출물[2]		참고문헌
			방법론[3]	배출계수[4]	
석유					
오스트리아	±0.5	Normal	C	CS	Winiwarter and Rypdal, 2001
노르웨이	±3	Normal	C	CS	Rypdal, 1999
네덜란드	±2	-	T2, CS	CS, PS	Van Amstel et al., 2000
영국	±2	Normal	T2	CS	Baggott et al., 2005
미국	±2	-	T1	CS	EIA, 1999
석탄, 코크스, 가스					
오스트리아	±0.5	Normal	C	CS	Winiwarter and Rypdal, 2001
오르웨이	±7	Normal	C	CS	Rypdal, 1999
네덜란드	±1-10	-	T2, CS	CS, PS	Van Amstel et al., 2000
영국	±1-6	Normal	T2	CS	Baggott et al., 2005
미국	±0-1	-	T1	CS	EIA, 1999
기타 연료 (주로 토탄)					
핀란드	±5	정규	T2, CS	D, CS, PS	Monni et al., 2004

1. 자료는 95% 신뢰구간의 상한과 하한으로 주어지며, 평균값에 대한 비율(percent)로 표현된다.
2. 열들의 정보는 UNFCCC에 Annex I 당사국(Parties)이 제출한 2003년 국가 온실가스 인벤토리(National Greenhouse Gas Inventory) 제출물에 기초한다.
3. 적용된 접근법을 설명하는 표기 기호: T1 (IPCC Tier 1), T2 (IPCC Tier 2), T3 (IPCC Tier 3), C (CORINAIR), CS (Country-specific).
4. 이용된 배출계수를 설명하는 표기 기호: D (IPCC default), C (CORINAIR), CS (Country-specific), PS (Plant Specific).

표 2.14
선택된 국가들의 고정연소 배출원 CH_4와 N_2O 배출계수의 불확도 평가 요약

국가	95% 신뢰구간[1]	분포	2003년 GHG 인벤토리 제출[2]		참고문헌
			접근법[3]	배출계수[4]	
CH_4					
오스트리아	±50	Normal	C, CS	CS	Winiwarter and Rypdal, 2001
핀란드	-75 to +10	β	T1, T2, CS	CS, PS	Monni et al., 2004
노르웨이	-50 to + 100	Lognormal	T2, CS	D, CS, PS	Rypdal, 1999
네덜란드	±25	-	T2, CS	CS, PS	Van Amstel et al., 2000
영국	±50	Truncated normal	T2	D, C, CS	Baggott et al., 2005
미국	Order of magnitude	-	T1	D, CS	EIA, 1999
N_2O					
오스트리아	±20	Normal	C, CS	CS	Winiwarter and Rypdal, 2001
핀란드	-75에서 +10	Beta	T1, T2, CS	CS, PS	Monni et al., 2004
노르웨이	-66에서 + 200	Beta	T1, T2	D, CS	Rypdal, 1999
네덜란드	±75	-	T1, CS	D, PS	Van Amstel et al., 2000
영국	±100에서 200	-	T2	D, C, CS	Baggott et al., 2005
미국	-55에서 + 200	-	T1	D, CS	EIA, 1999

1. 자료는 95% 신뢰구간의 상한과 하한으로 주어지며, 평균값에 대한 비율(percent)로 표현된다.
2. 열들의 정보는 UNFCCC에 Annex I 당사국(Parties)이 제출한 2003년 국가 온실가스 인벤토리(National Greenhouse Gas Inventory) 제출물에 기초한다.
3. 적용된 접근법을 설명하는 표기 기호: T1 (IPCC Tier 1), T2 (IPCC Tier 2), T3 (IPCC Tier 3), C (CORINAIR), CS (Country-specific).
4. 이용된 배출계수를 설명하는 표기 기호: D (IPCC default), C (CORINAIR), CS (Country-specific), PS (Plant-Specific).

2.4.2 활동자료 불확도

직접적인 측정 혹은 의무적 보고로부터 얻어지는, 대규모 배출원에서 연소된 연료의 통계치는 중심 산정치(central estimate)의 3% 이내일 것이다. 일부 에너지 집약적 산업에 대해, 연소 자료는 보다 정확할 것이다. 불확도는 조사 설계(survey design)의 질 및 이용된 표본의 크기에 의존하기 때문에, 표본조사 설계자(sample survey designers)와 상의하여 주된 하위부문에 대한 연료 소비의 불확도를 산정하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

연료의 소비에 관한 불완전한 적용범위의 결과로서 활동자료의 체계적 편의에 추가하여, 활동자료는 매년 변하는 자료수집에서의 무작위 오차에 종속적일 것이다. 자료의 품질관리을 포함하는, 좋은 자료수집 시스템을 가진 국가들은 전체 기록된 에너지 이용에서의 무작위 오차를 연간 수치의 대략 2-3%로 유지할 것으로 기대된다. 이 범위는 역사적 에너지 자료를 이용하고 에너지 수요를 경제적 요인과 관련짓는 모형에서 보이는 전체 에너지 수요에 관한 암시적인 신뢰한계(confidence limits)를 반영한다. 개별적인 에너지 이용 활동들에 대한 백분율 오차(Percentage errors)는 훨씬 더 클 것이다.

활동자료의 전반적인 불확도는 체계적 오차와 무작위 오차 모두의 조합이다. 대부분의 선진국들은 연료 공급 및 이송의 발란스 표를 제공하며 이는 체계적 오차에 관한 검사를 제공한다. 이러한 상황에서, 전반적인 체계적 오차는 작을 것이다. 전문가들은 조합된 두 가지 오차로부터 발생하는 불확도는 대부분의 선진국들에 대해 ±5% 범위내에 있을 것이라고 믿는다. 덜 개발된 에너지 자료 시스템을 가진 국가들에 대해, 이는 상당히 더 크고, 대략 ±10%일 것이다. 비공식적 활동(Informal activities)은 불확도를 일부 국가의 일부 부문에서 50% 정도까지 증가시킬 것이다.
고정형 활동자료의 불확도 범위가 표 2.15에 나타난다. 이러한 정보는 불확도를 보고할 때 이용될 것이다. 인벤토리 작성자가 가능하다면 전문가 판단 및/혹은 통계적 분석을 이용하여 국가 고유의 불확도를 개발하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

표 2.15
고정연소 활동자료와 관련된 불확도 등급

부문	잘 개발된 통계 시스템		덜 개발된 통계 시스템	
	조사	외삽법	조사	외삽법
주요 활동 전력 및 열 생산	1% 미만	3-5%	1-2%	5-10%
상업용, 공공, 가정 연소	3-5%	5-10%	10-15%	15-25%
산업용 연소 (에너지 집약적 산업)	2-3%	3-5%	2-3%	5-10%
산업용 연소 (기타)	3-5%	5-10%	10-15%	15-20%
소규모 배출원의 바이오매스	10-30%	20-40%	30-60%	60-100%

인벤토리 작성자는 어떤 유형의 통계 시스템이 국가적 상황을 가장 잘 기술하는지 판단해야 한다.
출처: IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (2000)

2.5 인벤토리 품질 보증/품질 관리(QA/QC)

고정 연소로부터 발생하는 배출 산정치의 질을 최적하기 위한 특정한 QA/QC 절차가 표 2.16에서 제공된다.

2.5.1 보고 및 문서화

1권의 8장에서 약술된 것과 같은, 국가 인벤토리 산정치를 생산하기 위해 요구되는 모든 정보를 기록하고 보관하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 인벤토리 보고서에 모든 문서를 포함하는 것은 실용적이지 않다. 그렇지만, 인벤토리는 보고된 배출 산정치가 투명하고 계산 단계가 역추적될 수 있도록 이용된 방법의 요약 및 자료원에 대한 참고문헌을 포함해야 한다. 고정 연소원에 관련된 특정한 문서화 및 보고의 일부 예가 아래에서 논의된다.

모든 tiers에 대해, 이용된 에너지 자료의 원천과 자료집합의 완전성에 관한 관찰치를 제공하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 대부분의 에너지 통계는 기밀이라고 생각되지 않는다. 인벤토리 작성자가 기밀성 문제 때문에 세분화된 자료를 보고하지 않는다면, 이러한 문제에 대한 이유를 설명하고 보다 통합된 형태로 자료를 보고하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

기존 IPCC 보고형식 (스프레드시트 표, 통합된 표)은 투명성의 요구와 대부분의 인벤토리 작성자에 의해 현실적으로 달성될 수 있는 노력 수준간의 균형을 제공하기 위해 노력한다. *우수실행(good practice)*은 투명성 요구사항을 완전히 충족시키기 위한 어떤 추가적인 노력을 포함한다. 특히, Tier 3가 이용된다면, 배출계수와 직접 관련되는 활동자료를 보여주는 추가적인 표가 준비되어야 한다.

국가고유 CO_2 배출계수에 대해, 발열량, 탄소 함유량, (100%의 기본 계수가 이용되거나 상황에 따라 다른 값이 이용되거나 간에) 산화계수의 원천을 제공하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 국가 및 기술별 non-CO_2 온실가스 산정치들에 대해, 서로 다른 참고문헌 혹은 문서를 인용하는 것이 필요할 것이다. 특히 참고문헌이 새로운 방법론적 발전 혹은 특정한 기술 혹은 국가적 상황을 위한 배출계수를 기술한다면, 이러한 문헌에 대한 인용을 제공하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 모든 국가 및 기술별 배출계수에 대해, 마지막 개정 일자 및 정확성에 관한 검증(verification)을 제공하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

이중계산가 발생할 수 있는 상황에서, 이중계산가 발생하지 않았다는 것을 보이기 위해 배출 산정치가 에너지 또는 AFOLU, IPPU, 폐기물과 같은 다른 부문에 할당되었는지 여부를 명확히 언급하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

2.6 워크시트

Tier I 부문별 접근법을 위한 4 페이지의 워크시트 (이 책자의 부록 1)는 표 2.16에서 지시된 각각의 배출원 부문에 대해 채워져야 한다. 에너지 목적을 위해 연소된 연료량 만이 워크시트의 A열에 포함되어야 한다. 워크시트의 A열을 채울 때, 다음의 문제를 고려해야 한다: 1) 일부 연료들은 연소가 아닌 목적을 위해 이용된다, 2) 폐기물에서 파생된 연료는 종종 에너지 목적을 위해 태워진다, 3) 연료연소 배출의 일부는 산업 공정에 포함되어야 한다. 부록의 표 1은 소비의 어떤 부분이 각각의 연료에 대한 활동자료에 포함되어야 하는지를 결정하는데 고려되어야 하는 주된 고려사항을 나열한다.

표 2.16

고정 연소를 위한 배출원별 리스트

코드	이름
1A1a	주요 활동 전력 및 열 생산 (Main Activity Electricity and Heat Production)
1A1b	석유 정제 (Petroleum Refining)
1A1c	고체연료의 제조 및 기타 에너지 산업 (Manufacture of Solid Fuels and Other Energy Industries)
1A2a	철강 (Iron and Steel)
1A2b	비철금속 (Non-Ferrous Metals)
1A2c	화학 (Chemicals)
1A2d	펄프, 종이, 인쇄 (Pulp, Paper and Print)
1A2e	식품가공, 음료, 담배 (Food Processing, Beverages and Tobacco)
1A2f	비금속 광물 (Non-Metallic Minerals)
1A2g	수송 장비 (Transport Equipment)
1A2h	기계류 (Machinery)
1A2i	채굴 (연료를 제외한) 및 채석 (Mining (excluding fuels) and Quarrying)
1A2j	목재 및 목재 제품 (Wood and Wood Products)
1A2k	건설 (Construction)
1A2l	섬유 및 가죽 (Textile and Leather)
1A2m	지정되지 않은 산업 (Non-specified Industry)
1A4a	상업/공공 (Commercial / Institutional)
1A4b	가정 (Residential)
1A4c	농림어업 (고정 연소) (Agriculture / Forestry / Fishing / Fish Farms (Stationary combustion))
1A5a	지정되지 않은 고정형 (Non-Specified Stationary)

표 2.17

고정 배출원에 대한 QA/QC 절차

활동	고정 연소로부터 발생한 CO_2 배출량 계산	고정 연소로부터 발생한 non-CO_2 배출량 계산
서로 다른 접근법을 이용한 배출 산정치의 비교	인벤토리 작성자는 부문별 접근법을 이용하여 준비된, 연료연소로부터 발생한 CO_2 배출의 산정치를 기본 접근법(Reference Approach)과 비교해야 하며, 5% 이상의 차이를 설명해야 한다. 이러한 비교분석에서, GHG 인벤토리의 다른 부분에서 설명되는, 연소에 의하지 않은 연료로부터 발생한 배출은 기본 접근법에서 차감되어야 한다.	국가고유 계수를 가지는 Tier 2 접근법이 이용된다면, 인벤토리 작성자는 그 결과를 기본 IPCC 계수를 가지는 Tier 1 접근법을 이용하여 계산된 배출과 비교해야 한다. 이러한 유형의 비교는 Tier 2 배출을 Tier 1 접근법과 동일한 부문 및 연료 그룹으로 통합하는 것을 요구할 것이다. 접근법을 문서화해야 하며 불일치를 조사해야 한다. 가능하다면, 인벤토리 작성자는 고정 배출원에 의해 연소된 연료의 최대 탄소 함유량에 관한 계산들의 일관성을 비교해야 한다. 연소 부문 전체에 걸쳐, 기대되는 탄소 발란스 표가 유지되어야 한다.
활동자료 검사	에너지 통계를 담당하는 국가 통계기관은, 자원이 허용된다면, 질량 단위로 표현되는 국가 상품 발란스 표를 작성하고, 연료전환 산업(fuel conversion industries)의 물질 발란스 표를 작성해야 한다. (지속적으로 동일한 부호를 가지는 차이에 의해 나타나는) 체계적 효과와, 가능한 경우에 제거되는 이들 효과에 대해 통계적 차이에 관한 시계열이 검사되어야 한다. 에너지 통계를 담당하는 국가 통계기관은, 자원이 허용된다면, 에너지 단위로 표현되는 국가 에너지 발란스 표와 연료 전환 산업의 에너지 발란스 표를 또한 작성해야 한다. 통계적 차이에 관한 시계열이 검사되어야 하며, 발열량는 서론 장에서 주어진 기본값과 교차-검사되어야 한다. 이 단계는 특정한 연료 (예, 석탄)에 대한 서로 다른 발발열량 (생산, 수입, 코크스로, 가계와 같은) 발란스 표의 서로 다른 제목에 적용되는 경우에 단지 가치가 있을 것이다. 대응하는 질량 값들로부터 크기 혹은 부호에서 유의적으로 변하는 통계적 차이들은 부정확한 발열량의 증거를 제공한다. 인벤토리 작성자는 기본 접근법의 탄소 총공급이 화석연료 탄소가 중요할 것이라고 기대되는 국가에서 수입 혹은 수출된 비-연료 물질(non-fuel materials)로부터 화석연료 탄소에 대해 수정되었는지 확인해야 한다. 비일관성을 확인하기 위해 에너지 발란스 표를 국제기구에 제공된 것과 비교해야 한다. 오염관련법에 의해 대규모 연소 공장에서 배출 및 연료연소 통계의 정기적인 수집이 존재할 것이다. 가능하다면, 인벤토리 작성자는 대표성을 위해 국가 에너지 통계를 교차-검사하기 위해 이러한 공장 수준의 자료를 이용할 수 있다. 국가 조직으로부터 발생한 2차적 자료가 이용된다면, 인벤토리 작성자는 이들 조직이 적절한 QA/QC 프로그램을 가지고 있다는 것을 확인해야 한다.	

표 2.17 (계속)

고정 배출원에 대한 QA/QC 절차

활동	고정 연소로부터 발생한 CO_2 배출량 계산	고정 연소로부터 발생한 non-CO_2 배출량 계산
배출계수 검사 및 검토	• 인벤토리 작성자는 탄소 단위로 표현된 국가 에너지 발란스 표 및 연료 전환 산업의 탄소 발란스 표를 작성해야 한다. 통계적 차이의 시계열이 검사되어야 한다. 대응하는 질량 값들로부터 크기 혹은 부호에서 유의적으로 변하는 통계적 차이들은 부정확한 탄소 함유량의 증거를 제공한다. • 대규모 연소 공장의 감시시스템은 공장에서 이용되는 배출 및 산화계수를 검사하기 위해 이용될 것이다. • 일부 국가들은 소비되는 연료와 그 연료의 탄소 함유량으로부터 배출을 산정한다. 이런 경우에, 연료의 탄소 함유량은 정기적으로 검토되어야 한다.	• 국가고유 배출계수가 이용될 때, 인벤토리 작성자는 계수를 IPCC 기본값과 비교하고, 차이를 설명 및 기록해야 한다. • 인벤토리 작성자는 이용된 배출계수를 이용가능하다면, 장소 혹은 공장 수준의 계수와 비교해야 한다. 이러한 유형의 비교는 국가적 계수가 얼마나 합리적이고 대표적인지에 관한 지표를 제공한다.
직접적인 측정에 관한 평가	• 인벤토리 작성자는 site-specific 배출 및 산화계수를 계산하기 위해 이용되었던 시설 수준의 연료 측정과 관련된 품질관리를 평가해야 한다. 계수를 도출하는데 이용된 측정 및 분석과 관련된 불충분한 품질관리가 존재한다는 것이 확정된다면, 계수의 지속적인 이용은 문제가 될 것이다.	• 직접적인 측정을 이용한다면, 인벤토리 작성자는 적절한 QA/QC 절차를 포함하는 좋은 측정 관행에 따라 측정이 이루어지는지 확인해야 한다. 직접적인 측정은 IPCC 기본 계수를 이용하여 도출된 결과와 비교되어야 한다.
CO_2 포집	• CO_2 포집은 장기적 저장과 관련될 때에만 보고되어야 한다. 저장된 CO_2 양과 함께 포집된 양이 검사되어야 한다. 보고된 CO_2 포집량은 저장된 CO_2 양 + 보고된 탈루성 배출 측정치를 넘지 말아야 한다. 저장된 CO_2 양은 저장소에 주입된 양의 측정에 기초해야 한다.	적용 안됨
외부 검토	• 인벤토리 작성자는 에너지 통계, 서로 다른 부문 및 장비 유형에 대한 연소 효율성, 연료 이용, 오염 방지와 같은, 고정 배출원으로부터 발생한 배출에 관련된 서로 다른 부문의 국내 전문가 및 이해관계자를 포함한 검토를 수행해야 한다. 개도국에서, 바이오매스 연소로부터 발생하는 배출에 관한 전문가 검토는 특히 중요하다.	

참고문헌

Alstom Power Inc. (2001). 'Engineering feasibility and economics of CO_2 capture on an existing coal-fired power plant'. Report No. PPL-01-CT-09 to Ohio Dept. of Development, Columbus and US Dept. of Energy/NETL, Pittsburgh.

Baggott, S.L., Brown, L., Milne, R., Murrells, T.P., Passant, N., Thistlethwaite, G. and Watterson, J.D. (2005).'UK Greenhouse Gas Inventory, 1990 to 2003 - Annual report for submission under the Framework Convention on Climate Change'. National Environmental Technology Centre (Netcen), AEA Technology plc, Building 551, Harwell, Didcot, Oxon., OX11 0QJ, UK. AEAT report AEAT/ENV/R/1971. ISBN 0-9547136-5-6. The work formed part of the Global Atmosphere Research Programme of the Department for Environment, Food and Rural Affairs.

Battacharya, S.C., Albina, D.O. and Salam, P. Abdul (2002). 'Emission factors of wood and charcoal-fired cookstoves'. Biomass and Bioenergy, 23: 453-469

Celik, F., Larson, E.D. and. Williams R.H. (2005). 'Transportation fuel from coal with low CO_2 emissions.' Wilson, M., T. Morris, J. Gale and K. Thambimuthu (eds.), Proceedings of 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies. Volume II: Papers, Posters and Panel Discussion, Elsevier Science, Oxford UK (in press).

CCP (2005). 'Economic and cost analysis for CO_2 capture costs in the CO_2 capture project, Scenarios'. In D.C. Thomas (Ed.), Volume 1 - Capture and separation of carbon dioxide from combustion Sources, Elsevier Science, Oxford, UK.

Chen, C., Rao, A.B. and Rubin, E.S. (2003). 'Comparative assessment of CO_2 capture options for existing coalfired power plants.' presented at the Second National Conference on Carbon Sequestration, Alexandria, VA, USA, 5-8 May.

EPRI (1993). Technical Assessment Guide, Volume 1: Electricity Supply-1993 (Revision 7), Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, June.

EIA (1999). 'Emissions of greenhouse gases in the United States of America'. (available at http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/ggrpt).

Forest Products Laboratory (2004). Fuel value calculator, USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Pellet Fuels Institute, Madison. (Available at http://www.fpl.fs.fed.us)

Gibbins, J., Crane, R.I., Lambropoulos, D., Booth, C., Roberts, C.A. and Lord (2005). 'Maximising the effectiveness of post-combustion CO_2 capture systems'. Proceedings of the 7 th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies. Volume I: Peer Reviewed Papers and Overviews, E.S. Rubin, D.W. Keith, and C.F.Gilboy (eds.), Elsevier Science, Oxford, UK (in press).

IEA GHG (2003). 'Potential for improvements in gasification combined cycle power generation with CO_2 capture', Report PH4/19, IEA Greenhouse Gas R&D Programme, Cheltenham, UK.

IEA GHG (2004). 'Improvements in power generation with post-combustion capture of CO_2.' Report PH4/33, Nov. 2004, IEA Greenhouse Gas R&D Programme, Cheltenham, UK.

Korhonen, S., Fabritius, M. and. Hoffren, H. (2001), 'Methane and nitrous oxide emissions in

the Finnish energy production.' Fortum publication Tech-4615. 36 pages.(Available at http://www.energia.fi/attachment.asp?Section=1354&Item=1691)

Kreutz, T., Williams, R., Chiesa, P. and Consonni, S. (2005). 'Co-production of hydrogen, electricity and CO_2 from coal with commercially ready technology'. Part B: Economic analysis, International Journal of Hydrogen Energy, 30 (7): 769-784.

Larson, E.D. and Ren, T. (2003). 'Synthetic fuels production by indirect coal liquefaction'. Energy for Sustainable Development, VII(4), 79-102.

Mitretek (2003). 'Hydrogen from coal.' Technical Paper MTR-2003-13, Prepared by D. Gray and G. Tomlinson for the National Energy Technology Laboratory, US DOE, April.

Monni, S., Syri, S. and Savolainen, I. (2004). 'Uncertainties in the Finnish greenhouse gas emission inventory.' Environmental Science & Policy, 7: 87-98.

NETL (2002). 'Advanced fossil power systems comparison study.' Final report prepared for NETL by E.L. Parsons (NETL, Morgantown, WV), W.W. Shelton and J.L. Lyons (EG&G Technical Services, Inc., Morgantown, WV), December.

NRC (2004). 'The hydrogen economy: opportunities, costs, barriers, and R&D needs'. Prepared by the Committee on Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use, Board on Energy and Environmental Systems of the National Research Council, The National Academies Press, Washington, DC.

Nsakala, N., Liljedahl, G., Marion, J., Bozzuto, C., Andrus H. and Chamberland R. (2003). 'Greenhouse gas emissions control by oxygen firing in circulating fluidised bed boilers.' Presented at the Second Annual National Conference on Carbon Sequestration. Alexandria, VA, May 5-8.

Parsons Infrastructure & Technology Group, Inc. (2002). 'Updated cost and performance estimates for fossil fuel power plants with CO_2 removal.' Report under Contract No. DE-AM26-99FT40465 to U.S.DOE/NETL, Pittsburgh, PA, and EPRI, Palo Alto, CA., December.

Pulles, T., and Heslinga, D. (2004). 'On the variability of air pollutant emissions from gas-fired industrial combustion plants.' Atmospheric Environment, 38(23): 3829 - 3840.

Rao, A.B. and Rubin, E.S. (2002). 'A technical, economic, and environmental assessment of amine-based CO2 capture technology for power plant greenhouse gas control'. Environmental Science and Technology, 36: 4467-4475.

Radian Corporation (1990). 'Emissions and cost estimates for globally significant anthropogenic combustion sources of NOx , N_2O, CH_4, CO, and CO_2.' Prepared for the Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Washington, D.C., USA.

Rubin, E.S., Rao, A.B. and Chen, C. (2005). 'Comparative assessments of fossil fuel power plants with CO_2 capture and storage.' Proceedings of 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies. Volume 1: Peer-Reviewed Papers and Overviews, E.S. Rubin, D.W. Keith and C.F. Gilboy (eds.), Elsevier Science, Oxford, UK (in press).

Rypdal, K. (1999). 'An evaluation of the uncertainties in the national greenhouse gas inventory.' SFT Report 99:01. Norwegian Pollution Control Authority, Oslo, Norway

Rypdal, K. and Winiwarter, W. (2001). 'Uncertainties in greenhouse gas emission inventories -

evaluation, comparability and implications.' Environmental Science & Policy, 4: 107.116.

Simbeck, D. (2002). 'New power plant CO_2 mitigation costs.' SFA Pacific, Inc., Mountain View, CA.

Singh, D., Croiset, E. Douglas, P.L. and Douglas, M.A. (2003). 'Techno-economic study of CO_2 capture from an existing coal-fired power plant: MEA scrubbing vs. O_2/CO_2 recycle combustion.' Energy Conversion and Management, 44: 3073-3091.

Smith K.R., Rasmussen, R.A., Manegdeg, F. and Apte, M. (1992). 'Greenhouse gases from small-scale combustion in developing countries: A Pilot Study in Manila.' EPA/600/R-92-005, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park.

Smith K.R., M.A.K. Khalil, R.A. Rasmussen, M. Apte and F. Manegdeg (1993). 'Greenhouse gases from biomass fossil Fuels stoves in developing countries: a Manila Pilot Study.' Chemosphere, 26(1-4): 479-505.

Smith, K.R., Uma, R., Kishore, V.V.N, Lata, K., Joshi, V., Zhang, J., Rasmussen, R.A. and Khalil, M.A.K. (2000). 'Greenhouse gases from small-scale combustion devices in developing countries, Phase IIa: Household Stoves in India.' U.S. EPA/600/R-00-052, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park.

Thambimuthu, K., Soltanieh, M.,. Abanades, J.C., Allam, R., Bolland, O., Davison, J., Feron, P., Goede, F., Herrera, A., Iijima, M., Jansen, D., Leites, I., Mathieu, P., Rubin, E., Simbeck, D., Warmuzinski, K., Wilkinson, M., and Williams, R. (2005). Capture. In: IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Tsupari, E., Tormonen, K., Monni, S., Vahlman, T., Kolsi, A. and Linna, V. (2006). Emission factors for nitrous oxide (N_2O) and methane (CH4) from Finnish power and heating plants and small-scale combustion. VTT, Espoo, Finland. VTT Working Papers 43. (In Finnish with Engllish summary). See website: http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W43.pdf

U.S. EPA (2005a), Plain English Guide to the Part 75 Rule, U.S. Environmental Protection Agency, Clear Air Markets Division, Washington, DC. Available at: http://www.epa.gov/airmarkets/monitoring/ plain_english_guide_part75_rule.pdf

U.S. EPA (2005b). Air CHIEF, Version 12, EPA 454/C-05-001, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Washington, DC. Available at: http:// http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html

van Amstel, A., Olivier, J.G.J., Ruyssenaars, P. (Eds.) (2000). 'Monitoring of greenhouse gases in the Netherlands: Uncertainty and Priorities for improvement' Proceedings of a National Workshop, Bilthoven, The Netherlands, 1 September 1999. WIMEK:RIVM report 773201 003, July

Winiwarter, W. and Rypdal, K. (2001). 'Assessing the uncertainty associated with a national greenhouse gas emission inventory: a case study for Austria.' Atmospheric Environment, 35: 5425-5440

Zhang, J., Smith, K.R., Ma, Y., Ye, S., Jiang, F., Qi, W., Liu, P., Khalil, M.A.K., Rasmussen,

R.A. and Thorneloe, S.A. (2000). 'Greenhouse gases and other airborne pollutants from household stoves in China: A database for emission factors.' Atmospheric Environment, 34: 4537-4549.

제3장

이동 연소

저자

Riitta Pipatti (핀란드), Per Svardal (노르웨이)Joao Wagner Silva Alves (브라질), Qingxian Gao (중국), Carlos López Cabrera (쿠바), Katarina Mareckova(슬로바키아), Hans Oonk (네델란드), Elizabeth Scheehle (미국), Chhemendra Sharma (인도), Alison Smith(영국), and Masato Yamada (일본)

부저자(contributing authors)

Jeffrey B. Coburn (미국), Kim Pingoud (핀란드), Gunnar Thorsen (노르웨이), and Fabian Wagner (독일)

목 차

3 이동 연소
3.1 개요 ····· 3.8
3.2 도로수송 ····· 3.10
3.2.1 방법론 ····· 3.10
3.2.1.1 방법의 선택 ····· 3.11
3.2.1.2 배출계수 선정 ····· 3.17
3.2.1.3 활동도 자료의 선정 ····· 3.27
3.2.1.4 완전성 ····· 3.32
3.2.1.5 일관성 있는 시계열(Time Series)의 개발 ····· 3.34
3.2.2 불확도 평가 ····· 3.34
3.2.3 인벤토리 QA/QC ····· 3.36
3.2.4 보고서 작성과 문서화 ····· 3.37
3.2.5 보고용 표와 워크시트 ····· 3.38
3.3 비도로 수송 ····· 3.38
3.3.1 방법론 ····· 3.38
3.3.1.1 방법의 선택 ····· 3.38
3.3.1.2 배출계수 선정 ····· 3.41
3.3.1.3 활동도 자료 선정 ····· 3.43
3.3.1.4 완전성 ····· 3.44
3.3.1.5 일관성 있는 시계열(time series)의 개발 ····· 3.44
3.3.2 불확도 평가 ····· 3.46
3.3.2.1 활동도 자료의 불확도 ····· 3.46
3.3.3 인벤토리 QA/QC ····· 3.46
3.3.4 보고서작성과 문서화 ····· 3.47
3.3.5 보고용 표와 작업 워크시트 ····· 3.47
3.4 철도 ····· 3.47
3.4.1 방법론 ····· 3.48
3.4.1.1 방법 선정 ····· 3.48
3.4.1.2 배출계수 선정 ····· 3.51
3.4.1.3 활동도 자료 선정 ····· 3.54

3.4.1.4 완전성 ····· 3.54
3.4.1.5 일관성 있는 시계열(time series)의 개발 ····· 3.55
3.4.1.6 불확도 평가 ····· 3.55
3.4.2 인벤토리 QA/QC ····· 3.56
3.4.3 보고서작성 및 문서화 ····· 3.56
3.4.4 보고용 표와 작업 워크시트 ····· 3.57
3.5 수상운수 ····· 3.57
3.5.1 방법론 ····· 3.57
3.5.1.1 방법선정 ····· 3.58
3.5.1.2 배출계수의 선정 ····· 3.60
3.5.1.3 활동도 자료 선정 ····· 3.61
3.5.1.4 군사 ····· 3.63
3.5.1.5 완전성 ····· 3.64
3.5.1.6 일관성 있는 시계열(time series) 개발 ····· 3.64
3.5.1.7 불확도 평가 ····· 3.65
3.5.2 인벤토리 QA/QC ····· 3.65
3.5.3 보고서 작성과 문서화 ····· 3.66
3.5.4 보고용 표와 워크시트 ····· 3.67
3.5.5 전문 용어의 정의 ····· 3.67
3.6 민간항공 ····· 3.68
3.6.1 방법론 ····· 3.68
3.6.1.1 방법 선정 ····· 3.68
3.6.1.2 배출계수 선정 ····· 3.76
3.6.1.3 활동도 자료 선정 ····· 3.77
3.6.1.4 군사 항공 ····· 3.79
3.6.1.5 완전성 ····· 3.81
3.6.1.6 일관성 있는 시계열(time series)의 개발 ····· 3.82
3.6.1.7 불확도 평가 ····· 3.82
3.6.2 인벤토리 QA/QC ····· 3.83
3.6.3 보고서 작성과 문서화 ····· 3.87
3.6.4 보고용 표와 워크시트 ····· 3.88
3.6.5 전문 용어의 정의 ····· 3.88

참고문헌 ····· 3.89

식

식 3.2.1 도로수송 CO_2 ····3.12
식 3.2.3 요소 촉매 변환기의 CO_2 산정법 ····3.13
식 3.2.3 Tier 1 CH_4 와 N_2O 의 배출량 ····3.14
식 3.2.4 Tier 2 CH_4 와 N_2O 의 배출량 ····3.15
식 3.2.5 Tier 3 CH_4 와 N_2O 의 배출량 ····3.16
식 3.2.6 연료소비량 검증 ····3.28
식 3.3.1 Tier 1 배출량 산정 ····3.39
식 3.3.2 Tier 2 배출량 산정 ····3.39
식 3.3.3 Tier 3 배출량 산정 ····3.40
식 3.3.4 요소 촉매변환기에서의 배출량 ····3.41
식 3.4.1 기관차에서 발생한 배출량 산정을 위한 일반적인 방식 ····3.49
식 3.4.2 Tier 2 기관차에서 발생한 CH_4와 N_2O 산정을 위한 방법 ····3.50
식 3.4.3 Tier 3 기관차에서 발생한 CH_4와 N_2O 산정을 위한 방법의 예 ····3.50
식 3.4.4 세부적인 기술을 위한 CH_4와 N_2O 배출계수의 가중 ····3.51
식 3.4.5 기관차연료소비 산정 ····3.54
식 3.5.1 수상운수 공식 ····3.58
식 3.6.1 (항공 식1) ····3.71
식 3.6.2 (항공 식2) ····3.71
식 3.6.3 (항공 식3) ····3.71
식 3.6.4 (항공 식4) ····3.72
식 3.6.5 (항공 식5) ····3.72

그 림

그림 3.2.1 도로수송에서의 발생량 산정 절차 ····3.11
그림 3.2.2 도로차량의 연료 연소로부터의 CO_2 배출량에 대한 의사결정도 ····3.12
그림 3.2.3 도로 차량으로부터의 CH_4 와 N_2O의 배출량에 대한 의사결정도 ····3.15
그림 3.3.1 비도로(off-road) 수송수단에서 발생한 배출량 측정을 위한 의사결정도 ····3.40
그림 3.4.1 철도에서 발생하는 CO_2배출량 측정을 위한 의사결정도 ····3.48
그림 3.4.2 철도에서 발생하는 CH_4와 N_2O배출량 측정을 위한 의사결정도 ····3.49

그림 3.5.1 수상운수 배출량의 의사결정도 ·····3.59
그림 3.6.1 항공기 배출량의 의사결정도 (각 온실가스에 적용) ·····3.72
그림 3.6.2 Tier 2 방법을 이용한 항공기 배출량 산정 ·····3.74

표

표 3.1.1 수송부문의 상세구분 ····· 3.8
표 3.2.1 도로수송 기본 CO_2 배출계수와 불확도 범위 ·····3.18
표 3.2.2 도로수송의 N_2O와 CH_4 기본 배출계수와 불확도 범위 ·····3.23
표 3.2.3 미국 휘발유와 디젤 차량에 대한 N_2O와 CH_4 배출계수 ·····3.24
표 3.2.4 대체 연료 차량의 배출계수(mg/km) ·····3.25
표 3.2.5 유럽의 휘발유와 디젤 차량의 배출계수(mg/km),COPERT IV모델 ·····3.26
표 3.3.1 비도로 이동 배출원과 기계에 대한 기본 배출계수 ·····3.42
표 3.4.1 철도 교통을 위해 가장 일반적인 연료의 기본 배출계수 ·····3.51
표 3.4.2 제어되지 않은 엔진을 위한 엔진설계 입력변수의 함수로써의 오염물질 가중 인자(무차원) ·3.52
표 3.5.1 배출원 카테고리 구조 ·····3.59
표 3.5.2 CO_2 배출계수 ·····3.60
표 3.5.3 수상운수 CH_4와 N_2O 기본 배출계수 ·····3.60
표 3.5.4 국제/국내 수상운수의 정의 기준(둘 이상의 항구에서의 수상운수 (voyage calling)의 각 구획별로 적용 ·····3.61
표 3.5.5 엔진 종류별 표준 연료 소비량 (선박 >500 GRT) ·····3.62
표 3.5.6 연료소비계수, 최대출력 ·····3.63
표 3.6.1 배출원 카테고리 ·····3.70
표 3.6.2 각 방법론별 데이터 요구사항 ·····3.70
표 3.6.3 대표 항공기와 타 항공기 종류별 대조 ·····3.75
표 3.6.4 CO_2배출계수 ·····3.76
표 3.6.5 non-CO_2 배출계수 ·····3.76
표 3.6.6 국제/국내 항공의 정의 기준(1회 이상의 이・착륙 여정의 개별 행정에 적용) ···3.77
표 3.6.7 군사항공의 연료 소비계수 ·····3.80
표 3.6.8 군사 항공의 비행시간당 연료소비 ·····3.80
표 3.6.9 대표적인 항공기의 LTO 배출계수 ·····3.84
표 3.6.10 순항 단계에서의 여러 항공기의 NO_X배출계수 ·····3.86

박 스

박스 3.2.1 도로수송에서 바이오연료를 사용한 예 ····· 3.20
박스 3.2.2 개발도상국에서에서 이동 배출원에 대한 배출계수의 개선 ····· 3.22
박스 3.2.3 차량 퇴화(폐기) 곡선 ····· 3.32
박스 3.2.4 이동연소에서의 윤활유 ····· 3.33
박스 3.3.1 비도로 배출 모델 (USEPA) ····· 3.43
박스 3.3.2 캐나다의 경험적 비도로 모델 ····· 3.44
박스 3.4.1 Tier 3 방식의 예 ····· 3.53

3 이동 연소

3.1 개요

이동 배출원은 국지적 또는 지역적 대기오염에 원인이 되거나 영향을 끼치는 일산화탄소(CO), 비메탄계 휘발성유기화합물(NMVOCs), 이산화황(SO_2), 미세먼지(PM)와 질소산화물(NO_x)과 같은 여러 다른 오염물질뿐만 아니라 다양한 연료의 연소에 의해 직접온실가스에 해당하는 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O)를 배출한다. 이 장에서는 직접온실가스인 CO_2, CH_4, N_2O의 배출량을 산정할 때 참고할 수 있는 우수실행(*good practice*)에 대해 설명하고자 한다. 간접온실가스와 전구물질인 CO, $NMVOC_s$, SO_2, PM과 NO_x에 대한 사항은 제 1권 제 7장을 참고하기 바란다. 이 장에서는 이동식 에어컨디셔닝으로부터 발생되는 비에너지(non-energy) 배출에 대한 내용은 제외시켰으며, 이 내용은 IPPU 제 3권, 제 7장을 참고하기 바란다.

이동 연소로부터의 온실가스 배출량은 예를 들어, 도로, 비도로, 항공, 철도 및 수상운수 등의 주요 교통 활동에 의해서 매우 쉽게 산정할 수 있다. 표 3.1.1에 이동배출원의 다양한 종류와 배출계수에 영향을 미치는 특성의 범위에 대한 설명이 나와 있다. 최근 들어 이러한 자료들이 갱신되고 강화되긴 했으나, 특정 자동차의 배출량과 자동차의 촉매변환기에 대한 차량 노후화의 영향에 대해서 아직 많은 연구가 필요한 실정이다. 또한, 개발도상국의 차량 수명, 정비, 연료 중 황 함량, 사용패턴이 선진국과 다르기 때문에 개발도상국의 도로수송 배출계수를 보다 적절하게 개선할 필요가 있다.

표 3.1.1
수송부문의 상세 구분

코드 및 이름				설 명
1 A 3	*수송(Transport)*			부문(sector)에 관계없이, 아래의 하위 카테고리에 명시되어 있는 모든 수송활동(군사적 수송 제외)에 대한 연료의 연소와 증발에 의한 배출을 말함. 국제수송(1A3a i 와 1A3d i)을 담당하는 항공이나 수상운수에서 소비된 연료로부터의 배출은 이 카테고리의 총계 및 소계로부터 가능한 제외시켜 따로 분리하여 보고해야 됨.
1 A 3	a	민간 항공(Civil Aviation)		이·착륙을 포함하는 국제 및 국내 민간항공 운항으로부터의 배출. 민간항공은 여객 및 화물용 정기·전세항공, 출퇴근용 항공(air taxiing), 일반항공(general aviation)을 포함하는 민간 상업용 항공기 이용을 말함. 국제/국내항공의 구분은 항공기의 국적이 아닌 각 비행단계의 출·도착지점으로 구분되어야 함. 1A3e 기타수송 (Other Transportation)에 보고된 공항에서의 육상운송 연료사용은 제외됨. 또한 공항에서의 고정연소용 연료는 제외시켜 적절한 고정연소 카테고리에 넣어야 함.
1 A 3	a	i	*국제항공(International Aviation)* *(국제 벙커 -International Bunkers)*	한 나라에서 출발하여 다른 나라에 도착하는 항공기로부터의 배출. 이·착륙 과정도 포함함. 국제 군사항공의 경우 국제항공에 대한 명확한 구분이 적용될 수 있고 국제항공의 정의를 뒷받침 할 수 있는 자료가 있다면, 국제 군사항공으로부터의 배출을 국제항공의 하위카테고리로 포함 시킬 수 있음.

표 3.1.1 (계속)
수송부문의 상세 구분

코드 및 이름					설 명
1 A 3	a	ii		국내항공*(Domestic Aviation)*	이·착륙 장소가 같은 나라 내일 경우의 국내 민간 여객기 및 화물수송기(상업용, 개인용, 농업용 등)로부터의 배출을 말하며, 이·착륙을 포함함. 동일 국가 내의 상당히 멀리 떨어진 두 공항 사이의 비행도 포함됨(예를 들어, San Francisco에서 Honolulu까지). 1A5b에 보고된 군사용은 제외함.
1 A 3	b	*도로수송(Road Transportation)*			포장도로에서 농업용자동차의 사용을 포함한, 도로차량의 연료사용으로부터 발생한 모든 연소배출 및 증발배출
1 A 3	b	i		승용차*(Cars)*	주로 12인승 이하의 승객운송용으로 차량등록국가에서 그렇게 지정된 자동차로부터의 배출
1 A 3	b	i	1	삼원촉매장치 장착 승용차	삼원촉매장치가 장착된 승용차로부터의 배출
1 A 3	b	i	2	삼원촉매장치 미장착 승용차	삼원촉매장치가 없는 승용차로부터의 배출
1 A 3	b	ii		*소형트럭(Light duty trucks)*	주로 소형화물이나 비도로 운행을 위한 4륜 구동장치와 같은 특별한 장치를 장착한 차량으로 차량등록국가에 그렇게 지정된 차량으로부터의 배출. 차량 총중량은 3,500-3,900kg 이하.
1 A 3	b	ii	1	삼원촉매장치 장착 소형트럭	삼원촉매장치가 장착된 소형트럭으로부터의 배출
1 A 3	b	ii	2	삼원촉매장치 미장착 소형트럭	삼원촉매장치가 없는 소형트럭으로부터의 배출
1 A 3	b	iii		중형트럭과 버스 (*Heavy duty trucks and buses*)	차량등록국가에서 중형트럭이나 버스라고 지정된 차량으로부터의 배출. 대개 차량 총중량은 3500-3900kg이상으로, 대형트럭과 12인승이상 버스
1 A 3	b	iv		오토바이*(Motorcycles)*	중량 680kg이하이면서 지면과 닫는 바퀴가 3개 이하인 오토바이로부터의 배출
1 A 3	b	v		자동차로부터의 증발배출*(Evaporative emissions from vehicles)*	차량으로부터의 증발 배출(예, "hot soak", "running losses" 등). 연료주입 시 배출은 제외함.
1 A 3	b	vi		요소촉매장치*(Urea-based catalysts)*	촉매변환장치의 요소첨가제 사용으로 인한 CO_2배출(비연소성 배출)
1 A 3	c	철도*(Railways)*			여객 및 화물운행노선의 철도수송으로부터의 배출
1 A 3	d	*수상운수(Water-borne Navigation)*			어선을 제외하고 호버크래프트와 수중익선을 포함한 선박의 추진으로부터의 발생. 국제/국내 수상운수는 선박의 국적이 아닌 출발항과 도착항을 기준으로 구분함.
1 A 3	d	i		국제 수상운수 *(International water-borne navigation)* *(국제 벙커 -International bunkers)*	국제 수상운수에 사용된 모든 국적선박에 사용되는 연료로부터의 배출. 국제 수상운수는 바다, 내륙호수와 수로, 연안 해역에서 일어날 수 있으며, 출발과 도착이 다른 나라일 경우의 수상운수에 의한 배출을 말함. 어선은 제외(기타 Sector - 어업 참조). 국제 군사 수상운수의 경우 국제 수상운수에 대한 명확한 구분이 적용될 수 있고, 국제 수상운수의 정의를 뒷받침 할 수 있는 자료가 있다면, 국제 수상운수의 독립된 하위카테고리에 포함시킬 수 있음.
1 A 3	d	ii		국내 수상운수(*Domestic water-borne Navigation)*	같은 국가 내에서 출항하고 입항하는 모든 국적의 선박에 사용되는 연료로부터의 배출.(어선은 1A4c iii에, 군함은 1A5b에 보고되어야 함) 동일 국가 내의 상당히 멀리 떨어진 두 항만 사이의 수상운수를 포함(예] San Francisco에서 Honolulu까지).
1 A 3	e	기타수송*(Other Transportation)*			1A4c 농업 혹은 1A2 제조업 및 건설 부분에서 보고되지 않은 파이프라인 수송, 공항과 항만에서의 육상활동, 비도로 활동을 포함하는 모든 잔여 수송활동으로 부터의 배출. 군사용 수송은 1 A 5(비특정부분: Non-specified)에 보고되어야 함.

표 3.1.1 (계속)
수송부문의 상세 구분

코드 및 이름				설 명
1 A 3	e	i	파이프라인 수송 *(Pipeline Transport)*	펌프 동력실의 운영과 파이프라인의 보수로부터 연소배출. 파이프라인을 통한 수송은 기체, 액체, 슬러리(혼합물) 그리고 기타 상품의 수송을 포함 함. 공급자로부터 최종 소비자까지의 천연가스 또는 제조가스, 물 또는 스팀의 수송은 제외시켜 1A1c ii 또는 1A4a에 보고해야 함.
1 A 3	e	ii	비도로*(Off-road)*	파이프라인 수송을 제외한 기타 수송으로부터의 연소 배출
1 A 4	c	iii	어선*(이동 연소)*	내륙, 연안, 심해 어선의 연료 연소 배출. 그 나라에 연료보급이 이루어진 모든 국적의 선박을 포함 (국제어선 포함).
1 A 5	a		비특정 고정원 *(Non specified stationary)*	다른 곳에서 지정되지 않은 고정배출원의 연료연소 배출
1 A 5	b		비특정 이동원 *(Non specified mobile)*	1A4c ii 또는 다른 곳에서 포함하지 않은 차량, 기타 장비류, 수상과 항공에서의 이동 배출원. 그 나라의 군사용으로 항공과 수상운수용으로 공급한 연료와 그 나라에서 공급되었으나 그 나라가 개입하지 않은 타국의 군사용으로 사용된 연료로 부터의 이동배출.
			다국적 작전 *(Multilateral Operations)* -" *메모항목*"	다국적 작전. UN헌장에 준하는 다국적군의 항공 및 해상 작전에 사용된 연료로 부터의 배출. 그 나라나 타국의 군용으로 공급된 연료로부터의 배출을 포함함.

3.2 도로수송

이동 배출원 카테고리 중 도로수송은 승용차, 소형트럭과 같은 소형차량, 트랙터 트레일러, 버스와 같은 중형차량과 도로용 오토바이(모피드, 스쿠터, 3륜차 포함)를 포함한다. 이 차량 집단은 여러 종류의 기상 또는 액상의 연료로 가동된다. 연료 연소에 따른 배출량뿐만 아니라 촉매변환기와 관련된 배출량(예를 들어 요소를 이용하는 촉매변환기의 CO_2 배출량)[1]도 여기서 다루어진다.

3.2.1 방법론

3.2.1.1에 명시된 바와 같이 도로차량의 온실가스 배출량 산정에 대한 주요한 방법론은 『*1996 IPCC 가이드라인*』과 『*GPG 2000*』의 발표 이후로 변경된 것이 없다. 다만, 3.2.1.2에 설명한 바와 같이, 지금은 연료의 완전산화 가정 하에서 배출계수를 산정하고 있다. 이러한 내용은 이 책자의 고정 배출원 산정방법과 일관성을 유지하고 있다. 요소를 이용하는 촉매변환기의 CO_2 배출량 산정방법은 이전에는 설명되지 않았었다.

도로수송에서 산정된 배출량은 두 독립적인 자료인 연료판매량(3.2.1.3 참조)과 주행거리에 근거를 둘 수 있다. 만약 이 두 가지 자료 모두 사용할 수 있다면, 두 자료가 비교가능한지 검토해보는 것이 중요하며, 그렇지 않다면 다른 온실가스에 대한 배출량 산정이 일관성이 없게 될 수도 있다. 이러한 검증절차(그림 3.2.1)는 3.2.1.3과 3.2.3에 설명되어있다. 만약 주행거리자료를 입수할 수 있다면, 이러한 검증과정을 거치는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

1 차량의 촉매변환기를 위한 요소 소비는 차량 연료소비와 기술에 직접 관련이 있다.

3.2.1.1 방법의 선택

배출량은 연료소비량(연료판매량) 또는 차량주행거리로부터 산정할 수 있다. 일반적으로 첫 번째 방식(연료판매량)은 CO_2 배출량 산정에 적합하고, 두 번째 방식(차종별, 도로종류별 주행거리)은 CH_4와 N_2O에 적합하다.

CO_2 배출량

CO_2 배출량은 연소된 연료의 종류 및 양(연료판매량과 동일, 3.2.1.3.참조)과 그 연료의 탄소함량을 기준으로 계산할 때 가장 정확하게 산출할 수 있다. 그림 3.2.2에는 CO_2에 대한 Tier 1 또는 Tier 2 방법을 선택할 수 있도록 도와주는 의사결정도(decision tree)를 보여주고 있다. 각 Tier는 아래에 정의되어있다.

그림 3.2.1 도로수송에서의 발생량 산정절차

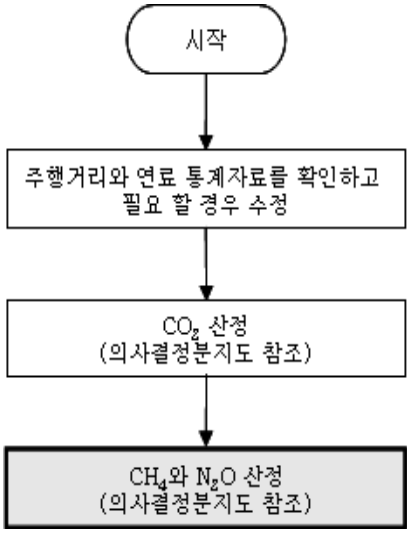
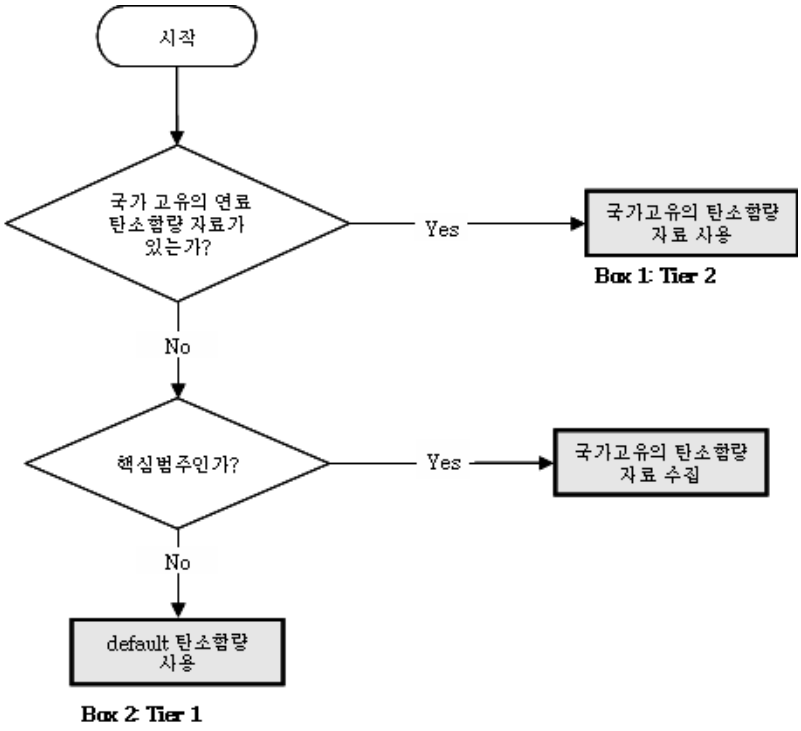


그림 3.2.2 도로차량의 연료 연소로부터의 CO_2 배출량에 대한 의사결정도



주 : 주 카테고리에 대한 설명과 의사결정도 사용에 대해서는 제 1권 제 4장 "방법론의 선정과 주 카테고리"(제한된 자료(limited resources)에 대해서는 4.1.2절을 참조)를 참고하시오.

Tier 1 산정법은 산정된 연료판매량과 기본 CO_2 배출계수를 곱하여 계산한다. 산정법은 식 3.2.1에 나타내었다.

식 3.2.1
도로수송 CO_2

$$missions = \sum_{a}^{E} [Fuel_a \cdot EF_a]$$

여기서

Emissions = CO_2 배출량 (kg)
Fuela = 연료a 판매량 (TJ)
EFa = 배출계수 (kg/TJ). 이것은 연료a의 탄소함유량에 44/12를 곱한 값과 같다.
a = 연료 형태 (예, 휘발유, 디젤, 천연가스, LPG 등)

CO_2 배출계수는 CO_2, CH_4, CO, $NMVOC_s$, PM으로 배출된 것을 포함한 연료 내 모든 탄소를 고려한다[2]. 바이오매스에서 생성된 연료 내 모든 탄소는 정보 항목(information item)으로써 보고되어야 하며, 바이오매스로부터의 순 배출량이 이미 AFOLU 부문(3.2.1.4 완전성 참조)에서 산정되었기 때문에 중복 산정을 피하기 위하여 부문 또는 국가 총 배출량에는 제외시켜야 한다.

Tier 2 산정법은 도로수송에서 판매된 연료의 국가고유의 탄소함유량을 사용하는 것을 제외하면 Tier 1과 같다. 식 3.2.1을 똑같이 이용하지만, 인벤토리 산정년도에 그 나라에서 판매된 연료의 실제 탄소함량에 근거한 배출계수를 이용해야 한다. Tier 2에서 산화되지 않은 탄소 또는 non-CO_2 가스로 배출되는 탄소를 고려하여 CO_2 배출계수가 조정될 수 있다.

여기서 Tier 3은 필요가 없다. 왜냐하면 Tier 2보다 CO_2를 더 정확하게 산정할 방법이 없기 때문이다. 불확도를 줄이기 위해서는 탄소 함유량과 연료판매량 자료를 개선하는데 노력을 기울여야 한다. 또 다른 주요 불확도 구성요소는 비도로(non-road)용도에 대한 수송연료의 사용이다.

요소촉매의 CO_2 배출량

촉매변환기에 요소 첨가제를 사용함으로써 배출되는 CO_2 배출량(비연소성 배출)을 산정하기위해서는 식 3.2.2를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

식 3.2.2
요소 촉매 변환기의 CO_2 산정법

$$Emissions = Activity \cdot \frac{12}{60} \cdot Purity \cdot \frac{44}{12}$$

여기서

Emissions = 촉매 변환기에 요소첨가제를 사용함에 따른 CO_2 배출량 (Gg CO_2)
Activity = 촉매 변환기에 사용한 요소첨가제의 양 (Gg)
Purity = 요소 첨가제 내 요소의 질량비율 (%/100)

계수 12/60는 요소($CO(NH_2)_2$)에서 탄소로의 화학양론적 변환을 반영한 값이고, 계수 44/12는 탄소에서 CO_2로의 변환을 반영한 값이다. 일반적으로 활동도는 차량에 의한 디젤 소비량의 1~3%이다. 국가 고유의 값이 없다면 기본 순도 (default purity) 값으로 32.5%를 사용할 수 있다 (Peckham, 2003). 이것은 사용되는 물질의 성질에 근거로 한 것이므로 이에 대한 단계적 방법론(tier)은 없다.

CH_4 와 N_2O 의 배출량

배출계수가 자동차 기술과 연료 및 운영특성에 좌우되기 때문에 CH_4 와 N_2O 의 배출량을 CO_2보다 더 정확하게 산정하는 것은 어렵다. 거리를 기준으로 한 활동도 자료(예를 들어 VKT)와 분류

2 미국 소형 휘발유 차와 트럭에 대한 탄소 물질수지에 대한 연구에서 "고형(비산화된)탄소의 비율은 무시할 수 있다."고 밝혔다 USEPA(2004a). 이것은 2행정 사이클 엔진 또는 휘발유 외의 연료 타입을 언급한 것은 아니었다. 100% 산화 가정에 대한 추가 논의는 Energy Volume Introduction 제 1.4.2.1장에 나와 있다.

된 연료소비량은 전체 연료판매량보다 상당히 부정확할 수도 있다.

CH_4 와 N_2O 의 배출량은 차량 집단의 배출제어장치 분포에 의해 상당한 영향을 받는다. 따라서 높은 단계의 방법론은 다양한 차종별 차량 대수와 여러 가지 공해방지기술을 고려한 산정법을 사용한다.

비록 유기(biogenic)탄소로 인한 CO_2 배출량이 국가 총 배출량에 포함되지 않을지라도, 이동 배출원의 바이오연료 연소는 배출량 산정 내에서 계산되고 보고되어야 하는 인위적인 CH_4 와 N_2O 를 배출한다.

그림 3.2.3의 의사결정도에 CH_4 와 N_2O 의 배출량 산정 방법의 선택에 대해 개략적인 체계를 보여주고 있다. 인벤토리 작성자는 자료의 존재여부와 품질을 기준으로 방법을 채택해야 한다. Tier 는 아래의 식 3.2.3~3.2.5에서 정의되었다.

도로 차량에서 CH_4 와 N_2O의 배출량 산정을 위해 세 가지 방식이 사용될 수 있다. 하나는 차량 주행거리(Vehicle Kilometers Travelled, VKT)를 기준으로 하고 나머지 둘은 연료판매량을 기준으로 한다. Tier 3 방법은 차량 하위카테고리에 대해 활동도를 기준으로 한 배출계수를 생성하기 위해 세부적인 국가 특정 자료를 필요로 하며, 이는 또한 국가 모델에 포함될 수 있다. Tier 3 방법은 각 차량 하위 카테고리와 가능한 도로형태에 따른 차량 활동도 수준((VKT)과 배출계수를 곱함으로써 배출량을 계산할 수 있다. 차량 하위카테고리는 차종, 차령, 배출제어기술을 기준으로 한다. Tier 2 방법은 차량 하위카테고리에 세부적인 연료 기반(fuel-based) 배출계수를 사용한다. 차종에 따른 연료소비량의 산정이 불가능하다면 연료 기반 배출계수를 사용하는 Tier 1 방식을 적용할 수 있다.

도로 차량에서 CH_4 와 N_2O 의 배출량 산정을 위한 Tier 1 방법은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

식 3.2.3
Tier 1 CH_4 와 N_2O 의 배출량

$$Emissions = \sum_a [Fuel_a \cdot EF_a]$$

여기서

Emissions = 배출량 (kg)
EFa = 배출계수 (kg/TJ)
Fuela = 연료 소비량 (TJ) (연료 판매량 상당)
a = 연료 형태 (디젤, 휘발유, 천연가스, LPG 등)

Tier 1 방법에 대한 식 3.2.3은 다음 단계를 따른다.

- Step 1: 국가 자료나 그 대용으로 IEA 또는 UN의 국제적인 자료를 사용하는 도로수송에 대한 연료별 소비량을 결정한다.(모든 값들은 Tera Joule로 표현한다)
- Step 2: 각각의 연료 종류별 연료소비량에 적합한 기본 CH_4 와 N_2O의 배출계수를 곱한다. 기본 배출

계수는 다음의 3.2.1.2(배출계수) 장에서 찾을 수 있다.

- Step 3: 모든 연료종류에 대한 각 오염물질의 배출량을 합산한다.

Tier 2에 대한 배출량 식은 다음과 같다.

식 3.2.4
Tier 2 CH_4 와 N_2O 의 배출량

$$Emissions = \sum_{a,b,c} [Fuel_{a,b,c} \cdot EF_{a,b,c}]$$

여기서

Emissions = 배출량 (kg)

$EF_{a,b,c}$ = 배출계수 (kg/TJ)

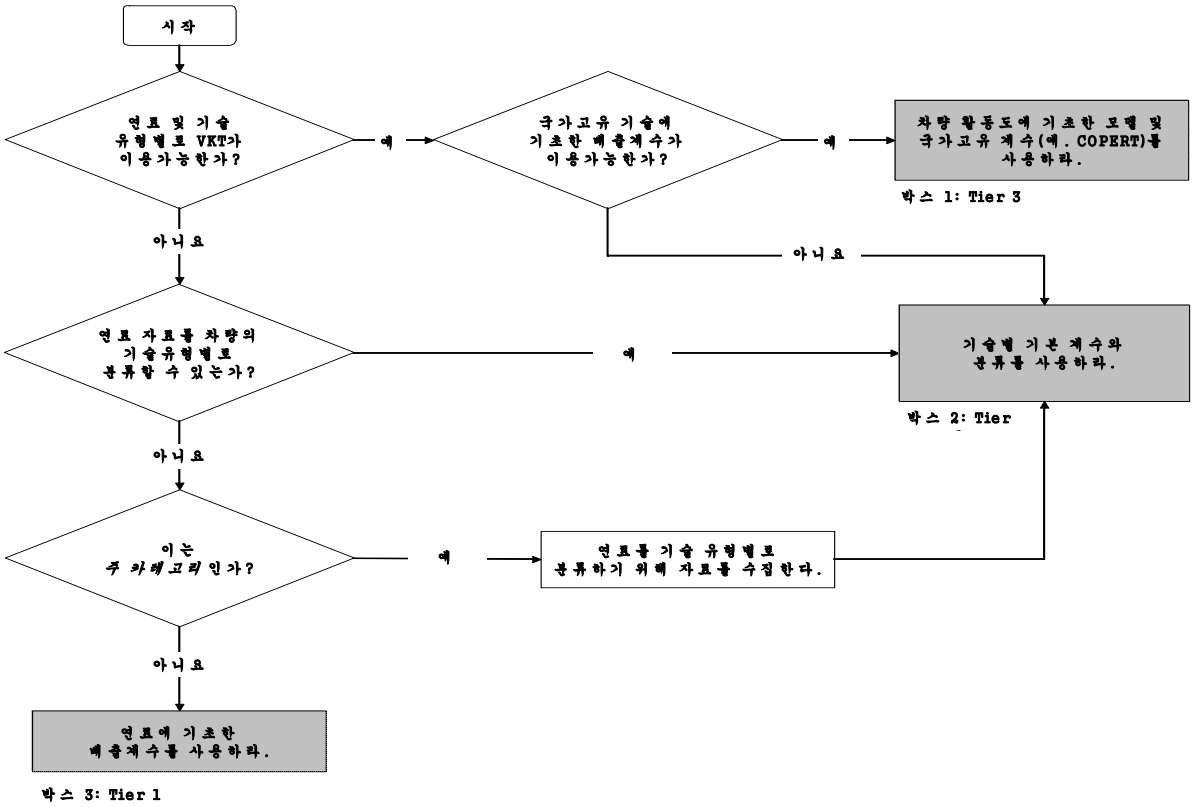
$Fuel_{a,b,c}$ = 주어진 이동 배출원 활동도에 대한 연료소비량(TJ)(연료판매량 상당)

a = 연료 종류 (디젤, 휘발유, 천연가스, LPG 등)

b = 차종

c = 배출제어기술(제어장치의 미장착, 촉매변환장치 등)

그림 3.2.3 도로 차량으로부터의 CH_4 와 N_2O의 배출량에 대한 의사결정도



주

1. 주 카테고리에 대한 설명과 의사결정도 사용에 대해서는 제 1권 제 4장 "방법론의 선정과 주 카테고리" (제한된 배출원에 대해서는 4.1.2절에 명시)를 참고하라.
2. 의사결정도와 주 카테고리의 결정은 메탄과 이산화질소 배출량을 따로 적용해야한다.

차종은 1.A.3.b(i~iv)의 보고 분류방식(즉, 승용차, 경량 또는 중량 차량, 오토바이)에 따라야 하며, 가급적 제어기술에 의한 차량의 분류(예] 정책 입안년도의 기능인 기술 채택 추정에 의한)가 가능하도록 차령(예] 3년 이하, 3~8년, 8년 이상)별로 세분해야 한다. 배출 제어 시스템 작동은 전체 시스템의 수명 동안 저 유황 연료의 사용여부에 달려 있기 때문에, 연료 종류의 구분은 가능한 모든 곳에서 제어 시스템에 따른 차량 카테고리의 윤곽을 잡기 위해 황 함유량에 따라 분류되어야 한다.[3] 이런 면을 고려하지 않는다면 CH_4가 과소평가될 수도 있다. 이것은 Tier 2, 3에 적용한다.

Tier 3에 대한 배출량 식은 다음과 같다.

식 3.2.5
Tier 3 CH_4 와 N_2O 의 배출량

$$Emissions = \sum_{a,b,c,d} [Distance_{a,b,c,d} \cdot EF_{a,b,c,d}] + \sum_{a,b,c,d} C_{a,b,c,d}$$

여기서

Emissions = CH_4 또는 N_2O 배출량 (kg)
$EF_{a,b,c,d}$ = 배출계수 (kg/km)
$Distancea_{,b,c,d}$ = 주어진 이동 배출원 활동에 대해 열적으로 안정된 엔진 운전 단계 동안의 차량주행거리(VKT) (km)
$C_{a,b,c,d}$ = 예열 중 배출량 (cold start) (kg)
a = 연료 종류 (예] 디젤, 휘발유, 천연가스, LPG 등)
b = 차량 종류
c = 배출 제어 기술(제어장치의 미장착, 촉매변환기 등)
d = 운전 조건 (예] 도심 또는 교외의 도로종류, 기후, 기타 환경적 요인)

이것이 무시되는 경우에 도로 종류에 따른 분류는 불가능할 것이다. 종종 USEPA MOVES/ MOBILE 모델이나 EEA's COPERT 모델과 같은 배출량 모델이 사용될 수 있다(각각 USEPA 2005a, USEPA 2005b, EEA 2005). 여기에는 이런 차종에 따라 이동한 VKT를 산정하기 위한 차량 집단 모델뿐만 아니라 차종과 고려된 제어 기술의 범위설정이 가능한 세부적인 차량 집단 모델을 포함한다. 배출량 모델에 사용하게 될 소프트웨어 패키지의 계산 절차는 일정하기 때문에 일관성과 투명성 보장에 도움이 된다. 표준화된 모델에 대한 어떠한 변경사항도 명확하게 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

엔진이 가열되지 않았을 때 배출량은 증가하며, 이것이 차량의 총 배출량에 대해 상당한 비중을 차지하므로, Tier 3 모델 내에서는 이 부분이 포함되어야 한다. 총 배출량은 배출량의 합산, 즉 열적으로 안정된 엔진 운전(hot) 상태에서의 배출량과 예열 단계(cold start)에서의 배출량을 합하여 계산된다(식 3.2.5). 'Cold start'는 엔진온도가 촉매가 작용을 시작하는 온도(촉매 반응 개시점, 대략 300℃) 이하일 때 또는 촉매기가 부착되지 않은 차량의 일반적인 작동 온도에 도달하기 이전에 엔진을 동작시키는 것을 말한다. 이 때 CH_4 (CO, HC) 배출량은 증가한다. 연구 결과 평균 'Cold start' 지속시간은 약 180~240초로 알려졌

3 이는 특히 황 함유량이 틀린 연료가 판매되는 나라에 적용된다(예]"metropolitan" 디젤). 몇몇 제어시스템(예]디젤 배가스 촉매변환기)을 사용하기위해서는 초저황연료(예] 황 50ppm 또는 그 이하의 디젤)가 필요하다. 연료 내 황 함량이 많아질수록 시스템의 기능이 저하되어, CH_4, N_2O, 미세먼지, 탄화수소의 배출량이 증가한다. 기능이 저하된 촉매는 효과적으로 N_2O를 N_2로 변환시키지 못하여 N_2O의 배출비율 변화의 원인이 된다. 또한 이것은 황이 많은 연료를 잘못 급유했을 때 발생할 수 있다.

다. Cold start 배출계수는 차량운행의 최초 약 3km 부근 까지만 적용할 수 있으며, 그 이후는 주행 중의 배출계수를 적용해야 한다. USEPA (2004b)와 EEA (2005b)의 세부적인 설명을 참고하기 바란다. Cold start 배출량은 다른 방법으로 정량할 수 있다. 표 3.2.3 (USEPA 2004b)은 매 시동 당 추가 배출량이 제공되어 있다. 이는 운전 중 배출량에 포함되므로 연간 차량 당 시동 횟수에 대한 정보가 필요하다.[4] 이것은 평균주행거리를 이용해 유도할 수 있다. 유럽 모델인 COPERT는 CH_4의 Cold start에 대한 더욱 복잡한 온도 보정을 한다.

Tier 2와 3 방법에 대한 식 3.2.4와 3.2.5는 다음 단계를 포함한다.

- Step 1: 국가 자료를 이용하여 도로수송에서의 연료별 소비량을 구하거나 산정한다.
- Step 2: 연료 자료나 VKT를 차량과 연료 카테고리별로 확실히 나누어야 한다. 일반적으로 배출량과 연간 주행거리는 차령에 따라 변화하는 것을 고려해야 한다. 즉, 오래된 차량일수록 활동 차량 당 주행거리는 짧아도 CH_4는 더 많이 배출하는 경향이 있다. 어떤 차량은 그 원래 설계와 다른 종류의 연료로 작동되게 하기 위해 개조되었을 수도 있다.
- Step 3: 각 차량 종류나 차량/제어 기술에 따른 연료 소비량(Tier 2)이나 이동거리(Tier 3)에 종류별로 적합한 배출계수를 곱한다. EFDB 혹은 표 3.2.3~3.2.5에 나와 있는 배출계수는 시작점으로 이용될 수 있다. 그러나 인벤토리 작성자는 특정 하위 카테고리에 대한 적절한 국가 배출계수를 결정하기 이전에 이 장에서 참고할 수 있는 기타 자료출처 또는 지역적으로 사용할 수 있는 자료를 참고할 것이 권장된다. 기 확립된 조사와 유지보수 프로그램은 훌륭한 국소 자료 출처가 될 수 있다.
- Step 4: Tier 3 방식으로 Cold start 배출량을 산정한다.
- Step 5: 도로수송에서 총 배출량을 결정하기 위해 모든 배출제어 단계에서의 모든 연료와 차종에 대한 배출량을 합한다.

3.2.1.2 배출계수 선정

인벤토리 작성자는 각 나라별로 활동도 자료의 분류된 단계와 종류를 고려하는 의사결정도의 적용을 기초로 기본(Tier 1) 또는 국가 특정(Tier 2 와 Tier 3) 배출계수를 선택해야 한다.

CO_2 배출량

CO_2 배출계수는 연료의 탄소함유량을 기준으로 하며 연료탄소의 100% 산화로 나타내야 한다. 가능하면 국가 특정 CO_2 배출계수와 순 발열량(NCV) 자료를 사용하는 이런 방식을 따르는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 연료의 기본 순 발열량과 CO_2 배출계수(아래의 표 3.2.1 참고)는 각각 이 책의 도입 장의 표 1.2와 표 1.4에 나타나 있으며, 국가 특정 자료를 사용할 수 없을 때 사용할 수 있다. 인벤토리 작성자는 적절한 배출계수의 선정을 위해 IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체)의 배출계수 DB(EFDB: Emission Factor Database)를 참고할 것을 권장한다. 기본 배출계수가 선택된다면 지역 연료의 품질과 구성비에 대해 적합한가를 확실히 하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

4 cold start 상태에서 연속적인 배출을 추가하는 간단한 방법(= 시동 횟수 • cold start 계수)에서는 개별 주행거리가 4km 이상이라고 가정한다.

표 3.2.1
도로수송 기본 CO_2 배출계수와 불확도 범위[a]

연료종류	기본값 (kg/TJ)	하한	상한
휘발유	69,300	67,500	73,000
가스/디젤오일	74,100	72,600	74,800
LPG	63,100	61,600	65,600
등유	71,900	70,800	73,700
윤활유[b]	73,300	71,900	75,200
CNG	56,100	54,300	58,300
LNG	56,100	54,300	58,300

출처: 에너지 Volume '도입' Chapter의 표 1.4

주
[a] 이 값은 연료탄소 함유량의 100% 산화 기준임.
[b] 윤활유 사용에 대한 지침서 박스 3.2.4 유동연소에서의 윤활유를 참고할 것.

Tier 1에서 배출계수는 CO_2가 CO_2, CH_4, CO, NMVOC나 미세분진 등 어떤 형태로 배출되는 것에 상관없이 연소과정(모든 차량의 모든 연료형태에 대한) 동안 또는 즉시 연료 내 존재하는 탄소가 100% 산화된다고 가정한다. 상위 방법론에서는 산화되지 않은 탄소 또는 non-CO_2 가스로 배출된 탄소를 고려하기위해 CO_2 배출계수가 조정될 것이다.

바이오연료(biofuel)의 CO_2 배출량

액상과 기상 바이오연료가 이동성이 있는 연소 장비에서 사용되어왔다(박스 3.2.1 참고). 바이오연료에 대한 활동도 자료를 사용할 수 있을 때는, 도로 수송에서 연소된 바이오연료와 관련된 배출량을 적절히 설명하기 위해 바이오연료 특정 배출계수를 사용해야 한다. 이들 연료의 유기탄소 연소로부터의 CO_2 배출량은 AFOLU 부문에서 다루어지며 정보 항목으로서 별도로 보고되어야 한다. 중복산정을 피하기 위해 인벤토리 작성자는 상업적으로 적절하다고 간주되어 인벤토리에 포함되는 모든 혼합 연료 내의 화석연료와 유기탄소의 비율을 결정해야 한다.

이동 연소에서 액상과 기상 바이오연료의 사용에는 무수한 선택사항이 있다(바이오연료의 정의에 대한 이 책의 도입 Chapter의 표 1.1을 참고하라). 특별정책을 시행하는 몇몇 국가에서는 바이오 연료가 상업적으로 널리 사용된다. 바이오 연료는 청정연료로 사용되거나 일반 상용 화석연료의 첨가제로써 사용될 수 있다. 보통 후자의 방식은 새 연료를 위해 엔진을 변경하거나 현재 엔진의 재검증을 할 필요가 없다.

중복산정으로 인한 CO_2 배출량의 과대/과소 보고를 방지하기 위해서는, 유기 공급원으로부터의 화석연료를 규정하고 분리할 수 있도록 바이오 원료의 출처를 평가하는 것이 중요하다[5]. 이는 AFOLU

5 예를 들어, 석탄 메탄올과 동물 공급원으로 만들어진 바이오디젤은 화석연료 비율이 0이 아니므로, 탄소가 전부 중성은 아니다. 농산물의 발효로 만들어진 에탄올은 화석연료 추출 에탄올같은 예외를 제외하면 일반적으로 순수하게 유기적(탄소 중성)일 것이다. 추가의 화학적 변환을 거친 산물은 바이오 디젤 생산품에 사용된 화석연료 메탄올에 약 5~10%부터 화석연료 이소부탄에서 나온 ETBE에 약 46%까지의 범위가 되는 상당한 양의 화석연료 탄소가 포함될 것이다. 어

Volume에서 이미 다루어진 이후로, 중복산정을 피하기 위해 바이오연료에서의 CO_2 배출이 '정보 항목'(information item)으로 별도로 보고되기 때문이다. 연료 내 유기탄소의 몫은 활동도 자료(예] 연소된 바이오연료 또는 혼합 바이오 연료와 주입된 비화석 연료 총량의 차(差)) 나 배출계수(예] 새 배출계수를 얻기 위한, 화석연료 배출계수와 연소된 바이오연료 또는 혼합 바이오 연료 내의 화석연료의 비율의 곱)를 세밀히 구분(refining)하여 알아낼 수 있으나, 이 둘을 동시에 사용할 수는 없다. 이들 연료의 소비가 국가 내에서 상업적으로 상당히 많다면, 유기탄소와 화석연료탄소의 경향(streams)은 원유 정제와 석유화학처리 공정 또는 폐기물 부문(예를 들어 바이오연료로서의 매립지 가스나 폐식용유의 누락 또는 중복산정의 가능성을 인지하면서)에서의 중복 산정을 피하기 위해 정확하게 설명되어야 할 필요가 있다. 바이오연료로서의 매립지 가스나 폐식용유의 중복산정이나 누락은 없어야 한다.

CH_4 와 N_2O 배출량

CH_4 와 N_2O 배출비율은 주로 현재의 차량에서의 배출 제어기술을 따르기 때문에, 차량 기술을 지정하지 않는 기본 연료기준 배출계수는 매우 불확실하다. 차종별로 이동한 차량 거리에 대한 국가 자료를 이용할 수 없다고 하더라도, 인벤토리 작성자는 상위 Tier의 배출계수를 사용할 것과 국가 도로 교통 연료 사용 자료와 가정(假定) 연료 경제값(an assumed fuel economy value)에 기초하여 차량 이동 거리를 계산할 것을 권장한다.

이동 배출원의 CH_4 와 N_2O 배출량이 주 카테고리가 아니라면, 국가 자료를 사용할 수 없을 때 표 3.2.2에 나타난 기본 CH_4 와 N_2O의 배출계수를 사용할 수 있다. 이 기본 값들을 사용할 때 인벤토리 작성자는 기본 계수의 근거로 사용되는 단위 환산과 대표 차량 카테고리를 위해 사용되는 가정 연료 경제값을 기록해야 한다.(세부 가정을 위한 표의 주석 참고)

기본 배출계수를 선택했다면 그 값이 국소적인 연료의 품질/구성과 연소 또는 배출제어기술을 가장 잘 표현했는지 확실히 하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 바이오연료가 국가 도로수송 연료 사용 산정에 포함된다면, 바이오연료 특정 배출계수는 CH_4 와 N_2O의 배출량과 관련시켜 사용해야하며 국가 총 배출량에 포함되어야 한다.

CH_4 와 N_2O의 배출비율이 현재의 연소와 배출제어 기술에 많은 영향을 받기 때문에, 이동 배출원에서 CH_4 와 N_2O 배출이 주 카테고리라고 하면 기술 특정 배출계수를 사용해야 한다. 표 3.2.3과 표 3.2.5는 잠재적으로 적용 가능한 미국과 유럽 자료의 Tier 2와 Tier 3 배출계수를 각각 제공한다. 더구나 미국은 몇몇 대체연료 차량에 대한 배출계수를 개발해왔다(표 3.2.4). 만약 국내 환경에 적합하다면 인벤토리 작성자는 IPCC EFDB와 과학논문에서 제공하는 배출계수(또는 표준 배출량 산정 모델)를 사용할 수 있다.

떤 공정은 글리코리나 글리세린 같은 유기 부산물을 생성할 수 있으며, 그것들은 다른 곳에 사용될 수 있다.

박스 3.2.1
도로수송에서 바이오연료를 사용한 예

- 에탄올은 일반적으로 사탕수수, 사탕무, 곡물, 옥수수, 또는 감자를 발효시켜 생산한다. 이는 순수한 상태 그대로(100%, Brazil) 사용하거나 휘발유와 다양한 비율로 혼합하여 사용할 수도 있다(유럽과 북미는 5~12%, 인도는 10%인 반면에 브라질은 25%가 일반적이다.). 순수한 에탄올은 100% 유기물이다.
- 바이오디젤은 식물성 지방(예] 유채, 콩, 겨자, 해바라기), 동물성 지방 또는 재활용 식용유의 전이 에스테르화(trans-esterification)로 만들어진 연료다. 이것은 독성이 없고, 생분해가 가능하며 본질적으로 황을 포함하지 않으며 순수한 형태(B100 또는 순수한 바이오디젤)로든, 석유디젤과 혼합(B2, B20 :부피에 대해 바이오디젤이 2%, 20% 포함됨)하든 어떤 디젤엔진에서도 사용될 수 있다. B100은 에스테르화공정에 사용되는 메탄올(천연가스로부터 얻음)로 인해 화석 탄소(fossil carbon)가 10% 포함될 수도 있다.
- ETBE(ethyl-tertiary-butyl-ether)는 휘발유에서 고옥탄가 혼합 성분으로 이용된다(예] 프랑스와 스페인에서는 15%까지 섞는다). 사탕무, 곡물, 감자의 발효와 화석 이소부틸렌(fossil isobutene)에서 발생하는 에탄올의 에테르화로 주원료가 생산된다.
- 유기물의 혐기성소화로 인해 생성되는 가스상의 바이오매스(매립지가스, 슬러지가스, 기타 바이오가스)는 가끔 몇몇 유럽국가(예] 스웨덴과 스위스)에서 사용된다. 일반적으로 가스상 바이오매스는 매립지 가스와 하수 가스에서 생성된다.

이동연소에 사용하기 위한 잠재력을 갖춘 기타 상용 바이오연료로는 목질섬유소(lignocellulosic)의 바이오매스에서 추출된 것들이 있다. 목질섬유소 원료물질로는 곡류의 짚, 목질 바이오매스(woody biomass), 옥수수 여물(corn stover :말린 옥수수 줄기와 잎) 또는 이와 유사한 에너지 농작물 등이 있다. 추출과 변환 공정의 범위를 변화시키면 추가적인 유기 연료의 생산도 가능하다.(메탄올, 디메틸에테르(DME), 메틸테트라하이드로퓨란(MTHF))

다음의 모든 기준에 근거하여 배출계수를 선별하거나 개발하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

- 연료구성(연구결과, 연료 내 황의 감소는 N_2O배출량 현저히 감소)[6]비를 고려한 연료 종류(휘발유, 디젤, 천연가스)
- 차종 (즉, 승용차, 소형트럭, 대형트럭, 오토바이)
- 촉매변환기의 존재여부와 성능(예]수명별 기능)을 고려한 배출제어기술(예] 전형적인 촉매는 N_2O를 N_2로, CH_4를 CO_2로 변환). Diaz *et al*(2001)은 1993~1995년 차량 집단에서 CH_4를 포함한 총 탄화수소(THCs) 중 92(±6)%에 대한 촉매변환 효율을 보고하고 있다. 상대적으로 많은

6 유엔기후변화협약 (UNFCCC 2004)

거리를 운행한 촉매기의 눈에 띄는 악화, 특히 총 탄화수소 레벨은 대략 6만km까지 안정적이나, 그 후로 6만에서 10만km사이에서는 33%까지 증가한다.

- 운전조건의 영향 (예] 속도, 도로 상태, 운전 방식 등 연비와 차량시스템의 성능에 영향을 끼치는 모든 것)[7]
- 광범위한 엔진 기술과 현존하는 연구[8]에 관련된 표본의 부족으로 인해 높은 불확도를 가지는 경향이 있는 모든 대체 연료 배출계수 산정에 대한 고려

다음 장에는 총 탄화수소 값으로부터 CH_4 배출계수를 계발하는 방법이 나와 있다. 훌륭하게 실행되고 문서화되어있는 검사/유지보수(inspection and maintenance; I/M) 프로그램은 연간 주행거리 축적률 뿐 만 아니라 연료, 모델, 연도별 배출계수에 대한 국내 자료의 출처를 제공한다. 비록 몇몇 I검사/유지보수 프로그램이 새로운 차량과 일부 대기 오염원(때때로 규정된 오염물질로 부름 예] NO_x, PM, $NMVOC_s$, THC_s)에 대한 배출계수만 사용할 수 있다고 하더라도, 이런 자료로부터 CH_4 또는 N_2O의 배출계수를 유도하는 것은 가능하다. CH_4 배출계수는 THC_s와 $NMVOC_s$에 대한 배출계수 사이의 차이로 계산할 수 있다. 많은 나라에서 차량의 CH_4배출량은 직접 측정되지 않으며, 일반적으로 실험에 의한 측정을 통해 THC_s의 비율을 구한다. USEPA (1997), Borsari (2005), CETESB (2004&2005)는 다른 형태의 탄화수소 배출량 보고를 위해 변환계수를 제공하고 있다. 이들 자료를 근거로 다음 총 탄화수소에 대한 CH_4의 비율은 국가 특정 총 탄화수소 자료로부터 CH_4배출계수를 구하는데 사용될 수 있다[9].

- 2행정 휘발유: 0.9%,
- 4행정 휘발유: 10~25%,
- 디젤: 1.6%,
- LPG: 29.6%,
- 천연가스 차량: 88.0~95.2%,
- 가소홀(gasohol) E22: 24.3~25.5%,
- 에탄올 수화물(ethanol hydrated) E100: 26.0~27.2%

몇몇 검사/유지보수 프로그램은 NMVOCs와 동등하다고 가정할 수 있는 증발물질에 관한 자료를 수집할 수 있다.[10] 최근 연구자료나 진행되고 있는 연구에서는 N_2O와 NOx 배출량 사이의 관계를 조사해왔다. 이 연구로 인해 유용한 자료가 사용가능해 질 것이다.[11]

부수적인 지역 자료(예] 평균주행속도, 기후, 고도, 오염제어장치, 도로상태)를 사용할 수 있다면 여러 계수에 대한 더 나은 개선이 가능할 것이다. 예를 들어 국내 환경을 반영하는 수정인자(예] 교

7 Lipman과 Delucchi (2002)는 CH_4 와 N_2O 배출량에 대한 운전상태의 영향의 설명과 자료를 제공한다.

8 바이오연료에 대한 몇몇 유용한 참고문헌을 Beer *et al* (2000), CONCAWE (2002)에서 사용할 수 있다.

9 Gamas et al. (1999)와 Diaz et al (2001)은 차량 제작년도와 연료 종류별 범위에 대해 측정한 THC자료를 보고했다.

10 IPCC (1997).

11 경차와 승용차의 N_2O/NO_x 비율은 0.10~0.25 범위 부근에서 구해짐.(Lipmann & Delucchi, 2002 & Behrentz, 2003)

통체증 또는 과도한 적재)를 곱하여 배출계수를 조정할 수 있다. CH_4 와 N_2O의 배출계수는 비단 대표적인 탄력 주행테스트(compliance driving test)동안 뿐만 아니라, 주행 상태와 cold-start상태 동안에도 세부적으로 시험하여 수립된다. 따라서 한 나라 내의 운전 방식에 대해 수집된 자료(시동에서 주행거리까지의 관계에 기초한)는 CH_4 와 N_2O의 배출계수를 수정하는데 사용될 수 있다. 비록 대기의 온도가 일부 대기오염물질에 영향을 끼칠지라도 CH_4 와 N_2O에 대한 온도의 영향과 관련된 연구는 제한적이다 (USEPA 2004b). 개발도상국의 이동 배출원에 대한 개선된 배출계수와 관련된 정보는 박스 3.2.2에서 참고하기 바란다.

박스 3.2.2
개발도상국에서에서 이동 배출원에 대한 배출계수의 개선

어떤 개발도상국에서는 산정된 주행 km 당 배출비율을 아래 사항과 같은 국내 상황에 맞게 바꿀 필요가 있다.

- 기술의 변화 - 많은 경우에서 배출제어시스템의 변경, 연료 혼합, 또는 단순히 차령으로 인해 일부 차량 집단은 촉매변환기가 없이 운영될 것이다. 따라서, 촉매 변환기가 없거나 적절하게 사용되지 않을시, N_2O배출량은 낮고 CH_4배출량은 높게 나타날 것이다. Diaz *et al*(2001)은 Mexico City의 총 탄화수소 값과, 차령과 주행거리에 따른 촉매변환기 효율에 대한 정보를 제공한다. 이러한 자료는 또한 총 탄화수소 값으로부터 CH_4계수를 구하는 지침을 제공한다.
- 엔진 부하량 - 교통밀도 또는 험준한 지형으로 인해, 지방의 차량이 행하는 가속과 감속 횟수는 배출계수가 개발된 국가 내에서의 운행에 비해 상당히 많을 것이다. 이런 현상은 이들 국가의 도로가 잘 닦여있고 교통 통제 네트워크가 잘 수립되어 있을 때 발생할 수 있다. 엔진 부하량의 증가는 높은 CH_4와 N_2O배출을 야기한다.
- 연료 구성비 - 낮은 품질의 연료나 다량의 황을 함유한 연료는 엔진가동과 촉매 변환기 같은 후연소 배출 제어 장치의 전환 효율에 악영향을 미칠 수도 있다. 예를 들어, 연료 내 황 함유량이 증가할수록 N_2O배출비율이 증가하는 경향이 나타났다 (UNFCCC, 2004). 황 함유량에 따른 CH_4배출량에 대한 영향은 알려져 있지 않다. 석유정제 자료는 국가 규모의 생산량을 나타낼 수 있다.

3.2.2절 '불확도 평가'는 도로수송의 배출계수에 대한 불확도 평가를 어떻게 수행하는지에 대한 정보를 제공한다.

개발도상국의 배출계수에 대한 더 많은 정보는 Mitra *et al.*(2004)에서 이용할 수 있다.

표 3.2.2
도로수송의 N_2O와 CH_4 기본 배출계수와 불확도 범위[a]

차량 형태/대표적인 차량 카테고리	CH_4(kg/TJ)			N_2O(kg/TJ)		
	기본값	최소값	최대값	기본값	최소값	최대값
휘발유 - 제어장치 미장착[b]	33	9.6	110	3.2	0.96	11
휘발유 - 산화촉매기[c]	25	7.5	86	8.0	2.6	24
휘발유 - 저연비 소형 차량, 연식 1995년 이후[d]	3.8	1.1	13	5.7	1.9	17
가스/디젤 오일[e]	3.9	1.6	9.5	3.9	1.3	12
천연가스[f]	92	50	1540	3	1	77
LPG(Liquified petroleum gas)[g]	62	na	na	0.2	na	na
에탄올, 트럭, 미국[h]	260	77	880	41	13	123
에탄올, 승용차, 브라질[i]	18	13	84	na	na	na

출처: 아래 가정을 적용하고 USEPA(2004b), EEA(2005a), TNO(2003) & Borsari(2005) CETESB(2004&2005)를 참고하라. 불확도 범위에 대한 자료는 Lipman과 Delucchi(2002)에서 인용했음. 단, 에탄올 승용차 제외.

(a) LPG와 에탄올 승용차를 제외하고 기본 값들은 Energy Volume Introduction chapter에 보고된 NCV값을, U.S Energy Information Administration에 의해 보고된 밀도 값을 사용하여 명시된 출처에서 구했다. 그리고 가정한 대표 연료소비값으로는 휘발유차량-10km/l, 디젤차량-5km/l, 천연가스차량-9km/l(휘발유 차량과 동등하게 가정함), 에탄올 차량-9km/l을 사용한다. 만약에 실제 대표 연료 경제값을 사용한다면, 차후에 N_2O와 CH_4를 위해 Tier 2 배출계수와 곱해져야 하는 총 주행거리를 산정하기 위해 총 연료사용 자료와 함께 그 값을 사용할 것을 권장한다.

(b) 제어 장치를 장착하지 않은 휘발유의 기본 값은 USEPA(2004b)에서 사용하고 있는 제어장치를 장착하지 않은 USA소형 휘발유 차량에 적용하는 값을 기반으로 하여, 표 주석 (a)에 기술된 값과 가정을 이용하여 변환되었다. 만약에 국내 전체 차량에서 오토바이가 차지하는 비중이 크면, 인벤토리 작성자는 주어진 기본 배출계수를 하향조정해야 할 것이다.

(c) 산화촉매기를 장착한 소형차 휘발유의 기본 값은 USEPA(2004b)에서 사용하고 있는 산화촉매기를 장착한 USA소형 휘발유 차량에 적용하는 값을 기반으로 하여, 표 주석 (a)에 기술된 값과 가정을 이용하여 변환되었다. 만약에 국내 전체 차량에서 오토바이가 차지하는 비중이 크면, 인벤토리 작성자는 주어진 기본 배출계수를 하향조정해야 할 것이다.

(d) 1995년식 이후 소형차 휘발유의 기본 값은 USEPA(2004b)에서 사용하고 있는 Tier 1을 이용하는 USA소형 휘발유 차량에 적용하는 값을 기반으로 하여 표 주석 (a)에 기술된 값과 가정을 이용하여 변환되었다. 만약에 국내 전체 차량에서 오토바이가 차지하는 비중이 크면, 인벤토리 작성자는 주어진 기본 배출계수를 하향조정해야 할 것이다.

(e) 디젤의 기본 값은 EEA(2005a)에서 사용하고 있는 유럽 대형 디젤트럭에 적용하는 값을 기반으로 하며, 기본 값은 표 주석 (a)에 기술된 값들과 가정에 의해서 변환되었다.

(f) 천연가스의 기본 값과 최소값은 네덜란드에서 유럽 차량과 시험 주기를 사용하여 행해진 TNO(2003)에 의한 연구에 기반을 두었다. N_2O에 대해서는 많은 불확도이 존재한다. USEPA(2004b)는 미국 CNG차량에 대한 기본 값으로 350kg CH_4/TJ와 28kg N_2O/TJ을 사용하며, 그 값은 표 주석(a)에 기술된 값과 가정을 이용하여 변환되었다. 최대값과 최소값 또한 USEPA(2004b)에서부터 인용하였다.

(g) LPG로부터의 메탄 배출의 기본값은 TNO(2003)으로부터 50MJ/kg 저위 발열량과 3.1g CH_4/kg를 사용할 수 있다. 불확도 범위는 제공되어있지 않다.

(h) 에탄올의 기본 값은 USEPA(2004b)에서 사용하고 있는 USA에탄올 대형트럭에 적용하는 값을 기반으로 하며, 표 주석 (a)에서 기술된 값들과 가정에 의해서 변환되었다.

(i) 브라질 차량에 대한 자료는 Borsari(2005)와 CETESB(2004&2005)에서 구한다. 2003년 신 모델에 대해 가장 적절한 값은 51.3kg THC/TJ과 THC 내 26.0% CH_4이다. 5년식 차량에 대한 값은 67kg THC/TJ과 THC 내 27.2% CH_4이다. 10년식 차량에 대한 값은 308kg THC/TJ과 THC 내 27.2% CH_4이다.

표 3.2.3
미국 휘발유와 디젤 차량에 대한 N_2O와 CH_4 배출계수

차량 종류	배출 제어 기술	N_2O		CH_4	
		주행(hot)	Cold Start	주행(hot)	Cold Start
		mg/km	mg/start	mg/km	mg/start
소형 휘발유 차량 (승용)	저 배출 차량(LEV)	0	90	6	32
	개선된 삼원 촉매기	9	113	7	55
	초기의 삼원 촉매기	26	92	39	34
	산화 촉매기	20	72	82	9
	비산화 촉매기	8	28	96	59
	제어장치 미장착	8	28	101	62
소형 디젤 차량 (승용)	개선된 제어장치	1	0	1	-3
	적당한 제어장치	1	0	1	-3
	제어장치 미장착	1	-1	1	-3
소형 휘발유 트럭	저 배출 차량(LEV)	1	59	7	46
	개선된 삼원 촉매기	25	200	14	82
	초기의 삼원 촉매기	43	153	39	72
	산화 촉매기	26	93	81	99
	비산화 촉매기	9	32	109	67
	제어장치 미장착	9	32	116	71
소형 디젤 트럭	개선되고 적당한 제어장치	1	-1	1	-4
	제어장치 미장착	1	-1	1	-4
대형 휘발유 차량	저 배출 차량(LEV)	1	120	14	94
	개선된 삼원 촉매기	52	409	15	163
	초기의 삼원 촉매기	88	313	121	183
	산화 촉매기	55	194	111	215
	비산화 촉매기	20	70	239	147
	제어장치 미장착	21	74	263	162
대형 디젤 차량	개선되고 적당한 제어장치와 제어장치 미장착 3가지모두 포함	3	-2	4	-11
오토바이	비산화 촉매기	3	12	40	24
	제어장지 미장착	4	15	53	33

출처: USEPA(2004b)

주

a 이 자료들은 정수로 반올림하였다.

b 음수인 배출계수는 엔진 미가열 상태로 출발하는 것이 가열상태로 출발하는 것 또는 주행중 가열 되는 것 보다 배출량이 적은 것을 나타낸다.

c 유럽 자료에 기반을 둔 기술 의존 배출계수들의 데이터베이스는 http://vergina.eng.auth.gr/mech0/lat/copert/copert.htm에 있는 COPERT tool에서 이용할 수 있다.

d 유럽에서는 총 탄화수소에 제한을 두기 때문에, 유럽 차량의 CH_4배출량은 미국에서 보다 낮을 것이다.

e 이러한 "cold start"는 대기 온도가 68°F에서 86°F사이(20℃에서 30℃사이)로 측정되었다.

표 3.2.4
대체 연료 차량의 배출계수(mg/km)

차량 형태 차량 제어 기술	N_2O 배출계수	CH_4 배출계수
소형 차량		
메탄올	39	9
CNG	27-70	215-725
LPG	5	24
에탄올	12-47	27-45
대형 차량		
메탄올	135	401
CNG	185	5983
LNG	274	4261
LPG	93	67
에탄올	191	1227
버스		
메탄올	135	401
CNG	101	7715
에탄올	226	1292

출처: USEPA 2004c,와 Borsari(2005)CETESB(2004&2005)

표 3.2.5
유럽의 휘발유와 디젤 차량의 배출계수(mg/km),COPERT IV모델

차량 형태	연료	차량 기술/분류	N_2O 배출계수(mg/km)				CH_4 배출계수(mg/km)			
			도시		시골	고속도로	도시		시골	고속도로
			Cold	Hot			Cold	Hot		
승용차	휘발유	Euro 이전	10	10	6.5	6.5	201	131	86	41
		Euro1	38	22	17	8.0	45	26	16	14
		Euro2	24	11	4.5	2.5	94	17	13	11
		Euro3	12	3	2.0	1.5	83	3	2	4
		Euro4	6	2	0.8	0.7	57	2	2	0
	디젤	Euro 이전	0	0	0	0	22	28	12	8
		Euro1	0	2	4	4	18	11	9	3
		Euro2	3	4	6	6	6	7	3	2
		Euro3	15	9	4	4	7	3	0	0
		Euro4	15	9	4	4	0	0	0	0
	LPG	ECE 이전	0	0	0	0	80		35	25
		Euro1	38	21	13	8				
		Euro2	23	13	3	2				
		Euro3 이후	9	5	2	1				
소형 차량	휘발유	Euro 이전	10	10	6.5	6.5	201	131	86	41
		Euro1	122	52	52	52	45	26	16	14
		Euro2	62	22	22	22	94	17	13	11
		Euro3	36	5	5	5	83	3	2	4
		Euro4	16	2	2	2	57	2	2	0
	디젤	Euro 이전	0	0	0	0	22	28	12	8
		Euro1	0	2	4	4	18	11	9	3
		Euro2	3	4	6	6	6	7	3	2
		Euro3	15	9	4	4	7	3	0	0
		Euro4	15	9	4	4	0	0	0	0
대형 트럭 및 버스	휘발유	모든 기술	6		6	6	140		110	70
	디젤	GVW<16t	30		30	30	85		23	20
		GVW>16t	30		30	30	175		80	70
		도시지역의 버스와 승합차	30		30	30	175		80	70
	CNG	Euro4 이전	n.a.				5400			
		Euro4 이후 (EEV 포함)					900			
동력 이륜차	휘발유	<50㎤	1		1	1	219		219	219
		>50㎤, 2행정	2		2	2	150		150	150
		>50㎤, 4행정	2		2	2	200		200	200

주

[1] 개인적인 질의응답: Ntziachristos, L., and Samaras, Z.,(2005), LAT(2005) and TNO(2002)

[2] 도시 배출계수는 승용차와 경량 차량에 대하여 cold와 hot으로 구분된다. cold 배출계수는 엔진의 온도가 대기 온도와 같은 온도에서 출발하는 운행에 관련된 계수다. 다른 운전 조건에서의 승용차의 연간 주행거리의 할당은 전형적으로 다음과 같이 한다: 도시(cold) 0.3, 도시(hot) 0.1, 시골 0.3, 고속도로 0.3

[3] 승용차 배출계수는 자세한 정보가 없을 시에는 소형 차량에 쓰이는 정보를 사용할 것을 권한다.

[4] 휘발유의 황 함유량은 N_2O 배출량에 즉각적이면서도 누적되는 영향을 미친다. 휘발유 승용차의 배출계수는 다른 기술들의 등록기간 중의 연료와 평균 주행거리 50,000km이하의 차량 집단에서의 연료에 해당된다.

[5] 대형 차량 및 동력 이륜차로부터 나오는 N_2O와 CH_4배출계수 또한 차량 기술에 많은 영향을 받을 것으로 예상된다. 이 효과를 정량하기 위한 적절한 실험 정보는 없다.

[6] 디젤과 LPG승용차로부터 나오는 N_2O배출계수는 TNO(2002)에 의해 제안되었다. 기술의 발전에 따른 디젤 N_2O의 증가는 꽤 불확실할 수도 있지만, 디젤 엔진에 사용되는 후처리 시스템의 개발과 지속적인 관련이 있다.(신촉매, SCR-DeNO_X)

3.2.1.3 활동도 자료의 선정

활동도 자료는 연료 소비량이나 자동차 주행거리(VKT)에 의해 제공될 수 있다, 적절한 자동차 주행거리(VKT)자료를 사용하여 top-down 배출 인벤토리를 검사할 수 있다.

연료 소비

도로 차량의 배출은 연료가 판매된 국가의 것이 되므로, 연료 소비 자료는 그 국가의 영토 내에 판매된 양을 반영하고 있다. 이러한 에너지 자료는 일반적으로 국가 통계기관에서 사용할 수 있다. 전국적으로 수집되는 연료 판매 자료에 추가로, 인벤토리 작성자는 국가 통계자료에는 포함되지 않은 그 지역 내에 상대적으로 적게 사용된 연료에 대한 활동도 자료 또한 수집해야만 한다(CNG나 바이오연료와 같이 틈새시장에서 판매되는 것들을 포함한 널리 소비되지 않은 연료). 이러한 자료들도 종종 국가 통계 기관을 통해 이용 가능하거나, 별도의 세금 징수 과정에서도 산정되어 질수 있다. Tier3 방법을 위한 MOBILE이나 COPERT모델들은 활동도 자료를 발전시키는데 도움이 된다.

연료 판매량 자료를 사용하기 전에 아래의 인자(최소한으로)들을 점검하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

- 연료 자료는 오직 도로 배출원만 연관된 것인가? 아니면 비도로 배출원까지 포함한 것인가? 국가 통계자료는 도로활동/비도로 활동에 의한 연료소비를 명시하지 않고 총 교통 연료로서 보고할 것이다. 도로 배출원의 연료 사용 자료에서 비도로 차량이나 장비에 의한 사용량이 제외된 것인지를 확인하는 것은 중요하다(sector 3.3 비도로 수송 참고). 연료는 사용의도에 따라 세금이 달리 부과될 수도 있다. 도로 과세 연료 조사는 도로 사용에 대한 연료판매량의 지표를 제공할 것이다. 일반적으로, 도로 차량 집단과 관련된 연료 판매량은 비도로에 대한 전체 차량 집단과 활동도보다 문서화가 잘 되어 있다. 이러한 사실은 배출량 산정값 개발시에 고려되어야 한다.
- 농업용 연료사용이 포함되었는가? 이들의 일부는 고정 배출원으로 사용될 수 있지만 일부는 이동 배출원으로 사용될 수 있다. 그러나 이들의 대부분은 도로에서의 사용량이 아닐 것이므로, 여기에 포함되어서는 안 된다.
- 수송에 대해 판매된 연료의 사용이 다른 목적(예] 고정식 보일러 연료)으로 사용되었거나 또는 그 반대로인 경우가 있는가? 예를 들면, 주거난방과 취사를 위해 등유에 보조금을 지급하여 가격을 낮춘 나라에서는, 국가 통계자료에 상당한 양의 등유소비가 수송연료로 사용되거나 혼합되어짐에도 불구하고 주거부문으로 구분될 수도 있다.
- 바이오 연료는 어떻게 설명되는가?
- 혼합 연료는 어떻게 보고되고 설명되는가? 활동도 자료에서 공식 혼합물(예] 휘발유 내 25% 에탄올 첨가한 것)에 대한 산정은 정확하다. 그러나 연료 내 불순물이 있거나 변경(예] 휘발유 내 유기용제, 디젤유 내 등유)하는 경우가 한 국가 내에서 성행한다면, 연료 자료의 적용 시 적절한 조정이 필요하고 또한 중복 산정을 피하도록 유의해야 한다.
- fuel tourism이 통계자료에 영향을 미치는가?
- 현저한 연료의 밀수입이 있는가?

- 2행정 연료의 첨가제로서 윤활유의 사용은 어떻게 보고되는가? 그것은 도로수송 연료 사용에 포함될 수도 있고, 윤활유(박스 3.2.4 참고)로서 별도로 보고 될 것이다.

도로에서의 연료 사용과 비도로에서의 연료 사용을 구분하는 두 가지의 산정법이 제시되어 있다.

(1) 각각의 주요 연료의 종류별로 차량 이동거리(VKT)자료로부터 각 도로 차종별 연료사용량을 산정하라. 이 도로 차량 총량과 표면상 소비의 차이가 비도로 부문에 의한 것이다.

(2) 비도로 장비 종류와 그들의 사용에 관한 지식을 이용하여 비도로 연료 사용과 유사한 구조를 가진 bottom-up 산정에 의해 (1)에서와 동일한 연료 특정 산정을 보충한다. 교통 부문에서의 표면상 소비는 그 후에 bottom-up 산정에 비례하여 각 차종과 비도로 부문에 따라 분류된다.

국내 상황에 따라 인벤토리 작성자는 도로차량에서의 배출량을 과소 및 과대 보고하는 것을 방지하기 위해 도로 교통 연료 사용에 대한 국가 통계자료를 조정할 필요가 있을 것이다. 도로에서만 사용된 연료사용 자료를 확실하게 하기위해 국가 연료 판매 통계자료를 조정하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 조정이 필요한 곳에서는, 도로 통계자료에서 제외된 특정 연료가 적합한 부문에 추가가 됐는지 아님 그 반대인지를 확인하기 위해서 다른 적합한 부문들과 비교 검토하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

검증을 위해 만약 주행거리 자료를 사용할 수 있다면,(아래 VKT참고) 이 이동거리 자료로부터 연료 사용량을 산정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 첫 번째 단계(식3.2.6)는 차종i 와 연료형태j에 따른 연료 소비량을 산정하는 것이다.

식 3.2.6
연료소비량 검증

$$Estimated\,Fuel = \sum_{i,j,t} [Vehicles_{i,j,t} \cdot Distance_{i,j,t} \cdot Consumption_{i,j,t}]$$

여기서

Estimated Fuel = 차량 주행 거리(VKT)자료로부터 산정된 총 연료사용량(l)
$Vehicles_{i,j,t}$ = 도로 종류t에서 연료j를 사용하는 차종i의 수
$Distance_{i,j,t}$ = 도로 종류t에서 연료j를 사용하는 차종i의 한 대당 연간 주행거리(km)
$Consumption_{i,j,t}$ = 도로 종류t에서 연료j를 사용하는 차종i의 평균 연료 소비량(l/km)
i = 차종 (예] 승용차 , 버스)
j = 연료 종류 (예] 휘발유, 디젤, 천연가스, LPG)
t = 도로 종류 (예] 도시, 시골)

도로 종류별 주행거리에 대한 자료를 사용할 수 없다면 이 식은 도로 종류 "t"항을 제거하여 단순화해야 한다. Cold start 과정 동안 사용된 연료 자료를 추가하면, 더욱 세부적인 산정 또한 가능하다.

Tier 1 방식을 사용한 연료판매량 통계자료와 식 3.2.6 을 비교하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 또한, 여기서는 어떠한 차이점이라도 고려하고, 어떤 자료가 보다 신뢰성이 있는지를 결정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 아주 특별한 경우를 제외하고는 (예] 비도로 사용에 대한 대량의 연료판매, 대량 연료 밀수) 연료판매량 통계자료가 더욱 신뢰할 만 할 것이다. 이 사실은 품질검사의 중요한 지표가 된다. 두 가지 방식 간에 현저한 차이가 난다면, 하나 혹은 둘 모두의 통계자료에 오류가 있음을 뜻하는 것이며, 심층 분석이 필요하다는 것을 나타낸다. 연료판매량 통계자료와 차량 주행거리(VKT) 자료가 일치할 때 따르기 위한 조사 분야는 3.2.3절 인벤토리 품질보증/품질관리(QA/QC)에 나열되어 있다.

차종과 연료별 차량 주행거리 자료는 도로 교통에서 CH_4와 N_2O의 상위 Tier 계산을 하기 위한 매우 중요한 토대가 된다. 그래서 CH_4와 N_2O의 배출량 산정을 진행하기 이전에 연료 판매량 자료와 일치시키기 위해 차량 주행거리 자료를 조정할 필요가 있다. 이는 식 3.2.6 을 이용한 연료사용 산정값과 연료 판매량 통계자료 간의 불일치가 연료판매 통계자료 내의 불확도과 현저하게 차이가 날 경우 특히 중요하다. 차량 주행거리 자료를 조정하는 가장 좋은 방법의 선정은 인벤토리 작성자가 판단해야만 할 것이다. 이는 모든 차종과 도로 종류에 동일한 수정계수를 비례시켜 적용할 수 있을 것이나, 몇몇 자료가 더 정확하다고 판단되는 곳에는 다른 차종과 도로종류에 대해 다른 수정계수를 적용할 수도 있을 것이다. 후자의 예로서 주요 고속도로 상에서 이동한 차량에 대한 자료는 충분히 합리적으로 조사되었다고 생각되지만, 시골지역의 교통에 대한 측정 자료는 빈약하다고 생각된다. 어떠한 경우에도, 여타 다른 검사와 마찬가지로 수정계수의 선택과 배경자료(background data)의 목적으로 이루어진 수정사항에 대해서는 충분히 문서화되고 검토되어야 한다.

자동차 주행 거리(VKT)

CH_4와 N_2O 배출량 산정을 위해 Tier 1 방식을 사용할 때는 연료 자료가 사용되는 반면, 상위 Tier 사용 시에는 차종, 연료 종류, 도로 종류별 차량 주행 거리가 필요하다.

많은 나라에서 VKT 자료를 수집, 측정하고, 그럴 수 없는 경우에는 산정한다. 이것은 종종 고정점을 지나가는 차량 대수를 세는 표본 조사로 행해진다. 이러한 조사들은 자동 혹은 수동으로 차량 종류별로 대수를 센다. 이 개수 결과와 다른 방식으로 수집된 차량 대수 자료(예] 세금 등급) 사이에는 차이가 생길 수 있다. 게다가 다른 연료(휘발유와 경유 차량)를 사용하는 유사한 차량 집단을 구분하는 것이 쉽지가 않을 것이다. 가끔씩, 특히 상세한 교통 계획이 수립된 곳에서는 좀 더 구체적인 정보(차량 대수와 주행 속도)가 수집된다. 이런 자료는 전국적으로 이용되기보다는 지자체에서 이용할 수 있다. 교통부에서는 이러한 교통량 조사 자료를 이용하여 국내 총 VKT를 산정할 수 있다. 주행거리를 결정하는 대체방안으로는 차량소유자(개인용 또는 상용)에 대한 직접 조사와 차량 등록 기록을 이용하는 방법이 있다. 이때 폐기된 차량에 대한 만료한 등록 기록을 확인하는 것에 주의해야한다.(박스3.2.3은 잔여 차량대수 산정법을 제공)

특히 연료판매량 자료를 검증하기위해 국내에서 VKT를 산정하는 곳에서는 이 자료를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.(3.2.1.4절 참고)

기타 입력변수

만약에 도로 교통에서 CH_4와 N_2O 배출량이 주 카테고리라면, 적용 가능한 Tier 2와 Tier 3 배출계수와 모순되지 않는 활동도 자료를 확실하게 하기위해 배출계수에 영향을 미치는 입력변수들에 대한 더 많은 정보를 구하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이것은 식3.2.3 또는 3.2.5를 적용하기 위해 더 세부화 된 활동도자료를 필요로 할 것이다.

- 연료 종류에 따른 총 연료소비량(TJ)(모든 Tier)
- 각 연료 종류별, 가급적 차령 카테고리별(Tier2와 Tier3)로 대표 차종(예] 승용차, 소형차량, 대형차량)에 의한 총 연료소비량(또는 VKT)
- 배출 제어 기술(예] 삼원촉매)(Tier2와 Tier3)
- 도로 종류에 따른 주행거리자료 또한 수집 할 수 있다.(예] 도시, 시골, 고속도로)

차종과 연료의 종류별 연료사용량 분포가 알려져 있지 않으면, 종류별 차량대수로부터 산정될 수도 있다. 차종과 연료종류별 차량 대수가 알려져 있지 않으면, 국가 통계자료를 이용하여 산정할 수도 있다.(하단 참고)

보통 차량의 연도와 모델에 직접적인 관련이 있는 차량 기술이 CH_4와 N_2O 배출량에 영향을 미친다. 그러므로 Tier 2와 Tier 3 방법에 대한 활동도 자료는 차량 전체에서 차종에 대해 적합한 OEM(Original Equipment Technology) 배출제어기술에 기초하여 그룹화 되어야 한다. 차량집단의 차령 분포는 차량집단을 차령에 따라 계층화시킬 수 있으며, 결과적으로 기술 등급에 대해서도 계층이 나누어진다. 만약 분포 자료를 이용할 수 없다면, 차량 퇴화 곡선(vehicle deterioration curve)으로 자동차의 수명을 산정할 수 있을 것이므로, 매년 발표되는 수치에 기초하여 운행 중인 차량의 수를 산정할 수 있다.(박스 3.2.3 참고)

또한, 가능하면 차량기술 종류별로 총 주행거리를 결정하라(Tier3)(국가 통계자료나 산정을 통해). 만약 주행거리자료를 이용할 수 없다면, 연료 소비량과 가정(假定) 연료 절약수치에 기초하여 산정할 수 있다. 도로 교통의 연료사용 자료를 이용하여 주행거리를 산정하기 위해서는, 연료 자료를 체적단위(ℓ)로 환산한 후 모든 연료 종류에 대해 그 연료를 사용하는 국내 차량의 대표 가정 연료 경제 값(㎞/l)을 곱한다.

만약 Tier 3 방법을 사용하고 국가 VKT 통계자료를 이용할 수 있다면, 이런 이동거리 수치와 관련된 연료소비량은 국가 에너지 발란스 값(energy balance figures)과 비교하기 위해 연료로 계산되고 집계되어야 한다. Tier 2 방법처럼 Tier 3에서도 각 차종을 제어장치를 부착하지 않은 것과 배출 제어 기술의 핵심 등급으로 더욱 세분하는 것이 좋다. 일반적으로 차령에 따라 배출량과 주행거리가 매해 틀려지는 것을 고려해야 한다. 즉, 오래된 차량은 주행거리가 짧아도 활동도 단위당 더 많은 CH_4와 N_2O를 배출하는 경향이 있다. 특히 개발도상국에서의 어떤 차들은 원래 설계된 것과는 다른 연료를 사용하도록 개조하여 운영되기도 할 것이다.

Tier 2와 Tier 3 방법을 실행하기 위해서는 가능한 많은 출처로부터 활동도 자료가 얻어져야 할 것이다. 차량 검사 및 유지보수(I/M)프로그램을 실행하고 있는 곳에서는 연간 주행거리 누적률에 대한 견해를 알 수 있을 것이다. 국내 자동차 면허 기록에서는 차량 전체에 대한 정보(대/mode

l · year/지역)를 알 수 있고, 심지어 면허 갱신 기간 간의 주행거리 기록도 알 수 있을 것이다. 활동도 자료의 개발을 위한 다른 자료들은 차량 판매, 수출/입 기록에서 얻을 수 있다.

대안으로는, 차종, 모델, 연료별 신차 판매량과 수입대수를 이용해 차량 재고를 산정할 수 있다. 차량 폐기 또는 소모 곡선을 적용하여 사용 중인 차량의 총 수를 산정할 수 있다.

Cold-start 배출량 산정을 포함하는 상위 Tier에서는 시동횟수에 대한 정보가 필요하다. 이것은 1회 시동시 평균 이동 거리(average trip length)와 총 주행 거리로부터 알 수 있으며 일반적으로, 교통조사에서 구할 수 있다. 이 자료는 수송 계획을 위한 지역적 혹은 교통 연구의 일환으로 수시로 수집된다.

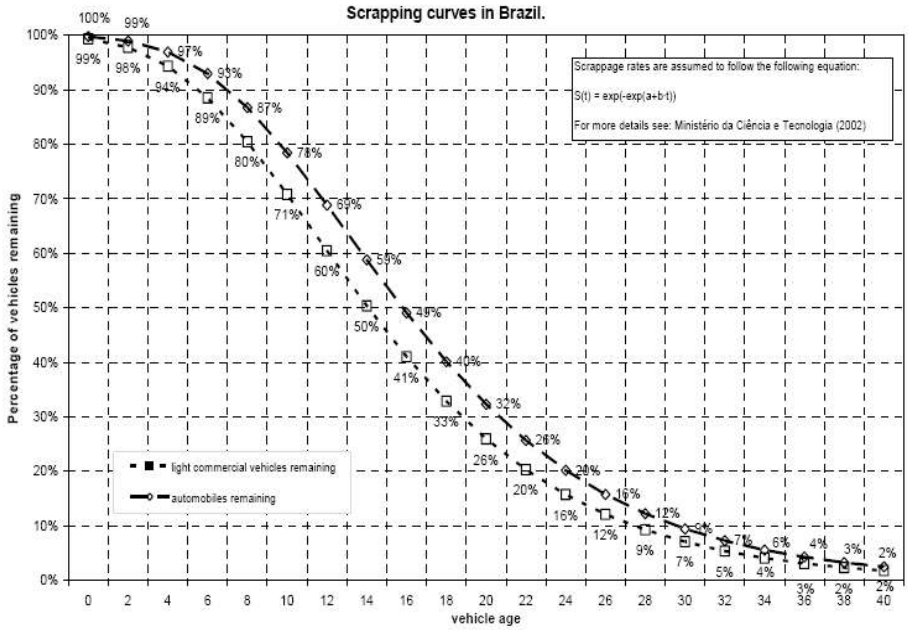
박스 3.2.3
차량 퇴화(폐기) 곡선

차량 퇴화(폐기) 곡선은 사용되지 않는 오래된 차가 여전히 공식 기록에 등록되어 배출량을 과대평가할 우려가 있는 곳에서, 차량 번호판을 토대로 하여 전체 차량의 통계자료로부터 획득한 자료를 조정하기 위해 사용될 수 있다. 최대 차령을 제한하는 Gompertz 함수를 이용하여 근사치를 구할 수 있다.

브라질의 경우 National communication of greenhouse gases (MCT, 2002)에서 최대 차령은 40년으로 사용되었다. (http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/veicul03.htm)

이 박스에 도시된 S형 Gompertz 폐기 곡선은 차량 폐기 함수로 이용되고 있다. 이 곡선은 Petrobras에 의해 규정되었고, 현재 브라질 환경부가 배출 인벤토리 작성에 활용하고 있다. t 년이 지난 폐기 차량의 비율은 식 $S(t) = \exp[-\exp(a + b(t))]$로 정의된다. (t)는 차령(년)이고, S(t)는 t년 된 차량의 폐기 비율이다. 1994년의 브라질 국내 값으로는 자동차(a=1.798, b =-0.137)와 상업용 경차(a=1.618, b=-0.141)가 주어졌다.

(Ministério da Ciencia e Tecnologia (2002), Primeiro Inventário Brasileiro De Emissões Antrópicas De Gases De Efeito Estufa Relatórios De Refencia Emissões De Gasses De Efeito Por Fontes Móveis, No Setor Eergético. Brasília, Bazil 2002)



3.2.1.4 완전성

완전성을 확립하기위해 다음 사항이 권장된다.

- 차량이 연료를 싣고 국경을 건너갔을 때는, 도로수송에서의 배출에 대해서는 차량에 연료를 주유(입)한 국가에 책임이 있다.
- 바이오매스에서 추출한 혼합 첨가제나 산소첨가제(oxygenates)로부터 배출된 탄소는 제 1권에서 다뤘던 것처럼 중복 산정을 피하기 위해 하나의 정보 항목으로 보고되고 산정되어야 한다. 더 많은 바이오연료에 대한 자료는 3.2.1.2절 참고.
- 3.2.1.3절에 나열된 권고사항을 따라 연료판매량의 신뢰도를 확실하게 하라.
- 도로차량에서 의도적으로 연료에 혼합되고 연소된 윤활유로의 배출량은 이동 배출원 부분에서 다루어져야 한다. 윤활유의 연소에 대한 더 많은 정보를 원한다면 박스 3.2.4를 참고하라.

박스 3.2.4
이동연소에서의 윤활유

2행정 휘발유 엔진의 윤활은, 별도의 윤활유 통이 없다는 점에서 4행정 엔진의 윤활과는 개념상 매우 다르다. 2행정 휘발유 엔진은 제조업자의 권고에 따라 적절한 비율로 윤활유와 휘발유를 섞어 윤활작용이 되게 한다. 엔진의 종류에 따른 일반적인 혼합비는 1:25, 1:33, 1:50이다.

가장 최근의 2행정 엔진에서는, 윤활유가 엔진의 속도와 부하에 따라 별도의 통에서 정확한 측정 장치에 의해 적절한 양이 직접 휘발유로 주입된다. 낡거나 값싼 2행정 엔진의 경우에는 연료와 혼합되어 윤활유가 주입될 것이다. 이런 혼합물은 연료 공급자가 조합하여 주유소로 이송하곤 하지만, 가끔은 차량 소유주가 정비소에서 직접 첨가할 수도 있을 것이다. 몇몇 나라에서는 2행정 엔진이 1990대부터 역사적으로 매우 큰 비중을 차지해왔고(동유럽), 지금도 여전히 매우 중요한 곳도 있다.(인도나 일부 동남아국가)

에너지 통계자료에서 이러한 윤활유에 대한 분류는 윤활유 또는 연료로서 변동이 있을 수 있다. 인벤토리 작성자는 이러한 윤활유들이 최종용도에 적당하게 할당되었는지, 적절히 설명되었는지, 중복산정이나 누락은 없는지(제 3권 제 5장: "연료의 비에너지 생산과 공급 재료 사용" 에서 윤활유 처리와 비교)에 대해 확실히 할 필요가 있다. 도로 차량에서 의도적으로 연료와 혼합되어 연소된 윤활유는 에너지로 보고되어야 하고, 관련된 배출은 이동 배출원 가이드라인을 이용하여 계산되어야 한다. 2행정 엔진에 대해 선택된 활동도 자료가 주행한 km를 근거로 할 때, 첨가된 윤활유는 연료 첨가제의 일부로 연료경제성에서 고려되어야 한다.

3.2.1.5 일관성 있는 시계열(Time Series)의 개발

자료 수집과 계정 절차, 배출량 산정 방법론 또는 모델이 수정될 때, 완전한 시계열(time series) 자료를 재계산하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 차량 전체 기술 자료의 최초 수집과 관계된 일관성 있는 시계열을 위해서는 대리 자료(proxy data)의 사용으로 지원되는 외삽법이 사용될 수도 있다. 이를 위해서는 과거의 자료가 필요할 수도 있다. 인벤토리 작성자는 제 1권 제 5장 : "시계열의 일관성에 대한 일반적인 가이드라인"에서 논의한 부분을 참조해야 한다.

본 장 CO_2(100퍼센트 연료 산화로 간주), CH_4와 N_2O에 대한 최신 배출계수들을 포함하고 있으므로, 인벤토리 작성자는 시계열의 일관성을 확실히 해야 한다. 일관성 있는 시계열은 차량의 기술적인 변화와 그 촉매 제어 시스템을 고려해야 한다. 시계열은 법령과 시장요구에 의해 시행된 차량 집단 간에 단계적인 도입을 고려해야 한다. 엔진과 제어시스템 기술력, 유지보수, 제어 기술 노후, 연료 종류에 따른 차량 집단의 분포에 대한 정확한 자료를 통해 일관성을 유지할 수 있다.

만약 전 시계열 동안 주행거리자료를 이용할 수 없고 최근 년도의 자료만 이용이 허락된다면, 접목하는 방법을 선택하기 위해 제 1권 제 5장 : "시계열의 일관성"의 가이드라인이 사용되어야 한다.

3.2.2 불확도 평가

도로 교통 부문에서 CO_2 와 N_2O 그리고 CH_4는 일반적으로 CO_2 eq 배출량의 각각 97%, 2~3%, 그리고 1%정도를 기여한다. 그러므로 N_2O와 CH_4의 산정에 대한 불확도이 매우 높음에도 불구하고, 도로 교통 부문의 배출량에 있어서는 CO_2가 지배적이다. 특히 bottom-up 산정법에서, 지역별로 산정된 자료의 사용은 불확도를 감소시킬 것이다.

배출계수의 불확도

CO_2에 대한 배출계수의 불확도는 국가 계수를 사용할 때(이 Volume의 Introduction Chapter 표 1.4를 참고) 일반적으로 2%보다 적다. 표 3.2.1의 도로 교통 기본 CO_2 배출계수에 주어진 기본 CO_2 배출계수는 연료 조성의 불확도로 인해 2~5%의 불확도를 가진다. 혼합연료(예] 바이오 연료)나 불량 연료의 사용은, 혼합비를 확실히 알지 못하면 배출계수에서의 불확도를 증가시킬 것이다.

일반적으로 N_2O와 CH_4에 대한 배출계수의 불확도는 상대적으로 높으며(특히 N_2O에 대해), 2~3배까지도 될 수 있다. 이들은 다음 사항에 많은 영향을 받는다.

- 연료조성(연료 불순물 혼합가능성 포함)과 황 함량의 불확도
- 차령 분포와 기타 차량 재고 특징의 불확도. 국경 효과를 포함 - 다른 나라에서 온 차량의 연료 주입의 기술적인 특징은 기술 모델에 의해 해결할 수 있을 것이다.
- 차량 재고의 유지 보수 방식의 불확도
- 연소 조건(기후, 고도)과 운전실태(예] 속도, cold-start 상태로 주행한 거리의 비율 또는 부하계수(CO_2 와 N_2O))의 불확도
- 후연소(post-combustion) 배출 제어 기술(예] 삼원촉매기)의 적용 비율에 대한 불확도

- 촉매기 노화 영향을 최소화하기 위한 첨가제 사용의 불확도
- 운전 온도의 불확도(N_2O)
- 테스트장비와 배출량 측정 장비의 불확도

배출계수를 획득할 수 있는 기존 연구를 근거로 하여 불확도를 평가하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 기존 연구에서는 적어도 다음과 같은 종류의 불확도는 논의가 되었을 것이고, 경험 자료로부터 국가 배출계수의 개발을 고려할 필요가 있을 것이다.

- 다른 운전 조건(예] 온도, 속도)에서의 다양한 배출로 인한 측정자료의 변동으로 나타나는 개별 차량의 배출계수의 범위
- 동일한 등급 내에 있는 차량 집단의 평균 배출계수의 불확도

또한, 측정된 차량 표본이 꽤 한정적이었거나 오히려 너무 좋은 표본일 경우에는 국내 전체 차량을 대표할 수 없을 것이다. 테스트 운전 주기는 실제 운전 행태를 완벽하게 반영하지는 못한다. 그래서 현재 몇몇 배출계수 연구는 주행 중의 배출량과 cold-start상태의 테스트를 별도로 수행한다. 비록 이런 수정작업에 자체 불확도를 내포한 더 많은 자료 수집을 필요로 하지만 국가에서는 국가고유 수정치를 만들 수 있을 것이다.

배출계수를 주어진 활동도자료의 단위로 변환하는 것은(예] kg/GJ ⇒ g/km), 마찬가지로 관련된 불확도를 가지는 연비(fuel economy) 같은 기타 입력변수에 대한 추가적인 가정을 요구하기 때문에 불확도의 또 다른 출처가 될 수 있다.

배출계수의 불확도는 전체 차량을 기술, 차령, 운전조건에 의해 더욱 계층화함으로써 감소시킬 수 있다.

활동도 자료의 불확도

활동도 자료는 배출량을 산정할 때 불확도의 주요 요소이다. 활동도 자료에는 에너지 단위(TJ) 혹은 인/톤 ㎞, 차량 대수(stocks), 주행거리 분포, 연비 등과 같이 다른 목적을 위한 단위 등이 있다. 일반적으로 약 ±5%의 불확도를 가질 수 있는 출처로는 다음과 같다.

- 국가적 에너지 조사와 자료 회수에서의 불확도
- 기록되지 않은 국경 변경
- 연료 분류상의 실수
- 차량 대수 분류상의 실수
- 완전성의 부족(여타 배출원 카테고리에 기록되지 않은 연료는 수송의 목적으로 사용되어졌을 수도 있음)
- 한 셋트의 활동도 자료에서 다른 자료(연료 소비 자료 ⇒ 인/톤•㎞ 또는 그 반대)로의 변환에 따른 불확도

만약 활동도 자료가 top-down 연료 산정 방식에서의 결과와 연결되어져 있다면, 활동도 자료의 계층화를 통해 불확도를 줄일 수 있다.

CH_4와 N_2O의 배출량을 산정하기 위해서는 다른 방법론에 따른 다른 활동도 자료들이 사용될 수도 있다. top-down과 bottom-up 산정법의 결과를 맞춰보고, 만약 맞지 않는다면(3.2.1.4절 완전성 참고), 그 차이를 설명하고 문서화 하는 것을 확실하게 하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 기체에 대해서는 배출계수의 불확도가 주(主)가 될 것이고, 활동도 자료의 불확도는 CO_2에서와 동일하게 고려될 것이다.

활동도 자료의 불확도 산정에 관한 더 많은 가이드라인은 제 1권 제 3장: "불확도" 에 나타나 있다.

3.2.3 인벤토리 QA/QC

제 1권 제 6장: 'QA/QC & 검증' 에서 개략한 대로 품질 제어 검사를 실시하고, 배출량 산정의 전문가 검토를 받는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 특히 이 배출원 카테고리의 배출량을 결정하기 위해 상위 Tier 방법이 사용되었다면, 같은 장 내의 Tier 2 절차에서 개략된 추가 품질 제어 검사와 품질 보증 절차의 적용이 가능할 것이다. 인벤토리 작성자는 제 1권 제 4장 '방법론적인 선택과 주 카테고리의 확인'에서 확인된 것과 같은 배출원 카테고리들에 대해서는 상위 Tier QA/QC를 사용할 것을 권장한다.

부록 Chapter에서의 지침과 더불어 이 배출원 카테고리에 대해 적합한 세부 절차를 아래에 개략해 놓았다.

대체 방법론을 사용한 배출량의 비교

CO_2 배출량에 대해 인벤토리 작성자는 연료 통계자료와 자동차 주행 거리 자료를 사용한 두 가지 산정을 비교해야 한다. 배출량 산정사이의 어떤 예외에 대해서도 조사되고 설명되어야 한다. 이러한 비교결과는 내부 문서화를 통해 기록되어야 한다. 다음 가정들을 수정하여 각 방식 간에 발견된 차이를 좁힐 수 있다.

비도로 / 비수송 연료 사용

연간 평균 주행거리

차량의 연비

차종, 기술, 차령 등에 따른 차량의 구분

산소첨가제(oxygenates)/바이오연료/기타 첨가제의 사용

연료 사용 통계

연료 판매량/소비량

배출계수의 검토

기본 배출계수가 사용되었다면, 인벤토리 작성자는 그것이 해당 카테고리에 적용될 수 있는지 그리고 적합한지를 확실하게 해야 한다. 가능하면 기본 계수들은 그 계수들의 적용이 가능하다는 더 확실한 지표를 제공하기 위해 지역 자료와 비교되어야 한다.

CH_4와 N_2O의 배출량에 대해 인벤토리 작성자는 지역 계수에 대한 원본 자료 출처가 해당 카테고리에 적용이 가능한지 그리고 자료 입수와 계산에 대한 정확성 검사가 수행되었는지 명확히 해야 한다. 가능한 모든 곳에서 기본 계수와 지역 계수가 비교되어야 한다. 만약 기본 계수들이 N_2O의 배출량 산정에 사용되었다면, 인벤토리 작성자는 표 3.2.3의 수정된 배출계수들이 계산에 사용되었다는 것을 명확히 해야 한다.

활동도 자료 점검

인벤토리 작성자는 해당 카테고리에 대한 적용가능성과 적합성을 확실히 하기 위해 활동도 자료의 출처를 검토해야 한다. 3.2.1.3절에서는 활동도 자료를 점검하기위한 *우수실행(good practice)*을 제공한다. 인벤토리 작성자는 가능한 모든 곳에서 발생가능한 예외를 발견하기 위해 그 자료들을 시대별 활동도 자료나 모델링 결과와 비교해야 한다. 인벤토리 작성자는 다른 목적으로 사용된 연료, 도로 또는 비도로 교통, 국내외에서의 불법 연료 수송 같은 상대적으로 적은 비율을 차지하는 연료와 관계된 활동도 자료의 신뢰도를 명확히 해야 한다. 또한, 인벤토리 작성자는 농업이나 비도로 차량의 중복 산정을 피해야 한다.

외부 검토

인벤토리 작성자는 QC프로그램의 효율성을 평가하기 위해서 배출 인벤토리의 계산, 가정, 문서화에 대한 독립적이고 객관적인 검토를 해야 한다. 배출원 카테고리에 익숙하고 인벤토리의 요구사항을 잘 이해하는 전문가들에 의한 상호검토가 수행되어야 한다. CH_4와 N_2O의 배출계수의 개발은 기본 계수들의 불확도가 크기 때문에 특히 중요하다.

3.2.4 보고서 작성과 문서화

국가 배출량 인벤토리 산정을 만들기 위해 요구되는 모든 정보를 문서화하고 기록하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

국가 배출 인벤토리 보고서에 모든 문서자료를 포함시키는 것은 실용적이지 못하다. 그러나 인벤토리에는 '보고된 배출량 산정값은 투명성이 있고, 그 계산 단계는 검산되었다.'는 것 같이 원본 자료에 대한 참고자료와 사용된 방법의 요약이 포함되어야만 한다. 이는 특히 도로 교통에서 배출량을 산정하기위해 사용한 국가 모델과, 불확도가 특히 높은 N_2O와 CH_4의 기술 특정 배출계수의 지식을 발전시키기 위해 행해진 연구에 적용된다. 문서화가 깔끔하게 된 이런 형태의 정보는 EFDB 내에 포함시키기 위해 제출되어야 한다.

비록 몇몇 국가에서 군사 연료 사용량은 보안으로 유지될 것이지만, 도로 배출량에 관해 보안이 큰 문제가 되지는 않을 것이다. 어떤 첨가제의 조성은 기밀이지만, 이것이 온실가스 배출에 영향을 끼친다면 매우 중요하다.

USEPA MOVES/MOBILE 모델 혹은 EEA COPERT 모델(각각 EPA 2005a, EPA 2005b, EEA 2005) 같은 모델링이 사용된 곳은, 모든 입력 자료의 완전한 기록을 보관해야 한다. 또한 그 모델에서 수정되거나 만들어진 어떠한 세부적인 가정 또한 문서화되어야 한다.

3.2.5 보고용 표와 워크시트

각 배출원 카테고리 별로 채워지는 Tier 1 Sector별 방식을 이용하기 위한 제 4장의 작업 워크시트(첨부 1)를 참고하라. 보고용 표는 제 1권 제 8장에서 이용할 수 있다.

3.3 비도로 수송

표 3.1.1의 비도로(off-road) 카테고리(1 A 3 e ii)는 차량 외에도 공항 내 지원 운송장비, 농업트랙터, 전기톱, 지게차, 스노우모빌과 같은 농업, 산림, 산업(건설과 관리 포함), 가정부문에서 사용되는 이동형 기계류가 포함된다. 비도로 차량과 장비의 일반적인 형태, 그리고 전형적인 엔진종류와 각각의 출력에 대한 간단한 설명은 EEA 2005에서 참고하기 바란다. USEPA 2005b[12]에서는 분야 구분 없이도 이용할 수 있다.

비도로 장비(off-load equipment)에는 대체로 압축착화기관(디젤), 불꽃 점화식(가솔린 기관), 2행정기관과 4행정기관(motor gasoline)의 엔진형태가 사용된다.

3.3.1 방법론

비도로(off-road) 차량의 배출은 3.2절의 이동배출원에서 사용된 것과 같은 방법으로 산정할 수 있다. 이 방법은 *1996 IPCC 가이드라인*과 *GPG 2000* 발행 이후 변함이 없다. 다만, 3.2.1.2절에서 논의했던 대로 지금은 연료의 완전산화 가정 하에 배출계수를 산정한다. 이는 고정 배출원 산정방법과 일관성을 유지한다. 또한 이 지침은 이전에는 배출원으로 지정되지 않았던 요소(尿素)를 이용한 촉매변환기의 CO_2 배출 산정에 대한 방법을 포함하고 있다.

3.3.1.1 방법의 선택

비도로(off-road) 이동원에서 발생한 CO_2, CH_4, N_2O 배출량 산정을 위한 방법으로는 Tier 1, Tier 2, Tier 3의 3가지가 있다. 그림 3.3.1은 비도로 차량으로부터 나온 배출량 측정을 위한 의사결정도로 적절한 방법 선택을 위한 척도를 제공한다. CO_2 배출을 결정하는데 우선시 되는 방법은 국가 특정에 근거한 각 연료종류별 연료소비량을 사용하는 것이다. 하지만, 그 방법은 비도로 차량과 기계류에 관련된 장비의 종류, 위치, 사용패턴이 매우 다양하기 때문에 활동도 자료로 쓰기엔 어려움이 있을 것이다. 뿐만 아니라 비도로 차량의 연료소비량에 대한 통계자료는 자주 수집되거나 출판되지도 않는다. 이 경우에는 CO_2산정을 위해 상위 Tier 방법들이 필요할 것이고, 기술과 운영조건에 더 많은 영향을 받는 non-CO_2 기체를 위해서도 그 방법들은 필요할 것이다.
요소(urea)를 사용하는 촉매변환기로부터의 CO_2배출량측정을 위한 한 가지 방법이 있다. 많은 종류의 비도로 차량에는 촉매 변환기가 설치되지 않을 것이나, 몇몇 비도로 수송수단에 대한 배출제어는 특히 선진국의 도시지역에서 증가할 것이다. 만약 요소(urea)를 사용하는 촉매변환기가 비

[12] 참고의 부록B는 배출원 분류 코드(Source Classification Codes)(SCC)와 다음 항목들의 정의를 제공한다. (a) 휴양 차량 (b) 건설장비 (c) 산업장비 (d) 조경관리장비 (e) 농업장비 (f) 방송장비 (g) 벌채 (h) GSE/지하 채광/유류 분야 장비 (i) 해양 휴양 (j)철도 유지보수

도로 차량에 사용된다면, 그와 관련된 CO_2 배출이 산정되어야한다.

에너지원으로부터 측정한 온실가스배출량 산정을 위한 일반적인 방법은 다음과 같다.

식 3.3.1
TIER 1 배출량 산정

$$Emissions = \sum_j (Fuel_j \times EF_j)$$

여기서

Emissions = 배출량 (kg)
$Fuel_j$ = 소비된 연료 (연료판매량 상당) (TJ)
EF_j = 배출계수 (kg/TJ)
j = 연료 종류

Tier 1을 위한 배출량은 표 3.3.1에 나열된 연료 지정 기본 배출계수를 사용함으로써 산정된다. 단, 각 연료별 모든 연료는 단일 비도로 배출원 카테고리에 의해 소비된다고 가정한다.

Tier 2를 위한 배출량은 국가 특정 배출계수와, 가용하다면 차량이나 기계류의 광범위한 종류에 대해 지정된 연료지정 배출계수를 이용하여 산정한다.

신뢰할만한 연료소비량 자료가 이용 가능하다면, CO_2 배출량 산정을 위해 Tier 2 상위방법을 이용하는 것은 이점이 거의 없다.

식 3.3.2
TIER 2 배출량 산정

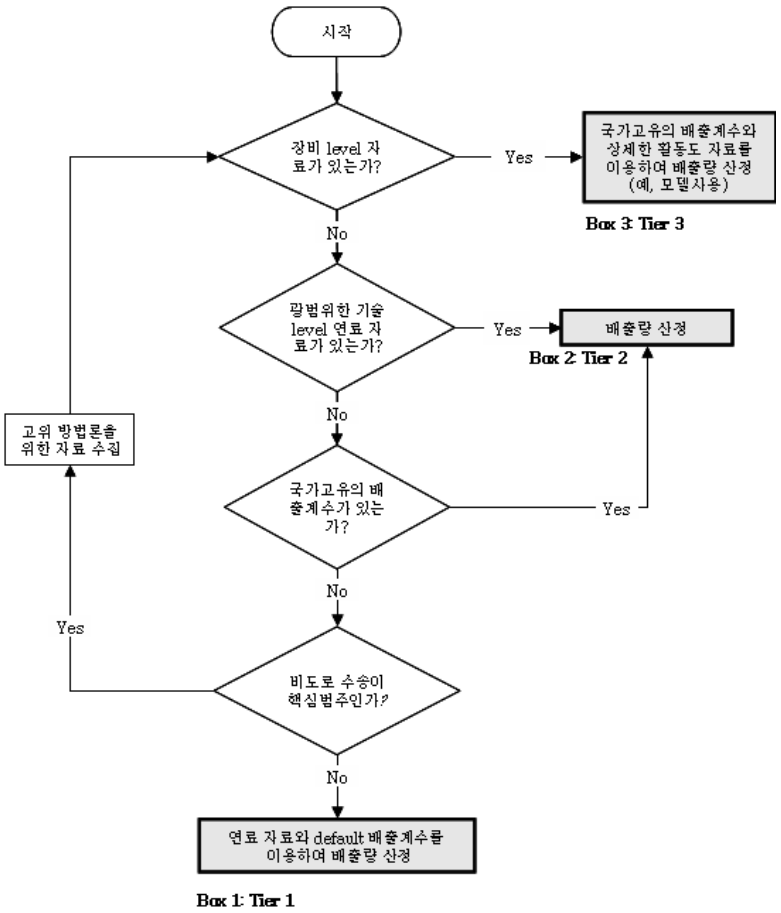
$$Emissions = \sum (Fuel_{ij} \times EF_{ij})$$

여기서

Emissions = 배출량 (kg)
$Fuel_j$ = 소비된 연료 (연료판매량 상당) (TJ)
EF_j = 배출계수 (kg/TJ)
I = 차량/장비 종류
j = 연료 종류

가능하면 Tier 3을 위한 배출량은 전력 사용에 근거한 정격출력, 부하 계수, 배출계수 같은 장비 특성 입력변수와 연간 사용시간으로 산정할 수 있다. 비도로(off-road) 차량을 위한 자료들은 체계적으로 수집되거나, 출판되거나, 충분히 세부적으로 이용되거나 하지 않을 것이므로, 가정과 자료 조합을 이용해 산정될 것이다.

그림 3.3.1 비도로(off-road) 수송수단에서 발생한 배출량 측정을 위한 의사결정도



주

주 카테고리에 대한 설명과 의사결정도 사용에 대해서는 제 1권 제 4장 "방법론의 선정과 주 카테고리" (제한된 배출원에 대해서는 4.1.2절에 명시)를 참고하라.

식 3.3.3은 Tier 3 방법론을 나타내며, 배출량 산정을 위해 다음 기본 방정식이 사용된다.

식 3.3.3
TIER 3 배출량 산정

$$Emissions = \sum_{ij} (N_{ij} \times H_{ij} \times P_{ij} \times LF_{ij} \times EF_{ij})$$

여기서

Emissions = 배출량 kg
Nij = 차량대수(모집단)
Hij = 차량i의 연간 사용시간 (h)
P_{ij} = 차량i의 평균 정격 출력 (kw)
LF_{ij} = 차량i의 보편적인 부하계수 (0 과 1 사이의 소수)

EF_{ij} = 차량i에 사용한 연료j의 평균 배출계수(kg/kwh)
I = 비도로(off-road) 차량 종류
j = 연료 종류

식 3.3.3은 연령, 기술적 성숙도나 사용 패턴 같은 인자에 의해 분류되고, 이는 H, P, LF, EF같은 분류를 보조하는 일관성 있는 일련의 입력변수를 제공하여 산정의 정확성을 높인다. (EEA 2005). 다른 세부 모델링 도구를 Tier 3방법론을 이용한 비도로 배출량 산정에 사용가능하다. (예] NONROAD(USEPA 2005a), COPERT (Ntziachristos 2000))
식 3.3.4는 촉매변환기(비연소 배출)에서 요소 첨가제의 사용을 통한 CO_2배출량 산정을 위해 사용된다.

식 3.3.4
요소 촉매변환기에서의 배출량

$$\text{Emissions} = \text{Activity} \times [12/60] \times \text{purity Factor} \times [44/12]$$

여기서
Emissions = CO_2 배출량 (kg)
Activity = 촉매변환기에서 사용하여 소비된 요소 첨가제의 양 (kg)
Purity factor = 요소 첨가제에서의 요소 비율 (%라면 100으로 나눌 것)

계수[12/60]은 요소($(CO(NH_2)_2$)에서 탄소로 화공양론적인 전환을 위한 값이고, 계수[44/12]는 탄소에서 CO_2로 전환을 위한 값이다.

3.3.1.2 배출계수 선정

기본 CO_2 배출계수는 연료가 탄소에서 CO_2로 100% 산화된다고 가정한다. 이는 탄소가 초기에 CO_2, CO, NMVOC, 미세물질로서 배출되는지 상관하지 않는다. Tier 2와 3을 위해서는 국가 특정 NCV와 CEF 자료가 사용되어야 한다. 인벤토리 작성자는 배출계수 선정을 위해 CORINAIR 2004를 참고할 수 있다. 주의할 점은 국내 상황에 적용가능한 EFDB에서 취한 배출계수에 대해서는 인벤토리 작성자가 명확히 해야 하는 책임이 있다는 것이다.

Tier 3 산정의 예로, 국가 배출계수를 향상시키기 위한 모델뿐만 아니라 국가 특정 자료를 사용하는 NONROAD 배출 모델에 적합하게 하는 더 많은 정보가 박스 3.3.1에 주어졌다.

표 3.3.1에 Tier 1을 위한 CO_2 기본배출계수와 불확실 범위, 그리고 CH_4와 N_2O를 위한 기본배출계수를 나타내었다. 인벤토리 작성자는 또한, CO_2 배출량을 산정하기 위해 비도로 차량에 의한 국가특정 연료소비를 근거로 한 배출계수 사용에 대한 선택권이 있다.

표 3.3.1
비도로 이동원과 기계에 대한 기본 배출계수

	CO_2			CH_4[(b)]			N_2O[(c)]		
비도로 배출원	기본값 (kg/TJ)	하한	상한	기본값 (kg/TJ)	하한	상한	기본값 (kg/TJ)	하한	상한
경유									
농업	74100	72600	74800	4.15	1.67	10.4	28.6	14.3	85.8
임업	74100	72600	74800	4.15	1.67	10.4	28.6	14.3	85.8
산업	74100	72600	74800	4.15	1.67	10.4	28.6	14.3	85.8
가정	74100	72600	74800	4.15	1.67	10.4	28.6	14.3	85.8
가솔린 엔진(4-stroke)									
농업	69300	67500	73000	80	32	200	2	1	6
임업	69300	67500	73000						
산업	69300	67500	73000	50	20	125	2	1	6
가정	69300	67500	73000	120	48	300	2	1	6
가솔린 엔진(2-stroke)									
농업	69300	67500	73000	140	56	350	0.4	0.2	1.2
임업	69300	67500	73000	170	68	425	0.4	0.2	1.2
산업	69300	67500	73000	130	52	325	0.4	0.2	1.2
가정	69300	67500	73000	180	72	450	0.4	0.2	1.2

출처 : EEA2005

주 : CO_2 배출계수 값은 총 탄소 함량을 나타낸다.

[a] 표 3.3.1안의 제공된 자료는 유럽의 비도로 이동원과 기계류에 근거한 것이다. 가솔린은 지역에 의한 연료 소비를 구별하지 않고, 기본값은 국가 상황을 반영할 것이다.(예] 지역의 유행이나 활동도의 부가)

[b] 주간(晝間) 침투(soak), 주행 손실분 포함

[c] 일반적으로 비도로 수송수단에는 촉매변환기가 설치되어있지 않다. (도시에 있는 공항 그리고 항구에서 사용되는 도로유지장비와 같은 도시 지역의 비도로 수송수단은 예외로 함). 적절하게 동작되는 촉매변환기는 질소산화물을 N_2O로 CH_4는 CO_2로 전환시킨다. 그러나 고농도 황과 납 함유연료가 촉매에 접촉하면 영구적 기능 저하를 야기한다. (Walsh, 2003). 이런 효과가 나타나면 배출계수 수정 시 고려해야 한다.

3.3.1.3 활동도 자료 선정

비도로(off-road) 수송수단의 종합적이고 포괄적인 활동도 자료는 보통 도움이 되지 않으며, 이 경우 비도로 차량에 의해 사용된 수송연료의 비율 산정을 위한 통계학적 조사가 필요할 것이다. 조사 모형은 제 1권 제 2장에 논의되었다. 조사는 기본 배출계수 사용을 위해 표 3.3.1안에서 나타낸 분류 수준에서 행해져야 하고, 상위 Tier를 위해서는 더 많은 세분화가 필요하다. Tier 3 방식을 위해서는, 각 하위 카테고리의 장비에서 소비한 연료량을 산정하기 위해 모델링 도구를 이용할 수 있다. NONROAD 배출모델 사용에 있어 더 많은 정보가 박스 3.3.1에 제공되어있다. 이 모델은 국가 특성 수정(country-specific modifications)을 통합하기 위해 개발될 수도 있다. (박스 3.3.2에 있는 캐나다의 경험 참조)

박스 3.3.1
비도로 배출 모델(USEPA)

NONROAD 2005는 USEPA에 의해 개발된 수학적 모델이며, 비도로 수송 부문에서 발생한 배출량의 산정과 예측에 이용되어지고 있다. 이 모델과 이에 관련된 문서는 EPA 웹사이트(http://www.epa.gov/otaq/nonrdmdl.htm)에서 찾을 수 있다. 이 모델은 HC, NO_X, CO, CO_2, SO_X, PM의 6가지의 배가스 배출량을 산정한다. 사용자는 HC 출력시 총탄화수소(THC), 총유기가스(TOG), 비메탄유기가스(NMOG), 비메탄탄화수소(NMHC), 휘발성유기화합물(VOC)의 5가지 종류를 선택할 수 있다.

일반적으로 이 모델은 (i) 엔진 수 (ii) 연간 사용시간 (iii) 동력비(마력) (iv) 부하계수(%부하 또는 duty cycle) (v) 브레이크 특정 연료 소비량(마력시당 연료소비량) 같은 장비특성 입력변수를 사용한 배출원에서 발생한 상향식(bottom-up) 배출량 산정을 수행할 수 있다. 소비된 연료량은 각 장비의 하위 카테고리에 의한 함수로 계산될 것이다. 결과적으로 배출량산정 개발을 위해 하위 구역(기술/연료) 특성 배출계수(sub-sector-specific emission factors)가 적용될 수 있다. 이 모델은 선택된 입력변수에 민감하지만, top-down 방식을 사용하여 개발된 배출량산정을 배분하는데 사용되기도 한다.

이 모델에서 top-down 방식을 사용했을 때에는 결과치가 2배(100%) 이상 차이나는 경우가 있어 이를 피하기 위해 흔히 bottom-up 방식을 사용한다. 그러므로 사용자는 입력자료를 세심히 조정하여 오차의 격차를 줄이기 위해 문서 자료를 검토하는데 주의를 기울여야 할 것이다. 결국 사용자는 평가되는 지역에 대한 엔진 모집단과 연료/기술의 보충에 대한 어느 정도의 이해가 반드시 필요하다. 하지만, 합리적인 조정을 위해서는 국가 제조 수준, 수출/입 기록, 산정된 수명과 폐기화(scrappage)의 함수를 근거로 해야 한다. 폐기화 함수는 장치의 마모율에 따라 정의할 수 있고, 시대별 장비 인벤토리를 근거로 현재 엔진 모집단을 도시하는 것에 도움을 줄 것이다. (본 장 3.2절 의 박스 3.2.3 참고)

3.3.1.4 완전성

비 도로(off-road)와 도로(road)수송 활동도 자료의 복사는 금해져야 한다. 연료소비의 검증은 3.2.1.3절에서 개략된 원리를 따라야한다. 윤활유는 비도로 차량에서 사용되는 것을 바탕으로 설명되어야 한다. 가솔린(motor gasoline)과 혼합되어 연소한 윤활유는 연료 소비 자료에 포함되어야한다. 이 외에 사용된 윤활유는 제 3권: IPPU 제 5장에서 다뤄진다.

바이오매스(예]바이오디젤), 산화제와 몇몇 다른 혼합첨가제로부터의 탄소량은 개별로 산정되고, 이들의 배출량이 이미 AFOLU 부문에서 다루어지기 때문에 중복 계산되는 것을 방지하기위한 정보 항목으로 작성된다.

3.3.1.5 일관성 있는 시계열(time series)의 개발

모든 연도에 걸쳐 같은 방법을 사용하는 것은 활동도 자료(예]연료 사용)를 결정하기 위한 *우수실행(good practice)*이다. 만약 이것이 불가능하다면, 선택되어진 방법에 일관성이 있는지 확인하기 위해 자료 수집을 충분히 되풀이해야 한다. 그리고 기반 연도(예]1990년)의 활동도 자료수집이 불가하다면, 다른 활동도 자료 기록의 경향을 역으로 추론하여 사용하는 것도 좋다.

CH_4와 N_2O의 배출량은 엔진 종류와 기술에 많은 영향을 받는다. 만약 기술 특정 배출계수가 개발되지 않았다면, 모든 연도에 대해 동일한 연료 특정 배출계수를 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

실제 연료 활동도 자료가 수집된다면, 모든 연료소비의 변화로 기인한 저감 활동은 배출량 산정에 쉽게 반영될 것이다. 하지만, 배출계수에 영향을 주는 저감 옵션은 단지 엔진 특정 배출계수의 사용이나 제어 기술 가정의 발전에 의해서만 포착할 수 있다. 시대에 걸친 배출계수의 변화는 잘 문서화 되어야 한다.

더 많은 기반(base)년도 배출량 결정과 시계열의 일관성의 확신에 대한 정보를 원한다면 제 1권 제 5장 (Time Series Consistency)를 참고하라.

박스 3.3.2

캐나다의 경험적 비도로 모델

국가 배출계수를 향상시키기 위한 모델의 사용;

NONROAD는 초기에 미국 현지에 대한 자료로 채워져 있으나, 지역 상황을 수용하기 위해 가정된 입력 변수를 간단히 조정하면 다른 지역과 국가에서 수정하여 사용할 수도 있다. 국가에서는 계절적 기후를 반영하기 위해 그 곳과 유사한 미국 대표 지역을 지정하고자 할 것이나, 지정된 온도상황도 다른 지역으로 입력될 것이다. 그러므로 NONROAD 모델은 미국 지역 기본 값을 처음에 띄우고 그 구성요소를 즉시 수정할 수 있게 되어있다.

캐나다는 캐나다 고유 지역에 대한 국가 특정 엔진 모집단(population), 이용 가능한 기술, 부하계수 그리고 브레이크 특정 연료 소비값(BSFC)의 더 나은 평가를 위해 국가 연구로 착수하여 이 모델을 수정하기 시작하였다. 이 새 정보는 캐나다 특정 입력 자료의 생성을 용이하게 할 것이고, 그로 인해 EPA 프로그램 알고리즘의 틀은 대체하지 않으면서 더욱 대표적인 모집단과 운영조건을 제공함으로써 프로그램 강화의 완전한 개발을 할 수 있을 것이다. 불확도가 더 낮은 입력 자료를 도입하여 그 모델은 합리적이고 개별 분류된 배출량 산정을 이끌어내기 위해 국가 연료 소비 통계자료를 연계하여 사용할 것이다. 작동 입력변수를 더 잘 이해하기 위해 On-Road 모델과 유사한 방식으로 완전한 bottom-up방식으로 만들어 모델링 했을 때, 전체 국가 연료 판매량에 대한 '명확한' 연료 소비 산정이 정해질 것이다. 캐나다는 비도로 연료 소비량을 위한 국가 특성 배출계수의 향상을 돕기 위해 이 모델링 개념을 이용해왔다. 총 연료 소비량은 다음과 같은 각 장비 부문별로 크게 집계된 연료 종류에 의해 산정된다. (i) 2행정기관 대 4행정기관 (ii) 농업, 산림, 산업, 가정, 휴양의 하위 부문 (iii) 휘발유 대 디젤(불꽃점화 대 압축착화)

그 모델에서 이 매트릭스에 의해 한번 전체 연료소비량이 작성되면, 합성 배출계수는 기여하는 하위 부문과 그들 고유의 배출계수의 가중 평균치에 기반을 두고 생성된다. 2행정 대 4행정의 비율을 이용하면, 비도로 디젤 배출계수가 직접 결정되면 휘발유 평균 배출계수를 구할 수 있을 것이다. 대부분의 GWP 가스의 대표 배출계수는 그다지 북미에서 현재 조사되거나 문서화되지 않았으므로, 캐나다는 역사적으로 이 통합 장비 부문에는 적용 가능한 CORINAIR 배출계수를 이용해왔다. 이전의 유럽 기술과 북미 기술 간의 유사성으로 인해 불합리한 불확도의 도입 없이 이것의 이용이 가능하게 되었다.

3.3.2 불확도 평가

비도로(Off-Road)로부터의 온실가스 배출량은 보편적으로 도로수송 배출량보다도 작으나. 이 카테고리에서의 활동은 다양하고, 활동도자료에 추가적인 불확도로 인해 더 높은 불확도와 연관되어 있다.

장비의 종류와 그들의 운영조건은 보통 도로 수송에 비해 훨씬 다양하고, 이는 배출계수에 더 큰 변화를 증가시킬 수 있고 그로 인해 더 큰 불확도를 가져올 수 있다. 하지만, 불확도 평가는 활동도자료에 의해 결정되어지는 경향이 있다. 그래서 3.2.1.2절에서의 값을 기본값으로 가정하는 것이 합리적이다. 또한 배출량 제어기는(설치되었다면) 촉매 악화(예]높은 황연료 노출로부터)로 인해 사용할 수 없을 수도 있다. 그래서 N_2O와 CH_4 배출량은 배출량 제어 시스템보다도 연료와 엔진 기술력과 같은 연소관련 인자와 더욱더 밀접하게 관련되어 있다.

3.3.2.1 활동도 자료의 불확도

활동도 자료의 불확도는 조사의 정확도 또는 비도로(Off-Road) 배출원과 연료종류(표 3.3.1 참고)에 따른 연료사용량 평가를 토대로 한 bottom-up 모델의 정확도에 의해 결정되어 진다. 이는 종류별로 매우 다를 것이나, 만약 조사 설계와 대조되는 증거가 없다면 두 가지 불확도의 인자는 확실히 가능하다.

3.3.3 인벤토리 QA/QC

배출량 산정에 관한 전문가 검토와 제 1권 제 6장 에 개략된 품질 제어 검사를 실행하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 더불어 상위 tier 방법이 사용된다면 추가적인 검사도 필요하다. 위 지침에 추가로, 아래에 이 배출원 카테고리에 대한 타당한 특정 절차를 개략해 놓았다.

배출계수 검토

인벤토리 작성자는 국가 계수(national factors)를 위한 원본자료는 각 카테고리별로 적용가능하고, 자료 획득과 계산에 대한 정확도 검사가 행해졌음을 확실히 해야 한다. 기본 계수를 위해 인벤토리 작성자는 계수들이 카테고리에 적용가능하고 타당하다는 것을 확실히 해야 한다. 가능하면 기본 계수는 그 계수들을 적용가능하고 합리적으로 하는 더 많은 지침을 제공하기 위해 국가 계수와 비교되어야 한다.

활동도 자료 검사

활동도 자료의 출처(source)는 카테고리에 대한 적용성과 타당성을 확실히 하기 위해 검토되어야 한다. 가능한 곳에서 자료의 이상한 점을 찾기 위해 시대별 활동도자료 또는 모델의 출력과 비교해야 한다. 조사 자료가 사용되고 있는 곳은 도로(on-road)와 비도로(Off-road) 연료사용량의 합이 국가에서 사용한 전체 연료량과 일치되어져야 한다. 또한 완전 평가가 3.3.1.4절에 서술된 대로 실행되어야 한다.

외부 재검토

인벤토리 작성자는 QC 프로그램의 유효성을 평가하기 위해 계산, 가정 또는 문서화의 독립적이고

객관적인 검토 혹은 인벤토리 양쪽 다 수행해야 한다. 배출원 카테고리를 잘 알고 국가 온실가스 배출인벤토리의 요구조건을 잘 이해하는 전문가에 의해 사려 깊은 검토가 행해져야 한다.

3.3.4 보고서작성과 문서화

제 1권 제 8장에 개략한 대로 국가 배출 인벤토리 산정을 작성하기위하여 요구되는 모든 정보를 문서화하고 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

국가 인벤토리 보고서에 모든 문서를 포함하는 것은 실행하기 어렵다. 하지만, 그 인벤토리에는 '작성된 배출량 산정은 투명성이 있고, 계산 단계를 검산해 봐도 문제없다.'같은 식의 원본 자료에 대한 참고자료와 사용된 방법의 요약이 포함되어야한다.

이 배출원 카테고리에 적절한 특정 문서자료와 보고서 발행의 몇 가지 예를 아래에 나타낸다.

- 연료와 다른 자료의 출처(source)
- 사용된 배출계수와 관련된 참고자료
- 불확도 또는 민감도 결과의 분석, 혹은 입력 자료와 가정에 변화를 주는 양쪽 모두
- 활동도 자료 결정을 위해 사용된 곳에서의 조사 설계 근거
- 평가에 사용된 모델에 대한 참고자료

3.3.5 보고용 표와 작업 워크시트

각 배출원(source) 카테고리를 위해 작성된 Tier I Sector별 방식을 이용하려면 작업 워크시트(첨부 1)의 네 페이지를 참고하라. 보고용 표는 제 1권 제 8장에서 이용가능하다.

3.4 철도

철도 기관차는 일반적으로 디젤, 전기, 증기 세 가지 종류 중의 하나이다. 디젤 기관차는 추진모터에서 필요로 하는 전기를 생산하기위해 교류기 또는 발전기의 조합으로 된 디젤 엔진을 일반적으로 사용한다.

디젤 기관차는 크게 입환 기관차(Shunting or yard locomotives), 궤도차(Railcars), 터미널간 수송 기관차(line haul locomotive)의 3가지 종류가 있다. 입환 기관차(Shunting locomotive)는 대략 200~2,000kW의 전기 생산을 가지는 디젤엔진이 장착되어져 있다. 궤도차(Railcars)는 가까운 거리의 철로 운송을 위해 중점적으로 사용되어지며(예] 도시/교외 교통) 대략 150~1,000kW의 전기 생산을 가지는 디젤 엔진을 장착하고 있다. 터미널간 수송 기관차(line haul locomotive)는 먼 거리의 철로 운송(화물, 승객)을 위해 사용되어지며, 대략 400~4,000kW의 전기 생산을 가지는 디젤 엔진을 장착하고 있다. (EPA,2005).

전기 기관차는 다른 배출원과 마찬가지로 발전소에서 생산된 전력을 공급받는다. 배출량과 관련된 사항은 이 책의 고정연소 단원 하에서 다루어진다.

증기 기관차는 현재 일반적으로 관광용 같은 국한된 용도로만 사용하고 있으며, 발생되는 온실가스량이 상대적으로 적다. 그러나 몇몇 나라에서는 1990년대 까지 증기기관차가 석탄 이용에 상당한 부분을 차지했었다. 완벽을 기하기 위해서는 증기기관차의 배출은 고정연소 단원에서 다루어지는 재래식 증기 보일러와 유사한 방식으로 산정되어야 한다.

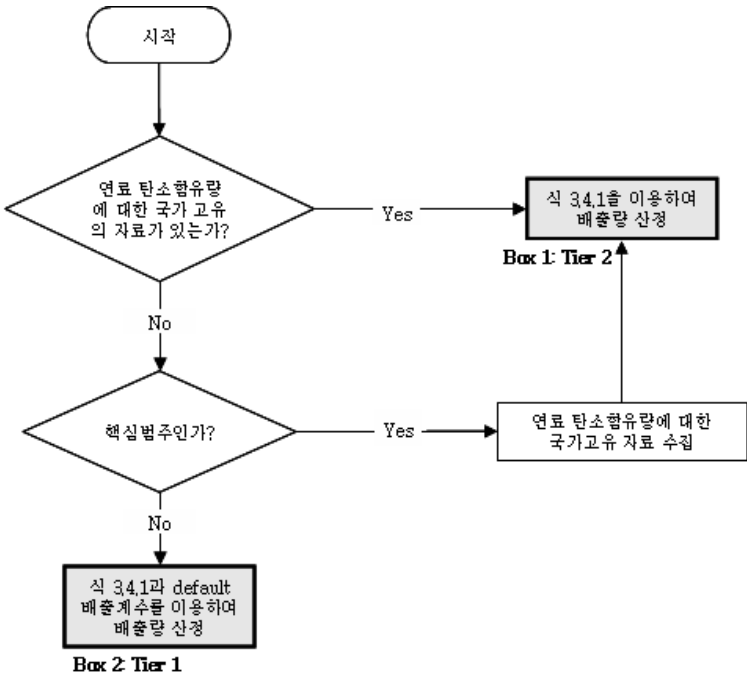
3.4.1 방법론

철도 차량으로부터의 온실가스 배출량 측정을 위한 방법론은 1996 *IPCC 가이드라인*과 *GPG 2000* 발행 이후 근본적인 변함은 없다. 하지만, 고정 배출원 단원과의 일관성을 유지하기 위해 CO_2배출량은 연료의 총 탄소 함량을 기준으로 산정된다. 이 단원에서는 직접 온실가스인 CH_4, CO_2, N_2O 산정의 발전을 위한 선례가 다루어진다. 전구물질이나 간접 온실가스인 CO, $NMVOC_S$, SO_2, PM, NO_X에 대한 것은 EMEP/CORINAIR Guidbook(EPA, 2005)을 참고하기 바란다.

3.4.1.1 방법 선정

철도에서의 CH_4, CO_2, N_2O배출량 측정을 위한 방법론적 선택사항은 3가지가 있다. 그림 3.4.1과 3.4.2의 의사결정도는 방법론 선택을 위한 기준을 제시한다.

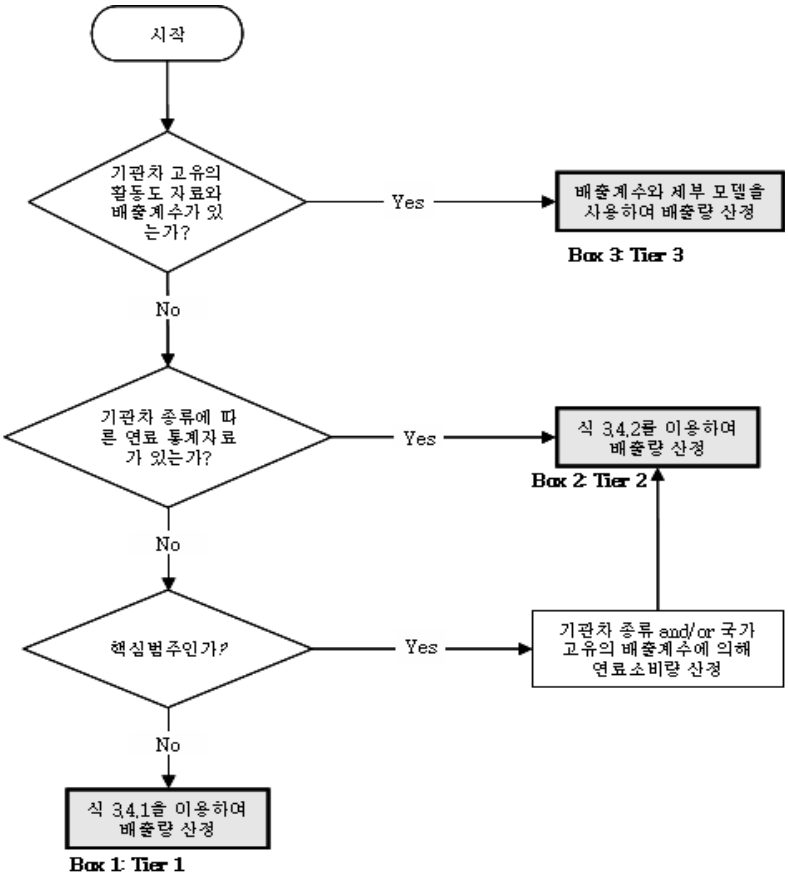
그림 3.4.1 철도에서 발생하는 CO_2배출량 측정을 위한 의사결정도



주

주 카테고리에 대한 설명과 의사결정도 사용에 대해서는제 1권 제 4장 "방법론의 선정과 주 카테고리" (제한된 배출원에 대해서는 4.1.2절에 명시)를 참고하라.

그림 3.4.2 철도에서 발생하는 CH_4와 N_2O배출량 측정을 위한 의사결정도



주
주 카테고리에 대한 설명과 의사결정도 사용에 대해서는 제 1권 제 4장 "방법론의 선정과 주 카테고리" (제한된 배출원에 대해서는 4.1.2절에 명시)를 참고하라.

산정 방법론의 3가지 Tier는 같은 기본 방정식의 변형이다.

식 3.4.1
기관차에서 발생한 배출량 산정을 위한 일반적인 방식

$$Emissions = \sum_j (Fuel_j \times EF_j)$$

여기서

Emissions = 배출량(kg)
$Fuel_j$ = 소비된 연료 종류i (연료판매량 상당) (TJ)
EF_j = 연료 종류j의 배출계수 (kg/TJ)
j = 연료 종류

Tier 1에 관한 배출량은 표 3.4.1에 나열된 것 같은 연료 특정(fuel-specific) 기본 배출계수를 사용하여 산정된다. 단, 각 연료별로 모든 연료는 단일 기관차 종류에 의해 소비된다고 가정한다. CO_2에 관한 Tier 2는 연료의 탄소 함량에 대한 국가 특정(country-specific) 자료를 이용하여 식 3.4.1을 다시 사용한다. CO_2 배출량 측정을 위한 Tier 2 상위방법을 사용하는 것은 이점이 거의 없다.

CH_4와 N_2O를 위한 Tier 에 대한 배출량은 식 3.4.2를 이용하여 국가 특성과 연료 특성 배출계수를 사용하여 산정한다. 가능하면 그 배출계수는 광범위한 기관차 기술 종류별로 세부적으로 되어야 할 것이다.

식 3.4.2
Tier 2 기관차에서 발생한 CH_4와 N_2O 산정을 위한 방법

$$Emissions = \sum_i (Fuel_i \times EF_i)$$

여기서

Emissions = 배출량 (kg)
$Fuel_i$ = 기관차 종류i가 소비한 연료 (연료판매량 상당), (TJ)
EF_i = 기관차 종류i의 배출계수 (kg/TJ)
i = 기관차 종류

만약 자료이용이 가능하다면 Tier 3방법은, 부하량에 따라 배출계수가 좌우되어 배출량에 영향을 미칠 수 있는, 엔진과 기차의 각 종류별 사용에 대한 더 세부적인 모델링을 사용한다. 필요한 자료에는 전형적인 여행(예] 화물, 도시 간, 지방)과 기차 종류에 따라 이동한 km에 따라 심층 분류되는 연료 소비량이 포함된다. 이런 유형의 자료는 다른 목적으로 수집되기도 한다. (예] 철도 유지보수로 인한 혹은 풍속과 지형에 따른 대기오염물질 배출량).

식 3.4.3은 주로 비도로(off-road) 배출량(USEPA 2005, a & b) 산정을 위한 USEPA 방법에 기초한 더욱 세부적인 방법론(Tier 3)의 한 예이다. 이 식은 배출량 계산을 위해 다음 기본 공식을 사용한다.

식 3.4.3
TIER 3 기관차에서 발생한 CH_4와 N_2O 산정을 위한 방법의 예

$$Emissions = \sum_i (N_i \times H_i \times P_i \times LF_i \times EF_i)$$

여기서

Emissions = CH_4 또는 N_2O 배출량 (kg)
Ni = 종류 i별 기관차 수
Hi = 기관차 i 의 연간 사용시간 (h)
Pi = 기관차 i 의 평균 정격동력 (kW)
LFi = 기관차 i 의 전형적인 부하계수 (0 과 1 사이의 소수)

EFi = 기관차 i 에서 사용하는 평균 배출계수 [kg/kWh]
i = 기관차 종류와 여행 종류

이 방법론에서는 변수 H의 사용 패턴이 연령별로 다른 것처럼 입력변수 H, P, LF, EF는 하위 개념으로 세분될 수 있다. 많은 세부적인 모델링 도구(tools)들이 Tier 3방법론을 사용하여 기관차 배출량을 산정하는 것이 가능하다. (e.g., RAILI (VTT 2003); NONROAD (USEPA 2005a and b); COST 319 (Jorgensen & Sorenson, 1997)). Tier 3 방식의 예를 원하면 박스 3.4.1을 참고하라.

3.4.1.2 배출계수 선정

CO_2, CH_4, N_2O에 대한 기본 배출계수와 그것들의 Tier 1에 대한 불확도 범위가 표 3.4.1에 제공된다. CH_4와 N_2O를 산정하기 위해 인벤토리 작성자는 만약 이용가능하다면 기관차에 대한 국가 특정 배출계수를 사용할 것을 권장한다.

표 3.4.1
철도 교통을 위한 가장 일반적인 연료의 기본 배출계수

가스	디젤 (kg/TJ)			아역청탄 (kg/TJ)		
	기본값	하한	상한	기본값	하한	상한
CO_2	74,100	72,600	74,800	96,100	72,800	100,000
CH_4[1]	4.15	1.67	10.4	2	0.6	6
N_2O[1]	28.6	14.3	85.8	1.5	0.5	5

주
[1] 400HP 기관차에서 평균 0.35 ℓ/bhp-hr(제동마력시; break horse power-hour) (2983 kW 기관차에서 0.47 ℓ / kWh). (Dunn, 2001).
[2] 디젤의 배출계수는 (EEA, 2005) 표 8-1을 사용, 석탄의 배출계수는 고정연소 단원의 표 2.2 사용했음.

non-CO_2 가스를 위한 배출계수는 표 3.4.2에 오염물질 가중 계수를 사용하면서, 식 3.4.4에 따른 엔진 설계 입력변수에 의해 수정될 것이다.

식 3.4.4
세부적인 기술을 위한 CH_4와 N_2O 배출계수의 가중

$$EF_{i,diesel} = PWF_i \times EF_{default,diesel}$$

$EF_{i,diesel}$ = 기관차 종류i에 따른 엔진 특성 배출계수 (kg/TJ)
PWF_i = 기관차 종류i에 따른 오염물질 가중 계수 [무차원]
$EF_{default,diesel}$ = 디젤의 기본 배출계수 (CH_4, N_2O에 적용) (kg/TJ)

표 3.4.2
제어되지 않은 엔진을 위한 엔진설계 입력변수의 함수로써의 오염물질 가중 인자(무차원)

엔진 형태	CH_4	N_2O
Naturally Aspirated Direct Injection	0.8	1.0
Turbo-Charged Direct Injection / Inter-cooled Turbo-Charged Direct Injection	0.8	1.0
Naturally Aspirated Pre-Chamber Injection	1.0	1.0
Turbo-Charged Pre-Chamber Injection	0.95	1.0
Inter-cooled Turbo-Charged Pre-chamber injection	0.9	1.0
Source: EEA 2005 (Table 8-9)		

시간의 경과에 따른 CH_4와 N_2O 배출량의 증가를 고려함에 있어서, N_2O로 인한 악화가 무시되면 CH_4의 기본배출계수가 연간 1.5% 높아질 수 있다. (EEA, 2005)

박스 3.4.1
TIER 3 방식의 예

1998 EPA 디젤 엔진 규정에 3가지 tier의 공정이 구축되었다. 각각의 USEPA-tier에는 여러 해에 걸친 마력등급에 따른 양상이 있다. USEPA-Tier 0 기준은 2001년까지와 같은 양상이었다. 엄격해진 USEPA-Tier 1 기준은 2002~2004년부터 효력을 발휘했었고, 더욱더 엄격해진 USEPA-Tier 2기준은 2005년 이후로 단계적으로 도입된다. USEPA-tier 전체에 걸쳐 NO_X와 PM 배출량에 대한 것이 주로 향상되었다. 저유황경유의 디젤엔진 사용은 SO_2배출량 감소에 기여하였다. 아래 표는 그것들과 3000 HP이상의 기관차를 위한 광의의(broad) 기술 수준 배출계수를 제공한다.

만약 국가 특정(country-specific)정보가 이용가능하다면 배출계수는 상위 Tier를 위해 승객용 기차의 g/명-km와 화물용 기차의 g/ton-km로 제공될 수도 있다.

광의의 기술 수준 배출계수

모델	엔진	동력		제동 특성 디젤 연료 소비량 (kg.kWh)	작성된 배출 수준 (g/kWh)			
		HP	KW		NO_X	CO	HC	CO_2
EMD SD-40	645E3B	3000	2237	0.246	15.82	2.01	0.36	440
EMD SD-60	710G3	3800	2834	0.219	13.81	2.68	0.35	391
EMD SD-70	710G3C	4000	2983	0.213	17.43	0.80	0.38	380
EMD SD-75	710G33EC	4300	3207	0.206	17.84	1.34	0.40	367
GE Dash 8	7FDL	3800	2834	0.219	16.63	6.44	0.64	391
GE Dash 9	7FDL	4400	3281	0.215	15.15	1.88	0.28	383
GE Dash 9	7FDL(Tier0)	4400	3281	0.215	12.74	1.88	0.28	383
Evolution	GEVO 12	4400	3281	NA	10.86	1.21	0.40	NA
2TE116	1A-5Л49	6035	2•2250	0.214	16.05	10.70	4.07	382
2TE10M	10Л100	5900	2•2200	0.226	15.82	10.62	4.07	403
TEII60	11Л45	2950	2200	0.236	16.05	10.62	3.84	421
TEII70	2A-5Л49	3420	2550	0.211	15.83	10.55	4.01	377
2M62	14Л40	3943	2•1470	0.231	13.40	9.01	3.23	412

출처:

[1] EMD 와 GE 기관차 자료는 Dunn, 2001을 근거로 함. 역간 수송 기관차(line haul locomotives)에 대한 CO와 HC를 산정하는 더 낮은 tier에는 각각 6.7g/kWh 와 1.3g/kWh 이 사용됨.

[2] TE 모델과 2M62의 산정은 GSTU 1994을 근거로 함

3.4.1.3 활동도 자료 선정

Tier 1과 Tier 2방식의 CO_2 배출량 산정을 위해서는 국가 수준 연료소비 자료가 필요하다. Tier 2를 사용한 CH_4와 N_2O 배출량 산정을 위해서는, 기관차 카테고리 수준 자료가 필요하다. Tier 3 방식은 세부적인 역간 수송 기관차(line haul locomotive) 수준에서의 동작을 위한 활동도 자료를 (예] GTK(Gross tonne kilometer) 와 운행주기) 요구한다. 이러한 방법은 원본 모집단(연령과 동력 범위), 기차 톤수당 주행거리, 연간사용시간과 연령대에 따른 사용패턴, 평균화된 마력(주어진 범위 내에 개별 마력 분배에 따른), 부하 계수, 부문 정보(예] 지역 지형학과 기차 속도) 같은 다른 기관차 특정 정보도 필요하다. Tier3 평가를 위한 대체 모델링 방식이 있다(VTT2003; EEA2005).

철도나 기관차회사, 또는 관련 수송당국이 입환 기관차(yard locomotive)와 터미널간 수송 기관차(the line haul and yard locomotive)의 연료 소비 자료를 제공 할 수 있을 것이다. 모든 나라에서 입환 기관차(yard locomotive)에 의한 영향은 매우 작을 것 같다. 만약 입환기관차(yard locomotive)에 대한 연간 연료 사용량이 각각 주어지지 않는다면, 다음 식에 따라 그들의 사용과 일간 연료 사용량에 대한 전형적인 자료를 이용하여 연료 사용을 산정하는 것이 가능할 것이다.

식 3.4.5
기관차연료소비 산정

인벤토리 연료 소비량 = yard 기관차의 수 • 일일 기관차당 평균 연료소비량 • 연간 기관차당 평균 운영일수

입환기관차(yard locomotive)의 수는 철도회사 또는 교통 당국으로부터 구할 수 있다. 만약 일 평균연료 소비량을 알 수 없다면, 863 ℓ/day 값을 사용할 수 있을 것이다(USEPA, 2005a). 작동일수는 보통 365일이다. 만약 입환기관차(yard locomotive) 수의 자료를 구할 수 없다면, 모든 연료는 터미널간 수송 기관차(line haul locomotive)에 의해서 소비된다고 가정하여 인벤토리를 대략적으로 정할 수 있다.

전체로서 관할(주나 영토)을 위한 연료 소비량 자료가 사용가능하다면, 한 회사의 기관차들이 다른 회사의 관할구역에서도 운영하면 중복해서 계수하는 현상이 발생할 수 있다. 이는 운영 자료를 이용한 상위 Tier를 사용함으로써 방지할 수 있다.

상위 tier방식이 사용된 곳에는 CO_2를 위한 연료 소비량 자료는 CH_4와 N_2O에 사용된 활동도 자료와 일관성을 유지해야 한다는데 주의해야 한다.

3.4.1.4 완전성

디젤연료는 철도에서 사용되는 가장 보편적인 연료이나, 인벤토리 작성자는 디젤 기관차에 철도수송 목적으로 사용된 다른 연료가 생략되거나 중복 산정이 되지 않도록 주의해야한다. 이러한 연료들은 디젤과 함께 혼합 될 수도 있고, 석유연료(예] 연료 부산물, 연료 오일, 또는 다른 증류된 물질), 바이오디젤(예] 유채씨, 콩, 해바라기, 산호유동(Jatropha), Karanjia오일 등의 오일 에스테르, 또는 재생 식물성/동물성 기름), 합성연료가 포함될 수도 있다. 바이오디젤은 모든 디젤기관에서 약간의 수정을 거치거나 그냥 사용가능하다. 재래식 디젤과의 혼합도 가능하다. 합성연료는 합

성 중간 증류물질(SMD)과 천연가스, 잔존 연료유, 원유, 합성가스의 생산을 거친 석탄 등 다양한 탄소공급원으로부터 생산되는 디메틸에테르(DME)를 포함한다. 혼합비는 다양하지만, 현재는 주로 바이오디젤2~5%를 섞고 나머지는 디젤유로 한다.
이 연료들의 배출특성은 도로수송 부문에서 사용된 것과 비슷하게 고려된다. 바이오매스로부터 추출한 연료의 CO_2배출은 정보 항목에 작성되어져야 하고, 중복 산정을 피하기 위해 국가 총계에는 포함되지 않아야 한다.

디젤 기관차는 난방차를 위해 천연가스 또는 석탄을 태운다. 비록 이런 에너지원이 이동성이 있지만, 이 책의 'Energy' Volume의 '고정 배출원 연소' 부문에서 가열용 연료의 연소로부터의 배출량 선정을 위한 방법이 다루어진다. 인벤토리 작성자는 객차 난방용 에너지로부터의 배출량을 생략하거나 중복산정하지 않도록 주의해야한다.

디젤기관차는 또한 상당한 양의 윤활유를 소비한다. 배출량과 관련된 것은 IPPU 부문의 제 5장에서 다루어진다.

다른 배출원 부문과 중복될 여지가 있다. 많은 통계자료에서는 철도 연료를 사용하는 비도로 기계류, 차량, 선로기 같은 고정 철도 배출원에서 사용된 연료가 포함되지 않는다. 그것들의 배출량은 여기에 포함되는 것이 아니라 고정 배출원이나 비도로 같은 적절한 철도 외 카테고리에 포함된다. 만약 이것에 대한 종류가 없고, 기관차로부터 이런 류의 다른 곳의 사용을 분별하기가 불가능하다면, 아무 인벤토리 보고서나 배출량 보고용 표에 이것을 기록하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

3.4.1.5 일관성 있는 시계열(time series)의 개발

CH_4와 N_2O배출량은 엔진의 종류와 기술에 따라 다를 것이다. 기술 특성 배출계수가 개발되지 않았다면, 모든 기간 동안 동일한 연료특정 집단의 배출계수를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 배출계수에 영향을 주는 저감 옵션은 엔진 특성 배출계수의 사용이나 제어 기술 가정의 개발에 의해서만 포착된다. 이런 변화들은 적절히 문서화되어야 한다.

기본년도 배출량을 결정하고 시계열에서 일관성을 확실히 하는 더 많은 정보를 원하면, 제 1권 제 5장 '시계열의 일관성'을 참고하라.

3.4.1.6 불확도 평가

철도에서 발생하는 온실가스 배출량은, 도로수송에서 발생하는 배출량보다 훨씬 적다. 소비된 연료의 양이 적고, 자주 전기를 이용하는 조작이 행해지기 때문인데, 전기사용에서의 배출량은 전력생산 하에서 철도 에너지사용과 관련된 배출의 종류별로 작성될 것이고, 그 부문의 특성에 따를 것이다.

불확도를 줄이기 위해, 배출계수와 활동도 자료를 위한(특히, bottom-up 활동도 자료가 사용된 곳) 종합적인 방식이 필요하다. 국지적으로 산정된 대표 자료를 사용하는 것은 불확도가 비록 많이 남아있더라도 정확성을 향상시킬 것이다.

활동도 자료에서 뿐만 아니라 배출계수 양쪽 모두에 대한 불확도를 문서화하는 것은 *우수실행*

*(good practice)*이다. 배출계수에서의 불확도 산정에 대한 세부적인 지침은 제 1권 제 3장 '불확도'에서 참고하라.

배출계수의 불확도

표 3.4.1에 디젤 연료와 관련된 불확도의 범위를 나타냈다. 세부 정보가 없을 경우, 상·하한 값과 중간 산정간의 백분율 관계를 첨가제의 배출계수와 관련된 기본 불확도 범위로 추론하여 사용할 수 있다.

활동도 자료의 불확도

top-down 활동자료(연료사용)에서의 불확도는 대략 5퍼센트 정도일 것이다. bottom-up 산정(기차 형태에 따른 취급 또는 연료사용)에 따른 개별 자료의 불확도는 10% 이하일 것 이지만, 기초 통계조사의 질에 따라 몇 배로 높아질 수 있다. 하지만, bottom-up 산정은 상위 tier에서 non-CO_2 가스 산정을 위해 필요하다. 이러한 상위 tier계산은 또한 CO_2 산정을 산출할 수 있지만, 이들은 아마도 Tier1이나 2보다는 좀 더 불확실할 것이다. 그러므로 철도가 주 카테고리인 곳에서 사용하는 방식은 CO_2 에는 국가 특정 연료 탄소 함량을 이용한 top-down 산정을 이용하고 다른 가스들에는 상위 tier 산정법을 이용한다. bottom-up CO_2 산정은 QA/QC 비교검토에 사용 될 수 있다.

활동도 자료를 위한 불확도 산정의 정보를 더 원한다면 제 1권 제 3장 :'불확도'에서 찾을 수 있다.

3.4.2 인벤토리 QA/QC

'Chapter6: 품질보증/품질 관리 그리고 검증'에서 개략된 대로 품질관리 검사를 행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

특히 이 배출원 카테고리에서 배출량을 결정하기 위해 상위 tier 방법들이 사용된다면, 제 1권 제 6장의 Tier 2 절차에서 개략된 추가 품질관리 검사도 적용 가능할 것이다.

인벤토리 작성자는 '제 1권 제 4장: 주 카테고리의 정의와 방법론적 선택(Methodological Choice and Identification of Key Category)'에서 정의한 주 카테고리를 위해 상위 tier QA /QC를 이용할 것을 권장한다. 위의 지침에 추가로, 이 배출원 카테고리에 적절한 세부 절차가 아래에 개략되어 있다.

배출계수의 검토

인벤토리 작성자는 국가계수를 위한 원본 자료는 각 카테고리에 적용가능하고, 자료 획득과 계산에 대한 정확성 검사가 수행되었다는 것을 확실히 해야 한다. IPCC의 기본 계수를 위해 인벤토리 작성자는 계수가 카테고리에서 적용가능하고 적절하다는 것을 확실히 해야 한다. 가능하다면, IPPC 기본 계수는 그것이 적용가능하고 합리적이라는 것을 더욱 확실히 하기 위해 국가 계수와 비교되어야 한다.

활동도 자료의 검사

카테고리에 대한 적용가능성과 적절함을 확실하게 하기 위해 활동도 자료의 출처를 검토해야 한다. 가능한 곳에서, 자료들은 이례적인 것을 찾기 위해 과거의 활동도 자료나 모델링 결과와 비교되어야 한다. 자료들은 다른 년도와 다른 나라에 비교한 장거리 철도 운전의 단위당 연료사용량 같은 생산력 지표에 의해 검토될 수 있다.

3.4.3 보고서작성 및 문서화

'제 1권 제 8장 지침과 표의 작성(Reporting Guidance and Tables)'에 개략된 국가 배출량 인벤토리 산정을 하기 위해 요구되는 모든 정보는 문서화하고 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

작성된 배출량에 추가하여, 다음을 제공하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

- bottom-up 산정을 위해 요구된 세부 정보가 획득된 방법과 어떤 불확도가 평가되었는지에 대한 것
- 어떻게 연료사용의 bottom-up 방식과 top-down 방식 연료사용 통계치를 조정했는가
- 사용된 배출계수 그리고 그것들의 연관된 참고자료, 특히 첨가내용물에 대해서
- 모든 바이오연료 구성요소가 확인되는 방법
- 기관차 이외에 사용된 연료의 포함가능성 (위의 3.4.1.2부분 참고)

3.4.4 보고용 표와 작업 워크시트

각 배출원 카테고리 별로 채워지는 Tier 1 Sector별 방식을 이용하기 위한 제 4장의 작업 워크시트(첨부 1)를 참고하라. 보고용 표는 제 1권 제 8장에서 이용할 수 있다.

3.5 수상운수

이 배출원 카테고리는 휴양용 선박부터 주로 디젤 엔진에 의해, 가끔씩 증기나 가스터빈에 의해 운항되는 크고 느리거나 중간 속도의 대형 원양 화물 선박까지의 모든 수상 교통을 포함한다. 여기엔 호버크래프트와 수중익선이 포함된다. 수상운수는 일산화탄소(CO), 비메탄계 휘발성유기화합물(NMVOCs), 이산화황(SO_2), 미세먼지(PM), 질소산화물(NO_X) 뿐만 아니라, 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O) 등의 배출을 야기한다.

3.5.5 부분은 인벤토리 작성자가 유용하게 쓸 수 있는 전문용어를 정의한다.

3.5.1 방법론

이 절에서는 직접 온실가스 CO_2, CH_4, N_2O를 다룬다. 배출원 카테고리는 표 3.5.1에 설명되어있다. 논의되는 방법은 군 수상운수로부터 배출량을 산정하는 것으로도 사용할 수 있다(3.5.1.4부분 참고). 배출량인벤토리의 목적을 위해, 국내와 국제 수상운수 사이에 구별을 형성한다. 화석연료를 사용하는 수송수단(예]유조선)으로부터 탈루 배출량은 본 권의 제 4장에 나오는 "탈루성(Fugitive) 배출량" 카테고리 하에서 산정되고 작성된다.

3.5.1.1 방법선정

수상운수로부터 CO_2, CH_4, N_2O의 배출량산정을 위해서는 두 가지 방법론적인 Tier가 있다. 두 가지의 Tier는 연료소비 활동도 자료에 대한 배출계수를 적용한다. 그림 3.5.1의 의사결정도는 2가지 Tier 중의 선택에 도움을 준다. 배출량은 국내/국제 수상운수별로 각각 산정된다.

Tier1

Tier1방법은 가장 간단하며 기본값 또는 국가 특성 정보 어느 쪽에도 적용 될 수 있다. Tier1의 연료 소비 자료와 배출계수는 연료별 특성이 있고, 상응하는 활동도자료(예] 수상운수를 위한 가스/경유 사용)에 적용되어야한다. 연소된 연료량과 CO_2, CH_4, N_2O에 대한 배출계수에 근거해 계산한다. 식 3.5.1에 계산식을 나타냈고, 표 3.5.2와 표 3.5.3에 배출계수가 제공된다.

식3.5.1
수상운수 공식

$$\text{배출량} = \sum(\text{연료소비량}_{ab} \bullet \text{배출량계수}_{ab})$$

여기서

a = 연료 종류(디젤, 가솔린, LPG, bunker, 등)

b = 수상운수 종류(즉. 배 또는 보트, 그리고 가능한 엔진 종류)(Tier2에서만 선박 종류별로 연료구분을 사용하므로 Tier1에서는 b를 무시할 수 있다.)

Tier2

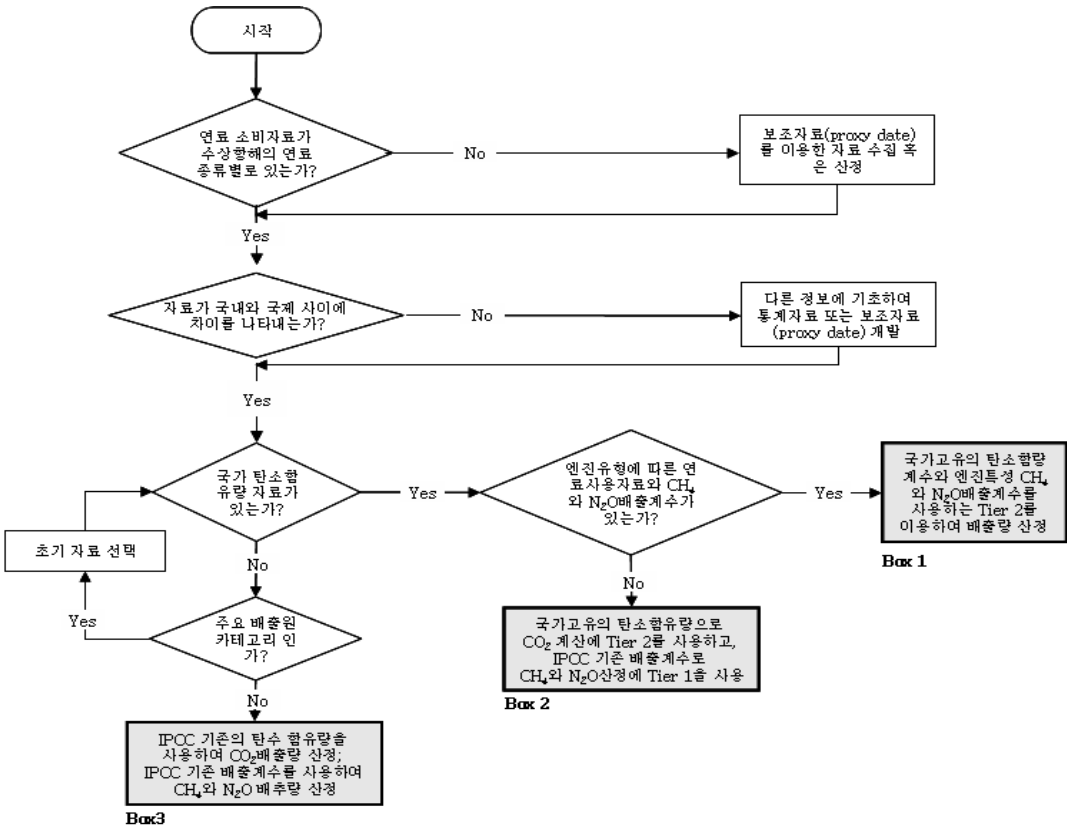
Tier2방법 또한 연료 종류에 따라 연료소비를 사용한다. 하지만 선박 종류(예] 원양어선과 보트),연료 종류(예] 연료 기름), 그리고 엔진 종류(예] 디젤)의 분류에 따른 고도의 특수성을 가진 국가 특정 배출계수가 요구된다.

Tier 2를 적용할 때는, 인벤토리 작성자는 EMEP/Corinair 배출 인벤토리 지침서에 엔진과 배의 종류에 근거한 선박배출량과 선박이동자료를 산정하기 위한 자세한 방법론이 제공된다는 것을 기록해야 한다. 선박 이동 방법론은 자세한 선박이동자료와 배에 관한 기술적 정보 모두 사용가능할 때 사용될 수 있고,국내/국제 수상운수 간에 배출을 구분하는데 사용할 수 있다.

표 3.5.1
배출원 카테고리 구조(Source Category Structure)

배출원 카테고리 (Source Category)	적 용
1A3d 수상운수	수상선박을 추진하기 위해 사용된 연료로부터의 배출. 호버크래프트와 수중익선을 포함하지만 어선은 제외한다. 국제/국내 수상운수의 구분은 선박의 깃발이나 국적이 아닌 출발항만과 도착항만을 기준으로 구분한다.
1A3d i 국제 수상운수 (국제 연료)	국제 수상운수에 관계된 모든 국기를 단 선박에 의해 사용된 연료로부터의 배출. 국제 수상운수는 바다, 내륙호, 수로, 연안에서 이뤄진다. 한 나라에서 출발하여 다른 나라에 도착하는 운항도 포함하지만 어선은 제외한다(기타 부문 - 어업 참조). 국제 군사 수상운수로부터의 배출은 동일하게 정의된 구분이 적용되고 그 정의를 보조하기 위해 자료들이 사용 가능하다는 것을 제공하는 별도의 국제 수상운수의 부 카테고리로 포함될 수 있다.
1A3d ii 국내 수상운수	동일 국가 내에서 출항 및 입항하는 모든 국기를 단 배로부터 발생된 배출.(1 A 4 c iii에서 언급된 어업과 1 A 5 b 에 작성된 군용은 제외) 한 국가 내 상당히 멀리 떨어진 두 항만 사이의 운항을 포함(예] San Francisco에서 Honolulu).
1A4c iii 어업(이동 연소)	내륙, 연안, 심해 어업에서의 연료 연소로부터의 배출. 어업은 그 나라에서 연료보급이 이루어진 모든 국적의 배를 포함한다.(국제어업 포함).
1A5b 이동원 (수상운수 요소)	다른 데서 지정되지 않은 모든 연료 연소로부터의 수상 이동 배출. 그 나라 내에 있지만 다국적군 작전에 참여하지 않는 외부 국가의 군대가 소비하는 연료와 마찬가지로 그 나라의 군대에 따로 포함되지 않는 데에 이송된 연료로부터의 군사 수상운수 배출을 포함한다.
다국적 작전 (수상운수 요소)	UN헌장에 준한 다국적 작전에서의 수상운수에 사용된 연료로부터의 배출. 국내 군대 및 타국의 군대에 이송된 연료로부터의 배출을 포함한다.

그림 3.5.1 수상운수 배출량의 의사결정도



주

주 카테고리에 대한 설명과 의사결정도 사용에 대해서는 제 1권 제 4장 "방법론의 선정과 주 카테고리" (제한된 배출원에 대해서는 4.1.2절에 명시)를 참고하라.

3.5.1.2 배출계수의 선정

TIER 1

기본 이산화탄소 배출계수(표 3.5.2)는 연료 종류와 탄소함량에 근거하고, 본 권의 제 1장: 서론과 표 1.4에 서술된 탄소산화비(100%)를 고려한다.

표 3.5.2
CO_2 배출계수

kg/TJ				
연료		**기본 값**	**하한**	**상한**
가솔린		69300	67500	73000
기타 등유		71900	70800	73600
가스/ 디젤유		74100	72600	74800
잔여연료유		77400	75500	78800
액화석유가스(LPG)		63100	61600	65600
기타 Oil	정제가스(Refinery Gas)	57600	48200	69000
	Paraffin Waxes	73300	72200	74400
	백유& SBP	73300	72200	74400
	기타석유제품	73300	72200	74400
천연가스		56100	54300	58300

CO_2 이외의 가스를 위해, 매우 일반적인 레벨의 Tier1 기본 배출계수가 표3.5.3에 제공된다.

표 3.5.3
수상운수 CH_4와 N_2O 기본 배출계수

	CH_4 (kg/TJ)	**N_2O (kg/TJ)**
원양 어선*	7 ±50%	2 +140% -40%

* 중유를 사용하는 디젤 엔진으로부터 유도된 기본값
출처: Lloyd's Register(1995)와 EC(2002)

TIER 2

Tier 2 배출계수는 국가 지정인 것이어야 하고, 가능하면 수상운수에 사용된 연료와 연소 엔진의 국내 시험에 의해 구해져야 한다. 배출계수의 출처는 이 가이드라인의 조항에 따라 문서화해야 한다. Tier1과 Tier2 계산을 위한 NO_X, CO, NMVOC 배출계수의 출처로는 EMEP/Corinair 배출 인벤토리 안내서(EEA2005)를 쓸 수 있다.

3.5.1.3 활동도 자료 선정

수상운수로부터의 배출량을 산정하기 위해 연료와 엔진(N_2O와 CH_4를 위한)종류에 따른 연료 소비 자료가 요구된다. 또한, 현재 작성 절차에서는, 국내 수상운수의 배출이 이 단계에서의 개별 활동도 자료가 요구되는 국제 수상운수와 별도로 작성될 것이다.

일관성 유지를 위해, 항공과 수상운수를 위한 국내/국제적 활동에 유사한 정의를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이 정의들은 표 3.5.4에 나타나 있으며, 항공기나 선박의 국가나 국적과 무관하다. 몇몇 유형에서, 국가 에너지 통계는 이 정의와 일치하는 자료를 제공하지 않는다. 국가가 이 정의와 일치하는 활동도 자료를 분리하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 대부분의 나라에서 국내 소비를 위한 연료에 세금과 관세를 부과하고, 국제 소비를 위한 연료에는 세금과 관세가 없다. 자료의 직접 출처가 없을 때, 국내 세금에 관한 정보는 국내와 국제 연료 소비를 구별하는 데 사용될 수 있다. 어떤 경우에서도, 국가에서는 사용한 방법론과 가정을 명확하게 정의해야한다[13].

표 3.5.4
국제/국내 수상운수의 정의 기준(둘 이상의 항구에서의 항해(voyage calling)의 각 구획별로 적용)*

두 항구 사이의 항해유형	국내	국제
동일국가에서의 출항과 입항	예	아니오
한 나라에서 출항 후 다른 나라에 입항	아니오	예

*각각의 항해부분(출발부터 다음 도착까지)에 기준하여 수집된 모든 수상운수의 활동적인 자료는 중간 경유지의 다른 형태 사이를 구별하지 않는다(GPG 2000에 언급된 것처럼).
개별부분 data에 대해 구분을 토대로 하는 것은 간단히 되고 불확도를 줄이기 쉽다. 이것은 배출량 산정에 상당한 영향을 일으키지 않을 것이다. 이것은 국제 조항으로 작성되고, 국가 총량에는 포함되지 않는 국제 비행으로부터의 배출량 산정 방법을 변화시키지는 않는다.

연료 이용 자료는 여러 가지 접근법을 사용하여 얻을 수 있다. 가장 적합한 방법은 국가 환경 조건에 따르는 것일 것이나, 몇 가지 선택사항을 이용하면 다른 것에 비해서 더 정확한 결과를 얻을 수 있다. 아래에 실제연료 또는 대체자료의 여러 출처가 될 수 있는 것들을 열거하여 놓았으며, 보편적으로 순서대로 신뢰도가 감소한다.

- 에너지기관 또는 통계청으로부터의 국가에너지통계자료
- 국제 에너지 기구(IEA) 통계 정보
- 선박 회사의 조사자료(페리와 화물 포함)
- 연료공급자의 조사자료(예] 항만시설에 공급되는 연료 품질)
- 해양당국과 개인 항구의 조사자료
- 수산회사의 조사자료
- 장비 수, 특히 작은 마력의 가솔린 기관의 어선과 유람선
- 수입/수출 기록

13 만약 어떤 나라가 GPG 2000 정의를 사용하는 것을 선택한다면, 이유와 정당성을 명확히 서술하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

- 선박 이동 자료와 승객과 화물 페리의 표준 일정표
- 승객 수와 화물 톤수 자료
- 국제수상운수기구(IMO), 엔진제조사, 또는 Jane의 군함 데이터베이스(Jane's Military Ships database)
- 로이드 등록(Lloyd Register) 자료에서 구한 선박 이동 자료

선박 활동의 전반에 걸친 자료를 얻기 위해 이 자료들을 비교하고 결합해야 할 때도 있다.해양 디젤엔진은 추진력과 보조동력 생산을 위해 해양산업에서 사용하는 주 동력 장치이다. 몇몇 선박은 증기 설비로 동력을 얻는다(EEA, 2005). 수상운수에서는 선박 내의 냉동설비와 수송펌프, 보일러 같은 보조 기관 동력용으로 사용될 수 있는 연료에 대해서도 설명해야 한다. 많은 증기동력 유조선이 여전히 항구에서 화물을 하역할 때 펌프를 가동하기 위해 원양에서 이동하는 것보다 더 많은 연료를 소비하고 있다.

표 3.5.5 에는 수상운수 선박 종류에 따른 주 엔진과 보조엔진의 총 연료소비량의 평균 %가 나타나 있다. 이것은 주 엔진과 보조엔진 간에 배출계수를 틀리게 적용할 수도 있듯이, 인벤토리 작성자가 적절한 배출계수를 적용할 수 있게 해준다.

만약 톤수와 카테고리별로 선단을 모은다면, 표 3.5.6의 다양한 수상운수 선박 종류별 연료 소비계수를 사용할 수 있다.

표 3.5.5
엔진 종류별 표준 연료 소비량 (선박 >500 GRT)

선박 종류	주 엔진 소비량 (%)	선박당 평균 보조엔진 수 (Avg.Number of AUX. Engines Per Vessel)	보조엔진소비량 (%)
Bulk Carriers (수송함)	98%	1.5	2%
Combination Carriers (결합선박)	99%	1.5	1%
Container Vessels (컨테이너 선박)	99%	2	1%
Dry Cargo Vessels (건조화물 선박)	95%	1.5	5%
Offshore Vessels (근해 선박)	98%	1	2%
Ferries/Passenger Vessels (페리/여객선)	98%	2	2%
Reefer Vessels (냉동선)	97%	2	3%
RoRo Vessels (로로 선박)	99%	1.5	1%
Tankers (유조선)	99%	1.5	1%
Miscellaneous Vessels (기타 선박)	98%	1	2%
Totals (합계)	98%		2%

출처: Fairplay Database of Ships, 2004. GRT= 등록된 총 용적톤수

표 3.5.6
연료소비계수, 최대출력

선박 종류	평균 소비량 (ton/day)	총 용적톤수(GRT)의 함수에 따른 최대출력일때 소비량(tonne/day)
Bulk Carriers (화물수송함)		
Solid Bulk (고체화물선박)	33.8	20.186+0.00049*GRT
Liquid Bulk (액체화물선박)	41.8	14.685+0.00079*GRT
General Cargo (일반적인 화물선박)	21.3	9.8197+0.00143*GRT
Container (컨테이너)	65.9	8.0552+0.00235*GRT
Passenger/RoRo/Cargo (여객선/로로선/화물선)	32.3	12.834+0.00156*GRT
Passenger (여객선)	70.2	16.904+0.00198*GRT
High Speed Ferry (고속 페리)	80.4	39.483+0.00972*GRT
Inland Cargo (내륙화물선)	21.3	9.8197+0.00143*GRT
Sail Ships (돛단배)	3.4	0.4268+0.00100*GRT
Tugs (예인선)	14.4	5.6511+0.01048*GRT
Fishing (어선)	5.5	1.9387+0.00448*GRT
Other Ships (기타 선박)	26.4	9.7126+0.00091*GRT
All Ships (모든 선박)	32.8	16.263+0.001*GRT
출처: Techne(1997)		

또한, 화물 연료 증발(cargo boil-off)(주로 LNG 나 VOC 회수)로부터의 가스는 선박의 연료로 사용 될 수도 있지만 양은 보통 총 연료소비량에 비해 크지 않다. 기여하는 바가 작기 때문에 배출 인벤토리 내에서 이것에 대한 설명은 요구되지 않는다.

3.5.1.4 군사

"*2006 IPCC 가이드라인*"은 군 수상운수 배출량을 계산하기 위한 명확한 방법을 제공하지 않는다. 군 수상운수 연료사용의 배출량은 식 3.5.1을 사용하여 산정할 수 있으며 그리고 비군사 선박에도 동일한 계산방식이 추천된다. 군 수상운수와 관련된 작전, 상황, 기술(예] 항공기 수송기, 초대형 예비 발전소, 흔치 않은 엔진종류)의 특수성 때문에 자료 이용이 가능하다면 자료 분석의 더욱 세부적인 방법이 권장된다. 그러므로 인벤토리 작성자는 그 나라의 군 수상운수를 위한 가장 적절한 배출계수를 결정하기 위해서 군 전문가와 상담해야 한다.

보안문제(완전성과 작성 참조)로 인해, 많은 인벤토리 작성자들은 군 연료사용량에 대한 자료를 얻는데 어려움이 있을 것이다. 여기에서 군사 활동은 그 나라 내의 군사 당국에 공급되거나 판매되는 연료를 사용하는 활동을 말한다. 이런 규칙을 적용하기 위해 필요한 자료들이 비교/이용 가

능할 때, 군사작전에 대한 수상운수에서의 민간인의 국내/국제 작전을 정의하는 데는 그 규칙을 적용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

군 연료사용 자료는 정부 사대 시설 또는 연료공급자로부터 받아야 한다. 만약 연료 분배에 대한 자료이용이 불가하다면, 군사 활동을 위해 판매된 모든 연료는 국내용으로 다루어져야 한다.

UN 헌장에 입각한 다국적 작전으로 인한 배출은 국가 총량에는 포함되지 않아야 하지만, 별도로는 작성되어야 한다. 즉, 작전과 관련된 기타 방출은 하나 이상의 관련단체의 국가 배출 총량에 포함되어야 한다. 국가 계산은 그 나라 내에 공급되지만 타국 군대에 의해 사용된 연료뿐만 아니라 그 나라의 군대에 공급된 연료도 고려해야 한다. 작전(예] 비도로 지상 지원 장비)과 관계된 기타 배출은 적절한 배출원 카테고리에서 국가 배출 총량에 포함되어야 한다.

3.5.1.5 완전성

일반적으로 국가는 총 연료 소비량을 측정하는 효율적인 회계 시스템을 갖고 있으므로, 수상운수 배출량을 산정하기 위한 방법은 총 연료 사용량을 기초로 한다. 이 배출원 카테고리 안에서 불완전함을 야기할 가능성이 가장 큰 부분은, 다른 배출원 카테고리에서의 수상운수 배출을 잘못 할당하는 것일 듯하다. 예를 들어 가솔린엔진으로 가는 작은 선박에서, 완벽한 연료사용 기록을 얻기는 힘들 것이며, 몇몇 배출은 산업(산업 회사에서 작은 선박을 사용한다면), 기타 비도로 이동원이나 고정 동력생산으로 작성될 것이다.

수상 배출의 산정은 해양 선박의 연료뿐만 아니라 여객선, 페리, 유람선, 여타 내륙 선박, 여타 가솔린 연료 선박도 포함되어야 한다. 잘못된 할당은 총 국가 CO_2 배출 인벤토리의 완전성에 영향을 미치지 않을 것이나, CO_2 이외 가스의 배출계수는 배출원 카테고리 간에 다르기 때문에 , 총 CO_2 이외 가스 인벤토리의 완전성에 영향을 줄 것이다.

화석연료를 사용하는 수송수단으로부터의 소실된 배출량은 '소실된 배출량' 카테고리에서 산정되고 작성되어야 한다. 대부분의 소실된 배출량은 하역작업 중에 발생하므로 그 카테고리 하에서 설명한다. 여행 중 배출은 중요하게 고려하지 않는다.

완전성은 또한 군사 연료사용이 다른 배출원 카테고리와 합쳐지지 않는다면, 군사자료가 보안인 곳에서는 문제가 될 것이다.

국내와 국제배출 사이의 구별에 대한 추가적인 과제가 있다. 이 카테고리에서 각 나라마다 자료의 출처가 유일하기 때문에, 명확한 자료가 없을 시에는 어떻게 할당할 것인가에 관해 일반적인 규칙으로 공식화하는 것은 불가능하다. 완전성의 문제를 평가받을 수 있게 하기 위해서 가정을 명확하게 지정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

3.5.1.6 일관성 있는 시계열(time series) 개발

모든 기간 동안 연료 사용을 결정하기 위해 동일한 방법론을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이것이 불가능하면, 사용된 방법론의 일관성을 검토하기 위해 자료 수집은 충분히 반복되어야 한다.

CH_4와 N_2O의 배출량은 엔진 종류와 기술에 따를 것이다. 기술 특성 배출계수가 개발되지 않았다면, 모든 기간 동안 동일한 연료특정 집단의 배출계수를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

모든 연료 소비에 걸친 변화에 기인한 저감(Mitigation) 활동은 실제 연료 활동도 자료가 모이면 배출량 산정에 쉽사리 반영될 것이다.

그러나 배출계수에 영향을 주는 저감 옵션은 엔진 특성 배출계수를 사용하거나 제어기술 가정의 개발을 통해서만 포착할 수 있다. 시대에 따른 배출계수의 변화는 잘 문서화되어야 한다.

해양 디젤유와 중유는 수상운수에서 주요 배출원으로 사용되는 연료이다. 이런 연료들의 탄소 함유량이 시계열에 걸쳐 다양하게 변화함에 따라, 연료를 테스트한 일시 뿐만 아니라 CO_2 배출계수의 출처가 명확하게 서술되어야 한다.

3.5.1.7 불확도 평가

배출계수

전문가의 견해에 따르면, 연료에 대한 CO_2배출계수는 주로 연료의 탄소함유량에 많은 영향을 받기 때문에 일반적으로 결정하기 쉽다. 예를 들어, 디젤연료에 대한 기본 불확도 값은 ±-1.5%정도이며, 잔존 연료유에 대해서는 ±-3% 정도이다. 그러나 non-CO_2 가스의 배출에 대한 불확도는 훨씬 크다. CH_4 배출계수의 불확도는 50% 이상의 범위를 가질 것이다. N_2O배출계수의 불확도는 기본 값에 대해 40%이하에서 140%이상의 범위를 가진다. (Watterson, 2004)

활동도 자료

수상운수 배출 산정에 있어서 불확도중 많은 부분이 국내와 국제 연료소비 간의 구별의 어려움과 관련이 있다. 완벽한 조사 자료가 있으면 불확도는 낮을 것이나(±-5%), 불완전한 조사나 산정에서의 불확도는 상당할 것이다(±-50%). 불확도는 각 나라마다 상당히 다양하므로 일반화 하기는 어렵다. 일련의 세계적(Global) 자료는 이 분야에 도움을 줄 것이고, 보고서 작성은 차후의 이 카테고리를 개선시킬 것으로 기대된다.

3.5.2 QA/QC

품질 관리 검사를 실행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이 배출원 카테고리에 적절한 구체적인 절차를 아래에 개략해놓았다.

대체 방안을 사용한 배출량 비교

가능하다면, 인벤토리 작성자는 수상운수에 대하여 Tier 1과 Tier 2방법 모두를 사용하여 결정되는 산정 값들을 비교해야 한다. 인벤토리 작성자는 배출량 산정 간에 어떤 예외에 대해서도 조사하고 설명해야 한다. 그러한 비교 결과는 기록되어야 한다.

배출계수 검토

인벤토리 작성자는 국가계수를 위한 원본 자료가 각 카테고리에 적용가능하고, 자료 획득과 계산에 대한 정확성 검사가 수행되었다는 것을 확실히 해야 한다. 만약 잘 문서화된 국가 배출계수가 이용 가능하다면, 그것을 사용하여야 한다. 기본 계수에 대해, 인벤토리 작성자는 그 계수가 그 카테고리에 적용가능하고 적절하다는 것을 확실히 해야 한다.

만약 군사적 사용으로부터의 배출량이 기본값 외의 값을 사용하여 개발되었다면, 인벤토리 작성자는 계산의 정확성 그리고 자료의 적용가능성과 적절성을 검사해야 한다.

활동도 자료의 검사

카테고리에 대한 적용가능성과 적절성을 명확히 하기 위해 활동도 자료의 출처를 검토해야 한다. 가능한 곳에서, 자료들은 예외사항을 찾기 위해 과거의 활동도 자료나 모델링 결과와 비교되어야 한다. 자료들은 다른 나라와 비교하여 수상운수 교통 운행 단위당 연료와 같은 생산성 지표를 이용하여 검사해야 한다. 유럽환경청(EEA)은 유럽에 대한 각 운송수단 형식에 따른 배출량과 승객/화물 용량을 보여주는 http://air-climate.eionet.eu.int /databases/TRENDS/TRENDS_EU15_data_Sep03.xls과 같은 유용한 데이터 세트를 제공한다. 선박에 대한 정보들은 매우 자세히 되어 있다. 그러한 지표에 대한 예를 들면, 3000GT 이하급 선박에서 계수는 0.09~0.16kg CO_2/tonne-km, 그보다 큰 선박은 0.04 ~ 0.14kg CO_2/tonne-km, 승객용 페리는 0.1~0.5kg CO_2/tonne-km의 범위를 가진다.

외부 검토

인벤토리 작성자는 QC 프로그램의 효율성을 평가하기 위해 배출 인벤토리의 계산, 가정, 문서화의 독립적이고 객관적인 검토를 수행해야 한다. 배출 인벤토리 요구 조건을 이해하고 있으며, 배출원 카테고리에 익숙한 전문가(예] 운송당국, 선박회사, 군당사자)에 의해 상호검토(peer review)가 행해져야 한다.

3.5.3 보고서 작성과 문서화

수상운수에 관련된 배출은 본질에 따라 다른 카테고리로 나타내었다.

사용하는 카테고리는 다음과 같다.

- 국내 수상운수
- 국제 수상운수
- 어선(이동 연소)
- 이동원(군용[수상운수])
- 비지정 이동원(차량 및 기타 기계류)

국제 수상운수의 배출은 국내로부터 별도로 작성되고, 국가 총계에 포함되지 않는다.

상업용 어선과 관련한 배출은 수상운수에서 작성되지 않고, 에너지 부문의 농업/입업/어업 카테고리에서 작성된다. 정의에 의해, 보고된 국가(reporting country) 내의 상업용 어선에 공급된 총

연료는 국내로 간주 되고, 또한 어업이 행해진 장소에 상관없이 민간 어선을 위한 국제 선박용 연료 카테고리는 존재하지 않는다.
군사 수상운수 배출은 국가의 온실가스 인벤토리의 투명성을 증진시키기 위해 명확하게 구체화되어야 한다(3.5.1.4절 참조).

배출량보고와 더불어, 다음을 제공하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

- 연료와 다른 자료의 출처
- 국내와 국제 수상운수를 구분하기위해 사용된 방법
- 사용한 배출계수 및 그와 관련된 참고사항
- 결과의 불확도가나 민감성 분석 또는 입력 자료와 가정의 변경

3.5.4 보고용 표와 워크시트

각 배출원 카테고리 별로 채워지는 Tier 1 Sector별 방식을 이용하기 위한 제 4장의 작업 워크시트(첨부 1)를 참고하라. 보고용 표는 제 1권 제 8장에서 이용할 수 있다.

3.5.5 전문 용어의 정의

정의
Bulk Carriers(벌크선) - 기름, 판재, 곡물, 광석, 화학물질 등과 같이 컨테이너로 실리지 않은 대량 화물의 수송에 사용되는 선박. 대형 화물칸을 덮고 있는 갑판층 위로 솟은 해치로써 확인할 수 있다.
Combination Carriers(혼합선) - 포장하지 않은 기름이나 고형화물을 선택적으로 수송하는 선박
Container Vessels(화물선) - 생산제품을 포함하는 큰, 사각형의 금속상자를 수송하는 선박
Dry Cargo Vessels(건조화물선) - 액체가 아니며 온도조절이 필요치 않은 화물수송용 선박
Ferries/Passenger Vessels(여객선) - 승객, 승용차, 상업용 차량을 혼합해서 태우는 단거리 운항용 배. 이 배의 대부분은 차량이 바로 출입할 수 있는 Ro-Ro(rollon-rolloff) 페리이다. 여객선에는 유람선도 포함된다.
Offshore Vessels(근해선) - 큰 배에 다양한 지원 작업에 관련된 선박 개념. 연안 지원선, 닻 조정선, 예인선, 적재선(예] 바지선(deck barge)), 승무원 수송선(crew boat), 다이빙선(dive support vessels), 지진탐지선이 포함
Reefer Vessels(냉동선) -부패하기 쉽고 온도조절이 필요한 화물이 선적될 냉동화물저장고가 있는 배
Ro-Ro Vessels -특별 범주 공간 또는 RoRo(Roll on/Roll off)방식의 화물 저장 공간이 있는 배로 크레인을 이용하지 않고 승용차를 선적 및 하역할 수 있는 배
Tankers - 원유, 화학물질, 석유제품의 운송에 사용되는 배. 벌크선과 유사하게 보일 수 있으나 갑판이 평면이고 석유 파이프라인과 환기구로 둘러싸여 있음

3.6 민간항공

제트 연료(jet kerosene and jet gasoline)와 항공 휘발유[14]의 연소로부터 생기는 항공산업으로부터의 배출. 비행기 엔진 배출은 대략 70%의 CO_2 , 30%이하의 H_20와 1%미만의 해로운 공기오염물질을 포함하는 NOx , CO, SO_x, NMVOCs, 미세먼지와 기타 극소량 성분으로 구성되어있다. 현대 가스엔진은 N_2O를 거의 발생시키지 않는다(IPCC,1999). 메탄은 가스터빈의 공회전시 또는 예전 기술로 만들어진 엔진 사용시 배출되지만, 최근자료에 의하면 최신 엔진에서의 CH_4발생은 거의 없다고 말한다.
배출량은 비행기 운전(operations)의 형태와 수, 비행기 엔진 종류와 효율, 사용 연료, 비행거리, 동력 세팅(power setting),각 비행단계에서의 소요시간, 배가스가 방출되는 고도에 따라 달라진다.
이 지침서에서는 비행기 운행을 (1)이착륙(Landing/Take-off cycle)[15]과정과 (2)순항 과정으로 나눈다. 일반적으로, HC와 CO를 제외한 모든 종류의 비행기 배출의 약 10%는 공항 내에서의 운행과 이착륙 주기 중에 발생한다. 높은 고도에서의 배출량이 90%에 해당된다. HC와 CO는 30%가 국지적으로 배출되고 70%가 높은 고도에서 배출된다. (FAA,2004a). 배출령 선정자가 유용하게 쓸 수 있는 전문용어의 정의가 3.6.5절에 나와 있다.

3.6.1 방법론

이 배출원 카테고리에는 민간 및 일반 항공(농업용 비행기, 자가용비행기, 헬리콥터)을 포함하는 모든 민간 상업용 비행기로부터의 배출이 포함된다. 이 섹션에서 논의된 방법은 군사 비행기의 배출량을 산정하는데도 사용될 수 있지만, 배출은 1A5 '기타' 또는 메모 항목 '다국적 작전' 카테고리 하에서 보고된다.

배출 인벤토리을 위해 국내와 국제 항공을 구별하며, 표 3.6.1에 나열된 배출원 카테고리에 작성되는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

국제 항공을 위해 사용되는 연료와 UN헌장에 입각한 다국적 작전에 사용된 연료로부터의 모든 배출은 국가 총량에서 제외되고, 메모 항목으로 별도로 작성된다.

3.6.1.1 방법 선정

항공 산업으로부터의 CO_2, CH_4와 N_2O의 배출량산정을 위해서는 세 가지 방법론적 Tier 가 존재한다. Tier 1과 Tier 2 방법론은 연료 소비 자료를 이용한다. Tier 1은 단순히 연료사용에만 기초한 것이고, Tier 2는 연료사용과 이착륙(LTOs)횟수를 기초로 한다. Tier 3은 개별 비행의 이동[16] 자료를 사용한다.

모든 Tier는 국내비행과 국제 비행을 구분한다. 하지만 Tier 1에서 사용되는 에너지 통계자료는 종종 국내와 국제 연료사용 또는 표 3.6.1에 정의된 개별 배출원 카테고리 사이를 정확하게 구분하지 않는다. Tier 2 와 Tier 3은 이를 구분 짓기 위해 좀 더 정확한 방법론을 제공한다.

14 소형피스톤기관 비행기에만 쓰이는 연료, 이것은 일반적으로 총 항공연료 사용의 1%에 못 미친다.

15 이착륙 과정(LTO cycle)은 ICAO, 1993에 정의. 만약 국가가 기간별로 더 자세한 자료를 갖고 있으면, 상위 Tier 방법에서 계산을 더 정확하게 하는데 사용할 수 있다.

16 비행자료는 출발과 도착 정보, 비행기종, 비행기록과 같은 최소한의 정보를 말한다.

방법론의 선택은 연료종류, 이용 가능한 자료, 비행기 배출의 상대적인 중요도에 따른다. 국가 특정 배출계수를 이용할 수 있다고 해도, 항공 휘발유에 대해 일반적으로 이착륙 횟수를 사용할 수 없다. 따라서 항공 휘발유에는 아마도 Tier 1 방식과 Tier 1의 기본 배출계수를 사용할 것이다. 제트연료에 적절한 배출계수를 사용할 수 있기 때문에, 제트연료를 사용하는 조작에는 모든 Tier가 적용가능하다. 표 3.6.2는 다른 Tier를 위해 요구되는 자료를 요약 해 놓았다.

그림 3.6.1에서 보이는 의사결정도는 적절한 방법론을 선택하는데 도움을 준다. 항공교통운행 횟수는 부분적으로 여러 Tier에 대한 출처로 요구된다. Tier 1은 자원 집약적이지 않아야 한다. 개인 항공기에 기초한 Tier 2와 기종점 쌍(Origin and Destination pairs)에 기초한 Tier 3A는 점진적으로 더 많은 자원을 사용할 것이다. 더욱 복잡한 모델링인 Tier 3B는 가장 많은 자료를 요구한다.

현재의 CH_4와 N_2O 배출계수에 대한 정보가 제한적이기 때문에, 더 세부적인 방법은 CH_4와 N_2O 배출량의 불확도를 현저하게 줄이지는 못할 것이다. 하지만, 항공이 주 카테고리라고 하면, 상위 Tier가 국내와 국제 항공 사이에 더 많은 차이를 내고, 기술변화의 영향평가를 용이하게 하기 때문에 Tier 2나 Tier 3 방식을 사용하는 것이 권장된다.

순항모드에서의 산정은 Tier 3A 방법론이나 Tier 3B 모델을 사용할 때 더 정확해진다. 더구나 Tier 3 방법은 연료 사용량 대신 비행기 이동 자료를 사용하기 때문에 국내와 국제항공 사이를 더 정확하게 구분한다. 자료는 Tier 3 모델(SAGE,(Kim, 2005a and b; Malwits, 2005)과 AERO2K(Eyers, 2004))의 운영자로부터 얻을 수 있을 것이다. 이착륙, 승객-주행거리 자료, 백분율로 분할한 항공시간표(OAG자료, 각 나라에서 수행된 “ton-km”의 ICAO 통계자료)등을 고려하는 것과 같은 국내와 국제 연료 사용을 구별하기 위한 다른 방법들은 약식이다. 이 방법들은 다른 방법론이나 이용 가능한 데이터가 없을 때 사용할 수 있다.

표 3.6.1
배출원 카테고리

배출원 인벤토리	적용범위
1 A 3 a 민간항공	이·착륙을 포함 하는 국내 및 국제 민간항공 배출. 여객 및 화물용 정기·전세비행기, 에어 택시, 일반항공기를 포함하는 비행기의 민간 상업적 사용 구성. 국제/국내항공은 비행기의 국적이 아닌 각 비행의 이·착륙지점으로 구분. 1 A 3 e 기타수송(Other Transport)에 보고된 공항에서의 육상운송 연료배출은 제외됨. 또한 공항에서의 고정연소용 연료는 제외한다. 이는 적절한 고정연소 카테고리에 보고됨.
1 A 3 a i 국제항공(국제벙커)	한 나라에서 출발해 다른 나라에 착륙하는 비행으로부터의 배출. 이 비행 단계에서 이륙과 착륙 과정을 포함. 국제 군사항공 배출은 국제 수상운수의 정의를 똑같이 적용할 수 있고, 이 정의를 보좌할 수 있는 자료가 있다면 국제 수상운수의 하위 카테고리로써 포함될 수 있음
1 A 3 a ii 국내항공	이·착륙을 같은 나라에서 하는 민간 국내 여객 및 화물항공기(상업수송기, 개인비행기, 농업용 비행기 등)로부터의 배출, 비행기 이륙과 착륙 과정을 포함. 동일 국가 내의 상당히 멀리 떨어진 두 공항 사이의 비행을 포함(예] San Francisco to Honolulu). 1 A 5 b에 보고된 군사용은 제외
1 A 5 b 이동원 (항공 구성요소)	다른데서 지정되지 않은 모든 항공 이동원의 연료 연소 배출. 그 나라 내에 공급되지만, 다국적 작전에 참여하지 않는 타국 군대에 의해 소비되는 연료와 마찬가지로 1 A3 a i 에 따로 포함되지 않는 그 나라의 군대에 공급되는 연료에서의 배출을 포함.
1.A.5c 다국적 작전 (항공 구성요소)	UN헌장에 입각한 다국적 작전에서의 항공에 사용된 연료로부터의 배출. 자국 군대 및 타국 군대에 공급된 연료에서의 배출을 포함.

표 3.6.2
각 방법론별 데이터 요구사항

국내 와 국제 항공 자료	Tier 1	Tier 2	Tier 3A	Tier 3B
항공 휘발유 소비	X			
제트 연료 소비	X	X		
총 이착륙				
기종별 이착륙		X		
기종별 출발과 도착 (OD)			X	
비행기와 엔진자료를 포함한 총 비행 이동				X

상위 Tier를 사용하는 것을 선택하는 다른 이유는 다른 오염물질과 함께 공동으로 배출되는 것(예] NO_x)의 산정과 다른 인벤토리의 방법들과의 조화를 위해서이다. Tier 2 (또는 그 상위)에서는 914m(3000feet)이하에서의 배출만을 다루는 대기오염 프로그램을 위해 개발된 방법들과 조합하기 위해, 이착륙 과정과 순항 과정에서의 배출을 따로 산정한다. 그것은 비행기의 상향식접근법(bottom-up approach)과 하향식 연료기준접근법(top-down fuel-based approach)의 결과 사이에서 상당한 차이가 발생할 수 있다. Daddet *et al*(1999)이 그 예를 보여주었다.

Tier1 방법

Tier 1 방법은 평균 배출계수가 곱해진 항공(이착륙과 순항)의 집합된 연료 소비자료를 기초로 하였다. 메탄 배출계수는 연료의 10%가 LTO에 사용된 연료라는 가정 하에 모든 비행과정에 걸쳐

평균하였다. 배출량은 식 3.6.1에 따라 계산된다.

식 3.6.1
(항공 식1)
배출량 = 연료소비량 • 배출계수

Tier 1 방법은 항공 연료 소비량의 1%도 되지 않고 소형비행기에만 사용되는 항공 휘발유의 배출량 산정에 사용되어야 한다. Tier 1 방법은 또한 비행기 운행의 사용자료가 이용가능하지 않을 때 제트연료 비행기의 운행에도 적용된다. 국내배출량과 국제 배출량은 두 연료 간의 할당을 위해 3.6.1.3 섹션에 논의된 방법들 중 하나를 사용하여 상기 식을 이용하여 각각 별도로 산정된다.

Tier 2 방법

Tier 2 방법은 제트 비행기 엔진에 사용되는 제트연료에만 적용가능하다. 비행기 운행은 이착륙과정과 순항과정으로 나뉜다. Tier 2 방법을 사용하기 위해서, 가급적 비행기종에 따른 국내항공과 국제 항공 모두에 대한 이착륙 횟수를 알아야만 한다. Tier 2 방법은 914m (3000feet)이상과 이하에서의 배출, 즉 이착륙 과정과 순항 과정을 구별한다.

Tier 2 방법은 다음의 단계에 따라서 항공 배출량 산정이 이루어진다.
1. 국내 및 국제 항공의 총 연료 소비량을 산정한다.
2. 국내 및 국제 항공에서의 이착륙 간 연료 소비량을 산정한다.
3. 국내 및 국제 항공의 순항 과정의 연료 소비량을 산정한다.
4. 국내 및 국제 항공의 이착륙 과정과 순항과정에서의 발생량을 산정한다.

Tier 2 방식은 발생량을 산정하기 위해 식 3.6.2~3.6.5를 사용한다.

식 3.6.2
(항공 식2)
총배출량 = LTO배출량 + 순항배출량

식 3.6.3
(항공 식3)
LTO배출량 = LTO횟수 • LTO배출계수

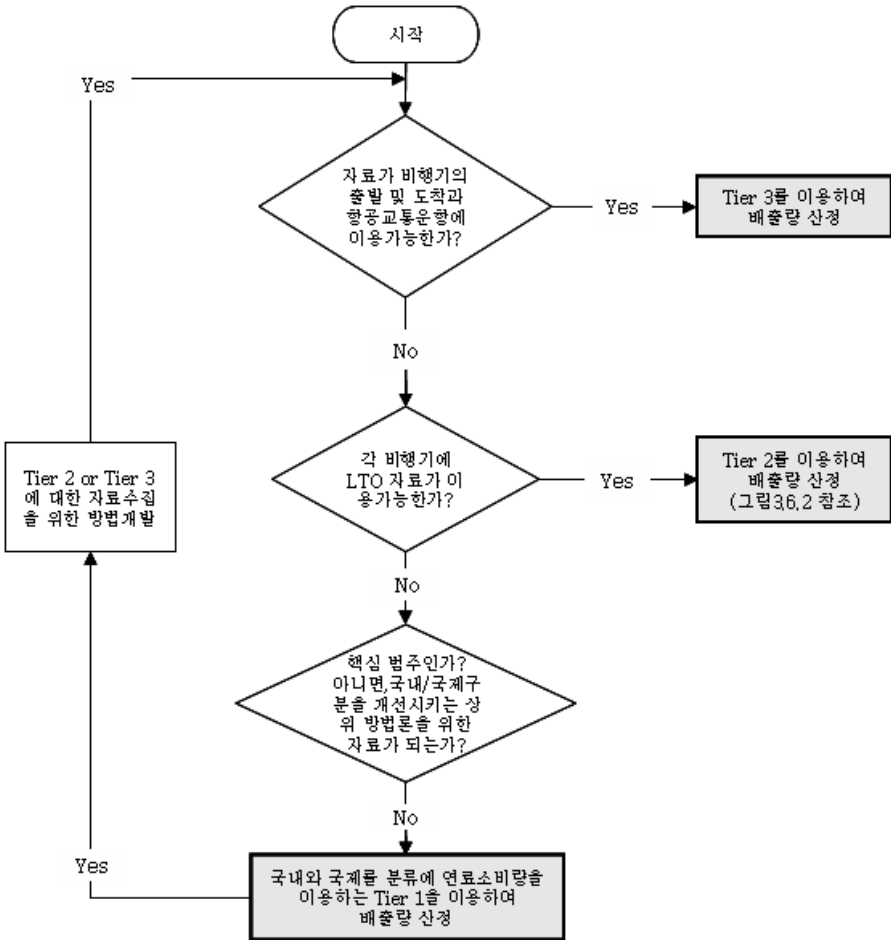
식 3.6.4
(항공 식4)

LTO연료소비량 = LTO횟수 · (연료소비량/LTO)

식 3.6.5
(항공 식5)

순항모드배출량 = (총연료소비량 – LTO연료소비량) · 순항배출계수

그림 3.6.1 항공기 배출량의 의사결정도 (각 온실가스에 적용)



주

주 카테고리에 대한 설명과 의사결정도 사용에 대해서는 제 1권 제 4장 "방법론의 선정과 주 카테고리" (제한된 배출원에 대해서는 4.1.2절에 명시)를 참고하라.

권장된 Tier 2방법론의 기조를 그림 3.6.2에 도식하였다.
Tier 2 방법에서, 순항 과정에 사용된 연료는 총 연료 사용량에서 이착륙 간 사용량을 뺀 나머지로서 계산된다(식 3.6.5). 연료사용은 국내항공과 국제 항공으로 따로 계산된다. CO_2와 NO_x의 순항모드에서의 발생량[17]을 산정하기 위해 순항모드의 연료 사용은 (평균 또는 각 기종별)총 발생계수를 곱해서 산정한다. 이착륙 과정에서 사용된 연료량과 배출량은 이착륙 횟수와 기본 배출계수 또는 LTO 주기 당(표준 또는 각 기종별) 연료사용계수의 통계자료에 의해 산정된다.
Tier 2 방법은 개별 비행기종의 수준에서의 활동도 자료를 고려하므로 기종별 국내 및 국제 비행기의 이착륙 횟수 자료를 필요로 한다. 산정할 때에는 국내 및 국제비행에 빈번히 사용되는 모든 비행기종을 포함해야 한다. 표 3.6.3은 DB 내 대표 비행기종에 대한 실제 비행기의 매핑의 한 방법을 보여준다. NO_x외의 다른 배출량에 대한 순항모드 배출계수는 Tier 2 방법에서 제공하지 않기 때문에 국가 배출계수 또는 Tier 기본 배출계수가 이런 순항과정 배출량 산정에 이용되어야 한다.

Tier 3 방법

Tier 3 방법은 실제 비행기 운행 자료에 기초한다. Tier 3A는 기종점 자료, Tier 3B는 총 비행 궤도 정보를 사용한다. 국가 Tier 3 방식은 제 1권 제 6장 (QA/QC)에 나와 있는 지침에 따라 적절하게 문서화되고 검토된다면 사용할 수 있다. 자료 검토를 용이하게 하기 위해서, Tier 3 방법론을 사용하는 국가들은 상업용 비행기와 기타 제트연료 사용 활동에 대한 배출을 따로 작성해야 한다.

Tier 3A는 다른 비행거리를 위한 순항에서의 배출량을 고려한다. Tier 3A를 사용하기 위해서는 국내와 국제 비행에서 공항 도착과 출발에 관한 세부사항과 비행기종에 대한 정보가 필요하다. Tier 3A에서 대표 비행기 카테고리의 배열을 위해, 인벤토리는 평균 연료소비와 이착륙 과정 및 다양한 순항 과정 거리(cruise phase length)를 이용하여 모델링된다.

Tier 3A방법론에 사용된 자료는 비행과정 간에 다양하게 발생하는 배출량을 고려한다. 이 방법론은 또한 장거리보다 상대적으로 단거리의 연료 연소가 비교적 더 높다는 것을 인지하면서 비행거리에 관련한 연료 연소를 고려하였다. 이는 비행기가 순항 과정과 비교했을 때 이착륙 간에 거리당 연료를 더 많이 사용하기 때문이다.
EMEP/CORINAIR 인벤토리 지침서(EEA 2002)에는 비행기로부터의 배출량 산정을 위한 Tier 3A 방법론의 예가 나와 있다. EMEP/CORINAIR 인벤토리 지침서는 계속해서 수정되고, 유럽환경청의 인터넷 웹사이트를 통해서 전자 발간된다. EMEP/CORINAIR는 비행거리당 배출량에 관한 표를 제공한다.

(항공 배출량 산정에 관한 EMEP/CORINAIR 방법론은 세 가지가 있다는 것을 주의해라. 하지만 단지 '세부 CORINAIR 방법론'만이 Tier 3A와 동등하다.)
Tier 3B 방법론은 비행기와 엔진 특성 공기역학적 성능 정보를 이용한, 각 비행 구획의 총 궤도를 통한 배출량과 연료 연소 계산에 의해 Tier 3A와 구분된다. Tier 3B를 이용하기 위해서는 모든 장비, 성능, 궤도 변수와 대상년도 모든 비행에 대한 계산을 지정하기 위한 복잡한 컴퓨터 모델이 필요하다. Tier3B 수준을 사용한 모델은 CO, HC, CO_2, H_2O, NO_x, SO_x의 배출량과 연료 연소에 대해 일반적으로 경도, 위도, 고도와 시간에 의해서만이 아니라, 비행기, 엔진, 공항, 지역과 세계

17 현재 과학에서는 순항모드의 배출량 산정에서 다른 가스(예를 들어, N_2O, CH_4)를 포함시키지 않는다(IPCC,1999).

적 총량의 항으로 출력을 지정할 수 있다. 연간 배출 인벤토리 제출(annual inventory submissions) 준비에 사용하기 위해서, Tier 3B 모델은 항공 교통 변화, 항공장비 교체, 혹은 다른 가변 입력 시나리오를 고려한 입력 자료로부터 항공기 배출량이 계산되어야 한다. Tier 3B모델의 구성요소는 이상적으로 통합되어서 쉽게 갱신할 수 있어서, 그 모델은 동적이며 포함된 자료와 방법론을 최신으로 유지할 수 있다. 모델의 예로는 미국 연방항공본부(Kim, 2005a and b; Malwitz, 2005)에 의한 항공의 세계 배출 평가 시스템(System for assessing Aviation's Global Emissions)(SAGE)과, 유럽위원회에 의한 AERO2k,(Eyers,2004)등이 있다.

그림 3.6.2 Tier 2 방법을 이용한 항공기 배출량 산정

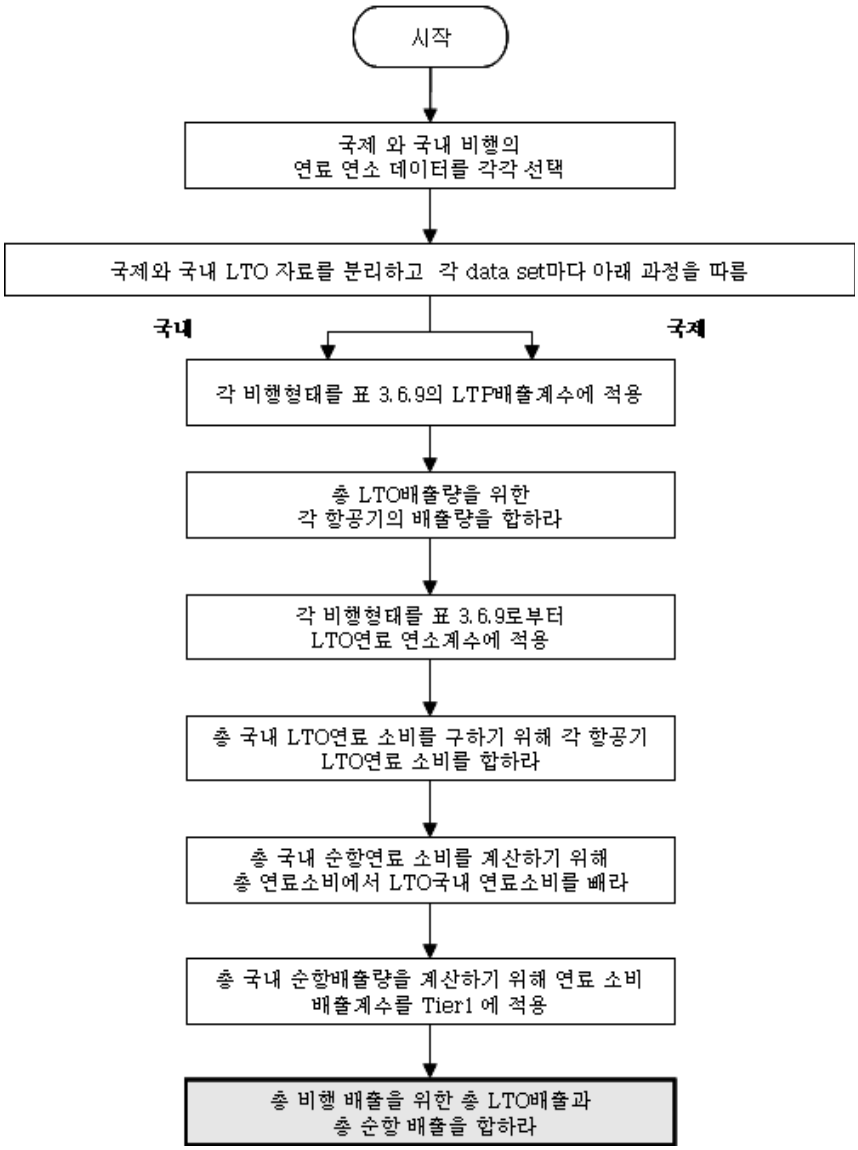


표 3.6.3
대표 항공기와 타 항공기 종류별 대조

Genetic aircraft types	ICAO	IATA aircraft in group
Airbus A300	A30B	AB3
	A306	AB4
		AB6
		ABF
		ABX
		ABY
Airbus A310	A310	310
		312
		313
		31F
		31X
		31Y
Airbus A319	A319	319
	A318	318
Airbus A320	A320	320
		32S
Airbus A321	A321	321
Airbus A339-200	A330	330
	A332	332
Airbus A330-300	A330	330
	A333	333
Airbus A340-200	A342	342
Airbus A340-300	A340	340
	A343	343
Airbus A340-500	A345	345
Airbus A340-600	A346	346
Boeing 707	B703	703
		707
		70F
		70M
Boeing 717	B712	717
Boeing 727-100	B721	721
		72M
Boeing 727-200	B722	722
		727
		72C
		72B
		72F
		72S
Boeing 737-100	B731	731
Boeing 737-200	B732	732
		73M
		73X
Boeing 737-300	B733	737
		73F
		733
		73Y
Boeing 737-400	B734	737
		734
Boeing 737-500	B735	737
		735
Boeing 737-600	B736	736

Genetic aircraft types	ICAO	IATA aircraft in group
Boeing 737-700	B737	73G
		73W
Boeing 737-800	B738	738
		73H
Boeing 737-900	B739	739
Boeing 747-100	B741	74T
	N74S	74L
	B74R	74R
	B74R	74V
Boeing 747-200	B742	742
		74C
		74X
Boeing 747-300	B743	743
		74D
Boeing 747-400	B744	747
		744
		74E
		74F
		74J
		74M
		74Y
Boeing 757-200	B752	757
		75F
		75M
Boeing 757-300	B753	753
Boeing 767-200	B762	762
		76X
Boeing 767-300	B763	767
		76F
		763
		76Y
Boeing 767-400	B764	764
Boeing 777-200	B772	777
		772
Boeing 777-300	B773	773
Douglas DC-10	DC10	D10
		D11
		D1C
		D1F
		D1M
		D1X
		D1Y
Douglas DC-8	DC85	D8F
	DC86	D8L
	DC87	D8M
		D8Q
		D8T
		D8X
		D8Y

Genetic aircraft types	ICAO	IATA aircraft in group
Douglas DC-9	DC9	DC9
	DC91	D91
	DC92	D92
	DC93	D93
	DC94	D94
	DC95	D95
		D9C
		D9F
		D9X
Lockheed L-1011	L101	L10
		L11
		L15
		L1F
McDonnell Douglas MD11	MD11	M11
		M1F
		M1M
McDonnell Douglas MD80	MD80	M80
	MD81	M81
	MD82	M82
	MD83	M83
	MD87	M87
	MD88	MD80\8
McDonnell Douglas MD90	MD90	M90
Tupolev Tu134	T134	TU3
Tupolev Tu154	T154	TU5
Avro RJ85	RJ85	AR8
		ARJ
BAe 146	B461	141
	B462	142
	B463	143
		146
		14F
		14X
		14Y
		14Z
Embraer ERJ145	E145	ER4
		ERJ
Fokker 100/70/28	F100	100
	F70	F70
	F28	F21
		F22
		F23
		F24
		F28
BAC111	BA11	B11
		B12
		B13
		B14
		B15
Donier Do 328	D328	D38
Gulfstream IV/V		GRJ
Yakovlev Yak 42	YK42	YK2

3.6.1.2 배출계수 선정

TIER 1

CO_2 배출계수는 연료의 종류와 탄소함유량을 기초로 한다. CO_2에 대한 국가 배출계수는 제트 연료의 품질이 잘 정의되어 있기 때문에, 기본 값과 편차가 크지 않아야 한다. Tier1 방법에서는 표 3.6.4(본 권의 제 1장, Introduction, 표1.4 참고)에 있는 기본 CO_2 배출계수를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이용가능하다면 국가 탄소 함유량을 사용할 수 있다. CO_2는 연료의 총 탄소함유량에 기초를 두고 산정되어야 한다.

표 3.6.4
CO_2배출계수

연료	기본 값(kg/TJ)	최소값(lower)	최대값(upper)
항공 휘발유(Aviation Gasoline)	69,300	67,500	73,000
항공유(Jet Kerosene)	71,500	69,800	74,400

항공기에서 나오는 CH_4와 N_2O의 기본 값을 표 3.6.5에 나타내었다. 다른 종류의 항공기/엔진조합은 특정 배출계수를 갖게 되고, 이러한 계수들은 비행 거리에 따라 또 달라질 수 있다. Tier1은 모든 항공기들의 연료 소비율에 근거한 CH_4와 N_2O의 배출계수는 같다고 가정한다. 이 수준의 집계(aggregation)에선 더 많이 분류된 배출계수를 이용할 수 없기 때문에 이런 가정이 만들어졌다.

표 3.6.5
non-CO_2 배출계수

연료	CH_4 기본 계수 (Uncontrolled) (kg/TJ)	N_2O 기본 계수 (Uncontrolled) (kg/TJ)	NO_X 기본 계수 (Uncontrolled) (kg/TJ)
모든 연료	0.5[a] (-57%/+100%)[b]	2 (-70%/+150%)[b]	250 ±25%[c]

[a] 순항 상태에서 CH_4배출은 무시된다고 가정한다.(Wiesen *et al*, 1994) 이착륙 과정에서만(즉, 914m (3000ft)이하) 배출계수는 5kg/TJ(총 VOC배출의 10%)이다.(Oliver,1991) 세계적으로 총 연료의 약 10%정도가 이착륙과정에서 소비되기 때문에(Oliver,1995), 항공기의 평균 계수는 0.5kg/TJ이다.

[b] IPCC 1999

[c] 전문가 판단

*1996 IPCC 가이드라인*에 포함된 황 함유량과 다른가스(CO, NMVOC)의 배출계수들은 EFDB에서 찾을 수 있다.

TIER 2

Tier2 방법에서는, 이착륙 간 배출량을 위해 표 3.6.9의 배출계수(또는 EFDB에 있는 최신정보)를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 순항 계산을 하는데 있어, 단지 NO_X배출만 특정 배출계수(표 3.6.10)에 의해 직접 계산 할 수 있고, N_20는 NO_X배출로부터 간접적으로 계산 할 수 있다.[18] 순항에서의 CO_2 배출은 Tier1의 CO_2배출계수를 사용하여 계산된다.(표 3.6.4) CH_4배출은 만약 새로운 데이터가 없으면 무시하거나 0으로 가정한다. 항공기로부터 나오는 CH_4와 N_2O배출계수들에 대한 정보는 제한적이며, 표 3.6.5의 기본 값들은 논문에 제시 되어 있는 값들과 비슷하다는 걸 유념해라.

TIER 3

Tier 3A의 배출계수는 EMEP/CORINAIR 인벤토리 지침서에서 찾을 수 있는 반면에 Tier 3B는 이러한 방법론을 적용하는데 필요한 모델 내에 포함되어 있는 배출계수를 사용한다. 인벤토리 작성자는 이런 배출계수가 사실상 적합한지 확인해야 한다.

3.6.1.3 활동도 자료 선정

국내 항공으로부터의 배출은 국제항공으로부터 따로 작성되기 때문에, 국내항공과 국제 항공의 구성 요소 사이에서 활동도 자료를 분류할 필요가 있다. 이를 위해 항공기의 국적에 상관없이 다음의 정의가 적용된다(표 3.6.6). 일관성을 유지하기 위해, 항공과 수상운수 부문의 국내/국제적 활동에 유사한 정의를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 몇 가지 경우에서는, 국내 에너지 통계는 이 정의와 일치하는 자료를 제공하지 않을 것이다. 국가가 이 정의와 일치하는 활동도 자료를 분류하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 어떠한 경우에서라도 국가는 사용된 방법론과 가정을 명확하게 정의해야 한다.

표 3.6.6
국제/국내 항공의 정의 기준 (1회 이상의 이 착륙 여정의 개별 행정에 적용)

두 공항사이의 항해유형	국내	국제
동일국가에서의 출발과 도착	예	아니오
한 나라에서 출발 후 다른 나라에 도착	아니오	예

항공 배출량 인벤토리을 수집한 과거 경험에 따르면 국제/국내 구분에 관한, 특히 *1996 IPCC 가이드라인/GPG 2000* (2004 4월 ICAO/UNFCCC 국제 회의 요약보고서)에서 요청되었던 동일 국가 내의 도착지점에서 여객과 화물을 싣고 내리는데 대한 정보를 얻는 데에 어려움이 있었다. 대부분의 비행자료는 각각의 비행구간(한 번의 이륙에서 그다음 착륙까지)을 기초로 하여 수집되며 다른 종류의 중간경유지 간을 구별하지 않는다. 그러므로 비행구간자료(출발지/행선지)에서의 구별을 기준으로 하는 것이 더 간단하고 불확도를 줄일 것이다. 이 변화가 배출량 산정에 상당한 변화를 일으키지는 않을 것이다.[19] 이것이 국제 항공에서의 배출이 기록 항목(memo item)으로 보고되고

18 나라마다 NO_X배출량에서 N_2O로 변환시키는데 사용되는 방법들은 다르다.

19 어떤 나라에서 GPG 2000 정의를 사용하는 것을 채택한다면 그 논거와 정당화를 명백하게 언급하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

국가 총계에서 포함되지 않는 방식을 변화시키지는 않는다.

기술의 발전과 항공사 운영 수완의 최적화로 기술적 중간경유지의 필요성을 상당히 감소하였다. 기술적 중간 경유지는 또한 국내와 국제로 구분하는 비행의 정의를 바꾸지는 않는다. 예를 들어, 만약 명확한 자료가 이용가능하다면 국가는 국제 비행 구간에 대해서 한 나라에서 출발하여 다른 나라에 도착하는 것으로 정의할 수 있으며 기술적 중간경유지를 만들 수 있을 것이다. 기술적 경유지는 순전히 연료 주입이나 기술적 결함을 해결하기위한 목적일 뿐 여객이나 화물의 교역을 위한 목적은 아니다.

만약 국가 에너지 통계가 이 정의와 일관성 있는 자료를 아직 제공하지 않는다면, 국가는 아래에 제시된 방식을 이용한 정의에 따라 국내와 국제 연료 소비 사이의 구분을 산정해야한다.

Top-down 자료는 국내 소비 연료가 과세 대상이 된 경우에는 과세 당국으로부터 구할 수 있지만, 그 소비가 국제사용을 위한 것에는 과세되지 않는다. 공항 또는 연료 공급자는 국내와 국제 항공에 항공유와 항공 휘발유의 공급에 대한 자료를 가지고 있을 것이다. 대부분의 국가에서 세금과 관세는 국내 소비 연료에 부과되고, 국제소비(bunkers)에 대한 연료에는 면제된다. 더 직접적인 자료의 출처(source)가 없을 때는, 국내 세금에 대한 정보가 국내와 국제 연료 소비를 구분 짓는데 사용될 수 있다.

Bottom-up 자료는 국내와 국제 항공에 사용된 연료에 대한 항공회사의 조사, 혹은 비행기 운항 자료와 연료 소비에 대한 표준 표를 이용한 산정을 통해 구할 수 있다. 항공사로부터 구할 수 있는 비행기(이착륙당 연료사용량, 순항한 항해 마일당 연료사용량)의 연료 소비계수를 산정에 사용할 수 있다.

비행기 운행을 포함하여 bottom-up 자료에 대한 출처(source)의 예:

- 국가 통계의 한 부분으로서의 통계 사무소 또는 수송부
- 공항기록
- ATC(항공교통제어) 기록, 예를 들어 EUROCONTROL 통계
- 전세기 운전자의 정규 출발 일정뿐만 아니라 여객기와 화물수송기에 대한 전 세계적인 비행 시간표가 포함되어 있는 월간 정식항공시간표(OAG)의 항공 운송기 일정. 특별 전세기 운행은 포함하지 않는다.

이들 자료들 중 어떤 것은 모든 항공기에 적용되지 않는다.(예] 전세기는 제외될 것임) 반면에, 항공 시간표 자료에는 항공사 간의 코드 공유 또는 중복된 항공편 번호 때문에 중복 비행이 포함될 수 있다. 이렇게 중복되는 경우들을 찾아내고 소거하기 위해서 많은 방법들이 개발되어 왔다. (Baughcum *et al.*, 1996; Sutkus *et al.*, 2001)
표 3.6.9에 명시된 항공기별 이착륙 배출계수는 아래에 제시된 가정을 근거로 정의된다. 각각의 그룹의 명확한 자료들을 설명하고 반영하기 위해 항공기를 4개의 주요그룹으로 나누어 놓았다.

대형 상업용 항공기(Large Commercial Aircraft): 여기엔 2004 운항 항공기를 반영하는 비행기와,

하위 모델로 정의되는 역 호환성(back compatibility)을 위한 몇몇 비행기 종류가 포함된다. 이 방법은 운영되는 비행기의 배출량을 가장 정확히 반영할 것이라고 생각된다. 표 크기를 최소화하기 위해, 이착륙 배출계수가 비슷한 몇 비행기 하위 모델들은 그룹으로 묶는다. 대형 상업용 항공기 그룹의 LTO 배출계수 자료는 ICAO 엔진 배기 배출 자료 은행(Engine Exhaust Emissions Data Bank)(ICAO,2004a)에서 찾을 수 있다.

지방 제트기(Regional Jets): 2004 운영 중인 지방 제트기(RJ)의 대표들이 이 그룹에 포함된다. 대표 지방 제트기는 이용 가능한 이착륙 배출계수의 적절한 범위를 제공하느냐를 근거로 하여 선택된다. 지방 제트기의 이착륙 배출계수는 ICAO 엔진 배기 배출 자료 은행(Engine Exhaust Emission Data Bank)(ICAO,2004a)에서 찾을 수 있다.

저 추진력 제트기(Low Thrust Jets): 저 추진력(엔진추진력이 26.7kN이하) 카테고리에 속하는 항공기의 운항이 무시할 수 없는 수를 차지하는 몇몇 나라에서는 배출 인벤토리에 그것을 포함시켜야 한다. 하지만 이 그룹의 항공기 엔진은 ICAO 엔진 배출기준에서 취급하지 않으므로, 그 항공기의 LTO배출계수들은 ICAO 엔진 배기 배출 자료 은행에 기록이 되지 않고 자료 제공에 어려움이 있다. 따라서 이 그룹의 항공기들은 대표적으로 한 가지 전형적인 배출량을 적용한다. 저 추진력 항공기 그룹의 이착륙 배출계수 자료는 FAA의 배출과 분산 모델링 시스템(FAA's Emissions and Dispersion Modelling System(EDMS))(FAA 2004b)에서 찾을 수 있다.

터보 프로펠러기(Turboprop): 2004 터보프로펠러기를 대표하는 항공기들이 이 그룹에 포함된다. 터보프로펠러기는 엔진의 축 마력을 기준으로 3가지의 전형적인 항공기 형태로 나나타낼 수 있다. 터보프로펠러기의 이착륙 배출계수는 스웨덴 항공 협회(Swedish Aeronautical Institute)(FOI)의 이착륙 배출 데이터베이스에서 찾을 수 있다.

다른 출처(예] EEA,2002)에서도 유사한 자료를 구할 수 있다. 터보프로펠러기와 피스톤 엔진 항공기에 대한 등가 자료(equivalent data)는 다른 출처에서 구해야 할 필요가 있다. 실제 항공기와 대표 항공기의 관계는 표 3.6.3에 제공된다.

항공기 자료는 다양한 출처로부터 얻을 수 있다. ICAO는 두 통계 부프로그램(sub program)을 통해서 상업 항공기 기관(States)으로부터 보고된 상업 항공기와 12월 31에 등록된 민간항공기 기관(States)으로부터 보고된 등록 민간 항공기의 전반적인 자료를 모은다.(ICAO 2004b)

몇몇의 ICAO 기관에서는 상업용과 비상업용 항공기를 구분하기 힘들어 이러한 자료수집에 동참하지 않는다. 이런 이유로, ICAO 또한 다른 외부 자료를 이용한다. 이러한 외부 자원으로는 Bureau Veritas(France), CAA(UK), ENAC(Italy)가 ICAO와 협력하여 발간한 '국제 등록 민간항공기(International Register of Civil Aircraft),2004'가 있다. 이 데이터베이스에는 45개 주(미국 포함) 450,000대의 항공기에 달하는 민간항공기의 자료가 등록되어 있다.

위에 기술된 내용 이외에, ICAO가 사용하는 상용 데이터베이스도 있다. 영역과 항공기의 크기의 제한으로 인해 그 중에 어떠한 것도 전체 항공기에 대해서 다루지는 않는다. BACK Aviation Solutions Fleet Data(30석 이상의 고정익형 항공기), Air Claims CASE DB(고정익형 제트기와 상용 터보프로펠러기), BUCHAir, JP Airline of Fleet 발행자(고정익형과 회전익형 항공기 모두 취급)등이 이용되며, AvSoft같은 다른 회사에서도 적절한 정보를 가지고 있으므로, 이런 회사들의 홈페이지로부터 더 많은 정보를 얻을 수 있다.

3.6.1.4 군사 항공

여기서 군사 활동이란 그 나라의 군 당국에 공급되거나 군 당국에 의해 구입되는 연료를 사용하는 활동으로 정의된다. 항공연료사용으로부터 나온 배출량은 식 3.6.1과 민간 항공기에 추천된 것과 같은 계산방식을 이용하여 산정할 수 있다. 몇몇의 군사 수송기와 헬리콥터는 민간항공기와 비슷한 연료와 배출특성을 가진다. 그러므로 더 적합한 자료를 이용할 수 없다면, 민간항공기의 기본 배출계수 값을 군사항공에서 사용해야 한다. 다른 방법으로는, 운영 시간을 이용해 연료 사용량을 산정할 수 있다. 군사항공기에 대한 기본 연료소비계수 값들은 표 3.6.7과 표 3.6.8에 제공된다. 연료 사용 계수 값들은 3.6.1.3절 '활동도 자료의 선택'을 참고하라.

표 3.6.7
군사항공의 연료 소비계수

그룹	하위 그룹	대표적인 형태	Fuel Flow(kg/hour)
전투용	고속제트기-고 추진력	F16	3,284
	고속제트기-저 추진력	Tiger F-5E	2,100
훈련용	훈련용 제트기	Hawk	720
	훈련용 터보프로펠러기	PC-7	120
급유기/운송용 항공기	대형 급유기/수송기	C-130	2,225
	소형 수송기	ATP	499
기타	MPAs 해상 순찰	C-130	2,225

출처: Gardner *et.al* 1998(USEPA,2005)의 Table 3.1과 3.2

표 3.6.8
군사 항공의 비행시간당 연료소비

항공기형태	항공기 설명	연료사용(L/hr)
A-10A	2엔진 경 폭격기	2331
B-1B	4엔진 장거리 전술 폭격기. 미국만 사용	13959
B-52H	8엔진 장거리 전술 폭격기. 미국만 사용	12833
C-12J	2 터보프로펠러 경 수송기. Beech Kig 항공 변형	398
C-130B	4 터보프로펠러 수송기. 여러나라에서 사용	2956
C-141B	4엔진 장거리 수송기. 미국만 사용	7849
C-5B	4엔진 장거리 중 수송기. 미국만 사용	13473
C-9C	2 엔진 수송기. DC-9의 군용 변형	3745
E-4B	4엔진 수송기. 보잉 747의 군용 변형	17339
F-15D	2 엔진 전투기	5825
F-15E	2엔진 전투 폭격기	6951
F-16C	단 엔진 전투기. 여러나라에서 사용	3252
KC-10A	3 엔진 연료수송기. DC-10의 군용 변형	10002
KC-135E	4엔진 연료 수송기. 보잉 707의 군용변형	7134
KC-135R	보잉 707 신 엔진 장착 4엔진 연료수송기.	6064
T-37B	2 엔진 제트 훈련기	694
T-38A	2 엔진 제트 훈련기. F-5와 유사	262

군사항공(수송기, 헬리콥터, 전투기)은 민간항공과 유사하지 않을 수도 있다. 그래서 자료이용이 가능할 때에는 더욱더 세부적인 자료 분석이 필요하다. 인벤토리 작성자는 그 국가의 군사항공에 대한 가장 적절한 배출계수 값을 결정하기 위해 군 전문가와 상의해야 한다.
보안문제로 인해('완전성'과 '보고'참조) 인벤토리 작성자들이 군에서 사용되는 연료량에 대한 자료를 모으기는 힘들다. 국가는 민간, 국가, 국제 항공 운영을 정의하는 규칙들의 적용이 필요한 자료가 비교·사용 가능하다면 군사 운영에 그 규칙을 적용할 수 있다.

이런 경우에, 국제 군사배출은 국제 벙커(International Bunker)에서 보고되어야 하지만, 그 후에 별도로 나타내야 한다. 군사연료 사용에 대한 자료는 정부 군사 기관이나 연료 공급자로부터 구해야 한다. 만약 자료 구분이 불가능할 때는, 군사 활동에 사용된 모든 연료는 국내용으로 취급되어야 한다.

UN의 헌장에 준한 다국적 작전으로 인한 배출량은 국가 총계에 포함하지 않는다. 작전에 관련된 다른 배출들은 하나 이상의 관련단체의 국가 배출 총량에 포함되어야 할 것이다. 국가 계산(national calculations)에는 그 나라에 공급되지만 타국 군대에서 소비하는 연료 뿐만 아니라 그 나라의 군대에 공급되는 연료가 고려되어야 한다. 운영에 관련된 다른 배출은(예] 비도로 지상 지원 장비) 적절한 배출원 카테고리 하에서 국가 총계에 포함되어야 할 것이다.

이런 자료는 국가별 환경이 다양하여 이 표에서 가정한 것과 다를 수 있으므로 주의 깊게 사용되어야 한다. 특히, 이동 거리와 연료소비는 국가 경로 체계, 항공 정체 그리고 항공 교통 제어 관례에 따라 영향을 받을 수 있다.

3.6.1.5 완전성

방법에 상관없이, 한 국가 내에서 항공에 소비되는 모든 연료를 설명하는 것은 중요하다. 그 방법들은 연료 총사용량을 근거로 하고, CO_2배출을 완전하게 포함해야 한다. 하지만 이착륙 통계자료가 완전하지 않으면, Tier 2 방법을 위한 이착륙과 순항간의 배정은 불완전할 것이다. 또한, Tier 2 방법은 정규비행과 전세비행에서 승객과 화물을 수송하는데 초점을 맞출 것이므로 모든 항공을 취급하지는 않는다. 게다가, Tier2 방법은 연료 사용량이 중요하게 고려되어야 하는 농업용 비행기, 자가용 제트기나 헬리콥터 같은 일반 항공과 비정규적인 비행을 자동으로 포함하지 않는다. 완전성은 군사 자료가 보안사항일 때 문제가 될 수도 있으며, 이런 경우에는 군사 연료 사용을 다른 배출원 카테고리에 포함시키는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

기타 항공 관련활동으로 인한 배출로는 일반적인 연료 취급과 연료주입, 비행기 엔진의 유지보수, 사고방지를 위한 연료 투척 등이 있다. 또한, 겨울철에는 공항단지에서의 기체와 날개에 대한 냉각방지처리 및 제빙처리가 배출원이 된다. 이 처리과정에 사용된 많은 물질들이 비행기가 공회전, taxiing, 이륙할 때 날개에서 떨어져 나가서는 증발한다. 그러나 이런 배출량은 매우 적어서 그것을 산정하기 위한 특정 방법이 따로 있지는 않다.

국내와 국제배출 사이의 구별에 대한 추가적인 과제가 있다. 이 카테고리에서 각 나라마다 자료의 출처가 유일하기 때문에, 명확한 자료가 없을 시에는 어떻게 할당할 것인가에 관해 일반적인 규칙으로 공식화하는 것은 불가능하다. 완전성의 문제를 평가받을 수 있게 하기 위해서 가정을 명확하게 지정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

3.6.1.6 일관성 있는 시계열(time series)의 개발

'제 1권 제 5장: *2006 IPCC 가이드라인*'의 시계열 일관성 및 재계산'은 시계열의 매 해마다 같은 데이터 세트나 방법이 사용될 수 없는 유형에 대한 배출량 평가 산정을 어떻게 개발하느냐에 대한 더 많은 정보를 제공한다. 만약 기준년도(예] 1990년)의 활동도 자료를 사용할 수 없다면, 해당 년도의 km당 화물과 승객의 추이, 총 사용/공급 연료량, 이착륙 횟수와 같은 자료를 이용하여 외삽법으로 추론하는 옵션이 있을 것이다.
CH_4와 NO_X(그리고, 추론에 의한 N_2O)의 배출 경향은 항공기 엔진 기술과 그 나라의 항공기 구성의 변화에 영향을 받을 것이다. 이런 항공기 구성의 변화는 추후 설명 될 수 있어야만 하고, 이는 1990년 이후 기간 동안의 개별 항공기 종류를 기초로 한 Tier 2와 Tier 3B 방법을 사용하는 것이 가장 좋은 결과를 낼 것이다. 만약에 항공기 구성이 변화하지 않는다면, 모든 해에 같은 배출계수들을 사용하여야 한다.

모든 방법은 연료사용의 변화를 선도하는 저감 옵션의 결과를 정확히 나타낼 수 있어야 한다. 그러나 개별 항공기에 기반을 둔 Tier 2와 3B방법에서만 낮은 배출계수를 야기하는 저감 옵션의 영향을 포착할 수 있다.

Tier 2는 순항 과정과는 본질적으로 다른 상승 과정의 NO_X배출을 설명하기 위해 수정되어왔다. 상승 과정에서 요구되는 추진력/동력이 크고 그것은 더 많은 NO_x생산과 연관되므로 그 과정동안 계산된 NO_x의 양은 대략 15~20%의 차이가 난다. 만약에 Tier 2를 사용한다면, 일관된 시계열을 개발시키기 위해서는 특별한 주의를 기울일 필요가 있다.

3.6.1.7 불확도 평가

배출계수

CO_2배출계수는 오직 연료의 탄소함유량과 산화된 비율에 따르기 때문에 ±5%범위 안에 들어야 한다. 그러나 아래에 논하는 활동도 자료의 불확도에 기초를 둔 CO_2계산은 애초에 상당한 불확도가 존재한다. Tier 1에서 CH_4의 배출계수의 불확도는 -57~+100%범위가 될 수 있으며, N_2O배출계수의 불확도는 -70~+150%범위가 될 수 있다. 더욱이 CH_4와 N_2O 배출계수들은 기술에 따라 다양하기 때문에 일반적으로 항공에서는 단순화를 위해 하나의 배출계수를 사용하는 것을 고려할 만하다.

표 3.6.9에서 나타낸 이착륙 배출계수와 관련된 불확도의 계산에 도움이 되는 정보는 Lister and Norman, 2003과 ICAO, 1993에서 찾을 수 있다. 표 3.6.10에 나타낸 이착륙 배출계수와 관련된 불확도의 계산에 도움이 되는 정보는 Baughcum *et al*, 1996, Sutkus, *et al*, 2001, Eyer *et al*, 2004, Kim, 2005 a and b, Malwitz, 2005에서 찾을 수 있다. 만약 불확도를 계산하는데 대한 정보가 없다면, 불확도 영역에 대해서는 3.6.1.2절에서 정의된 기본 계수를 사용할 수 있다.

표 3.6.10에 나타낸 Tier 2에 대한 순항 과정 NO_X 배출계수에는 상당한 주의가 필요하다. 상승 과정의 배출은 순항 과정의 배출과 상당한 차이가 있다는 사실을 반영한 1996 지침서로부터 이런 배출계수들의 최신정보를 얻을 수 있다. NO_X배출계수는 1~9km 구간과 9~13km 구간의 두 가지로 나누어서 계산하고, 그 과정에서 요구되는 추진력/동력이 다르고 그로 인해 NO_x의 생산량도

틀려지므로 대략 15~20%의 차이가 나는 것을 고려하여 계산한다. 만약에, Tier 2를 사용한다면, 일관성 있는 시계열(3.6.1.2절과 제 1권 제 5장 참고)을 보고하는 것에 주의해야 한다.

활동도자료

보고서 작성시 불확도는 국제항공과 별개로 국내항공으로 수집된 자료의 정확성에 많은 영향을 받을 것이다. 완벽한 조사 자료를 토대로 하면 불확도는 5% 이하 수준으로 매우 낮아지는 반면에, 완벽하지 않은 자료를 토대로 하면 불확도는 국내 부분에 대해 두 배 가까이 높아진다. 인용된 불확도 범위는 중앙 평가(central estimate) 주위의 대략 95% 신뢰구간을 목표로 하는 전문가의 비공식 여론조사로 나타낸다. 불확도는 나라마다 많은 차이가 있어 일반화하기가 힘들다. 레이더로 제공되는 전 세계 데이터세트를 이 영역에 사용하는 것이 도움이 될 것이고, 보고서의 작성이 차후에 이 카테고리를 개선할 것으로 기대된다.

3.6.2 인벤토리 QA/QC

제 1권 제 6장(QA/QC 와 검증), Tier 1 일반 인벤토리 수준 QC 절차(General Inventory Level QC Procedures)에 개략된 것처럼 품질 제어 검사를 실행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. Tier 2와 Tier 3 방법을 사용할 때에 배출량 산정에 있어 전문가의 검토를 받는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 특히 만약 상위 Tier 방법이 이 배출원 카테고리의 배출량 산정에 이용된다면, 동일한 장 내의 Tier 2 절차에 개략된 것 같은 추가적인 품질 제어 검사와 품질보증 절차가 적용가능할 것이다. 인벤토리 작성자는 제 1권 제 4장에서 정의된 주 카테고리를 위해 상위 Tier의 QA/QC 사용할 것을 권장한다.

이 배출원 카테고리에 관련된 구체적인 절차를 아래에서 기술하였다.

대체방안을 사용한 발생량 비교

만약 상위 Tier 방식이 사용된다면, 인벤토리 작성자는 인벤토리를 하위 Tier 방법으로 측정한 값과 비교해야 한다. 배출 산정값 간에 어떤 예외 사항들이 있으면 그에 대한 조사를 실시하고 해명을 해야 한다. 그러한 비교결과는 내부 문서화를 위해 기록을 남겨야 한다.

배출계수 검토

만약 기본 값을 사용하는 대신에 국가 계수가 사용된다면, 배출계수의 출간에 관련된 QC 검토를 직접 참조로 싣고, 그 절차가 선례와 일관되는 것을 확실히 하기 위해 QA/QC의 문서에 그 검토를 포함시킨다. 배출량 편집자는 그 계수들이 적용 가능하다는 더 나은 지침을 제공하기 위해서 가능하면 IPCC의 기본 값들과 국가 계수를 비교해보아야 한다. 만약 군사적 사용으로부터 나온 배출량이 기본 값이 아닌 다른 값을 사용하여 발전되었다면, 계산의 정확성과 자료의 적합성 및 응용가능성이 검토되어야 한다.

표 3.6.9
대표적인 항공기의 LTO 배출계수

	항공기	LTO 배출계수(kg/LTO/)[12]							LTO 연료소비 (kg/LTO)
		CO_2[11]	CH_4[7]	N_2O[9]	NO_X	CO	NMVOC[8]	SO_2[10]	
대형상업항공기[1][2]	A300	5450	0.12	0.2	25.86	14.80	1.12	1.72	1720
	A310	4760	0.63	0.2	19.46	28.30	5.67	1.51	1510
	A319	2310	0.06	0.1	8.73	6.35	0.54	0.73	730
	A320	2440	0.06	0.1	9.01	6.19	0.51	0.77	770
	A321	3020	0.14	0.1	16.72	7.55	1.27	0.96	960
	A330-200/300	7050	0.13	0.2	35.57	16.20	1.15	2.23	2230
	A340-200	5890	0.42	0.2	28.31	26.19	3.78	1.86	1860
	A340-300	6380	0.39	0.2	34.81	25.23	3.51	2.02	2020
	A340-500/600	10600	0.01	0.3	64.45	16.31	0.13	3.37	3370
	707	5890	9.75	0.2	10.96	92.37	87.71	1.86	1860
	717	2140	0.01	0.1	6.68	6.78	0.05	0.68	680
	727-100	3970	0.69	0.1	9.23	24.44	6.25	1.26	1260
	727-200	4610	0.81	0.1	11.97	27.16	7.32	1.46	460
	737-100/200	2740	0.45	0.1	6.74	16.04	4.06	0.87	870
	737-300/400/500	2480	0.08	0.1	7.19	13.03	0.75	0.78	780
	737-600	2280	0.10	0.1	7.66	8.65	0.91	0.72	720
	737-700	2460	0.09	0.1	9.12	8.00	0.78	0.78	780
	737-800/900	2780	0.07	0.1	12.30	7.07	0.65	0.88	880
	747-100	10140	4.84	0.3	49.17	114.59	43.59	3.21	3210
	747-200	11370	1.82	0.4	49.52	79.78	16.41	3.60	3600
	747-300	11080	0.27	0.4	65.00	17.84	2.46	3.51	3510
	747-400	10240	0.22	0.3	42.88	26.72	2.02	3.24	3240
	757-200	4320	0.02	0.1	23.43	8.08	0.20	1.37	1370
	757-300	4630	0.01	0.1	17.85	11.62	0.10	1.46	1460
	767-200	4620	0.33	0.1	23.76	14.80	2.99	1.46	1460
	767-300	5610	0.12	0.2	28.19	14.47	1.07	1.77	1780
	767-400	5520	0.10	0.2	24.80	12.37	0.88	1.75	1750
	777-200/300	8100	0.07	0.3	52.81	12.76	0.59	2.56	2560
	DC-10	7290	0.24	0.2	35.65	20.59	2.13	2.31	2310
	DC8-50/60/70	5360	0.15	0.2	15.62	26.31	1.36	1.70	1700
	DC-9	2650	0.46	0.1	6.16	16.29	4.17	0.84	840
	L-1011	7300	7.40	0.2	31.64	103.33	66.56	2.31	2310

표 3.6.9(계속)
대표적인 항공기의 LTO 배출계수

	항공기	LTO 배출계수(kg/LTO/)[12]							LTO 연료소비 (kg/LTO)
		CO_2[11]	CH_4[7]	N_2O[9]	NO_X	CO	NMVOC[8]	SO_2[10]	
	MD-11	7290	0.24	0.2	35.65	20.59	2.13	2.31	2310
	MD-80	3180	0.19	0.1	11.97	6.46	1.69	1.01	1010
	MD-90	2760	0.01	0.1	10.76	5.53	0.06	0.87	870
	TU-134	2930	1.80	0.1	8.68	27.98	16.19	0.93	930
	TU-154-M	5960	1.32	0.2	12.00	82.88	11.85	1.89	4890
	TU-154-B	7030	11.90	0.2	14.33	143.05	107.13	2.22	2230
지방 제트기	RJ-RJ85	1910	0.13	0.1	4.34	11.21	1.21	0.60	600
	BAE 146	1800	0.14	0.1	4.07	11.18	1.27	0.57	570
	CRJ-100ER	1060	0.06	0.03	2.27	6.70	0.56	0.33	330
	ERJ-145	990	0.06	0.03	2.69	6.18	0.50	0.31	310
	Fokker 100/70/28	2390	0.14	0.1	5.75	13.84	1.29	0.76	760
	BAC111	2520	0.15	0.1	7.40	13.07	1.36	0.80	800
	Dornier 328 Jet	870	0.06	0.03	2.99	5.35	0.52	0.27	280
	Gulfstream IV	2160	0.14	0.1	5.63	8.88	1.23	0.68	680
	Gulfstream V	1890	0.03	0.1	5.58	8.42	0.28	0.60	600
	Yak-42M	2880	0.25	0.1	10.66	10.22	2.27	0.91	910
제트기[13] (Fn)	Cessna 525/560	1070	0.33	0.03	0.74	34.07	3.01	0.34	340
터보프로펠러기	Beech King Air[5]	230	0.06	0.01	0.30	2.97	0.58	0.07	70
	DHC8-100[6]	640	0.00	0.02	1.51	2.24	0.00	0.20	200
	ATR72-500[7]	620	0.03	0.02	1.82	2.33	0.26	0.20	200

(1) 평균 측정 데이터에 기준을 둔 ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank (ICAO,2004). 배출계수는 이착륙(Landing and Take off)에 한해 적용한다.

(2) 각 항공기의 엔진 종류는 가장 이착륙 횟수가 많은 엔진을 일관된 기준으로 선별되었다. 몇몇의 엔진 종류에 대해 이 방식은 연료소비에 직접적인 관련이 적은 항공기 배출량을(예] NO_x, CO, HC) 과소평가나 과대평가할 수도 있다.

(3) 배출과 분산 모델링 시스템(EDMS) (FAA2004b)

(4) FOI(The Swedish Defence Research Agency) 터보프로펠러기 이착륙 배출량 데이터베이스(DB)

(5) 1000shp/engine이하의 축마력을 가지는 대표적인 터보프로펠러기

(6) 1000shp/engine이상 GPG 2000shp/engine이하의 축마력을 가지는 대표적인 터보프로펠러기

(7) GPG 2000shp/engine이상의 축마력을 가지는 대표적인 터보프로펠러기

(8) 이착륙 과정에서의 메탄 배출량은 총 VOC배출량의 10%로 가정

(9) Tier 1의 기본값에 기준을 둔 산정값(EF ID 11053)(*1996 IPCC 가이드라인*)

(10) 연료 중 황 함유량은 0.05%로 가정(*1996 IPCC 가이드라인*)

(11) 연료 1kg 사용 시 3.16kg의 CO_2가 생성된다고 기준하여 각 비행기의 CO_2는 약 10kg 주위에 분포

(12) 이 자료와 관련 있는 불확도에 대한 정보는 Lister and Norman ,2003; ICAO,1993에서 찾을 수 있다.

2005 개정판에 준비된 표는 배출계수 데이터베이서에서 이용가능하다.

표 3.6.10
순항 단계에서의 여러 항공기의 NO_X배출계수

	항공기	NO_X배출계수(g/kg)[(1)(5)]
대형 상업용 항공기	A300	14.8
	A310	12.2
	A319	11.6
	A320	12.9
	A321	16.1
	A330-200/300	13.8
	A340-200	14.5
	A340-300	14.6
	A340-500/600	13.0(2)
	707	5.9
	717	11.5(3)
	727-100	8.7
	727-200	9.5
	737-100/200	8.7
	737-300/400/500	11.0
	737-600	12.8
	737-700	12.4
	737-800/900	14.0
	747-100	15.5
	747-200	12.8
	747-300	15.2
	747-400	12.4
	757-200	11.8
	757-300	9.8[(3)]
	767-200	13.3
	767-300	14.3
	767-400	13.7[(3)]
	777-200/300	14.1
	DC-10	13.9
	DC-8-50/60/70	10.8
	DC-9	9.1
	L-1011	15.7
	MD-11	13.2
	MD-80	12.4
	MD-90	14.2
	TU-134	8.5
	TU-154-M	9.1
	TU-154-B	9.1
지방 제트기	RJ-RJ85	15.6
	BAE 146	8.4
	CRJ-100ER	8.0
	ERJ-145	7.9
	Fokker 100/70/28	8.4
	BAC111	12.0
	Dornier 328 Jet	14.8[(2)]
	Gulfstream IV	8.0[(2)]
	Gulfstream V	9.5[(2)]
	Yak-42M	15.6[(4)]
저 추진력 제트기 (Fn<26.7kN)	Cessna 525/560	7.2[(4)]
터보 프로펠러기	Beech King Air	8.5
	DHC8-100	12.8
	ATR72-500	14.2

주
(1) 만약 다른데 명시하지 않았다면, Sutkus *et al* 2001 참고
(2) SAGE model Kim, 2005 a와b; Malwitz,2005의 자료
(3) Sutkus, Baighcum, DuBois, 2003
(4) SAGE(Kim,2005 a와b; Malwitz,2005)와 AERO2k(Eyers *et al*, 2004)자료의 평균값
(5) 불확도의 계산에 도움을 주는 정보는 Baughcum *et al*, 1996; Sutkus, *et al*, 2001; Eyers *et al*, 2004; Kim, 2005 a와 b; Malwitz, 2005에서 찾을 수 있다.

활동도 자료 검사

카테고리에 대한 적용가능성과 적절함을 확실하게 하기 위해 활동도 자료의 출처를 검토해야 한다. 가능한 모든 곳에서 자료들은 예외사항을 찾기 위해 과거의 활동도 자료나 모델링 결과와 비교되어야 한다. 인벤토리 산정을 준비할 때, 인벤토리 작성자는 국내와 국제 항공의 배출량을 구별 짓는데 사용되는 활동도 자료의 신뢰성을 확실히 해야 한다.

자료들은 교통운행단위(승객・km 또는 ton・km)당 연료사용과 같은 생산성지표에 의해 검토될 수 있다. 다른 나라로부터의 자료를 비교하는 곳에서는 자료의 폭(band)이 작아야 한다.

유럽환경청(EEA)에서는 유럽의 각각의 운송 방식에 대한 배출량과 승객/화물 용량을 나타내는 유용한 데이터세트를 제공한다. 예를 들어, Norway는 국내항공에서 배출량을 0.22kg CO_2/명・km라고 산정한다. 그러나, 전 세계의 항공기에는 상대적으로 에너지 효율이 작은 소형 항공기까지도 많이 포함되어 있다는 것을 유념해야한다. 미국 교통부는 미국항공기의 평균 에너지 강도(energy intensity)를 3,666 Btu/명・mile(2403 kJ/명・km)라고 산정한다. 국제항공운송협회(International Air Transport Association)에서는 항공기가 평균적으로 100명・km당 3.5L의 제트연료(U.S. gallon당 67명・mile)를 소비한다고 산정하고 있다.

활동도 자료에서 정기운항에 대한 신뢰는, CO_2계산에 연료사용량을 단순히 신뢰하는 것보다 더 높은 불확도를 초래할 수 있다. 그러나 다른 활동에 의한 제트연료의 손실과 소비는 항공 기여도의 과대평가를 야기할 것이다.

외부 검토

인벤토리 작성자는 QC 프로그램의 효율성을 평가하기 위해 배출 인벤토리의 계산, 가정, 문서화의 독립적이고 객관적인 검토를 수행해야 한다. 검토는 배출 인벤토리 요구 조건을 이해하고 있으며, 배출원 카테고리에 익숙한 전문가(예] 항공당국, 항공회사, 군당사자)에 의해 실행되어야 한다.

3.6.3 보고서 작성과 문서화

*2006 IPCC 가이드라인*의 제 1권 제 8장에 개략된 것과 같이 국가 배출 인벤토리 산정을 위한 모든 정보는 문서화하여 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이 배출원 카테고리와 관련된 구체적인 보고서 작성과 문서화에 대한 몇 가지 예를 아래에 제시하였다.

인벤토리 작성자는 국제 항공에 대한 배출량을 국내와 별도로 보고해야 하고, 국가 총계에서는 국제 항공으로부터의 배출량을 제외해야 한다. 모든 나라에서는 항공 활동이 있으므로, 이 카테고리에서의 배출량을 보고할 것으로 기대된다. 비록 면적이 작은 국가에서는 국내항공이 없다고 하더라도, 국제 항공으로부터의 배출량은 보고되어야 한다. 인벤토리 작성자는 그 지침서 내에 국내와 국제항공의 정의를 어떻게 적용하였는지 설명해야 한다.

인벤토리 작성자가 순항 과정과는 별개로 이착륙 과정에서의 배출량에 대한 자료를 제공한다면 투명성(Transparency)이 향상될 것이다. 군사항공으로부터의 배출량은 국가 온실가스 인벤토리의 투명성을 향상할 수 있도록 위해 명확히 지정되어야 한다. 표준 표에서 제시된 수적인 정보에 추

가적으로, 다음의 조항들이 투명성을 증가시킬 것이다.

- 사용한 방법에 따른 연료자료와 기타 필수자료(예] 연료 소비 계수)의 출처
- 국내와 국제로 구분한 항공기 운항 횟수
- 사용한 배출계수(기본 값과 다를 때), 자료의 출처는 명시되어야 한다.
- 만약 Tier3방법을 사용한다면, 배출량 자료는 상용 정기 항공과 기타 제트연료 활동으로 각각 따로 제공되어야 한다.

만약 어느 국가에 단지 하나 또는 두 개의 항공회사만이 국내 운송을 운영한다면 보안이 문제가 될 것이다. 보안은 또한 투명한 방식으로 군사항공을 보고하는 데에도 문제가 될 것이다.

3.6.4 보고용 표와 워크시트

각 배출원 카테고리 별로 채워지는 Tier 1 Sector별 방식을 이용하기 위한 제 4장의 작업 워크시트(첨부 1)를 참고하라. 보고용 표는 제 1권 제 8장에서 이용할 수 있다.

3.6.5 전문 용어의 정의

-항공 휘발유(Aviation Gasoline): 소형 피스톤 엔진 비행기에만 사용되는 연료를 말하며, 전체 항공에서 사용하는 연료의 1%도 되지 않는다.

-상승(Climb): 항공기의 비행의 일부로서, 이륙한 후부터 항공기가 914m(3000feet)위에 도달하거나, 지면으로부터 정해진 순항높이에 비행기가 도달할 때까지를 포함한다.

-상업 정기(Commercial scheduled): 공공으로 이용하는 일정을 가지는 모든 상업용 항공기의 운영(예] Official Airline Guide, OAG2006에 명시), 주로 승객 접대를 포함. 일정외의 화물, 전세, 에어택시, 구급용과 같이 공공으로 이용하는 일정에 맞춰 운영되지 않는 활동들은 이 정의에 포함되지 않는다. Note: 상업 정기 항공은 제트연료 동력 항공 운영의 개념 내에 포함된다.

-순항(Cruise): 상승이나 하강을 포함한 914미터 이상의 고도에서의 모든 항공 활동. 상한 제한은 없다.

-가스터빈엔진(Gas Turbine Engine): 연소가스의 흐름으로부터 에너지를 얻는 회전식 엔진. 공기가 연료와 섞여서 발화되는 연소기 내에서 기류에 에너지가 추가된다. 연소는 기류의 온도와 부피를 증가시키고, 이것은 터빈 블레이드 위의 노즐을 통해서 직접 연결되어 터빈을 회전시키거나 콤프레셔를 작동시킨다. 항공기에서, 에너지는 추진력의 형태로 사용되거나, 팬이나 프로펠러를 작동시키는 터빈을 통해 사용된다.

참고문헌

ROAD TRANSPORTATION

ADEME/DIREM (2002). Agence de l''Environnement et de la Maltrlse de l''Energle, La direction des ressources énergétiques et minérales, Ecobilan, PricewaterhouseCoopers, ''Energy and greenhouse gas balances of biofuels'' production chains in France.'' December, www.ademe.fr/partenaires/agrice/publications/ocuments_anglais/synthesis_energy_and_greenhouse_english.pdf

ARB (2004). ''Technical Support Document for Staff Proposal Regarding Reduction of greenhouse gas emissions from motor vehicles, climate change emissions inventory''. California Air Resources Board(August 6 2004)

Ballantyne, V. F., Howes, P., and Stephanson, L. (1994). ''Nitrous oxide emissions from light duty vehicles.''SAE Tech. Paper Series (#940304), 67 -75.

Beer, T., Grant, T., Brown, R., Edwards, J., Nelson, P., Watson, H., Williams, D., (GPG 2000). ''Life-cycle emissionsanalysis of alternative fuels for heavy vehicles''. CSIRO Atmospheric Research Report C/0411/1.1/F2 to the Australian Greenhouse Office, Australia. (March GPG 2000)

Behrentz, E. (2003). ''Measurements of nitrous oxide emissions from light-duty motor vehicles: analysis of important variables and implications for California ś greenhouse gas emission Inventory.'' Dissertation Prospectus University of California, USA, (2003). See http://ebehrent.bol.ucla.edu/N_2O.pdf

Borsari, V. (2005). ''As emissoes veiculares e os gases de efeito estufa.'' SAE - Brazilian Society of Automotive Engineers

CETESB (2004). Air Quality Report (Relat□rio de Qualidade do Ar 2003, in Portuguese, (Air Quality Report 2003), available at http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/Relatorios/RelatorioAr2003.zip and

CETESB (2005). Personal communication with Oswaldo Lucon, S□o Paulo State Environment Agency, Mobile Sources Division. Information based on measurements conducted by Renato Linke, Vanderlei Borsari and Marcelo Bales, (Vehicle Inspection Division, ph. +5511 3030 6000). Partially published.

CONCAWE Report 2/02 Brussels, Belgium, (April 2002). ''Energy and greenhouse gas balance of biofuels forEurope - an update.''

D□az, L. et.al (2001). ''Long-term efficiency of catalytic converters operating in Mexico City.'' Air & Waste Management Association, ISSN 1047-3289, Vol 51, pp.725-732,

EEA (GPG 2000). European Environment Agency (EEA). ''COPERT III computer programe to calculate emissionsfrom road transport, methodology and emission factors report.'' (Version 2.1), Copenhagen, Denmark November GPG 2000. (For more details see http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm)

EEA (2005a). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook - 2005 European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site, http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en

EEA (2005b). European Environment Agency (EEA), Computer programme to calculate emissions

from roadt ransport (COPERT), http:/vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm

Gamas, D.J., Diaz, L., Rodriguez, R., López-Salinas, E., Schifter, I.,. (1999). ''Exhaust emissions from gasoline and LPG-powered vehicles operating at the altitude of Mexico City.'' in Journal of the Air & Waste Management Association, October 1999.

Heeb, Norbert., et al (2003). ''Methane, benzene and alkyl benzene cold start emission data of gasoline-driven passenger cars representing the vehicle technology of the last two decades.'' Atmospheric Environment 37 (2003) 5185-5195.

IEA (2004). ''Bioenergy; biofuels for transport: an overview.'' IEA Bioenergy.'' T39:2004:01 (Task 39); March 2004,

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, J.T. Houghton et al., IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

LAT (2005). ''Emission factors of N2O and NH3 from road vehicles.'' LAT Report 0507 (in Greek), Laboratory of Applied Thermodynamics, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Lipman, T. and Delucchi, M (2002). Lipman, Timothy, University of California-Berkeley; and Mark Delucchi, University of California-Davis (2002). ''Emissions of nitrous oxide and methane from conventional and alternative fuel motor vehicles.'' Climate Change, 53(4), 477-516, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

MCT (2002). ''Greenhouse gas emissions inventory from mobile sources in the energy sector.'' (in Portuguese: Emiss□es de gases de efeito estufa por fontes m□veis, no setor energ□tico). Brazilian Ministry of Science and Technology, Bras□ia, 2002, pp. 25-26.

Mitra,A. P., Sharma, Subodh K., Bhattacharya, S., Garg, A., Devotta, S. and Sen, Kalyan (Eds.), (2004). ''Climate Change and India: Uncertainty reduction in GHG inventories.'' Universities Press (India) Pvt Ltd, Hyderabad.

Ntziachristos, L and Samaras, Z (2005). Personal Communication Leonidas Ntziachristos and Zissis Samaras based on draft COPERT IV. Laboratory of Applied Thermodynamics, Aristotle University Thessaloniki, PO Box 458, GR 54124, Thessaloniki, GREECE,

Peckham, J. (2003). ''Europe's 'AdBlue' urea-SCR project starts to recruit major refiners - selective catalytic reduction''. Diesel Fuel News, July 7, 2003.

TNO (2002). ''N2O formation in vehicles catalysts.'' Report # 02.OR.VM.017.1/NG. Nederlandse Organisatie voor toegepastnatuurwetenschappelijk onderzoek (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research), Delft, Netherlands.

TNO (2003). ''Evaluation of the environmental impact of modern passenger cars on petrol, diesel and automotive LPG, and CNG.'' Report. 03.OR.VM.055.1/PHE. Nederlandse Organisatie voor toegepastnatuurwetenschappelijk onderzoek (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research) December 24 2003.

UNFCCC (2004). ''Estimation of emissions from road transport.'' United Nations Framework Convention on Climate Change, FCCC/SBSTA/2004/INF.3, June 2004

USEPA (1997). ''Conversion factors for hydrocarbon emission components.'' prepared by Christian E Lindhjem, USEPA Office of Mobile Sources, Report Number NR-002, November 24.

USEPA (2004a). ''Update of carbon oxidation fraction for GHG calculations.'' prepared by ICF Consulting for US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.

USEPA (2004b). ''Update of methane and nitrous oxide emission factors for on-highway vehicles.'' Report Number EPA420-P-04-016, US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA .November 2004

USEPA (2004c). ''Inventory of greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2002''. (April 2004) USEPA #430-R-04-003. Table 3-19 , US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.

USEPA (2005a). U.S. Environmental Protection Agency, ''Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES).'' See website: http://www.epa.gov/otaq/ngm.htm.

USEPA (2005b). U.S. Environmental Protection Agency: ''MOBILE Model (on-road vehicles).'' See website: http://www.epa.gov/otaq/mobile.htm.

Wenzel, T., Singer, B., Slott, R., (GPG 2000). ''Some issues in the statistical analysis of vehicle emissions''. Journal of Transportation and Statistics. pages 1-14, Volume 3, Number 2, September GPG 20000, ISSN 1094-8848

OFF-ROAD TRANSPORTATION

EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook - 2005, European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site: http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en

Ntziachristos, L., Samaras. Z., Eggleston, S., Gorißen, N., Hassel, D., Hickman, A.J., Joumard, R., Rijkeboer, R., White, L., and Zierock, K. H. (2000). ''COPERT III computer programme to calculate emissions from road transport methodology and emission factors.'' (Version 2.1) European Environment Agency, Technical report No 49. Copenhagen, Denmark, (November 2000). Software available from web site: http:/vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm

USEPA (2005a). NONROAD 2005 Model, For software, data and information, see website: http://www.epa.gov/otaq/nonrdmdl.htm.

USEPA (2005b). User''s Guide for the Final NONROAD2005 Model. Environment Protection Agency, ReportEPA420-R-05-0, 13 December 2005, Washington, DC, USA. (December 2005)

Walsh, M. (2003).''Vehicle emissions trends and forecasts: The lessons of the past 50 years, blue sky in the 21st century conference, Seoul, Korea.'' May 2003, see the website: http://www.walshcarlines.com/pdf/vehicle_trends_lesson.cf9.pdf

RAILWAYS

Dunn, R. (2001). ''Diesel fuel quality and locomotive emissions in Canada''. Transport Canada Publication Number Tp 13783e (Table 8).

EEA (2005). EMEP/CORINAIR. ''Emission Inventory Guidebook - 2005 European Environment Agency.'' Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site: http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en

GSTU (1994). 32.001-94. ''Emissions of pollution gases with exhaust gases from diesel locomotive.'' Rates and definition methods (GSTU, 32.001-94) - in Russian (ГСТУ 32.001-94. Выбросы загрязняющих веществ с отработанными газами тепловозных дизелей Нормы и методы определения).

Hahn, J. (1989). Eisenbahntechnishne Rundschau, №. 6, S. 377 - 384.

ISO 8178-4 (1996). 'eciprocating internal combustion engines Exhaust emission measurement Part 4: Test cycles for different engine applications.'

Jorgensen, M.W. and. Sorenson, S.C (1997). 'stimating emission from railway traffic.'DTU report, N°ET-EO-97-03, Dept of Energy Eng.'Lyngby, Denmark, 135 p.

VTT (2003). RAILI (2003). 'alculation system for Finnish railway traffic emissions VTT building and transport, Finland.'For information see web site http://lipasto.vtt.fi/lipastoe/railie/

TRANS/SC.2/2002/14/Add.1 13 AUGUST (2002). Economic Commission for Europe. inland Transport Committee. Working Party on rail transport. Productivity in rail transport. Transmitted by the International Union of Railways (UIC).

UNECE (2002). 'roductivity in rail transport UN Economic Commission For Europe, Inland Transport Committee Working Party on Rail Transport.'(Fifty-sixth session, 16-18 October 2002, agenda item 15) Transmitted by the International Union of Railways (UIC) TRANS/SC.2/2002/14/Add.1

USEPA (1998) http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/1998/October/Day-23/a24836.htm

USEPA (2005a). NONROAD 2005 Model, For software, data and information. see website: http://www.epa.gov/otaq/nonrdmdl.htm.

USEPA (2005b). User' Guide for the Final NONROAD2005 Model. Environment Protection Agency, Report EPA420-R-05-0, 13 December 2005, Washington DC, USA.

WATER-BORNE NAVIGATION

Baggott, S.L., Brown, L., Cardenas, L., Downes, M.K., Garnett, E., Hobson, M., Jackson, J., Milne. R., Mobbs, D.C., Passant, N., Thistlethwaite, G., Thomson, A. and Watterson, J.D. (2004). 'K Greenhouse gas inventory 1990 to 2002: Annual report for submission under the Framework Convention on Climate Change.'United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs.

EC (2002). 'uantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community.'Final Report Entec UK Limited (July 2002), page 12. Available from EU web site http://europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/chapter2_ship_emissions.pdf

EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook –2005 European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site See: http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en

Gunner, T.,(2004). E-mail Correspondence containing estimates of total fuel consumption of the world fleet of ships of 500 gross tons and over, as found in the Fairplay Database of Ships, November 2004. See http://www.fairplay.co.uk

Lloyd' Register (1995). 'arine exhaust emissions research programme.'Lloyd' Register House, Croydon, England.

Trozzi, C., Vaccaro, R., (1997): 'ethodologies for estimating air pollutant emissions from ships' MEET Deliverable No. 19. European Commission DG VII, June 1997. Techne (1997).

U.S. EPA, (2004). 'nventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2002.'United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

CIVIL AVIATION

Baughcum, S.L., Tritz, T.G., Henderson, S.C. and Pickett, D.C. (1996). 'cheduled civil aircraft emission inventories for 1992: database development and analysis.'NASA/CR-4700, National Aeronautics and Space Administration, NASA Center for AeroSpace Information, 7121 Standard Drive, Hanover, USA.

Daggett, D.L., Sutkus, D.J., Dubois, D.P. and. Baughcum, S.L. (1999). 'n evaluation of aircraft emissions inventory methodology by comparisons with reported airline data.'NASA/CR-1999-209480, National Aeronautics and Space Administration, NASA Center for AeroSpace Information, 7121 Standard Drive, Hanover, USA, September 1999.

EEA (2002).EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 3rd edition (October 2002 Update) EEA Technical Report No 30, Copenhagen, Denmark, 2002.

Eyers, C.J., Norman, P., Plohr, M., Michot, S., Atkinson, K., and Christou, R.A., (2004). 'ERO2k Global aviation emissions inventories for 2002 and 2025.'QINEYIQ/04/01113 UK, December 2004.

FAA (2004a). 'viation emissions: a primer.'Federal Aviation Administration, USA, 2004.

FAA (2004b) 'missions and dispersion modelling system' (EDMS) User' Manual FAA-AEE-04-02 (Rev. 1 –10/28/04) Federal Aviation Administration Office of Environment and Energy, Washington, DC September 2004. Additional information is available from the FAA web site: www.faa.gov.

Kim, B., Fleming, G., Balasubramanian, S., Malwitz, A., Lee, J., Ruggiero, J., Waitz, I., Klima, K., Stouffer, V., Long, D., Kostiuk, P., Locke, M., Holsclaw, C., Morales, A., McQueen, E., Gillett, W., (2005a). 'AGE: The system for assessing aviation' global emissions' FAA-EE-2005-01, (September 2005).

Kim, B., Fleming, G., Balasubramanian, S., Malwitz, A., Lee, J., Waitz, I., Klima, K., Locke, M., Holsclaw, C., Morales, A., McQueen, E., Gillette, W., (2005b), 'AGE: Global aviation emissions inventories for 2000 through 2004' FAA-EE-2005-02 (September 2005).

Malwitz, A., Kim, B., Fleming, G., Lee, J., Balasubramanian, S., Waitz, I., Klima, K., Locke, M., Holsclaw, C., Morales, A., McQueen, E., Gillette, W., (2005), 'AGE: Validation assessment, model assumptions and uncertainties FAA-EE-2005-03, (September 2005)'

Gardner, R. M., Adams, J. K., Cook, T., Larson, L. G., Falk, R., Fleuit, S. E., F□rtsch, W., Lecht, M., Lee, D. S., Leech, M. V., Lister, D. H. Mass□, B., Morris, K., Newton, P. J., Owen, A., Parker, E., Schmitt, A., ten Have, H.,. Vandenberghe, C. (1998). 'NCAT/EC2 aircraft emissions inventories for 1991/1992 and 2015' Final Report., Report by the ECAC/ANCAT and EC working group. EUR No: 18179, ISBN No: 92-828-2914-6.

ICAO (1993). 'nternational Standards and Recommended Practices Environmental Protection - Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation.'- Volume II Aircraft Engine

Emissions, 2nd edition (1993) International Civil Aviation Organisation, Montreal.

ICAO (2004a). 'ngine exhaust emissions data bank.'Issue 13 (Doc 9646), ICAO, Montreal, Canada. 1995. Subsequent updates are available from the ICAO web site www.icao.int

ICAO (2004b). 'tatistics data series collection - Montreal, Canada' For details and access see ICAO web site at http://www.icao.int/icao/en/atb/sea/DataDescription.pdf.

International Register of Civil Aircraft, (2004). For information and acesss see http://www.aviationregister. com/english/.

IPCC (1999). 'viation and the global atmosphere.'Eds: Penner, J.E., Lister, D.H., Griggs, D.J., Dokken, D.J., MsFarland, M., Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press 1999.

Lister, D.H., Norman, P.D. (2003). EC-NEPAir: Work Package 1 'ircraft engine emissions certification a review of the development of ICAO Annex 16.'Volume II, QinetiQ/FST/CR030440, UK (September 2003)

OAG (2006). OAG Flight Guide 'orldwide airline flights schedules' See web site www.oag.com

Olivier, J.G.J. (1991). 'nventory of aircraft emissions: a review of recent literature' RIVM Rapport 736301008, Bilthoven, The Netherlands, 1991.

Olivier, J.G.J. (1995). 'cenarios for global emissions from air traffic' Report No. 773 002 003, RIVM, Bilthoven, The Netherlands, 1995

Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Emmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. & Tanabe, K. (2000). 'ood Practice Guidance and Uncertainty

Management in National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: Intergovernmental Panel on Climate Change.'(IPCC). ISBN 4-88788-000-6.

Sutkus, D.J., Baughcum, S.L., DuBois, D.P.,(2001) 'cheduled civil aircraft emission inventories for 1999: database development and Analysis.'NASA/CR 001-211216, National Aeronautics and Space Administration, Glenn Research Center, USA, October 2001.

Sutkus, D.J., Baughcum, S.L., DuBois, D.P., (2003). 'ommercial aircraft emission scenario for 2020: Database Development and Analysis.'NASA/CR—003-212331, National Aeronautics and Space Administration, Glenn Research Center, USA May 2003

US Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, National Transportation Statistics (2002). (BTS 02-08), Table 4-20: Energy Intensity of Passenger Modes (Btu per passenger-mile), page 281, http://www.bts.gov/publications/national_transportation_statistics/2002/pdf/entire.pdf.

USEPA (2005). 'nventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2003 U.S' Environmental Protection Agency, Washington, U.S.A.

Wiesen, P., Kleffmann, J., Kortenbach, R. and Becker, K.H (1994). 'itrous oxide and methane emissions from aero engines.'Geophys. Res. Lett. 21:18 2027-2030.

제4장

탈루성 배출(Fugitive Emissions)

저자

Coal Mining

John N. Carras (호주)

Pamela M. Franklin (미국), Yuhong Hu (중국), A. K. Singh (인도), and Oleg V. Tailakov (러시아)

Oil and natural gas

David Picard (캐나다)

Azhari F. M. Ahmed (카타르), Eilev Gjerald (노르웨이), Susann Nordrum (미국), and Irina Yesserkepova(카자흐스탄)

목 차

4 탈루성 배출
4.1 석탄의 채굴, 처리, 저장 및 수송으로부터 발생하는 탈루성 배출 ····· 4.7
4.1.1 배출원에 관한 개요 및 설명 ····· 4.7
4.1.1.1 석탄 채굴 및 처리 ····· 4.7
4.1.1.2 배출원의 요약 ····· 4.9
4.1.2 방법론적 이슈 ····· 4.10
4.1.3 지하 탄광 ····· 4.10
4.1.3.1 방법론의 선택 ····· 4.11
4.1.3.2 지하 탄광에 대한 배출계수의 선택 ····· 4.13
4.1.3.3 활동도 자료의 선택 ····· 4.17
4.1.3.4 지하 탄광에 대한 완전성 ····· 4.17
4.1.3.5 일관적 시계열의 개발 ····· 4.18
4.1.3.6 불확도 평가 ····· 4.18
4.1.4 노천 석탄 채굴 ····· 4.20
4.1.4.1방법론의 선택 ····· 4.20
4.1.4.2 노천 채굴에 대한 배출계수 ····· 4.22
4.1.4.3 활동자료 ····· 4.23
4.1.4.4 노천 채굴에 대한 완전성 검사 ····· 4.23
4.1.4.5 일관적인 시계열의 개발 ····· 4.23
4.1.4.6 배출에서 불확도 평가 ····· 4.23
4.1.5 폐쇄된 지하 탄광 ····· 4.24
4.1.5.1 방법론의 선택 ····· 4.24
4.1.5.2배출계수의 선택 ····· 4.27
4.1.5.3 활동도의 선택 ····· 4.33
4.1.5.4 완전성 ····· 4.33
4.1.5.5 일관적인 시계열의 개발 ····· 4.34
4.1.5.6 불확도 평가 ····· 4.34
4.1.6 석탄 채굴에 대한 완전성 ····· 4.35
4.1.7 인벤토리 QA/QC ····· 4.36
4.1.7.1품질보증과 문서화 ····· 4.36
4.1.7.2보고 및 문서화 ····· 4.37

4.2 석유 및 천연가스 시스템으로부터 발생하는 탈루성 배출 ·····4.38
4.2.1 개요, 배출원 설명 ·····4.39
4.2.2 방법론적 이슈 ·····4.42
4.2.2.1 방법, 의사결정도, TIER의 선택 ·····4.44
4.2.2.2 방법론의 선택 ·····4.49
4.2.2.3 배출계수의 선택 ·····4.56
4.2.2.4 활동도 자료의 선택 ·····4.71
4.2.2.5 완전성 ·····4.77
4.2.2.6 일관적인 시계열의 개발 ·····4.79
4.2.2.7 불확도 평가 ·····4.79
4.2.3 인벤토리 QA/QC ·····4.81
4.2.4 보고 및 문서화 ·····4.82

참고문헌 ·····4.85

식

식 4.1.1 메탄 활용 내지 flaring에 대한 수정이 없는 TIER 1과 TIER 2를 위한 지하 탄광으로부터 발생하는 배출치의 산정 ·····4.11
식 4.1.2 메탄 활용 내지 flaring에 대한 수정이 있는 TIER 1과 TIER 2를 위한 지하 탄광으로부터 발생하는 배출치의 산정 ·····4.12
식 4.1.3 TIER 1: 세계적 평균 방법-지하 채굴-메탄 활용 내지 flaring에 대한 수정 전 ·4.13
식 4.1.4 TIER 1: 세계적 평균 방법-채굴 후 배출-지하 탄광 ·····4.15
식 4.1.5 flaring 내지 촉매 산화된 탈수된 메탄으로부터 발생하는 CO_2와 CH_4의 배출량 ·4.16
식 4.1.6 노천 석탄 채굴로부터 발생하는 탈루성 배출을 산정하기 위한 일반적인 식 ····4.20
식 4.1.7 TIER 1: 세계적 평균 방법-노천 탄광 ·····4.22
식 4.1.8 Tier 1: TIER 1: 세계적 평균 방법-채굴 후 배출-노천 탄광 ·····4.22
식 4.1.9 폐쇄된 지하 탄광으로부터 발생하는 탈루성 배출을 산정하기 위한 일반적인 식 ····4.24
식 4.1.10 T폐쇄된 지하 탄광에 대한 TIER 1 접근법 ·····4.25
식 4.1.11 메탄 회수 및 활용이 없는 폐쇄된 지하 탄광에 대한 TIER 2 접근법 ·····4.30
식 4.1.12 TIER 2 - 폐쇄된 지하 탄광의 배출계수 ·····4.31

식 4.1.13 TIER 3 배출량 계산의 예-폐쇄된 지하 탄광 ····4.32
식 4.2.1 TIER 1: 산업 부분에서의 탈루성 배출의 산정 ····4.49
식 4.2.2 TIER 1: 산업 부분에서의 총 탈루성 배출 ····4.49
식 4.2.3 대체적인 TIER 2 접근법 (venting으로 인한 배출) ····4.54
식 4.2.4 대체적인 TIER 2 접근법 (flaring으로 인한 CH_4 배출) ····4.54
식 4.2.5 대체적인 TIER 2 접근법 (flaring으로 인한 CO_2 배출) ····4.54
식 4.2.6 flaring 및 venting으로 인한 CH_4 배출 ····4.54
식 4.2.7 flaring 및 venting으로 인한 CO_2 배출 ····4.54
식 4.2.8 flaring로 인한 N_2O 배출 ····4.54

그 림

그림 4.1.1 지하 탄광에 대한 의사결정도 ····4.13
그림 4.1.2 노천 석찬 채굴에 대한 의사결정도 ····4.21
그림 4.1.3 폐쇄된 지하 탄광에 대한 의사결정도 ····4.26
그림 4.2.1 천연가스 시스템에 대한 의사결정도 ····4.46
그림 4.2.2 원유 생산에 대한 의사결정도 ····4.47
그림 4.2.3 원유 수송, 정제 및 개량에 대한 의사결정도 ····4.48

표

표 4.1.1 석탄의 채굴, 처리, 저장 및 수송으로부터 발생하는 배출에 대한 상세 부문 ····4.9
표 4.1.2 TIER 1과 TIER 2 접근법에 대한 지하 채굴의 불확도 산정치 ····4.19
표 4.1.3 TIER 3 접근법에 대한 지하 석탄 채굴의 불확도 산정치 ····4.20
표 4.1.4 TIER 1과 TIER 2 접근법에 대한 노천 채굴의 불확도 산정치 ····4.24
표 4.1.5 TIER 1-폐쇄된 지하 탄광 기본값 - 가스량이 많은 탄광의 백분율 ····4.29
표 4.1.6 TIER 1 – 폐쇄된 지하 탄광 배출계수, 백만 M^3 메탄 / 광산 ····4.29
표 4.1.7 TIER 1 – 폐쇄된 지하 탄광 예제용 계산 ····4.30
표 4.1.8 TIER 2 – 폐쇄된 지하 탄광 폐쇄이전에 활동중인 광산의 배출량에 대한 기본값 ····4.31
표 4.1.9 TIER 2 - 폐쇄된 지하 탄광에 대한 계수들 ····4.32
표 4.2.1 석유 및 천연가스의 생산 및 수송으로부터 발생하는 배출에 대한 상세 부문 ···4.40

표 4.2.2 석유 및 가스 산업에서 주 카테고리 및 하위카테고리 ·····4.51
표 4.2.3 서로 다른 생산 유형에 대한 가스 대 오일 비율의 전형적 범위 ·····4.53
표 4.2.4 선진국에서의 오일 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수 ·····4.57
표 4.2.5 개발도상국 및 EIT(구 동구권 10개국) 국가들에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수 ·····4.63
표 4.2.6 주요 배출원 카테고리에서의 오일 및 가스 가동에 의한 탈루성 배출의 평가 접근법을 위한 전형적인 활동도 자료의 요구사항 ·····4.73
표 4.2.7 Tier 1에서 오일과 가스 활동으로부터 발생되는 탈루성 배출의 평가를 위해 요구되는 활동도 자료값 획득에 대한 안내 ·····4.74
표 4.2.8 천연가스 시설 형태에서의 가스 손실의 상 중 하 분류. ·····4.78
표 4.2.9 샘플 입력에서 보여주는 오일과 천연가스 시스템으로부터의 배출량 측정을 위해 적용된 방법론과 기초의 요약 형태 ·····4.83

4 탈루성 배출

4.1 석탄의 채굴, 처리, 저장 및 수송으로부터 발생하는 탈루성 배출

최종적인 이용 지점까지의 화석연료의 추출, 가공 및 배송 동안 온실가스의 의도적 내지 비의도적 방출이 발생한다. 이는 탈루성 배출(fugitive emissions)로 알려져 있다.

4.1.1 배출원에 관한 개요 및 설명

석탄과 관련된 탈루성 배출은 아래의 광범위한 카테고리들의 관점에서 고려될 수 있다.[1]

4.1.1.1 석탄 채굴 및 처리

석탄 형성의 지질학적 과정은 메탄 (CH_4)을 또한 생성하며, 이산화탄소 (CO_2)가 일부 석탄층(coal seams)에 또한 존재한다. 이들은 전체적으로 지층가스(seam gas)로 알려져 있으며, 채굴하는 동안 석탄이 노출되어 분쇄될 때까지 석탄층에 잡혀 있다. CH_4는 석탄 채굴 및 처리로부터 배출되는 주된 온실가스이다.

지하 및 노천 탄광 모두에 대한 온실가스 배출의 주된 단계는 다음과 같다.

- 채굴시 배출 - 이러한 배출은 채굴 작업동안 석탄 및 주변 지층이 분쇄되는 동안 저장된 가스의 방출로부터 발생한다.
- 채굴후 배출 - 모든 가스가 채굴동안 석탄 분쇄의 과정동안 석탄으로부터 방출되지는 않는다. 이후에 석탄의 처리, 가공 및 수송동안, 배출은 채굴후 배출로 불린다. 그러므로 석탄은 일반적으로 석탄 분쇄 단계 동안 보다 느리지만, 채굴된 이후에도 가스를 계속 배출한다.
- 저온 산화 - 이러한 배출은 석탄이 공기중의 산소에 노출될 때, 산화되어 CO_2를 생성하기 때문에 발생한다. 그렇지만, 이러한 과정에 의한 CO_2 형성 비율은 낮다.
- 통제되지 않은 연소 - 때때로, 저온 산화에 의해 생성된 열이 갇힐 때, 온도가 올라가고 화재가 발생할 수 있다. 이는 일반적으로 통제되지 않은 연소로 알려져 있으며 산화의 가장 극단적인 발현이다. 통제되지 않은 연소는 빠른 반응, 종종 눈에 보이는 불꽃 및 빠른 CO_2 형성이 특징이며, 자연적 내지 인위적이다. 단지 석탄 개발활동으로 인한 통제되지 않은 연소가 여기서 고려된다는 것에 주의한다.

채굴이 중단된 이후에, 폐쇄된 탄광은 메탄을 계속적으로 또한 배출할 것이다.

서로 다른 유형의 탄광에 대해 배출량을 산정할 때 설명될 필요가 있는 일부 주된 과정에 관한 간단한 서술은 다음과 같다.

1 토탄 추출로부터 발생하는 배출을 결정하기 위한 방법은 4권 AFOLU의 7장 '습지'에서 기술된다.

지하 탄광

활동중인 지하 탄광

이 문서에서는 활동중인 지하 탄광의 탈루성 배출에 대한 다음과 같은 잠재적인 배출원 카테고리가 고려된다:

탄광의 venting용 공기(ventilation air) 및 기체화방지시스템(degasification systems)으로부터 대기중으로 venting되는 지층가스(Seam gas) 배출

- 채굴후 배출
- 저온 산화
- 통제되지 않은 연소

탄광의 venting용 공기 및 기체화방지시스템은 다음과 같이 발생한다:

탄광의 venting용 공기

지하 탄광은 일반적으로 안전한 공기를 유지하기 위해 지하 터널을 통해, 지표로부터의 공기에 의해 venting된다. venting용 공기는 석탄층에서 방출된 CH_4 및 CO_2를 싣고 지표로 수송하며, 이들은 대기중으로 배출된다. venting용 공기내의 메탄 농도는 일반적으로 낮지만, venting용 공기의 부피 흐름율은 일반적으로 크므로 이러한 배출원으로부터 발생하는 메탄 배출은 매우 클 수 있다.

탄광 기체화방지시스템

광산 작업장으로 가스를 방출하는 석탄층으로부터 가스(주로 CH_4)를 제거하기 위해 채굴 전, 채굴 동안, 및 채굴 후에 뚫은 우물로 구성된다. 회수된 가스가 에너지 원천으로 또한 이용될 지 모르지만, 채굴동안 탈기의 주된 목적은 석탄 광부를 위해 안전한 작업용 대기를 유지하는 것이다. 기체화방지시스템은 메탄을 회수하기 위해 폐쇄된 지하 탄광에서 또한 이용될 수 있다. 탄광 기체화방지시스템으로부터 회수된 메탄의 양은 매우 클 수 있으며, 최종적인 용도에 따라, 이 장의 4.1.3.2절에 기술된 것과 같이 설명된다.

지하 폐광

폐쇄 후, 채굴 활동 동안 중대한 메탄 배출자이었던 탄광은 배출을 중단시키는 침수가 존재할 때까지 메탄을 계속 배출한다. 광산이 봉쇄됐을지라도 오래된 입구, venting 파이프, 위쪽 지층의 갈라진 틈과 같은 자연적 내지 인위적 도관(conduits)을 통한 가스 유입의 결과로서 메탄은 여전히 대기중으로 배출될 것이다. 장기적인 기간동안 지속될 지 모르는 안정적인 비율에 도달할 때까지 배출은 빠르게 감소한다.
폐광은 지하수 내지 지표수가 광산의 빈 곳으로 침입한 결과로 침수될 것이다. 광산이 완전히 침수되고 물이 대기중으로의 추가적인 메탄 방출을 방해하기 전까지 이들 광산은 전형적으로 수년간 가스의 배출을 계속한다. 완전히 침수된 폐광으로부터 발생하는 배출은 사소한 것으로 취급될 수 있다. 부분적으로 침수된 광산은 침수되지 않은 광산에서처럼 장기간 동안 메탄 배출을 계속할 수 있다.

배출의 추가적인 잠재적 원천은 통제되지 않은 연소 메카니즘을 통해 폐광의 일부 석탄이 flaring 할 때 발생한다. 그렇지만, 지하 폐광에서 통제되지 않은 연소로부터 발생하는 잠재적인 배출량을 산정하기 위한 방법론은 현재 존재하지 않는다.

노천 탄광

활동중인 노천 탄광

이 장에서 고려되는 노천 채굴에 대한 잠재적 배출원 카테고리는 다음과 같다:

- 채굴동안 석탄 및 관련 지층의 분쇄와 갱 바닥 및 높은 갱 벽(highwall)에서의 누출로부터 발생하는 메탄과 CO_2
- 채굴후 배출
- 저온 산화
- 폐기장에서의 통제되지 않은 연소

노천 석탄 채굴로부터 발생하는 배출은 채굴되는 지층이 메탄과 CO_2를 포함하고 있기 때문에 발생한다. 가스 함유량은 일반적으로 지하 석탄층보다 작지만, 이러한 채굴방법이 널리 이용되는 국가들에 대해 부분적으로, 노천 탄광에서의 지층가스(seam gas)의 배출을 고려할 필요가 있다. 지층가스 배출과 함께, 폐기장에 버려지는 폐석탄은 저온 산화 내지 통제되지 않은 연소에 의해 CO_2를 생성할 것이다.

노천 폐광

봉쇄 이후에, 폐쇄되거나 조업이 중지된 노천 탄광은 채굴동안 분쇄되거나 손상된 석탄층으로부터 가스가 누출되기 때문에 메탄을 계속 배출할 것이다. 이러한 배출원으로부터 발생하는 배출량을 산정하기 위한 방법은 현재 존재하지 않는다.

4.1.1.2 배출원의 요약

주된 배출원이 아래의 표 4.1.1에 요약되어 있다.

표 4.1.1
석탄의 채굴, 처리, 저장 및 수송으로부터 발생하는 배출에 대한 상세 부문

IPCC 코드	부문명	
1B	연료로부터의 탈루성 배출	최종적인 이용시점까지 연료의 추출, 처리, 저장 및 수송에서의 모든 의도적 및 비의도적 배출을 포함한다.
1B1	고체 연료	최종적인 이용시점까지 고체 연료의 추출, 처리, 저장 및 수송에서의 모든 의도적 및 비의도적 배출을 포함한다.
1B1a	석탄 채굴 및 처리	석탄으로부터 발생하는 모든 탈루성 배출을 포함한다.
1B1ai	지하 탄광	채굴, 채굴 후, 폐광 및 탈수된 메탄의 flaring으로부터 발생하는 모든 배출을 포함한다.

1B1ai1	채굴	탄광 venting 및 기체화방지시스템에서 대기중에 방출되는 모든 지층가스 배출을 포함한다.
1B1ai2	채굴 후 지층가스 배출	석탄이 채굴되고, 지표로 이동되어 처리, 저장, 수송된 후에 배출되는 메탄과 CO_2를 포함한다.
1B1ai3	지하 폐광	지하 폐광으로부터 발생하는 메탄 배출을 포함한다.
1B1ai4	유출된 메탄의 Flaring 또는 메탄의 CO_2로의 전환	탈수 및 flaring된 메탄 내지 산화 공정에 의해 CO_2로 전환된 ventilation gas가 여기에 포함된다. 에너지 생산을 위해 이용된 메탄은 2권, 에너지, 2장 '고정형 연소'에 포함되어야 한다.
1B1aii	노천 탄광	노천 석탄 채굴로부터 발생하는 모든 지층가스 배출을 포함한다.
1B1aii1	채굴	채굴동안 석탄 및 관련 지층의 분쇄와 갱 바닥 및 높은 갱 벽에서의 누출로부터 배출되는 메탄과 CO_2를 포함한다,
1B1aii2	채굴후 지층가스 배출	석탄이 채굴, 처리, 저장 및 수송된 후에 배출되는 메탄과 CO_2를 포함한다.
1B1b	통제되지 않은 연소와 석탄 폐기물의 소각	석탄 개발 활동으로 인한 통제되지 않은 연소로부터 발생하는 CO_2의 배출을 포함한다.

4.1.2 방법론적 이슈

아래의 절은 메탄 배출에 초점을 두며, 이는 이 가스가 석탄 채굴의 가장 중요한 탈루성 배출이기 때문이다. 자료가 가용한 경우에 인벤토리에 CO_2 배출도 포함되어야 한다.

지하 채굴

지하 채굴로부터 발생하는 탈루성 배출은 venting 및 기체화방지시스템 모두로부터 발생한다. 이들 배출은 일반적으로 소수의 집중화된 지점에서 배출되며 지점 배출원(point sources)으로 간주될 수 있다. 이들은 표준적인 측정방법을 따른다.

노천 채굴

노천 채굴에 대해 온실가스 배출은 일반적으로 광산의 여러 구역에 걸쳐 분산되며 영역 배출원(area sources)으로 간주된다. 이들 배출은 석탄과 상층부(overburden)의 분쇄 공정, 폐기장에서의 폐석탄 내지 저품질 석탄의 저온 산화, 및 통제되지 않은 연소를 통해 배출되는 지층가스의 결과일 것이다. 저온 산화와 통제되지 않은 연소에 대한 측정방법은 여전히 개발중이므로 산정방법은 이 장에 포함되지 않는다.

폐광

지하 폐광에 대한 방법론이 이 장에 포함되어 있지만, 지하 폐광은 배출을 산정하는데 어려움이 있다. 폐쇄되거나 조업이 중단된 노천 탄광에 대한 방법론은 아직 존재하지 않으므로 이는 이 장에 포함되어 있지 않다.

메탄 회수 및 활용

탈수, venting 내지 폐광으로부터 회수된 메탄은 다음의 두 가지 방식으로 감소될 것이다: (1) 천연가스 자원으로 직접적인 활용, (2) CO_2를 생산하기 위한 flaring, CO_2는 메탄보다 낮은 온실가스 지구온난화지수를 가진다.

TIERS

우수실행(good practice)에 따라 석탄 채굴에 대한 배출 산정치를 개발하기 위한 적절한 tier의 이용은 가용한 자료의 질에 좌우된다. 예를 들어, 제한된 자원이 가용하고 카테고리가 핵심적이지 않다면, Tier 1이 *우수실행(good practice)*이다. Tier 1 접근법은 총 배출치를 계산하기 위해 국가들이 세계적 평균 범위의 배출계수를 선택하고 국가에 고유한 활동도 자료를 이용하는 것을 요구한다. Tier 1은 가장 높은 수준의 불확도와 관련된다. Tier 2 접근법은 채굴되는 석탄에 대한 평균값을 나타내는 국가 내지 탄전(basin)에 고유한 배출계수를 이용한다. 이들 값은 일반적으로 적절한 경우에, 각 국가에 의해 개발된다. Tier 3 접근법은 광산에 기초하여 직접적인 측정치를 이용하며, 적절히 적용된다면, 가장 낮은 수준의 불확도를 가진다.

4.1.3 지하 탄광

Tier 1과 2 접근법의 배출치를 산정하는 식의 일반적인 형태는 지하 석탄 채굴로부터의 석탄 생산 활동도 자료와 채굴후 배출에 기초하여, 아래의 식 4.1.1에 의해 주어진다. 처음으로 가이드라인에 포함된, 지하 폐광으로부터 발생하는 배출량을 산정하는 방법은 4.1.5절에서 상세히 기술된다.
식 4.1.1은 회수된 가스의 활용 내지 flaring에 대한 수정 전의 배출을 나타낸다.

식 4.1.1
메탄 활용 내지 flaring에 대한 수정이 없는 TIER 1과 TIER 2를 위한 지하 탄광으로부터 발생하는 배출치의 산정

온실가스 배출치 = 석탄 생산량 • 배출계수 • 단위전환 계수

이 식에 이용되는 배출계수의 정의는 이용되는 활동도 자료에 좌우된다. Tier 1과 Tier 2에 대해, 지하, 노천 및 채굴후 배출에 대한 배출계수는 원래의 가스 함유량과 동일한 단위인, m^3톤$^{-1}$의 단위를 가진다. 이는 배출계수가 질량 단위(즉, 톤)를 가지는 석탄 생산에 대한 활동도 자료와 함께 이용되기 때문이다. 그렇지만, 배출계수와 원래의 가스 함유량은 동일하지 않으며 혼동하지 말아야 한다. 채굴하는 동안 방출되는 가스는 생산되는 석탄의 양보다 많은 양의 석탄 및 인접 가스 보유 지층으로부터 나오기 때문에, 배출계수는 원래의 가스 함유량보다 항상 크다. 지하 폐광에 대해서는, 다른 방법론이 이용되기 때문에, 배출계수는 다른 단위를 가진다. 보다 상세한 내용에 대해 4.1.5절을 참고한다.

Tier 1과 Tier 2 접근법을 위해 메탄 활용 및 flaring에 대한 수정을 위해 식 4.1.1과 함께 이용되는 식이 식 4.1.2에서 보여진다.

식 4.1.2
메탄 활용 내지 flaring에 대한 수정이 있는 TIER 1과 TIER 2를 위한
지하 탄광으로부터 발생하는 배출치의 산정

지하 채굴 활동으로부터 발생하는 CH_4 배출 = 지하 채굴로부터 발생하는 CH_4 배출 + 채굴 후 CH_4 배출 - 에너지 생산을 위해 이용되거나 flaring된 회수된 CH_4

식 4.1.1과 4.1.2에서 지하 탄광으로부터 발생한 배출에는 폐광이 포함되며(4.1.5절을 참고) 1.B.1.a.i (지하 탄광)의 총계에 들어간다.

국가 내지 탄전 수준에서 탄광에서의 배출을 고려하기 위해 배출계수를 이용하기 때문에 식 4.1.2는 Tiers 1과 2를 위해 이용된다. 배출계수는 채굴 활동으로부터 방출될 것 같은 모든 메탄을 이미 포함한다. 그러므로, 식 4.1.2에서의 차감 항목에 의해 메탄 회수와 활용을 명시적으로 고려해야 한다. Tier 3 방법은 배출계수가 아니라 개별 광산에서 탈수 및 회수된 메탄을 고려하는 광산에 고유한 계산법과 관련되므로, 식 4.1.2는 Tier 3 방법에 적절하지 않다.

4.1.3.1 방법론의 선택

지하 채굴

그림 4.1.1은 지하 석탄 채굴 활동에 대한 의사결정도를 보여준다. 지하 채굴을 하고 탄광에 고유한 측정 자료가 가용한 국가들에 대해 Tier 3 방법을 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. venting용 공기 측정 및 기체화방지시스템 측정에 기초한 광산에 고유한 자료는 광산별로 실제 배출치를 반영하므로, 배출계수를 이용하는 것보다 정확한 산정치를 생성한다.

하이브리드형 Tier 3 - Tier 2 접근법은 광산에 고유한 측정자료가 지하 탄광의 일부에 대해서만 가용한 상황에 적절하다. 예를 들어, 가스량이 많은 것으로 보이는 광산만이 자료를 보고한다면, 나머지 광산에서의 배출은 Tier 2 배출계수로 계산될 수 있다. 무엇이 가스량이 많은 광산(gassy mine)을 구성하는가의 정의는 각 국가에 의해 결정될 것이다. 예를 들어, 미국에서, 가스량이 많은 광산은 하루에 2 800에서 14 000 세제곱 미터의 범위를 초과하는 평균 연간 venting 배출량을 가지는 탄광을 말한다. 광산이 Tier 3 광산과 동일한 탄전내이거나, 탄광의 평균 깊이와 같은 광산에 고유한 속성에 기초하여 운영된다면 배출계수는 Tier 3 자료에서 유도된 특정한 배출비율에 기초할 수 있다.

광산별 자료가 가용하지 않지만, 국가 내지 탄전에 고유한 자료가 가용할 때, Tier 2 방법을 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

자료가 가용하지 않은 (또는 매우 제한된 자료가 가용한) 경우에, 지하 석탄 채굴이 핵심적인 하위배출원 카테고리가 아니라면, Tier 1 접근법을 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 그렇

다면, 이들 배출량 산정치의 정확성을 증가시키기 위해 배출자료를 구하는 것이 *우수실행(good practice)*이다 (그림 4.1.1를 참고).

채굴 후

모든 채굴 후 배출의 직접 측정 (Tier 3)은 가능하지 않으므로 배출계수 접근법이 이용되어야 한다. 아래에 기술되는 Tier 2와 Tier 1 방법은 보다 좋은 자료를 획득하는 것이 어려울 때, 이러한 배출원을 위한 *우수실행(good practice)*을 나타낸다.

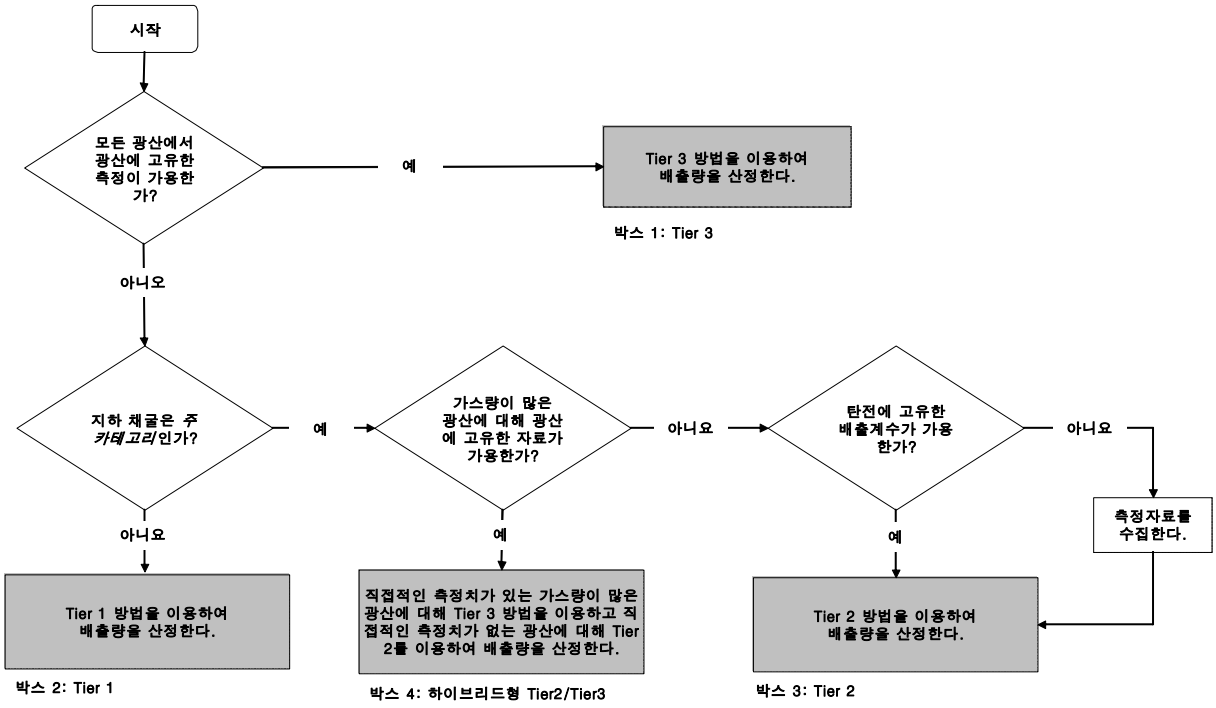
저온 산화

석탄 채굴에 의해 석탄이 대기에 노출될 때 석탄의 산화는 CO_2를 방출한다. 이러한 배출원은 가스량이 많은 지하 탄광으로부터 발생하는 총배출과 비교할 때 일반적으로 중요하지 않을 것이다. 결론적으로, 이를 산정하는 방법은 제공되지 않는다. 지층가스에서의 메탄과 함께 CO_2의 중대한 배출이 존재하는 경우에, 이는 탄광에 기초하여 보고되어야 한다.

지하 폐광

지하 폐광으로부터 발생하는 탈루성 메탄 배출은 4.1.5절에서 제시된 방법론을 이용하여, 지하 탄광의 IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체) 카테고리 1.B.1.a.i.3에서 보고되어야 한다.

그림 4.1.1 지하 탄광에 대한 의사결정도



주석: 주 카테고리 및 의사결정도의 이용에 관한 논의에 대해, 1권의 4장, "방법론 선택 및 주 카테고리"를 참고한다 (제한된 자원에 대해 4.1.2 절을 주목한다).

4.1.3.2 지하 탄광에 대한 배출계수의 선택

채굴

지하 채굴에 대한 Tier 1 배출계수가 아래에 나타나 있다. 배출계수는 *국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 1996 IPCC 가이드라인*에 기술된 것과 동일하다 (BCTSRE, 1992; Bibler et al, 1991; Lama, 1992; Pilcher et al, 1991;USEPA, 1993a,b and Zimmermeyer, 1989).

식 4.1.3
TIER 1: 세계적 평균 방법-지하 채굴-메탄 활용 내지 flaring에 대한 수정전

CH_4 배출량 = CH_4 배출계수 • 지하 석탄 생산량 • 전환계수

여기서 단위는

메탄 배출량 (Gg 년$^{-1}$)

CH_4 배출계수 (m^3 톤$^{-1}$)

지하 석탄 생산량 (톤 년$^{-1}$)

배출계수:

낮은 CH_4 배출계수 = 10 m^3 톤$^{-1}$

평균 CH_4 배출계수 = 18 m^3 톤$^{-1}$

높은 CH_4 배출계수 = 25 m^3 톤$^{-1}$

전환계수:

이는 CH_4의 밀도이며 CH_4의 부피를 CH4의 질량으로 전환한다. 밀도는 20˚C, 1 대기압에서 구해지며 0.67 • 10^{-6} Gg m^{-3}의 값을 가진다.

Tier 1 접근법을 이용하는 국가들은 이용되는 배출계수를 결정하기 위해 주된 탄층의 깊이와 같은 국가에 고유한 변수들을 고려해야 한다. 석탄의 가스 함유량은 일반적으로 깊이에 따라 증가하기 때문에, <200 m의 평균 채굴 깊이에 대해 범위의 하한을 선택해야 하고, >400 m의 깊이에 대해 높은 값이 적절하다. 중간 깊이에 대해, 평균값이 이용될 수 있다.

Tier 2 접근법을 이용하는 국가들에 대해, 탄전에 고유한 배출계수는 석탄 생산량과 함께, 표본 venting용 공기 또는 채굴 공정에 의해 영향을 받는 탄층 및 주변의 지층의 가스 함유량을 고려하는 계량적 관계로부터 구해질 것이다. 전형적인 긴 갱벽(longwall) 작업에 대해, 방출 가스량은 추출되는 석탄과 채굴층의 위 150 m와 아래 50 m내에 위치한 기타 가스 보유 지층으로부터 발생한다 (*GPG*, 2000).

채굴 후 배출

Tier 1 접근법에 대해 채굴 후 배출계수와 산정방법은 아래와 같다.

식 4.1.4
TIER 1: 세계적 평균 방법-채굴 후 배출-지하 탄광

메탄 배출량 = CH_4 배출계수 • 지하 석탄 생산량 • 전환계수

여기서 단위는

메탄 배출량 (Gg 년$^{-1}$)
CH_4 배출계수 (m^3 톤$^{-1}$)
지하 석탄 생산량 (톤 년$^{-1}$)

배출계수:

낮은 CH_4 배출계수 = 0.9 m^3 톤$^{-1}$
평균 CH_4 배출계수 = 2.5 m^3 톤$^{-1}$
높은 CH_4 배출계수 = 4.0 m^3 톤$^{-1}$

전환계수:

이는 CH_4의 밀도이며 CH_4의 부피를 CH_4의 질량으로 전환한다. 밀도는 20˚C, 1 대기압에서 구해지며 0.67 • 10^{-6} Gg m^{-3}의 값을 가진다.

채굴 후 배출량을 산정하기 위한 Tier 2 방법은 석탄의 원래의 가스함유량을 고려한다. 채굴 전에 기체화방지시스템(degasification)이 없이 지하 탄광으로부터 컨베이어 위에 나타날 때 석탄에 대한 측정치는 원래 가스의 25-40%가 석탄에 남아있다는 것을 나타낸다 (Williams and Saghafi, 1993). 사전 탈수(pre-drainage)를 이용하는 광산의 경우, 석탄내의 가스량은 어느 정도 원래의 값보다 작을 것이다. 원래의 가스함유량을 알고 있는 사전 탈수를 하지 않는 광산의 경우, 채굴후 배출계수는 원래 가스함유량의 30%로 설정될 수 있다. 사전 탈수를 하는 광산의 경우, 원래 가스의 10%의 배출계수가 제시된다.

채굴후 작업에 대해 Tier 3 방법은 가능하지 않은 것으로 생각된다.

탈수된 메탄으로부터 발생하는 배출

작업중인 (또는 폐쇄된) 지하 (또는 노천) 탄광에서 탈수된 메탄은 대기중으로 직접 venting되어, 회수 및 활용되거나, 활용이 되지 않은 채 연소 (flaring 내지 촉매 산화)를 통해 CO_2로 전환될 수 있다. 탈수된 메탄을 고려하는 방식은 메탄의 최종적인 이용에 따라 달라진다.

일반적으로,

- Tier 1은 배출계수를 이용하여 총괄적인 배출산정치를 나타낸다. 일반적으로, 탈수된 메탄과 관련된 배출이 Tier 1에 적용될 것으로 기대되지 않는다. 메탄이 탈수된다면, 배출량을 산정하기 위한 Tier 2 내지 Tier 3 방법의 이용을 가능하게 하는 보다 나은 자료가 존재할 것이다. 그렇지만, 메탄 탈수 작업이 존재하는 경우 Tier 1 방법이 국가 배출량을 산정하는데 이용되는 경우에, Tier 1은 아래의 논의에 포함되어 있다.
- 석탄 채굴의 일부로서 메탄이 탄층에서 탈수되고 flaring되거나 연료로 이용될 때, 이러한 양을 Tier 1과 Tier 2 (식 4.1.2)의 총 메탄 배출산정치에서 차감하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. flaring되거나 달리 활용되는 메탄의 양에 대한 자료는 일반적으로 지하 탄광 배출과 관련

된 측정과 동일한 빈도로 광산 운영자로부터 구해야 한다.

- Tiers 1과 2에서, 메탄이 탈수되고 활용되는 대신에 대기중으로 venting된다면, 이는 배출산정치의 일부를 형성하기 때문에 재집계하지 말아야 한다.
- Tier 3에서, 채굴 전에 기체화방지시스템에서 회수되고 대기중으로 venting되는 메탄은 총 산정치가 완전하도록 venting시스템을 통해 방출되는 메탄의 양에 추가되어야 한다. 일부 경우에, 기체화방지시스템의 자료는 극비로 간주되기 때문에, 기체화방지시스템 순배출량에 도달하기 위해 탈기 시스테의 수집 효율성을 산정하여 알려진 감소분을 차감하는 것이 필요할 것이다.
- 석탄 채굴 활동과 관련된 탄층 기체화방지시스템과 관련된 모든 메탄 배출은 배출 및 회수 작업이 발생하는 인벤토리년도에 고려되어야 한다. 그러므로, 대기중에 메탄을 배출하는 모든 ventilation shafts 및 모든 기체화방지시스템으로부터 발생하는 총배출은 배출이 채굴 활동과 관련되는 한, 언제 탄층이 관통되는가에 관계없이, 각각의 년도에 보고된다. 이는 탈수된 메탄이 탄층이 채굴된 년도에 고려되는 이전의 가이드라인과 차이를 보여준다.

회수된 메탄이 에너지원으로 이용될 때:

- 에너지원으로 회수된 탄광 메탄의 이용에서 발생한 배출은 최종적인 용도에- 예를 들어, 고정형 에너지 생산을 위해 이용될 때 에너지 권, 2장, '고정형 연소'에서 - 기초하여 고려되어야 한다.
- 탄층에서의 회수된 메탄이 가스 분배 시스템에 공급되어 천연가스로 이용되는 경우에, 탈루성 배출은 석유 및 천연가스 배출원 카테고리 (4.2장)에서 다루어진다.

회수된 메탄이 flaring될 때:

- 메탄이 CO_2로의 flaring 내지 촉매 산화에서처럼, 유용한 에너지로 이용되지 않고 단순히 연소될 때, 해당하는 CO_2 생산은 석탄 채굴 활동으로부터 발생한 (CO_2 eq.로 표현된) 총 온실가스 배출량에 추가되어야 한다. 이러한 배출은 아래의 식 4.1.5에 의해 나타나는 것처럼 고려되어야 한다. flaring 동안 배출되는 아산화질소 및 비메탄 휘발성 유기화합물의 양은 전체 탈루성 배출량에 비해 작으며 산정될 필요가 없을 것이다.

식 4.1.5
flaring 내지 촉매 산화된 탈수된 메탄으로부터 발생하는 CO_2와 CH_4의 배출량

(a)CH_4 연소로부터 발생하는 CO_2 배출량 = 0.98 • flaring된 메탄의 부피 • 전환계수 • 화학량적 질량계수

(a)타지 않은 메탄의 배출량 = 0.02 • flaring된 메탄의 부피 • 전환계수

여기서 단위는

메탄 연소로부터 발생하는 CO_2 배출량 (Gg 년$^{-1}$)

산화된 메탄의 부피 (m^3 년$^{-1}$)

화학량적 질량계수는 단위 질량의 메탄의 완전연소로부터 생성되는 CO_2의 질량비이며 2.75이다.

주석: 0.98은 flaring되는 천연가스의 연소효율성을 나타낸다 (Compendium of Greenhouse

gas Emission Methodologies for the Oil and gas Industry, American Petroleum Institute, 2004).

전환계수:

이는 CH_4의 밀도이며 CH_4의 부피를 CH_4의 질량으로 전환한다. 밀도는 20˚C, 1 대기압에서 구해지며 0.67 • 10^{-6} Gg m^{-3}의 값을 가진다.

4.1.3.3 활동도 자료의 선택

Tiers 1과 2에 요구되는 활동도 자료는 석탄생산량(raw coal production)이다. 석탄생산량에 대한 자료가 가용하다면 이를 직접 이용해야 한다. 일부 광물질을 제거하여 업그레이드하는 석탄 제조 공장 내지 세척공장으로 석탄을 보내지 않는다면, 석탄생산량은 판매가능한 석탄량과 동일하다. 석탄이 업그레이드된다면, 일부 석탄은 많은 광물질을 포함하는 폐기물 및 회수되지 않는 가루의 형태로 제거된다. 폐기물의 양은 전형적으로 석탄 무게의 20% 정도이지만 국가별로 상당히 다를 것이다. 활동도 자료가 판매가능한 석탄의 형태인 경우에, 세척되는 생산량으로 산정되어야 한다. 석탄 생산량은 세척을 통해 손실되는 비율만큼 '판매가능한 석탄'의 양을 증가시켜 산정한다.

석탄 산출량이 추출 공정의 의도적인 부분으로서 천장 내지 바닥의 암석을 포함하는 광산에 보다 적합한 대체적 접근법은 원탄(raw coal)이 아닌 석탄의 명확한 비율에 참조되는 배출계수와 연관하여 판매가능한 석탄을 이용하는 것이다. 이는 인벤토리의 주석에 표시되어야 한다.

Tier 3 방법에서, 실제 배출 측정치가 가용하기 때문에 석탄 생산량 자료는 불필요하다. 그렇지만, 연간 기준으로 지하 석탄 생산량과 실제 배출량과의 관계를 설명하기 위해 이들 자료를 수집하고 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

기체화방지시스템에 의해 탈수되는 메탄의 양질의 측정치는 탈수가 이용되는 광산에 대해 광산 운영자로부터 또한 가용해야 한다. 탈수 비율에 대한 상세한 자료가 존재하지 않는다면, 시스템의 효율성 (즉, 탈수되는 가스의 비율)에 대한 자료를 획득하거나 범위(예를 들어, 30-50%가 많은 기체화방지시스템에 전형적임)를 이용하여 산정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 관련 광산들이 가용한 자료를 가지고 있다면 이는 지침을 제공하기 위해 또한 이용될 것이다. 이전 연도의 연간 총 가스생산 기록이 유지되어야 한다; 이들 기록은 적절한 기관 내지 개별 광산으로부터 가용할 것이다.

탄광에서의 메탄 회수 및 활용에 대한 자료가 광산 운영자로부터 직접 가용하지 않은 경우에, 가스 매출량이 대용치로 이용될 수 있을 것이다. 가스 매출량이 가용하지 않다면, 대체안은 탈수 시스템의 알려진 효율성 사양으로부터 활용된 메탄의 양을 산정하는 것이다. 석탄 채굴활동으로부터 배출된 메탄만이 회수 및 활용되는 것으로 간주되어야 한다. 이들 배출은 2권, 4장, 4.2절, '석유 및 천연가스로부터 발생하는 탈루성 배출' 또는 배출이 에너지용으로 연소된다면, 2권, 2장, '고정형 연소'에서 고려되어야 한다.

4.1.3.4 지하 탄광에 대한 완전성

지하 채굴로부터 발생하는 배출의 산정치는 다음을 포함해야 한다:

- 기체화방지시스템으로부터 생산된 탈수된 가스
- venting 배출
- 채굴 후 배출
- 회수 및 활용 내지 flaring된 메탄량의 산정치
- 폐쇄된 지하 탄광 (방법론적 지침을 위해 4.1.5절을 참고)

이러한 하위 배출원 카테고리는 현재의 가이드라인에 포함되어 있다.

4.1.3.5 일관적 시계열의 개발

포괄적인 광산별(즉, Tier 3) 자료가 전체 연도가 아닌 일부 연도에 대해 가용할 지 모른다. 활동중인 광산의 수에 중대한 변화가 없었다면, 누락된 연도의 생산량에 대해 배출량이 조정될 수 있다. 광산 수에 변화가 있다면, 관련 광산들은 조정 외삽법(scaling extrapolation)에서 제외되어 별도로 처리될 수 있다. 그렇지만, 채굴중인 석탄, 처음 노출된 석탄 및 교란된 채굴 지역은 서로 다른 배출 비율을 가지기 때문에 크기를 조정할 때 주의를 기울여야 한다. 더욱이, 광산들은 생산량에 독립적인 높은 배경 배출 수준을 가질 지 모른다.

인벤토리 가이드라인은 채굴과 관련된 탄층 기체화방지시스템과 관련된 메탄 배출은 배출 및 회수 작업이 발생한 인벤토리 년도에 고려되어야 한다고 권고한다. 이는 메탄 배출 내지 저감이 석탄이 생산된 (예를 들어, 탈기 우물(degasification wells)이 "관통된") 연도동안 단지 고려되어야 한다고 제안한 이전 가이드라인과 차이가 난다. 그러므로, 실행 가능하다면, 일관적인 시계열을 작성하기 위해 이전 인벤토리연도의 재계산이 바람직하다.

인벤토리 작성자가 Tier 1 내지 Tier 2에서 Tier 3 방법으로 이동한 경우에, 측정자료가 있는 연도들에 대한 내재된 배출계수를 계산하고 이들 배출계수를 이들 자료가 존재하지 않는 연도의 석탄 생산량에 적용하는 것이 필요할 것이다. 중간 기간동안 광산 모집단의 조합이 극적으로 변화했는지 여부는 불확도를 가져올 수 있기 때문에 이를 고려하는 것은 중요하다. 1990년 이후로 폐쇄된 광산에 대해, 회사가 사라졌다면 자료가 보관되어 있지 않을 것이다. 일관성을 위해 시계열을 조정할 때 이들 광산은 별도로 취급되어야 한다.

활동중인 지하 탄광의 온실가스 배출의 특징이 뚜렷하고 '활동 중'에서 '폐쇄'로 광산이 바뀐 경우에, 석탄 채굴로부터의 총배출 기록에 중대한 단절을 가져오지 않도록 주의를 기울여야 한다.

4.1.3.6 불확도 평가

배출계수 불확도

Tiers 1과 2에 대한 배출계수

Tier 1 접근법의 불확도의 주된 원천은 두 가지 원천에서 발생한다. 이들은 다음과 같다:

- 개별 국각에 세계적 배출계수의 적용
- 배출계수 자체의 고유한 불확도

위의 첫 번째 요점으로 인한 불확도는 계량화하기 어렵지만 중요하다. 동일한 석탄 지역내에서 자연적 변동이 발생하는 것으로 알려져 있기 때문에 배출계수의 고유한 불확도 또한 계량화하기 어렵다.
Tier 2 접근법에 대해, 탄전에 고유한 자료는 Tier 1 접근법에 비해 배출계수에서의 고유한 불확도를 감소시키지만, 동일한 권고가 적용된다. 배출계수의 고유한 변동에 관해, GPG *(2000)*의 '전문가 판단'은 이것이 적어도 ±50%일 것이라고 제안한다.

표 4.1.2는 지하 석탄 채굴로부터 발생하는 배출과 관련된 Tier 1과 Tier 2 불확도를 보여준다. 이러한 Tier들의 불확도는 전문가 판단에 기초한다.

표 4.1.2
TIER 1과 TIER 2 접근법에 대한 지하 채굴의 불확도 산정치

탄광 메탄 배출계수의 가능한 불확도 (전문가 판단-GPG, 2000*)		
방법	**채굴**	**채굴 후**
Tier 2	±50-75%	±50%
Tier 1	2배보다 크거나 작음	3배보다 크거나 작음

*GPG, 2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (2000)

Tier 3

지하 탄광으로부터 발생하는 메탄 배출은 채굴 및 가스 탈수의 비율에서의 변화로 인해 상당한 자연적 변동을 가진다. 예를 들어, 긴 갱벽 채굴(longwall mining)에서 방출되는 가스는 긴 갱벽 패널의 수명동안 2배까지 달라질 수 있다. 지하 탄광 배출의 빈번한 측정은 이러한 변동을 설명하며 측정기법에서의 내재된 오차를 또한 감소시킬 수 있다. 석탄생산 비율 및 관련 탈수에서의 변화로 인해 배출이 연중 달라지기 때문에, 변화를 평준화하기 위해 실행 가능한 한 자주, 매 2주 내지 매달 측정자료를 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 일일 측정은 보다 양질의 산정치를 보장할 것이다. 배출의 지속적 모니터링은 배출 모니터링의 가장 높은 단계를 나타내며, 일부 현대적인 긴 갱벽 광산에서 수행된다.

venting용 공기내의 메탄 농도의 현장 측정은 이용되는 장비에 따라 ±20% 정도로 정확하다. 시계열 자료 내지 반복 측정은 연간 배출의 불확도를 지속적 모니터링에 대해 ±5%로, 그리고 매 2주에 수행되는 모니터링에 대해 10-15%로 감소시킬 것이다. venting용 공기흐름은 일반적으로 매우 정확히 알려지게 된다 (±2%). 배출 농도의 부정확성과 측정 및 즉각적인 측정의 계산으로 인한 비정밀도를 조합할 때, 개별 광산의 전체 배출은 10% 정도 과소 표시되거나 30% 정도 과대 표시된다 (Mutmansky and Wang, 2000).

(기체화방지시스템으로부터) 탈수된 가스의 메탄 농도에 관한 현장 측정은 보다 높은 농도 때문에 ±2%로 정확할 것이다. 대표성있는 표본을 얻기 위해 venting용 공기의 측정에 필적하는 빈도로 측정이 이루어져야 한다. 측정된 degasification flowrates은 ±5%로 알려져 있다. 가스 매출량에 기초하여 산정된 degasification flowrates은 파이프라인 가스 품질의 허용오차(tolerances)로 인해 적어도 ±5%의 불확도를 가질 것이다.

지속적 내지 일일 배출측정을 하는 단일한 긴 갱벽 작업에 대해, 월 내지 연간 평균 배출자료의 정확성은 ±5%일 것이다. 매 2주에 수행되는 현장 측정의 정확성은 ±10%이고, 3개월 간격에서 ±30%이다. 덜 빈번한 유형의 측정절차에 기초하여 광산으로부터 발생하는 배출을 통합하는 것은 가스생산에서의 변동에 의해 초래되는 불확도를 감소시킬 것이다. 그렇지만, 탈루성 배출이 단지 소수의 광산으로부터 발생하는 기여에 의해 종종 지배되기 때문에, 이러한 개선의 정도를 산정하는 것은 어렵다.

지하 탄광에 대한 불확도 산정치는 표 4.1.3에서 보여진다.

표 4.1.3
TIER 3 접근법에 대한 지하 석탄 채굴의 불확도 산정치

배출원	세부 내용	불확도	참고문헌
탈수 가스 (Drainage gas)	탈수 가스에 대한 CH_4의 현장 측정	±2%	전문가 판단 (GPG, 2000*)
	degasification flowrates	±5%	전문가 판단 (GPG, 2000)
Ventilation gas	지속적 내지 일일 측정	±5%	전문가 판단 (GPG, 2000)
	매 2주의 현장 측정	±10%	Mutmansky and Wang, 2000
	매 3개월의 현장 측정	±30%	Mutmansky and Wang, 2000

*GPG, 2000 - IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (2000)

활동도 자료 불확도

석탄 생산량: 국가에 고유한 톤 수는 1-2%로 알려질 것이지만, 석탄 자료가 가용하지 않다면, 판매가능한 석탄 생산자료로부터 전환될 때 불확도는 ±5% 정도로 증가할 것이다. 자료는 또한 일반적으로 5-10%사이의 수준에서 나타나며 매우 정확히 결정되지는 않는 수분함유량에 의해 영향을 받는다.

측정의 불확도와 별도로, 여기에서 고려되지 않은 통계 데이터베이스의 성격에 의해 도입되는 추가적인 불확도가 존재할 수 있다. 통제된 광산과 비통제된 광산이 혼합되어 있는 국가에서, 활동도 자료는 ±10%의 불확도를 가질 것이다.

4.1.4 노천 석탄 채굴

노천 채굴로부터 발생하는 배출을 산정하는데 이용되는 기본적인 식은 식 4.16에서 보여진다.

식 4.1.6
노천 석탄 채굴로부터 발생하는 탈루성 배출을 산정하기 위한 일반적인 식

CH_4 배출량 = CH_4의 노천 채굴 배출량 + CH_4의 채굴 후 배출

4.1.4.1 방법론의 선택

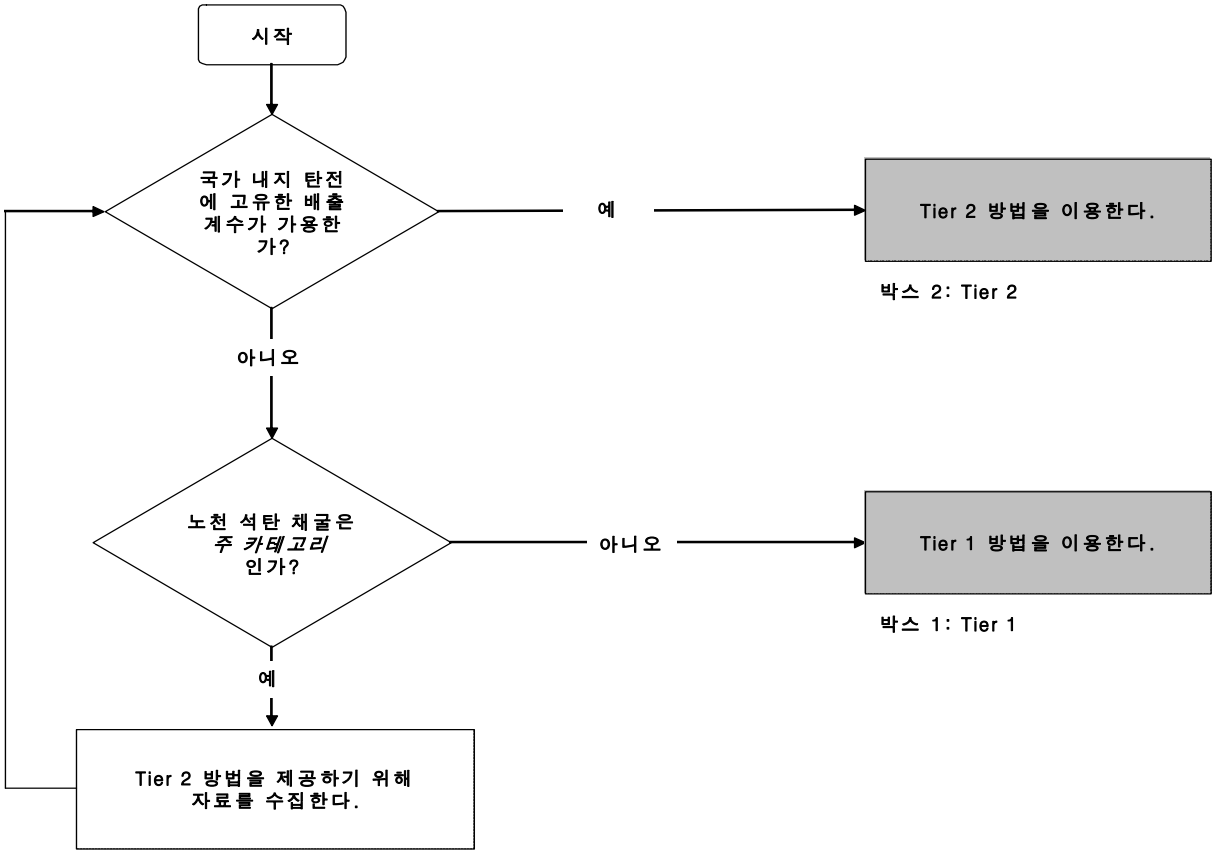
노천 탄광에 대해 광산에 고유한 Tier 3 측정자료를 수집하는 것은 아직 가능하지 않다. 대체안은 노천 탄광 석탄생산량에 대한 자료를 수집하고 배출계수를 이용하는 것이다. 상당한 석탄 생산량과 다수의 탄전을 가지고 있는 국가에 대해, 자료 및 배출계수를 탄전 수준으로 세분화하는 것은 정확성을 개선할 것이다. 생산량에 기초한 배출계수의 불확도가 주어질 때, 가이드라인내에 지정된 범위로부터 배출계수를 선택하는 것은 Tier 1 접근법에 대한 합리적인 산정치를 제공할 수 있을 것이다.

지하 채굴에서 같이, 채굴 후 배출의 직접적인 측정은 실행불가능하므로 배출계수 접근법이 권고된다. 보다 나은 자료를 획득하는데 어려움이 있을 때, 이러한 배출원에 대해 Tier 2와 Tier 1 접근법이 합리적이다.

CO_2를 생산하는 대기중에서의 석탄 산화가 노천 탄광에서 발생하는 것으로 알려져 있지만, 이러한 배출은 특히 폐기장 복구의 영향을 고려할 때, 중대한 것으로 생각되지 않는다. 표토 및 산림 녹화로 폐기장을 덮는 것과 관련된 복구작업은 폐기장의 산소 흐름을 감소시키므로 CO_2 생산 비율을 감소시킨다.

폐기물 더미에서의 통제되지 않은 연소는 일부 노천 탄광의 특징이다. 그렇지만, 이러한 배출은 계량화하기가 극히 어려우며 방법론을 포함하는 것은 불가능하다.

그림 4.1.2 노천 석탄 채굴에 대한 의사결정도



주: 주 카테고리 및 의사결정도의 이용에 관한 논의에 대해, 1권의 4장, "방법론 선택 및 주 카테고리"를 참고한다 (제한된 자원에 대해 4.1.2 절을 주목한다).

4.1.4.2 노천 채굴에 대한 배출계수

노천 채굴로부터 발생하는 메탄 배출의 측정이 점차 가능해지고 있지만, 측정은 어려우며 현재 널리 적용되는 절차는 존재하지 않는다. 상층물(overburden) 제거 이전에 원래의 가스함유량에 대한 자료는 많은 노천 채굴 작업에서 또한 드물다.

식 4.17에서 산정방법과 함께 Tier 1 배출계수가 보여진다.

식 4.1.7
TIER 1: 세계적 평균 방법-노천 탄광
메탄 배출량 = CH_4 배출계수 • 노천 석탄 생산량 • 전환계수

여기서 단위

메탄 배출량 (Gg 년$^{-1}$)
CH_4 배출계수 (m^3 톤$^{-1}$)
노천 석탄 생산량 (톤 년$^{-1}$)

배출계수:

낮은 CH_4 배출계수 = 0.3 m^3 톤$^{-1}$
평균 CH_4 배출계수 = 1.2 m^3 톤$^{-1}$
높은 CH_4 배출계수 = 2.0 m^3 톤$^{-1}$

전환계수:

이는 CH_4의 밀도이며 CH_4의 부피를 CH_4의 질량으로 전환한다. 밀도는 20˚C, 1 대기압에서 구해지며 0.67 • 10^{-6} Gg m^{-3}의 값을 가진다.

Tier 1 접근법에 대해, 25미터 미만의 평균 상층물 깊이를 가지는 광산에 대해 특정한 배출범위의 낮은 쪽을 이용하고 50 미터 이상의 상층물 깊이에 대해 높은 쪽을 이용하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 중간 깊이에 대해, 배출계수의 평균값이 이용될 것이다. 상층물 두께에 대한 자료가 없는 경우에, 평균 배출계수, 즉 1.2 m^3/톤을 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법은 Tier 1과 동일한 식을 이용하지만 탄전 수준으로 세분화된 자료를 가진다.

채굴 후 배출 - 노천 채굴

Tier 1 접근법에 대해 채굴 후 배출은 식 4.1.8에서 보이는 배출계수를 이용하여 산정될 수 있다.

식 4.1.8
TIER 1: 세계적 평균 방법-채굴 후 배출-노천 탄광
메탄 배출량 = CH_4 배출계수 • 노천 석탄 생산량 • 전환계수

여기서 단위

메탄 배출량 (Gg 년$^{-1}$)
CH_4 배출계수 (m^3 톤$^{-1}$)
노천 석탄 생산량 (톤 년$^{-1}$)

배출계수:
낮은 CH_4 배출계수 = 0 m^3 톤$^{-1}$
평균 CH_4 배출계수 = 0.1 m^3 톤$^{-1}$
높은 CH_4 배출계수 = 0.2 m^3 톤$^{-1}$
전환계수:
이는 CH_4의 밀도이며 CH_4의 부피를 CH4의 질량으로 전환한다. 밀도는 20°C, 1 대기압에서 구해지며 0.67 • 10^{-6} Gg m^{-3}의 값을 가진다.

낮거나 높은 배출계수의 이용을 지원하는 국가에 고유한 증거가 존재하지 않는다면 평균 배출계수가 이용되어야 한다.

4.1.4.3 활동자료

지하탄광에서처럼, Tiers 1과 2에 요구되는 활동자료는 석탄 생산량이다. 4.1.3.3절에서 지하 채굴의 Tier 1과 Tier 2에 대한, 석탄 생산량 자료에 관련된 설명은 노천 채굴에도 또한 적용된다.

4.1.4.4 노천 채굴에 대한 완전성

노천 채굴의 배출산정치는 다음을 포함해야 한다:

- 석탄의 분쇄 및 주변 지층으로부터 채굴 동안 발생하는 배출
- 채굴 후 배출
- 폐기물 더미/ 상층물 더미의 화재

현재에는 위의 처음 두 개의 배출원만이 고려된다. 저온 산화로부터 발생하는 일부 배출이 존재하지만, 이는 중요하지 않은 것으로 생각되고 있다.

4.1.4.5 일관적인 시계열의 개발

일부 인벤토리년도에 대해 노천 탄광의 누락된 인벤토리자료가 존재할 수 있다. 활동중인 노천 탄광의 수에 중대한 차이가 존재하지 않는다면, 누락된 연도에 대해 배출량은 생산에 대해 조정될 수 있다. 광산의 수에 변화가 존재한다면, 관련된 광상은 조정 외삽법(scaling extrapolation)에서 제외되어 별도로 처리될 수 있다. 새로운 탄전에서 새로운 광산이 생산을 시작했다면, 각 탄전은 원래의 가스함유량 및 배출비율에서 다른 특징을 가질 것이기 때문에 이러한 광산에 적용되는 배출량을 평가하는 것이 중요하다.

노천 탄광에서 탄층 기체화방지시스템이 수행된다면, 배출 및 회수작업이 발생한 인벤토리년도에 메탄을 산정하고 보고해야 한다.

4.1.4.6 배출에서 불확도 평가

배출계수 불확도

노천 탄광으로부터 발생하는 배출의 불확도는 지하 채굴보다 잘 계량화되지 않는다. 간단히 말하면, 불확도의 원천은 지하 탄광에 대해 4.1.4.절에서 기술된 것과 동일하다. 그렇지만, 노천 탄광은

지역적 지질 특성의 결과로서 광산의 크기에 중대한 변동을 보일 수 있기 때문에, 대규모 노천 탄광의 배출계수의 변동성은 지하 탄광보다 클 것으로 기대된다.

표 4.1.4는 노천 채굴 배출에 관련된 Tier 1과 Tier 2의 불확도를 보여준다.

표 4.1.4
TIER 1과 TIER 2 접근법에 대한 노천 채굴의 불확도 산정치

노천 채굴에 대한 탄광 메탄 배출계수의 가능한 불확도 (전문가 판단*)		
방법	**노천**	**채굴 후**
Tier 2	2배보다 크거나 작음	±50%
Tier 1	3배보다 크거나 작음	3배보다 크거나 작음
GPG, 2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (2000)		

활동도 자료의 불확도

4.1.3.6절에서 지하 채굴에 대한 설명이 노천 채굴에도 적용된다.

4.1.5 폐쇄된 지하 탄광

봉쇄되거나 폐쇄된 지하 탄광은 광산이 봉쇄되거나 조업이 중지된 이후의 일정기간 동안 계속하여 온실가스 배출의 배출원일 것이다. 배출인벤토리를 위해, 각 광산이 단지 하나의 인벤토리 데이터베이스(예를 들어, 활동 중 내지 폐쇄)내에 분류되는 것은 중요하다.

폐쇄된 광산이 처음으로 이 가이드라인에 나타나기 때문에, Tier 1과 Tier 2 접근법은 어느정도 상세히 기술된다. 아래에 제시된 Tier 1과 Tier 2 접근법은 USEPA (Franklin et al, 2004)에 의해 개발된 접근법에 주로 기초하며 보다 세계적으로 적용가능하도록 개조되었다. 폐쇄된 광산에 대해 국가에 고유한 자료가 존재하는 경우에, 국가에 고유한 자료를 이용할 것으로 기대된다.

Tier 3 접근법은 광산에 고유한 자료의 이용에 대한 유연성을 제공한다. 아래에 요약된 Tier 3 방법론은 미국의 방법론 (Franklin et al 2004; US EPA 2004)에서 개조되었다. 다른 관련 작업은 Tier 3 접근법의 또다른 예제를 제공하는, 영국 (Kershaw, 2005)에 의해 지원을 받았다.

4.1.5.1 방법론의 선택

폐쇄된 지하 탄광으로부터 발생하는 배출을 산정하는 기본적인 식은 식 4.19에서 보여진다.

식 4.1.9
폐쇄된 지하 탄광으로부터 발생하는 탈루성 배출을 산정하기 위한 일반적인 식

CH_4 배출량 = 폐광으로부터 발생하는 배출량 - 회수된 CH_4 배출량

폐쇄된 지하 탄광으로부터의 배출산정치를 개발하는 것은 역사적 기록을 요구한다. 그림 4.1.3은

어느 Tier를 이용하는지 결정하는 방법을 보여주는 의사결정도이다.

Tier 1과 2

각 광산 (내지 광산의 집단)에 대해 폐광의 배출량을 산정하는데 이용되는 두 가지 핵심적인 입력 변수는 배출인벤토리의 연도에 대한, 광산이 폐쇄된 이후에 경과된 시간 (년도)과 광산의 가스량 (gassiness)을 고려한 배출계수이다. 적용가능하고 적절하다면, 특정한 광산에서의 메탄 회수는 하이브리드형 Tier 2 – Tier 3 접근법에서 특정한 광산에 대해 통합될 수 있다 (아래를 참고함).

- Tier 2는 탄광의 폐쇄에 대해 석탄 유형에 고유한 정보와 보다 좁은 시간 간격을 통합한다.
- Tier 1은 기본값과 보다 넓은 시간 간격을 포함한다.

Tier 1 접근법에 대해, 주어진 인벤토리년도의 배출량은 식 4.1.10으로부터 계산될 수 있다.

식 4.1.10
폐쇄된 지하 탄광에 대한 TIER 1 접근법

메탄 배출량 = 침수되지 않은 폐쇄된 탄광의 수 • 가스량이 많은 탄광의 비율 • 배출계수 • 전환계수

여기서 단위는

메탄 배출량 (Gg 년$^{-1}$)

배출계수 (m^3 년$^{-1}$)

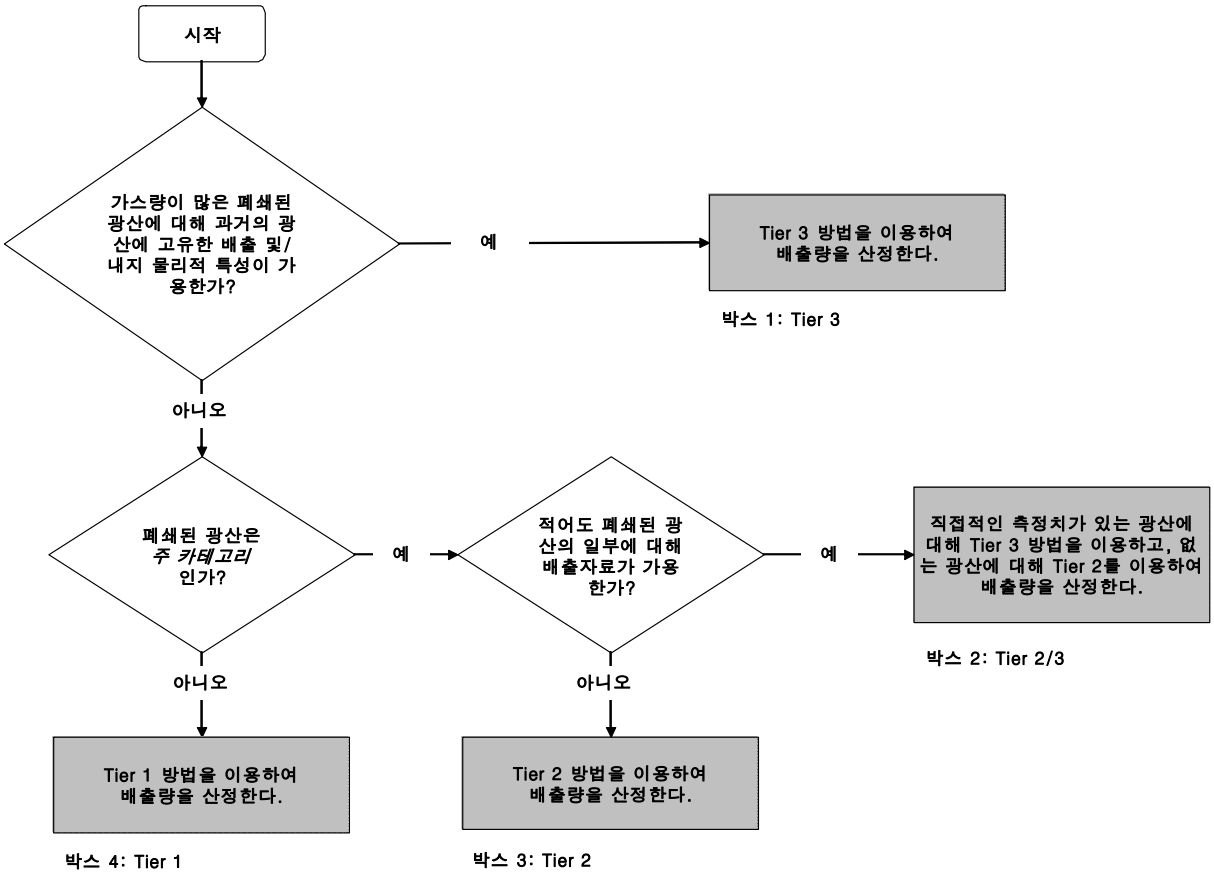
주석: 여기서 배출계수는 지하, 노천 및 채굴 후 배출에 대한 정의와 비교하여 다른 단위를 가진다. 이는 지하 내지 노천 채굴과 비교하여 폐광으로부터 발생하는 배출을 산정하기 위해 다른 방법을 이용하기 때문이다.

이 식은 각각의 시간 간격에 적용되며, 총배출을 계산하기 위해 각각의 시간 간격의 배출이 누적된다.

전환계수:

이는 CH_4의 밀도이며 CH_4의 부피를 CH_4의 질량으로 전환한다. 밀도는 20˚C, 1 대기압에서 구해지며 0.67 • 10^{-6} Gg m^{-3}의 값을 가진다.

그림 4.1.3 폐쇄된 지하 탄광에 대한 의사결정도



주석: 주 카테고리 및 의사결정도의 이용에 관한 논의에 대해, 1권의 4장, "방법론 선택 및 주 카테고리"를 참고한다 (제한된 자원에 대해 4.1.2 절을 주목한다).

Tier 3

Tier 3 접근법 (Franklin et al, 2004 and Kershaw, 2005)은 활동중일 때 광산으로부터 발생한 venting용 배출량, 채굴된 탄층의 특징, 광산의 크기 및 깊이, 폐쇄된 광산의 조건(예를 들어, 수문적 상태, 침수 중 내지 침수, 봉쇄 내지 venting 여부)과 같은 탄광에 고유한 정보를 요구한다. 각 국가는 알려진 국가 내지 탄전에 고유한 석탄 속성에 기초하여 (배출 감소 곡선(emission decline curves)으로 알려진) 시간의 함수로서 폐쇄된 광산의 배출량의 프로필을 생성하거나 석탄 등급, 또는 수학적 모델링 기법과 조합한 측정에 기초한 보다 일반적인 곡선을 이용할 것이다. 폐광에서 일어나는 메탄 회수 프로젝트가 존재한다면, 이러한 프로젝트에 대한 자료는 가용할 것으로 기대된다. 탄광에 고유한 Tier 3 방법론은 관련된 메탄 회수 프로젝트가 있는 광산으로부터 발생하는 배출량을 계산하는데 적절하며 국가적 수준의 Tier 2 배출인벤토리와 하이브리드형 접근법의 일부로서 통합될 수 있다.

일반적으로, 폐광의 메탄 (AMM)에 관한 국가인벤토리를 개발하기 위한 Tier 3 과정은 다음의 단계들로 구성된다:

1. 가스량이 많은 폐쇄된 탄광의 데이터베이스를 생성한다.
2. 메탄 배출량에 영향을 미치는 핵심적인 요인을 확인한다: 수문적 (침수) 상태, 투과성의 광산

조건 (봉쇄 내지 venting 여부) 및 폐쇄 이후의 경과 시간
3. 탄광 내지 탄전에 고유한 배출비율 감소 곡선 내지 등가 모형을 개발한다.
4. 현장측정 프로그램을 통해 수학적 모형의 타당성을 검증한다.
5. 각 연도의 국가 배출인벤토리를 계산한다.
6. 메탄 회수 및 활용으로 인한 배출량 저감에 대해 조정한다.
7. 순 총배출량을 결정한다.

하이브리드형 접근법

서로 다른 역사적 기간에 대해 가장 좋은 자료의 가용성을 반영하기 위해 서로 다른 Tier 방법론들의 조합이 이용될 수 있다. 예를 들어, 특정한 국가에서, 오래 전에 폐쇄된 광산으로부터 발생하는 배출은 Tier 1 방법을 이용하여 결정될 필요가 있다. 동일한 국가에서, 보다 정확한 자료가 가용하다면 Tier 2 내지 3 방법을 이용하여 보다 최근에 폐쇄된 광산으로부터 발생하는 배출을 결정하는 것이 가능할 것이다.

완전히 침수된 광산

인벤토리 개발을 위해 이용되는 데이터베이스 및 기타 기록에서 완전히 침수된 것으로 알려진 광산을 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이지만, 이러한 광산으로부터 발생하는 배출은 사소하기 때문에 광산에 0의 배출량이 할당되어야 한다.

회수 및 활용을 통한 배출 저감

일부 경우에, 봉쇄되거나 폐쇄된 광산으로부터 발생하는 메탄은 회수 및 활용되거나 flaring된다. 폐광으로부터의 메탄 회수는 펌프 작업이 없을 때 배출되었을 양보다 많이, 회수되는 메탄의 양을 증가 내지 "가속화"하는 펌프 작업을 수반한다.

배출을 산정하기 위해 배출 감소 곡선 내지 모형이 이용되는 탄광에 고유한 (Tier 3) 접근법하에서, 배출 저감량이 특정 연도에 회수가 일어나지 않았다면 광산에서 발생했을 배출량보다 작다면, 순배출량을 구하기 위해 회수 및 활용에서의 배출 저감량은 배출량에서 차감되어야 한다. 특정 연도에서 회수 및 활용된 메탄이 회수가 일어나지 않았다면 발생했을 배출량을 초과한다면, 해당 연도에 해당 광산으로부터의 순배출량은 0으로 간주된다.

(혼자 내지 Tier 2와 조합하여) Tier 3 방법이 이용되지 않는다면, 폐광으로부터 회수 및 활용된 메탄의 총량은 보고된 배출량이 0 이상이라는 조건 하에서, 식 4.1.9에 의해, 폐광의 총배출량에서 차감되어야 한다. Tier 3 방법은 적절한 자료가 가용한 경우에 이용되어야 한다.

4.1.5.2 배출계수의 선택

Tier 1: 세계적 평균 접근법-폐쇄된 지하 탄광

폐쇄된 지하 탄광으로부터 발생하는 배출량을 결정하기 위한 Tier 1 접근법은 아래에 기술되며 USEPA (Franklin et al , 2004)에 의해 개발된 방법에 주로 기초하고 있다. 이는 광산이 활동적으로 석탄을 생산하고 있었을 때, 가스량이 많은 것으로 간주된 광산들의 비율을 고려하는 계수를

포함하고 있다. 그러므로, 이 방법론은 폐쇄된 탄광의 총 개수에 기초하며, 아래에 기술되는 것처럼, 가스량이 많은 것으로 간주되는 비율에 의해 조정된다. 활동적으로 채굴될 때 가스량이 많지 않은 것으로 간주된 폐광은 배출량이 사소한 것으로 가정된다. 미국식 방법론에서, 가스량이 많은 광산(gassy mines)이라는 용어는, 활동 중이었을 때, 일일 2 800에서 14 000의 세제곱 미터 (m^3/d) 또는 연간 0.7에서 3.4 Gg의 범위를 초과하는 평균 연간 venting 배출량을 가지는 탄광을 말한다.

폐쇄된 지하 탄광에 대한 Tier 1 접근법은 아래와 같다:

1. 가스량이 많은 탄광이 폐쇄될 때 아래의 시간 간격에서 근사적 시간 (연간 간격)을 결정한다:
   a. 1901 – 1925
   b. 1926 – 1950
   c. 1951 – 1975
   d. 1976 – 2000
   e. 2001 - present
2. 적절한 경우에 다수의 간격이 이용될 것이다. 각 시간 간격 동안 폐쇄된 가스량이 많은 탄광의 수는 가용한 자료에 기초하여 가능한 한 가장 작은 시간 간격을 이용하여 산정되어야 한다고 권고된다. 이상적으로는 보다 최근의 기간에 대해, 시간 간격이 감소할 것이다 (예를 들어, 1990년 이전에 10년의 간격; 1990년 이후에 연간 간격). Tier 1 접근법에서 다수의 기간들이 조합되기 때문에, 서로 다른 기간 동안 폐쇄된 서로 다른 탄광 집단에 대한 정보가 고려되어야 한다.
3. 1990년 이후로 침수되지 않은 채 남아있는 각 기간에서의 폐광의 총 개수를 산정한다. 침수 정도에 대한 지식이 존재하지 않는다면 광산의 100%가 침수되지 않는 것으로 가정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 폐광의 수를 산정하기 위한 목적상, 시험용 굴 및 소규모의 수작업 광산은 제외되어야 한다.
4. 광산 봉쇄 시점에 가스량이 많은 것으로 간주될 탄광의 백분율을 결정한다. 위에서 선택된 시간 간격에 기초하여, 표 4.1.5에 나열된 고저 기본값에서 가스량이 많은 탄광의 산정 백분율을 선택한다. 실제 산정치는 0에서 100%까지 범위내에 어디든 존재할 수 있다. 표 4.1.5에 나열된 고저 기본값 내에서 선택할 때, 국가는 가스량이 많은 광산의 백분율에 기여할 지 모르는, 석탄 등급, 가스함유량, 및 채굴 깊이와 같은 모든 가용한 역사적 정보를 고려해야 한다. 가스량이 많은 광산의 기록 사례 (예를 들어, 메탄 폭발 내지 분출)를 가지고 있는 국가는 20세기의 초반부에 높은 기본값을 선택해야 한다. 1926년에서 1975년까지, 광산이 상대적으로 깊고 수력 장비가 이용된 국가는 높은 기본값을 선택해야 한다. 깊은 긴 갱벽 광산을 가지거나 많은 가스량의 증거를 가지고 있는 국가는 1975년 이후의 기간에 대해 높은 값을 선택해야 한다. 낮은 범위의 기본값은 지질 조건 내지 알려진 채굴 관행에 기초하여, 특정한 지역, 탄전, 내지 국가에서 주어진 시간 간격에 대해 적절할 것이다.
5. (1990년에서 현재 사이의) 관심있는 인벤토리년도에 대해, 표 4.1.6에서 적절한 배출계수를 선택한다. 예를 들어, 1901년에서 1925년의 기간에 폐쇄된 광산과 2005년의 인벤토리 보고년도에 대해, 이들 광산의 배출계수는 광산당 0.256 백만 m^3의 메탄량 값을 가질 것이다.
6. 각 기간에 대해 식 4.1.10으로부터 관심있는 인벤토리년도까지의 총 메탄 배출량을 계산한다.
7. 각 인벤토리년도에 대한 총 폐광 배출량을 유도하기 위해 각 시간 간격의 배출량을 합산한다.

표 4.1.5
TIER 1-폐쇄된 지하 탄광 기본값 - 가스량이 많은 탄광의 백분율

시간 간격	저	고
1900-1925	0%	10%
1926-1950	3%	50%
1950-1976	5%	75%
1976-2000	8%	100%
2001-현재	9%	100%

표 4.1.6
TIER 1 폐쇄된 지하 탄광 배출계수, 백만 M^3 메탄 / 광산

	광산 패쇄 간격				
인벤토리년도	1901 1925	1926 1950	1951 - 1975	1976 2000	2001 현재
1990	0.281	0.343	0.478	1.561	NA
1991	0.279	0.340	0.469	1.334	NA
1992	0.277	0.336	0.461	1.183	NA
1993	0.275	0.333	0.453	1.072	NA
1994	0.273	0.330	0.446	0.988	NA
1995	0.272	0.327	0.439	0.921	NA
1996	0.270	0.324	0.432	0.865	NA
1997	0.268	0.322	0.425	0.818	NA
1998	0.267	0.319	0.419	0.778	NA
1999	0.265	0.316	0.413	0.743	NA
2000	0.264	0.314	0.408	0.713	NA
2001	0.262	0.311	0.402	0.686	5.735
2002	0.261	0.308	0.397	0.661	2.397
2003	0.259	0.306	0.392	0.639	1.762
2004	0.258	0.304	0.387	0.620	1.454
2005	0.256	0.301	0.382	0.601	1.265
2006	0.255	0.299	0.378	0.585	1.133
2007	0.253	0.297	0.373	0.569	1.035
2008	0.252	0.295	0.369	0.555	0.959
2009	0.251	0.293	0.365	0.542	0.896
2010	0.249	0.290	0.361	0.529	0.845
2011	0.248	0.288	0.357	0.518	0.801
2012	0.247	0.286	0.353	0.507	0.763
2013	0.246	0.284	0.350	0.496	0.730
2014	0.244	0.283	0.346	0.487	0.701
2015	0.243	0.281	0.343	0.478	0.675
2016	0.242	0.279	0.340	0.469	0.652

폐쇄된 지하 탄광이 처음으로 포함되기 때문에 예제용 계산이 표 4.1.7에 포함되어 있다.

표 4.1.7
TIER 1 폐쇄된 지하 탄광 예제용 계산

	광산 폐쇄 간격					
	1901 – 1925	**1926 – 1950**	**1951 – 1975**	**1976 – 2000**	**2001 – 현재**	**2005년 인벤토리 년도에 대한 총계**
기간당 폐쇄된 광산의 수	20	15	10	5	1	
가스량이 많은 광산의 비율	0.1	0.5	0.75	1.0	1.0	
2005년 인벤토리년도의 배출계수 (표 4.1.6에서)	0.256	0.301	0.382	0.601	1.265	
총 배출량 (식 4.1.10에서 연도당 Gg CH_4)	0.34	1.51	1.92	2.07	0.85	6.64

Tier 2 – 국가 내지 탄전 고유 접근법

폐광의 메탄 배출인벤토리를 개발하기 위한 Tier 2 접근법은 Tier 1과 비슷한 접근법을 다르지만, Tier 2는 국가 내지 탄전에 고유한 자료를 통합한다. 아래에 제시된 방법론은 가능한 경우에 탄전 내지 국가에 고유한 자료 (예를 들어, 폐쇄 이전에 활동 중인 광산의 배출량, 배출계수에 대한 탄전에 고유한 입력변수, 등)를 이용하기 위한 것이다.

일부 경우에, 이들 값에 대해 기본값 입력변수가 제공되지만 이는 국가 내지 탄전에 고유한 자료가 가용하지 않을 때에만 이용되어야 한다.

식 4.1.11을 이용하여 주어진 인벤토리년도에 대한 배출량을 계산한다:

식 4.1.11
메탄 회수 및 활용이 없는 폐쇄된 지하 탄광에 대한 TIER 2 접근법

메탄 배출량 = 침수되지 않은 채 남아있는 탄광의 수 • 가스량이 많은 광산의 비율 • 평균 배출비율 • 배출계수 • 전환계수

여기서 단위

메탄 배출량 (Gg 년$^{-1}$)

배출비율 (m^3 년$^{-1}$)

배출계수 (단위 없음, 식 4.1.11을 참고)

전환계수:

이는 CH_4의 밀도이며 CH_4의 부피를 CH_4의 질량으로 전환한다. 밀도는 20˚C, 1 대기압에서 구해지며 0.67 • 10^{-6} Gg m^{-3}의 값을 가진다.

개별 광산이 완전히 침수된 것으로 알려져 있다면, 0의 배출값이 할당될 것이다. 폐광에서 메탄을 이용내지 flaring시키는 회수 프로젝트로 인한 메탄 배출 저감량은 배출산정치에서 차감되어야 한다. 이러한 경우에 대해, 이러한 탄광에 고유한 정보를 통합하기 위해 하이브리드형 Tier 2 – Tier 3 접근법을 이용하도록 권고된다 (4.1.5.1절과 4.1.5.3절에서, 폐광으로부터 메탄의 회수 및 활용 프로젝트에 관한 논의를 참고한다).

폐쇄된 지하 탄광에 대한 Tier 2 접근법의 기본적 단계는 다음과 같다:

- 상당수의 가스량이 많은 탄광이 폐쇄된 근사적인 시간 간격을 결정한다. 적절한 경우에 다수의 간격이 이용될 것이다. 각 시간 간격 동안 폐쇄된 가스량이 많은 탄광의 수는 가용한 자료에 기초하여 가능한 한 가장 작은 시간 간격을 이용하여 산정하도록 권고된다. 이상적으로는 보다 최근의 기간에 대해, 시간 간격이 감소할 것이다 (예를 들어, 1990년대 이전에 10년의 간격; 1990년 이후에 연간 간격).
- 선택된 각 시간 간격에 침수되지 않은 채 남아있는 폐광의 총 개수를 산정한다. 폐광의 침수 상태에 대한 가용한 정보가 존재하지 않는다면, 100% 침수되지 않는 것으로 가정한다.
- 탄광의 폐쇄 시점에 가스량이 많은 것으로 간주될 탄광의 수 (내지 백분율)를 결정한다.
- 각 시간 간격에 대해, 평균 배출비율을 결정한다. 국가 내지 탄전에 고유한 자료가 존재하지 않는다면, 폐쇄 이전에 활동중인 광산의 배출량에 대한 고저 산정치가 표 4.18로부터 선택될 수 있다.
- 각 시간 간격에 대해, 폐쇄에 관한 산정 자료와 배출인벤토리의 연도 사이의 연도 차이에 기초하여 식 4.1.12을 이용하여 적절한 배출계수를 계산한다. 배출계수 식에 대한 기본값이 표 4.1.9에서 제공되지만 이들 기본값은 국가 내지 탄전에 고유한 정보가 가용하지 않을 때에만 이용되어야 함을 주목한다.
- 식 4.1.11을 이용하여 각 시간 간격에 대한 배출량을 계산한다.
- 각 인벤토리년도에 대해 총 폐광 배출량을 유도하기 위해 각 시간 간격의 배출량을 합산한다.

표 4.1.8
TIER 2 폐쇄된 지하 탄광 폐쇄이전에 활동중인 광산의 배출량에 대한 기본값

입력변수	배출량, 백만 m^3/연도
저	1.3
고	38.8

식 4.1.12
TIER 2-폐쇄된 지하 탄광의 배출계수

$$\text{배출계수} = (1 + aT)^b$$

여기서:

a와 b는 감소 곡선을 결정하는 상수이다. 가능한 경우에 국가 내지 탄전에 고유한 값이 이용되어야 한다. 기본값이 아래의 표 4.1.9에서 제공된다.

T = 폐쇄 이후 경과된 연도 (선택된 시간 간격의 중간값과 인벤토리년도의 차이)와 인벤토리

년도

선택된 각 시간 간격에 대해 별도의 배출계수가 계산되어야 한다. 이러한 배출계수는 단위가 없다.

표 4.1.9
TIER 2-폐쇄된 지하 탄광에 대한 계수들

석탄 등급	A	b
무연탄	1.72	-0.58
역청탄	3.72	-0.42
아역청탄	0.27	-1.00

Tier 3-광산에 고유한 접근법

Tier 3는 많은 유연성을 제공한다. 가용한 경우에, 직접 측정된 배출량이 산정치 및 계산을 대신하여 이용될 수 있다. 시계열의 배출량을 산정하기 위해 측정된 자료에 함께 모형이 이용될 수 있다. 각 국가는 측정, 알려진 탄전에 고유한 석탄의 속성, 및/내지 수문적 모형(hydrological models)에 기초하여 자신의 감소 곡선 내지 기타 특성치를 생성할 수 있다. 식 4.1.13은 하나의 가능한 접근법을 기술한다.

식 4.1.13
TIER 3 배출량 계산의 예-폐쇄된 지하 탄광

메탄 배출량 = (폐쇄시의 배출비율 • 배출계수 • 전환계수) - 회수 및 활용으로 인한 메탄 배출 저감량

여기서 단위

메탄 배출량 (Gg 년$^{-1}$)
폐쇄시의 배출비율 (m3 년$^{-1}$)
배출계수 (단위 없음, Franklin et al., 2004를 참고)
전환계수:
이는 CH_4의 밀도이며 CH_4의 부피를 CH_4의 질량으로 전환한다. 밀도는 20˚C, 1 대기압에서 구해지며 0.67 • 10^{-6} Gg m^{-3}의 값을 가진다.

Tier 3 방법론에서의 기본적 단계는 아래를 포함한다:

- 국가인벤토리에 있는 모든 광산에 대해 일관성있게, 적절한 지질 및 수문적 정보를 가지고 광산 폐쇄의 데이터베이스와 근사적인 (모든 활동 광산의 venting이 중지되는) 폐쇄 일자를 결정한다.
- 측정된 배출량 및/내지 배출 모형에 기초하여 배출량을 산정한다. 이는 광산 폐쇄의 시점에 평균적인 배출비율에 기초하며, 마지막으로 측정된 배출비율 (또는 폐쇄 이전의 연도에 행해진 여러 번의 측정치의 평균) 내지 방출될 지 모르는 산정 메탄 보유량에 의해 결정된다.

- 특정 광산에서 실제 측정이 이루어지지 않았다면, 공개적 venting이 되는 광산, 봉쇄된 광산, 내지 침수된 광산에 대해 적절한 감소 곡선 내지 모델링 접근법을 이용하여 배출량이 계산될 수 있다. 각각의 광산에 대해 배출량 내지 적절한 배출계수를 계산하기 위해 광산에 대해 선택된 감소 식 내지 모델링 접근법과 폐쇄 및 인벤토리 년도간의 연도수를 이용한다.
- 연간 인벤토리를 개발하기 위해 폐광의 배출량을 합산한다.

4.1.5.3 활동자료의 선택

폐광으로부터 발생하는 배출량을 산정하는 것은 현재의 활동도 자료 대신에, 역사적 자료를 요구한다. Tier 1에 대해, 국가의 전문가는 적절한 국가/국제 기관 내지 지역 전문가로부터 가용한 역사적 자료에 기초하여 표 4.1.5에 있는 시간 간격에 의해 폐쇄된 광산의 개수를 산정해야 한다.

Tier 2에 대해, 폐광의 총수와 폐쇄 기간이 요구된다. 이들 자료는 적절한 국가 내지 지역 기관 또는 석탄 산업에 활동중인 기업으로부터 구해질 것이다. 한 국가가 하나 이상의 석탄 지대 내지 탄전으로 구성된다면, 생산 및 배출 자료는 지역별로 세분화될 것이다. 제한된 수의 광산에서의 측정에 기초하여 venting 배출 내지 특정한 배출을 산정하기 위해 전문가 판단과 통계적 분석이 이용될 것이다 (Franklin et al (2004)를 참고한다).

Tier 3에 대해, 폐쇄된 탄광의 배출산정치는 특징에 관한 상세한 자료, 개별 광산의 폐쇄 및 지리적 위치에 관한 자료에 기초해야 한다. 폐광에 관한 직접적인 측정이 없는 경우에, Tier 3 배출계수는 광산이 활동 중이었을 때 탈기 및 venting 시스템에서의 역사적 배출자료을 포함한, 탄광에 고유한 배출자료에 기초할 것이다 (Franklin et al, 2004를 참고한다).

폐광에서의 메탄 회수로 인한 배출 저감

회수 및 활용된 메탄의 양과 자연적으로 배출될 것으로 기대되는 양을 비교함으로써 폐광 메탄의 회수 및 활용 내지 flaring가 발생하는 폐광을 고려해야 한다. 폐쇄된 탄광으로부터 회수된 메탄을 고려하는 방법은 4.1.5.1절에서 기술된다.

폐광 회수 및 활용 프로젝트의 메탄의 연소로부터 생성된 CO_2 배출은 활용이 있는 경우에 에너지 부문 산정치에, flaring가 있는 경우에 탈루성 폐광 배출에 포함되어야 한다. 이를 산정하기 위해, 폐광 메탄 프로젝트의 회수 내지 생산 자료는 최종 용도에 따라 적절한 정부기관을 통해 공적으로 가용할 것이다. 이러한 정보는 계량된 가스 매출량의 형태이고 석유 및 가스 산업 내지 정부의 데이터베이스에서 공적으로 종종 가용하다. 문서화되지 않은 폐광 메탄의 추가적인 3에서 8%가 전형적으로 회수되고 가스 압축을 위한 연료로 이용된다. 이용되는 메탄의 실제 비율은 압축장비의 효율성에 좌우될 것이다. 이러한 에너지 이용으로부터 발생하는 배출은 2권, 2장 '고정형 연소'에서 보고되어야 한다. 전기 생산을 위해 폐광으로부터 회수된 메탄을 이용하는 프로젝트에 대해, 가용하다면, 계량된 흐름율 및 압축계수가 이용될 수 있다. 공공 자료가 생산되는 전기를 정확히 반영한다면, 발전기의 열 비율(heat rate) 내지 효율성이 연료 소비율을 결정하기 위해 이용될 수 있다.

4.1.5.4 완전성

폐쇄된 지하 탄광으로부터의 배출산정치는 폐광으로부터 누출되는 모든 배출을 포함해야 한다. 최

근까지, 이러한 배출이 산정될 수 있는 방법이 존재하지 않았다. *우수실행(good practice)*은 광산 폐쇄의 날짜와 봉쇄 방법을 기록하는 것이다. 이러한 광산의 규모 및 깊이에 대한 자료는 이후의 산정에 유용할 것이다.

4.1.5.5 일관적인 시계열의 개발

포괄적인 광산별 (Tier 3) 자료가 모든 연도에 가용하지는 않을 것이다. 그러므로, Tier 1 내지 Tier 2 인벤토리뿐만 아니라, 하이브리드형 Tier 2 – Tier 3 인벤토리를 준비하기 위해, 빈약한 자료가 존재하는 연도에 대해 폐광의 개수가 산정될 필요가 있을 것이다.
이들 인벤토리 가이드라인은 폐광과 관련된 메탄 배출이 배출 및 회수 작업이 발생하는 인벤토리 년도에서 고려되어야 한다고 권고한다.

활동중인 지하 탄광에서의 온실가스 배출에 특성이 잘 부여되고 광산이 '활동중'에서 '폐쇄'로 바뀐 경우에, (광산이 폐쇄된 연도 동안) 활동중인 광산 배출의 자료를 수집해야 한다. 이중 집계 내지 누락이 발생하지 않도록 광산을 활동 중인 인벤토리에서 폐쇄 인벤토리로 이전할 때 상당한 주의를 기울여야 한다.

4.1.5.6 불확도 평가

TIER 1

Tier 1 방법론과 관련된 불확도의 주요한 원인은 다음을 포함한다:

- 배출계수의 세계적 특성. 이러한 배출계수의 불확도 범위는 광산 규모, 광산 깊이, 및 석탄 등급과 같은 결정 입력변수에서의 불확도를 고려하기 위해 의도적으로 크다.
- 폐쇄 시간. 폐광으로부터 발생하는 배출은 상당히 시간에 의존적이기 때문에, 모든 광산에 대해 폐쇄 날짜를 가장 잘 대표하는 단일한 구간을 선택하는 것은 배출비율을 설정하는데 중요하다.
- 활동도 자료. 가스량이 많은 폐광의 개수와 가스량이 많은 광산에서 생산되는 석탄의 양 모두는 상당히 국가에 의존적이다. 불확도는 역사적 채굴 및 생산 기록의 가용성에 의해 정의될 것이다.

Tier 1 산정과 관련된 불확도의 총 산정범위는 위에서 논의된 각각의 요인들에 좌우될 것이다. 실제 배출량은 산정된 배출치의 ⅓에서 3배의 범위내에 있을 것이다.

TIER 2

Tier 2 접근법과 관련된 불확도의 주요한 원인은 다음을 포함한다:

- 국가 내지 탄전에 고유한 배출계수. 불확도는 각 석탄 등급에 대한 배출계수 감소 식과 관련된다. 이러한 불확도는 주어진 석탄 등급내에서 가스함유량의 고유한 변동, 흡착 특성, 및 투과성의 함수이다.
- 주어진 석탄 등급을 생산하는 광산의 개수
- 시간에 따라 폐쇄된 광산의 개수
- 시간의 함수로서 가스량이 많은 광산의 백분율

Tier 2 산정과 관련된 총 불확도 산정치는 이들 각각의 요인과 관련된 불확도의 범위에 좌우된다. 이들 입력변수는 Tier 1 보다 더 좁게 정의되어야 한다. 그러므로, 실제 총배출량은 산정치의 ½에서 2배까지의 범위내에 있을 것이다.

TIER 3

Tier 3 방법론을 사용하여 생성된 배출인벤토리와 관련된 주요한 불확도는 다음을 포함한다:

- 활동중인 광산의 배출비율
- 석탄의 흡착 특성과 가스함유량, 광산 규모, 및 석탄 투과성과 관련된 함수를 기술하는 감소 곡선 식 내지 모델링 접근법
- 폐광의 수문적 상태 (침수 내지 침수 중) 및 조건 (봉쇄 내지 venting)

배출인벤토리가 직접적인 측정 또는 실제 배출비율 및 광산 폐쇄 일자를 포함한 탄광에 고유한 정보에 기초하기 때문에 Tier 3 방법론은 Tier 1과 2보다 낮은 불확도를 가진다. 개별 광산에서 산정된 배출량과 관련된 불확도의 범위는 (±50%의 범위로) 크지만, 충분한 수의 개별 광산의 배출량의 불확도 범위를 합산하는 것은 불확도가 독립적인 경우에 중심극한정리 (Murtha, 2002)에 의해, 최종 인벤토리의 불확도 범위를 실제로 감소시킨다. 여러 국가들에 걸쳐 폐쇄된 탄광의 수의 기대 범위가 주어질 때, 폐광에 대한 Tier 3 방법론과 관련된 전체적인 불확도는 다수의 폐광을 가진 국가에 대해 ±20%에서 해당 배출이 인벤토리에 포함되는 소수의 폐광을 가진 국가에 대해 ±30%까지 달라질 것이다.

서로 다른 Tier들의 조합이 이용될 지 모른다. 예를 들어, 20세기의 처음 절반 동안 폐쇄된 광산으로부터 발생하는 배출은 Tier 1 방법을 이용하여 결정될 것이고, 반면에 1950년대 이후에 폐쇄된 광산으로부터 발생하는 배출은 Tier 2 방법을 이용하여 결정될 것이다. Tier 1과 Tier 2 방법은 각각 자신의 불확도 분포를 가질 것이다. 최종적인 배출인벤토리에 대해 적절한 범위의 불확도에 도달하기 위해 이들 분포들을 적절히 합산하는 것이 중요하다.

4.1.6 석탄 채굴에 대한 완전성

석탄 채굴로 인한 탈루성 배출에 대한 완전한 인벤토리를 개발하는데 세 가지 간격이 존재한다. 이들은 폐쇄된 노천 탄광, 통제되지 않은 연소 및 석탄 지층가스에 있는 CO_2이다.

폐쇄된 노천 탄광

폐쇄 이후에, 폐쇄된 노천 탄광으로부터 발생하는 배출은 다음을 포함할 것이다:

- 서 있는 높은 갱벽(highwall)
- 갱 바닥에서의 누출
- 저온 산화
- 통제되지 않은 연소

현재에는 이들 배출을 계량화하는 포괄적 방법이 개발되어 있지 않으므로 이들은 가이드라인에 포함되어 있지 않다. 이들은 추가적인 연구 주제로 남아 있다.

통제되지 않은 연소 및 타는 석탄 매장물로부터 발생하는 배출

이러한 배출원에서의 배출은 개별적인 탄광에 대해 중요할 것이지만, 개별 국가에 대해 이들 배출이 얼마나 중요한지는 명확하지 않다. 이러한 화재가 일반적인 일부 국가에서, 해당 배출은 매우 중요할 것이다. 국가가 연소된 석탄의 양에 대한 자료를 가지고 있는 경우에, CO_2는 석탄의 탄소 함유량에 기초하여 산정되고 관련 하위카테고리 1.B.1.b에서 보고되어야 하지만, 활동도 자료를 체계적으로 측정하거나 정확히 산정하는 현재에 가용한 명확한 방법은 존재하지 않는다. 단지 석탄 탐사활동으로 인한 통제되지 않은 연소가 여기서 고려된다는 것을 주목한다. 탈루성 CH_4와 저온 산화의 CO_2 배출량을 가지고 이중계산을 하는 것을 피하도록 주의를 기울여야 한다.

탄광 가스에 있는 CO_2

탄광 가스에 있는 CO_2에 대해 가용한 자료를 가진 국가는 해당하는 메탄 배출을 위해 이용되는 하위카테고리를 가지고 이를 포함해야 한다.

4.1.7 인벤토리 QA/QC

4.1.7.1 품질보증과 문서화

배출계수

- 품질관리
  a) Tier 1: 국가적 환경을 검토하고 특정값을 선택한 이론적 근거를 문서화함.
  b) Tier 2: 배출계수를 결정하는데 이용한 식 및 계산법을 체크하고 조건들이 대표성이 있고 균등하도록 표본추출이 일관적인 규약을 따르는지 확인함.
  c) Tier 3: 기체화방지시스템으로부터 나온 자료의 품질을 확인하기 위해 광산 운영자와 협력함. 운영중인 개별 광산은 venting용 배출을 모니터링하기 위한 적절한 QA/QC 절차를 가지고 있어야 한다.
- 문서화

수집된 자료의 수와 원천을 포함한, 배출계수를 계산하거나 배출량을 측정하는 단계들에 대한 투명한 정보를 제공한다.

활동도 자료

- 품질관리

개선이 필요한 영역의 평가를 포함한, 활동도 자료의 수집방법을 기술한다.

- 문서화
  a) 활동도 자료를 수집하는데 이용된 방법의 포괄적 기술
  b) 특성값들이 국가를 대표하는지 여부에 관한 논의를 포함한, 자료에서 편의(bias)의 잠재적 영역에 관한 논의

인벤토리작성자의 검토(QA)

인벤토리작성자는 석탄 채굴로부터 발생하는 배출량을 계산하기 위해 적절한 방법론이 이용되는지를 확인해야 하며 - 특정 국가에 가장 적합한 Tier의 이용을 포함 -, 어떤 카테고리가 해당 국가에 주 카테고리인지 하는 것과 자료의 가용성을 고려한다. 인벤토리작성자는 적절한 배출계수가 이용되는지 확인해야 한다. 활동중인 지하 및 노천 탄광에 대해, 적절한 Tier에 따라 가장 가용한 활동도 자료 - 특히 가능한 경우에 회수 및 활용되는 메탄의 양 - 를 이용해야 한다. 폐광에 대해, 작성자는 가장 정확하고 가용한 역사적 정보가 이용되는지 확인해야 한다.

국가 배출량을 작성할 때 인벤토리작성자의 QC

국가인벤토리에 대한 품질관리를 제공하기 위해 인벤토리작성자가 이용할 수 있는 방법들은 예를 들어, 다음과 같은 것을 포함한다.

- 적용가능한 경우에, Tier 3 측정자료로부터 국가 및 지역의 배출계수를 역산(Back-calculating) 한다.
- 배출계수가 (Tier 1과 Tier 2에 대해) 해당 국가를 대표하는지 확인한다.
- 모든 광산이 포함되는지 확인한다.
- 이상값(anomalies)을 살펴보기 위해 국가의 추세와 비교한다.

외부적인 인벤토리 QA/QC 시스템

인벤토리작성자는 QC 프로그램의 유효성을 평가하기 위해 수행되는 배출인벤토리의 계산, 가정, 및/내지 문서화에 관한 독립적이고 객관적인 검토를 받아들여야 한다. 배출원 카테고리에 익숙하고 인벤토리 요구사항을 이해하는 전문가에 의한 전문가 검토(peer review)가 수행되어야 한다.

4.1.7.2 보고 및 문서화

2006 IPCC 가이드라인의 1권, 8장에서 요약된 것처럼, 국가 배출인벤토리 산정치를 작성하기 위해 필요한 모든 정보를 문서화하고 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

국가인벤토리 보고서는 보고된 배출산정치가 투명하고, 계산 단계들이 역추적이 되도록 이용된 방법의 요약 및 원천 자료의 참고문헌을 포함해야 한다.그렇지만, 투명성을 보장하기 위해, 다음의 정보를 공급해야 한다:

- CH_4와 (적절한 경우에) CO_2의 지하, 노천 및 채굴 후 요소에 의한 배출, 각각의 하위 배출원 카테고리에 대해 이용된 방법, 각 하위 배출원 카테고리에 있는 활동중인 광산의 개수, 선택된 배출계수에 대한 이유 (예를 들어, 채굴 깊이, 원래의 가스함유량에 대한 자료 등). 탈수된 가스의 양 및 경감 내지 활용의 정도를 이용된 기술에 관한 설명과 함께 제시해야 한다.
- 활동도 자료: 생산의 양과 유형, 지하 및 노천의 석탄을 지정하고, 가용한 경우에 미가공 및 판매가능 양을 나열한다.
- 비밀의 문제가 발생하는 경우에, 광산의 이름은 공개할 필요가 없다. 대부분의 국가는 세 개 이상의 광산을 가질 것이므로, 광산에 고유한 생산량이 배출산정치로부터 역계산될 수 없다.

'활동중'에서 '폐쇄'로의 광산의 변천에서 각 광산이 국가인벤토리에 단지 한 번 포함되는지 확인하는 것은 중요하다.

4.2 석유 및 천연가스 시스템으로부터 발생하는 탈루성 배출

석유 및 천연가스 시스템으로부터 발생하는 탈루성 배출은 에너지 부문의 IPCC 하위카테고리 1.B.2에서 고려된다. 보고을 위해, 이 하위카테고리는 표 4.2.1에서 보이는 것처럼 나누어진다. 석유와 천연가스 시스템간에 주된 구별이 이루어지며, 각각은 배출원의 주요 유형 - 즉: venting, flaring 및 기타 모든 유형의 탈루성 배출 - 에 따라 나누어진다. 후자의 카테고리는 활동의 유형에 따라 석유 내지 가스 시스템의 여러 부분(내지 구획)으로 추가로 나누어진다.

탈루성 배출이라는 용어는 여기서 연료 연소로부터의 기여를 제외한 석유 및 가스 시스템으로부터 발생하는 모든 온실가스 배출을 의미하는 것으로 광범위하게 적용된다. 석유 및 천연가스 시스템은 천연가스 및 석유 제품을 시장에 생산, 수집, 가공 내지 정제, 전달하는데 요구되는 모든 기반시설로 구성된다. 시스템은 유정, 내지 석유 및 가스 원천에서 시작하여 소비자로의 최종 판매 지점에서 끝난다. 이 카테고리에서 제외되는 배출은 다음과 같다:

- 고정형 내지 이동형 배출원에 의한 유용한 열 내지 에너지의 생산을 위한 연료 연소 (에너지 권의 2와 3장을 참고)
- 탄소 포집 및 저장 프로젝트, 안전한 지층으로의 주입에 의한 석유 및 가스 시설로부터 발생하는 산성가스(acid gas)의 수송 및 처분, 내지 enhanced oil recovery (EOR), enhanced gas recovery (EGR) 또는 enhanced coal bed methane (ECBM) 프로젝트의 일부로서 CO_2의 수송, 주입 및 격리로부터 발생하는 탈루성 배출 (이산화탄소 포집 및 저장 시스템에 대해 에너지 권의 5장을 참고)
- 석유 및 가스 시설가 아닌 산업 시설에서 발생하거나, 석유 및 가스 시설이 아닌 다른 곳에서의 석유 및 가스 제품의 최종 이용과 관련되는 탈루성 배출 (산업 공정 및 제품 이용 권을 참고)
- 석유 및 가스 산업 밖에서 발생하는 폐기물 처분 활동으로부터 발생하는 탈루성 배출 (폐기물 권을 참고)

EOR, EGR 및 ECBM 프로젝트의 석유 및 가스 생산 부분에서 발생하는 탈루성 배출은 카테고리 1.B.2의 일부이다.

석유 및 천연가스 시스템에서 발생하는 탈루성 배출을 결정할 때, 배출량에 영향을 주는 지역적 요인 (즉, 유층(reservoir) 상황, 가공/처리 요구 사항, 설계 및 작업 관행, 산업의 연령, 시장 접근, 규제적 요구사항 및 규제적 시행의 수준)을 보다 잘 설명하고, 시스템의 다른 부분들을 통과할 때 활동도 수준의 변화를 설명하기 위해, 주로 생산 및 가공의 영역에서, 표 4.2.1에서 보이는 것보다 보다 큰 세분화를 적용하는 것이 필요할 것이다. 표 4.2.1의 각 카테고리에 의한 총 탈루성 배출에 대한 기여 비율은 한 국가의 상황과 수입 및 수출되는 석유 및 가스의 양에 따라 다를 것이다. 전형적으로, 생산 및 가공 활동은 하류의 활동(downstream activities)보다 처리량의 비율로서 보다 많은 양의 탈루성 배출을 가지는 경향이 있다. 하위카테고리에 의한 탈루성 배출에 관한 잠재적

분포의 예제들이 API (2004) 요약에서 제공된다.

4.2.1 개요, 배출원 설명

석유 및 가스 시스템의 탈루성 배출의 배출원은 장비 누출, 증발 및 속발성 손실, venting, flaring, 소각 및 우발적 방출 (예를 들어, 파이프라인 부식, 유정 파열 및 유출)을 포함한다. 이들 배출원의 일부는 설계되거나 의도적이므로 (예를 들어, 탱크, 봉인 및 공정의 venting 및 flaring 시스템), 상대적으로 특징이 잘 부여되지만 배출의 양과 조합은 일반적으로 상당히 불확실하다. 이는, 부분적으로, 이러한 경우에 측정시스템이 제한적으로 이용되며, 측정시스템이 이용되는 경우에도, 발생하는 조합에서의 광범위한 흐름 및 변화를 감당하지 못하기 때문이다. 일상적인 생산량 계산 절차의 일부로 이들 손실 내지 흐름이 추적되는 경우에도, 설명되는 활동들과 그 양이 공학적 산정치 내지 측정에 기초하는 여부에서 종종 불일치가 존재한다. 이 장의 전체에서, 논의되는 탈루성 배출원의 정확한 유형을 설명하고, 보다 높고 통합된 수준에서 이들 배출 내지 배출원을 논의할 때 탈루성 배출 내지 탈루성 배출원이라는 용어를 단지 이용하는데 노력을 기울인다.

CO_2가 EOR, ECBM 내지 EGR을 위해 유층(oil reservoir)에 주입되는 석유 생산시설에서, 순수하거나 높은 농도의 CO_2를 포함하는 흐름이 발생할 것이다. 이는 또한 판매 내지 연료용 가스 사양을 만족시키기 위한 가스 처리의 부산물로서 가스 처리, 석유 정제 및 중유 개량 시설에서, 그리고 수소 생산의 부산물로서 정제공장 및 경유 개량시설에서 발생할 것이다. CO_2가 공정 부산물로서 발생할 때 일반적으로 대기중으로 venting되거나 처분을 위해 적절한 지층에 주입되거나 EOR 프로젝트에서 이용하기 위해 공급된다. 이들 흐름으로부터 발생하는 탈루성 CO_2 배출은 1.B.2의 적절한 하위카테고리에서 다루어져야 한다. CO_2 포집으로부터 발생하는 탈루성 배출은 포집이 발생하는 산업에서 다루어져어야 하며, 반면에 수송, 주입 및 저장 활동으로부터 발생하는 탈루설 CO_2 배출은 별도로 카테고리 1.C에서 다루어져야 한다 (5장을 참고).

EOR은 자연적인 유층 압력을 이용하는 것과 다른 수단에 의한 유층에서의 석유의 회수이다. 이는 2차 회수 공정 이후나 유층의 생산수명 동안 언제든지 시작할 수 있다. EOR은 자연적인 압력 내지 펌핑(pumping)만을 이용하는 방법과 비교할 때 일반적으로 유층으로부터 제거되는 석유량의 증가를 가져온다. 개선된 석유 회수 작업의 세 가지 주된 유형은 화학적 범람 (알칼리 범람 내지 결정중합체(micellar-polymer) 범람), 혼화 치환(miscible displacement) (CO_2 주입 내지 탄화수소 주입), 및 열 회수 (증기범람 내지 원래의 연소)이다.

표 4.2.1
석유 및 천연가스의 생산 및 수송으로부터 발생하는 배출에 대한 상세 부문

IPCC 코드	부문 이름	설명
1B2	석유 및 천연가스 (Oil and Natural Gas)	모든 석유 및 천연가스 활동으로부터 발생하는 탈루성 배출로 구성된다. 이들 배출의 주된 원천은 탈루성 장비 누출, 증발성 손실, venting, flaring 및 우발적 방출을 포함한다.
1B2a	석유 (Oil)	탐사, 생산, 이전, 원유의 개량 및 정제, 원유 제품의 분배와 관련된 venting, flaring 및 기타 모든 탈루성 배출원에서 발생하는 배출로 구성된다.
1B2ai	Venting	석유 시설에서 관련 가스 및 폐기물 가스/증기 흐름의 venting에서 발생하는 배출
1B2aii	Flaring	석유 시설에서 천연가스 및 폐기물 가스/증기 흐름의 flaring에서 발생하는 배출
1B2aiii	기타 (All Other)	장비의 누출, 저장 손실, 파이프라인 파손, 유정 파열(well blowouts), 유전(land farms), 유정 파이프(wellhead casing) 주변의 지표로 가스 이동, 지표면 파이프(surface casing) 구멍, 찌꺼기 연못(tailings ponds)에서의 생체 가스(biogenic gas) 형성, 기타 venting 내지 flaring으로서 특정하게 설명되지 않는 가스 내지 증기 방출로부터 석유 시설에서 발생하는 탈루성 배출
1B2aiii1	탐사 (Exploration)	유정 시추, 생산 가능성 조사(drill stem testing), 유정 완성(well completions)으로부터 발생하는 (venting 및 flaring을 제외한) 탈루성 배출.

표 4.2.1 (계속)
석유 및 천연가스의 생산 및 수송으로부터 발생하는 배출에 대한 상세 부문

IPCC 코드	부문 이름	설명
1B2aiii2	생산 및 개량 (Production and Upgrading)	석유 생산으로부터의 (venting 및 flaring을 제외한) 탈루성 배출은 유정(oil wellhead) 내지 오일샌드(oil sands) 또는 혈암유(shale oil) 광산에서 석유 전송시스템의 시작까지에 걸쳐 발생한다. 이는 유정 작업(well servicing), 오일샌드 내지 혈암유 채굴, 처리 내지 추출 시설로의 미처리된 제품의 수송 (예, 유정 용출액(well effluent), 유제(emulsion), 유모혈암(oil shale), 오일샌드), 추출 및 개량 시설에서의 활동, 관련 가스 재주입 시스템, 용수처리 시스템에서 발생한다. 개량시설(upgraders)은 종종 추출시설과 통합되며 그들의 상대적 배출기여는 설정하기 어렵기 때문에 개량시설로부터의 탈루성 배출은 정제로부터의 배출이 아니라 생산으로부터의 배출과 묶여진다. 그렇지만, 개량시설은 정제소, 공동생산 공장, 기타 산업시설과 또한 통합되기도 하며 그들의 상대적인 배출기여는 이들 경우에 설정되기 어려울 수 있다.
1B2aiii3	수송 (Transport)	(전통적이고 무겁고 합성인 원유 및 역청(bitumen)을 포함한) 판매가능한 원유의 개량시설(upgraders) 및 정제소로의 수송과 관련된 (venting 및 flaring을 제외한) 탈루성 배출. 수송시스템은 파이프라인, 해양 탱커(marine tankers), 탱크 트럭(tank trucks), 철도 차량(rail cars)으로 구성된다. 저장으로부터의 증발 손실, 충진 및 하역 활동, 탈루성 장비의 누출은 이들 배출의 주요 원천이다.
1B2a.iii4	정제 (Refining)	석유정제소에서 (venting 및 flaring을 제외한) 탈루성 배출. 정제소는 최종적인 정제제품(예, 주로 연료 및 윤활유)을 생산하기 위해 원유, 천연 휘발유, 합성 원유를 처리한다. 정제소가 다른 시설(예를 들어, 개량시설 내지 공동생산 공장)과 통합된 경우에 상대적인 배출기여를 설정하기 어려울 수 있다.
1B2aiii5	석유 제품의 분배 (Distribution of Oil Products)	이는 정제된 제품의 수송 및 분배로부터의 (venting 및 flaring을 제외한) 탈루성 배출로 구성되며, 벌크 터미널(bulk terminals)과 소매시설에서의 배출을 포함한다. 저장으로부터의 증발 손실, 충진 및 하역 활동, 탈루성 장비의 누출이 이들 배출의 주요한 원천이다.
1B2aiii6	기타 (Other)	위의 카테고리에서 달리 설명되지 않은 석유 시스템으로부터의 (venting 및 flaring을 제외한) 탈루성 배출. 이는 유출 및 기타 우발적인 방출, 폐유 처리시설, 유전 폐기물 처리 시설로부터의 탈루성 배출을 포함한다.
1B2b	천연가스 (Natural Gas)	(관련 및 비관련 가스를 모두 포함한) 천연가스의 탐사, 생산, 처리, 전송, 저장, 분배와 관련된 venting, flaring, 기타 모든 탈루성 배출원으로부터의 배출로 구성된다.
1B2bi	Venting	가스 시설에서 천연가스 및 폐기 가스/증기 흐름의 venting으로부터의 배출.

표 4.2.1 (계속)
석유 및 천연가스의 생산 및 수송으로부터 발생하는 배출에 대한 상세 부문

IPCC 코드	부문 이름	설명
1B2bii	Flaring	가스 시설에서 천연가스 및 폐기 가스/증기 흐름의 flaring로부터의 배출.
1B2biii	기타 (All Other)	천연가스 시설에서 장비의 누출, 저장 손실, 파이프라인 파손, 유정 파열(well blowouts), 유정 파이프(wellhead casing) 주변의 지표로 가스 이동, 지표면 파이프(surface casing) 구멍, 기타 venting 내지 flaring로서 특정하게 설명되지 않는 가스 내지 증기 방출로부터의 탈루성 배출.
1B2biii1	탐사 (Exploration)	가스 유정 시추, 생산 가능성 조사(drill stem testing), 유정완성(well completions)으로부터의 (venting 및 flaring을 제외한) 탈루서 배출.
1B2biii2	생산 (Production)	가스 유정에서 가스처리 공장의 입구(inlet), 또는 처리가 필요하지 않은 경우에, 가스 전송시스템의 연결지점까지에 걸친 (venting 및 flaring을 제외한) 탈루성 배출. 이는 유정 작업(well servicing), 가스 수집, 처리, 관련 폐수(waste water) 및 산성 가스(acid gas) 처리활동에 관련된 탈루성 배출을 포함한다.
1B2biii3	처리 (Processing)	가스 처리 시설로부터의 (venting 및 flaring을 제외한) 탈루성 배출.
1B2biii4	전송 및 저장 (Transmission and Storage)	처리된 천연가스를 시장(예, 산업용 소비자 및 천연가스 분배시스템)에 수송하기 위해 이용된 시스템으로부터의 탈루성 배출. 이 카테고리에 천연가스 저장시스템으로부터의 탈루성 배출이 또한 포함되어야 한다. 가스 전송시스템 상의 천연 휘발유(natural gas liquids) 추출공장으로부터의 배출은 천연가스 처리의 부분으로 보고되어야 한다 (1.B.2.b.iii.3 부문). 천연 휘발유의 전송과 관련된 탈루성 배출은 1.B.2.a.iii.3 카테고리에서 보고되어야 한다.
1B2biii5	분배 (Distribution)	최종 이용자에게 천연가스를 분배함으로부터의 (venting 및 flaring을 제외한) 탈루성 배출.
1B2biii6	기타 (Other)	위의 카테고리에서 달리 설명되지 않은 천연가스 시스템으로부터의 (venting 및 flaring을 제외한) 탈루성 배출. 이는 유정 파열(well blowouts) 및 파이프라인 파열 내지 부식(dig-ins)으로부터의 배출을 포함할 것이다.
1B3	에너지 생산으로부터의 기타 배출 (Other emissions from Energy Production)	예를 들어, 1.B.1 내지 1.B.2에 포함되지 않는 지열 에너지 생산 및 기타 에너지 생산으로부터의 배출.

4.2.2 방법론적 이슈

탈루성 배출은 메탄 (CH_4)과 지층형 이산화탄소 (CO_2) (즉, 유층을 떠날 때 석유 및 가스에 존재하는 CO_2), 및 비생산적 연소 활동 (주로 폐기 가스의 flaring)에서 발생하는 일부 CO_2와 아산화질

소 (N_2O)의 방출로 인한 온실가스의 직접적인 배출원이다. 연료 연소(이 권의 1장을 참고)에서처럼, CO_2 배출은 모든 탄화수소가 완전 산화된다고 가정하는 Tier 1에서 계산된다. 부분적 산화에 대한 정보가 가용하면, 보다 높은 Tier에서 이를 고려할 수 있다.

Venting은 폐기 가스 흐름 및 공정 부산물의 모든 설계 내지 의도된 방출이며, 긴급한 방출을 포함한다. 이러한 방출은 지속적 내지 단속적으로 발생하며, 다음을 포함할 것이다:

- 공기 장치(예를 들어, 화학 주입 펌프, 압축기 엔진의 기동 모터 및 기구 통제 회로)의 공급 매체로 압축 공기 대신에 압축 천연가스의 이용
- 혼란한 공정동안 압력 감소 및 사양외 제품의 처분
- 유지 및 연결 활동에 관련된 제거 및 방출
- 석유 및 가스 처리 장치로부터 발생하는 오프 가스(off-gas) 흐름의 처리 (예를 들어, 글리콜 탈수기, 유제 처리 장치 및 안정장치)
- 굴착, 유정 테스트 및 파이프라인 피깅(pigging) 활동에서 발생하는 가스 방출
- 석유 생산 시설에서의 폐기물 관련 가스 및 가스 보존 내지 재주입이 없는 중유 유정에서의 casing-head 가스의 처리
- 저장탱크에서의 용액 가스의 배출, 공정 하수구, API 분리장치, 공기부양장치, 찌꺼기 연못 및 저장 탱스에서의 증발성 손실, 및 찌꺼기 연못에서의 생체가스 형성
- 생산된 천연가스로부터 추출되거나 공정 부산물로서 생성된 CO_2의 제거

venting된 가스의 일부 내지 전부는 저장 내지 활용을 위해 포집될 수 있다. 이러한 경우에, venting된 배출의 인벤토리는 대기중으로의 순배출만을 포함해야 한다.

Flaring는 유용한 열 내지 에너지의 생산을 위해서가 아니라 처분을 위해 불 내지 소각로에 의해 폐기 천연가스 및 탄화수소 액체를 태우는 것을 의미한다. venting 내지 flaring 여부에 대한 결정은 처분되는 가스량과 특정한 상황 (예를 들어, 공공의, 환경적 및 안전 문제와 지역의 규제 사항)에 크게 좌우된다. 일반적으로, 폐기 가스는 냄새가 없고 독성이 없을 경우에만 venting되며, 그 때 종종 flaring될 것이다. flaring는 생산, 처리, 개량 및 정제 시설에서 매우 일반적이다. 폐기 가스는 가스 전송 시스템에서 일반적으로 venting되며, 상황 및 회사의 정책에 따라 가스 분배 시스템에서 venting 내지 flaring될 수 있다. 종종 폐기 가스 흐름을 풍부하게 하기 위해 연료용 가스가 이용될 것이며, 이는 flaring 동안 안정적인 연소를 지원할 것이다. 연료용 가스는 가스로 작동되는 장치(예를 들어, 기구 제어장치)를 위한 정화(purge) 내지 덮개용 가스(blanket gas) 및 공급용 가스(supply gas)로서, 그것이 최종적으로 venting 내지 flaring되는 다른 목적을 위해 또한 이용될 것이다. 이러한 유형의 연료 이용에서 발생하는 배출은 카테고리1.A (연료 연소 활동) 대신에 적절한 venting 및 flaring 하위카테고리에 보고되어야 한다.

가스 처리공장에서 중화장치에 의해 천연가스에서 제거되어 대기중으로 방출된 지층형 CO_2는 탈루성 배출이며 하위카테고리 1.B.2.b.i에 보고되어야 한다. 정유공장 및 중유/역청 개량공장에서 수소의 생산에서 발생하는 CO_2는 하위카테고리 1.B.2.a.i에서 보고되어야 한다. 수소 공장의 공급원

료(feedstock)는 이러한 경우에 연료로 보고되지 않는다는 것을 확인하는데 주의를 기울여야 한다. 석유 및 천연가스 시스템에서 발생하는 탈루성 배출은 종종 정확히 계량화하기 어렵다. 이는 주로 산업의 다양성, 잠재적 배출원의 많은 수와 다양성, 배출통제 수준의 폭넓은 변동 및 배출원 자료의 제한된 가용성 때문이다. 주된 배출 평가의 문제는 다음과 같다:

- 생산에 기초한 단순한 배출계수의 이용은 큰 불확도를 가져온다.
- 엄격한 상향식 접근법의 적용은 구하기에 어렵고 비용이 많이 드는 전문지식과 상세한 자료를 필요로 한다.
- 측정 프로그램은 수행하는데 시간이 소요되며 매우 비용이 많이 든다.

엄격한 상향식 접근법이 선택된다면, 인벤토리를 개발중인 산업에서 기술대표자를 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

4.2.2.1 방법, 의사결정도, TIER의 선택

4.2.2.2절에서 설명되는 것처럼, 석유 및 천연가스 시스템에서 발생하는 탈루성 배출을 결정하기 위한 세 가지 방법론적 tier가 존재한다. 활동을 석유 및 가스 산업의 주된 카테고리 및 하위카테고리로 세분화하고(4.2.2.2절의 표 4.2.2를 참고), 이들 각각에 대해 별도로 배출을 평가하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 각 부분에 적용되는 방법론적 tier는 배출량 및 가용한 자원과 적합해야 한다. 결론적으로, 서로 다른 카테고리 및 하위카테고리에 서로 다른 방법론적 tier를 적용하고, 가능하다면 일부 대규모 배출원에 대한 실제 배출측정 내지 모니터링 결과를 포함하는 것은 적절하다. 시간이 지남에 따라 전체 접근법은 가장 큰 불확도 및 결과의 영역을 다루고, 통제수단의 영향을 파악하는 점진적인 개선이 이루어지는 접근법이어야 한다.

그림 4.2.1은 천연가스 산업의 주어진 부분에 대한 적절한 접근법을 선택하기 위한 일반적인 의사결정도를 제공한다. 의사결정도는 천연가스 시스템내의 각 하위카테고리 (예를 들어, 가스 생산, 가스 처리, 가스 전송, 가스 분배)에 연속적으로 적용되도록 의도되었다. 기본적인 의사결정 과정은 다음과 같다:

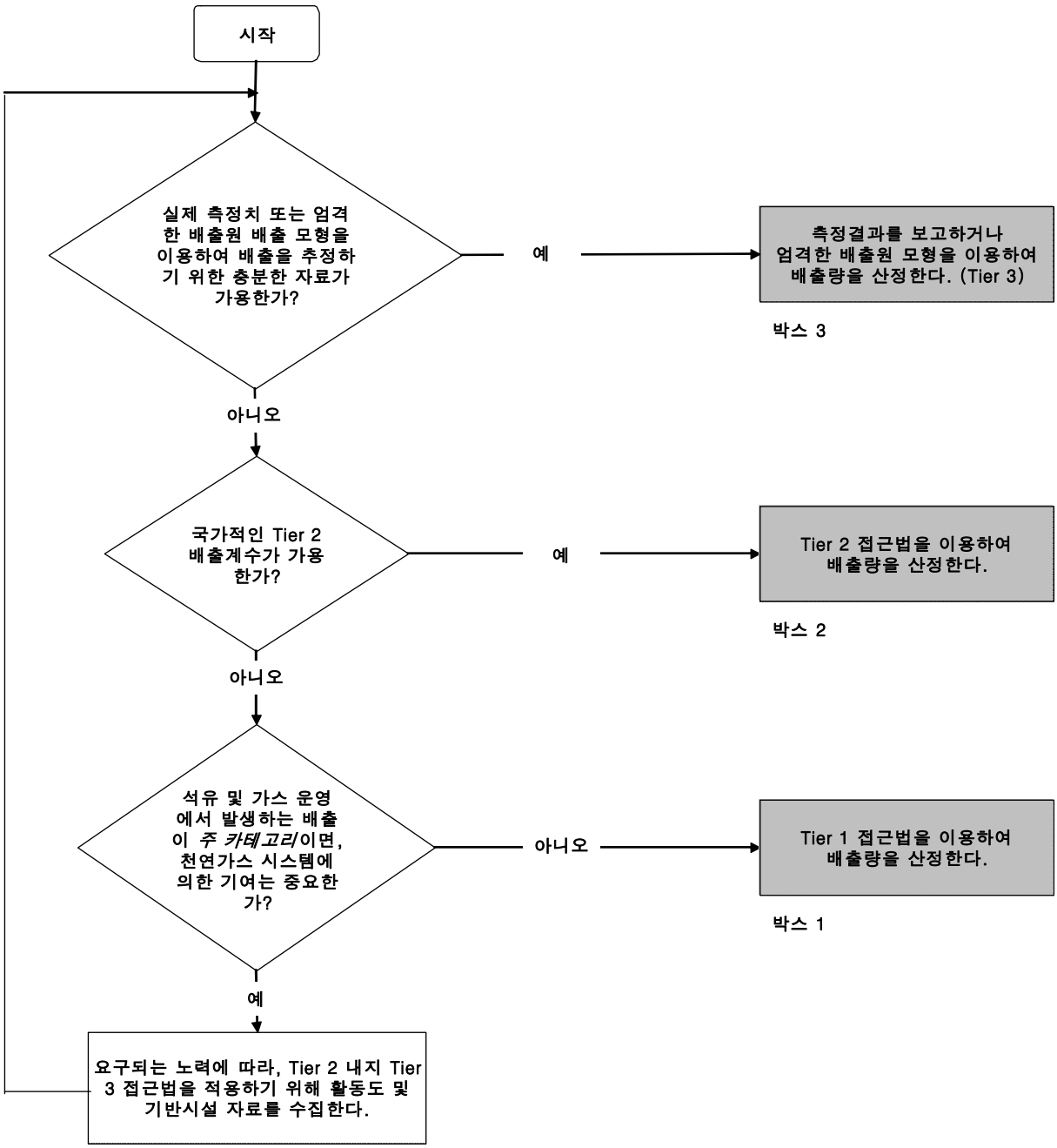
- Tier 3 접근법을 적용하는데 필요한 상세한 자료가 이미 가용한지 체크하고, 그렇다면, (즉, 카테고리가 핵심적이고 하위카테고리가 중요한지 여부에 관계없이) Tier 3 접근법을 적용한다. 이러한 자료가 가용하지 않다면 다음을 수행한다:
- Tier 2 접근법을 적용하는데 필요한 상세한 자료가 이미 가용한지 체크하고, 그렇다면, Tier 2 접근법을 적용한다. 이러한 자료가 가용하지 않다면 다음을 수행한다:
- 핵심과 중요성에 관한 IPCC 정의에 기초하여 카테고리가 핵심적이고 고려중인 특정한 하위카테고리가 중요한지 여부를 체크하고, 그렇다면, 되돌아가서 Tier 3 내지 Tier 2 접근법을 적용하는데 필요한 자료를 수집한다. 하위카테고리가 중요하지 않다면 다음을 수행한다:
- Tier 1 접근법을 적용한다.

Tier 3 접근법의 이용하는 능력은 상세한 생산 통계와 기반시설 자료 (예를 들어, 시설의 수와 유

형 및 각 현장에 이용되는 장비의 양과 유형에 관한 정보)에 좌우될 것이고, 모든 상황에서 이를 적용하는 것은 가능하지 않을 것이다. Tier 1 접근법은 적용하기에 가장 단순한 방법이지만 상당한 불확도의 여지가 있고 쉽게 수십배 정도 틀릴 수 있다. 이런 이유 때문에, 이는 단지 마지막 수단으로 이용되어야 한다. Tier 3 접근법이 특정한 연도에 이용되고 그 결과가 다른 연도의 Tier 2 배출계수를 개발하기 위해 이용되는 경우에, 적용된 방법은 그 해에 Tier 2로 보고되어야 한다. 비슷하게, 그림 4.2.2와 4.2.3은 각각 원유 생산 및 수송 시스템과 석유 개량시설 및 정유공장에 적용된다.

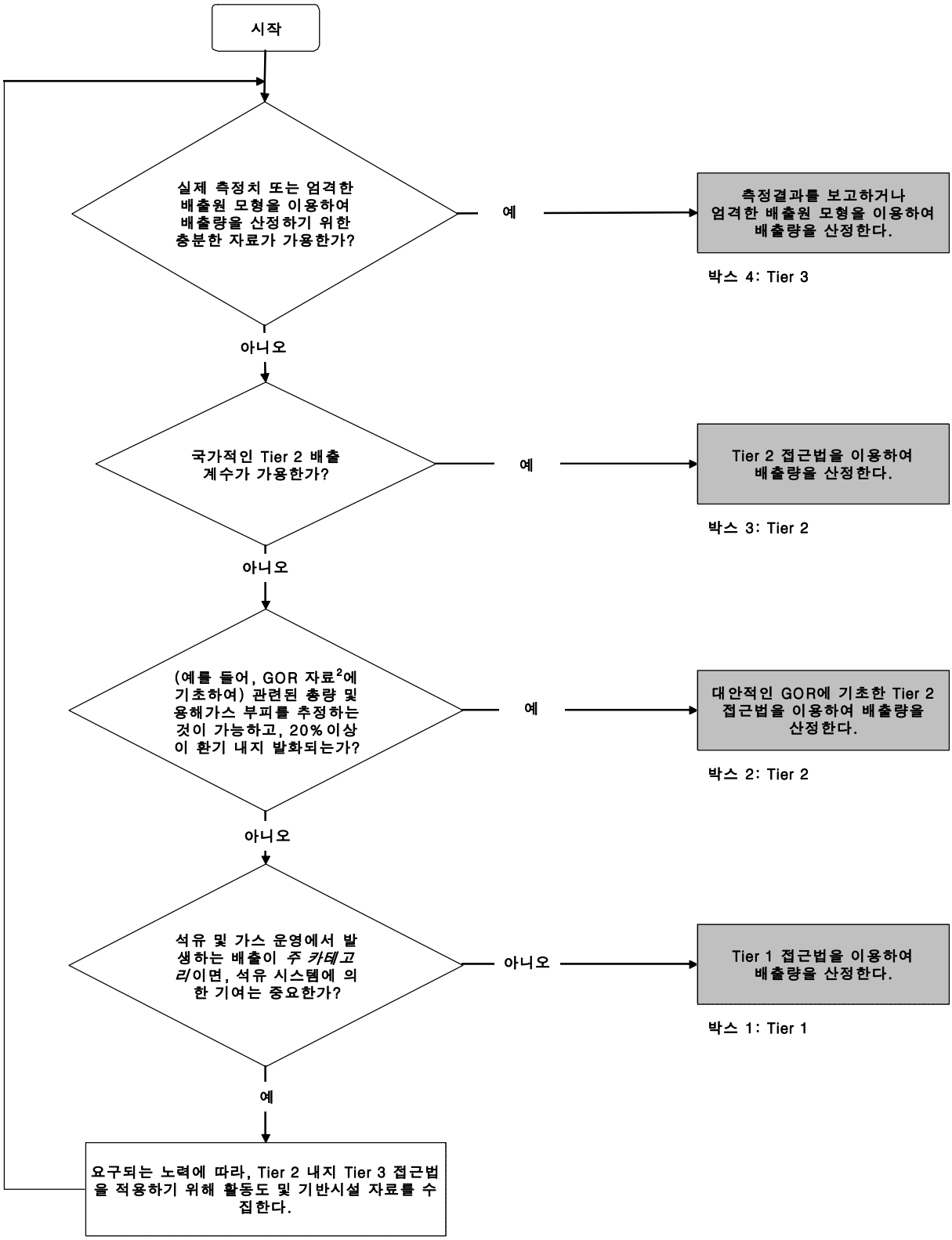
국가가 개별적인 석유 및 가스 회사에 의해 보고된 산정치의 편집에 기초하여 석유 및 가스 시스템에서 발생한 탈루성 배출을 산정했다면, 이는 개별 회사 및 시설에 의해 적용된 실제 접근법에 따라, Tier 2 내지 Tier 3 접근법일 것이다. 모든 경우에, 배출의 누락 내지 이중계산이 없는지 확인하는 주의를 기울일 필요가 있다.

그림 4.2.1 천연가스 시스템에 대한 의사결정도



주석: 주 카테고리 및 의사결정도의 이용에 관한 논의에 대해, 1권의 4장, "방법론 선택 및 주 카테고리"를 참고한다 (제한된 자원에 대해 4.1.2 절을 주목한다).

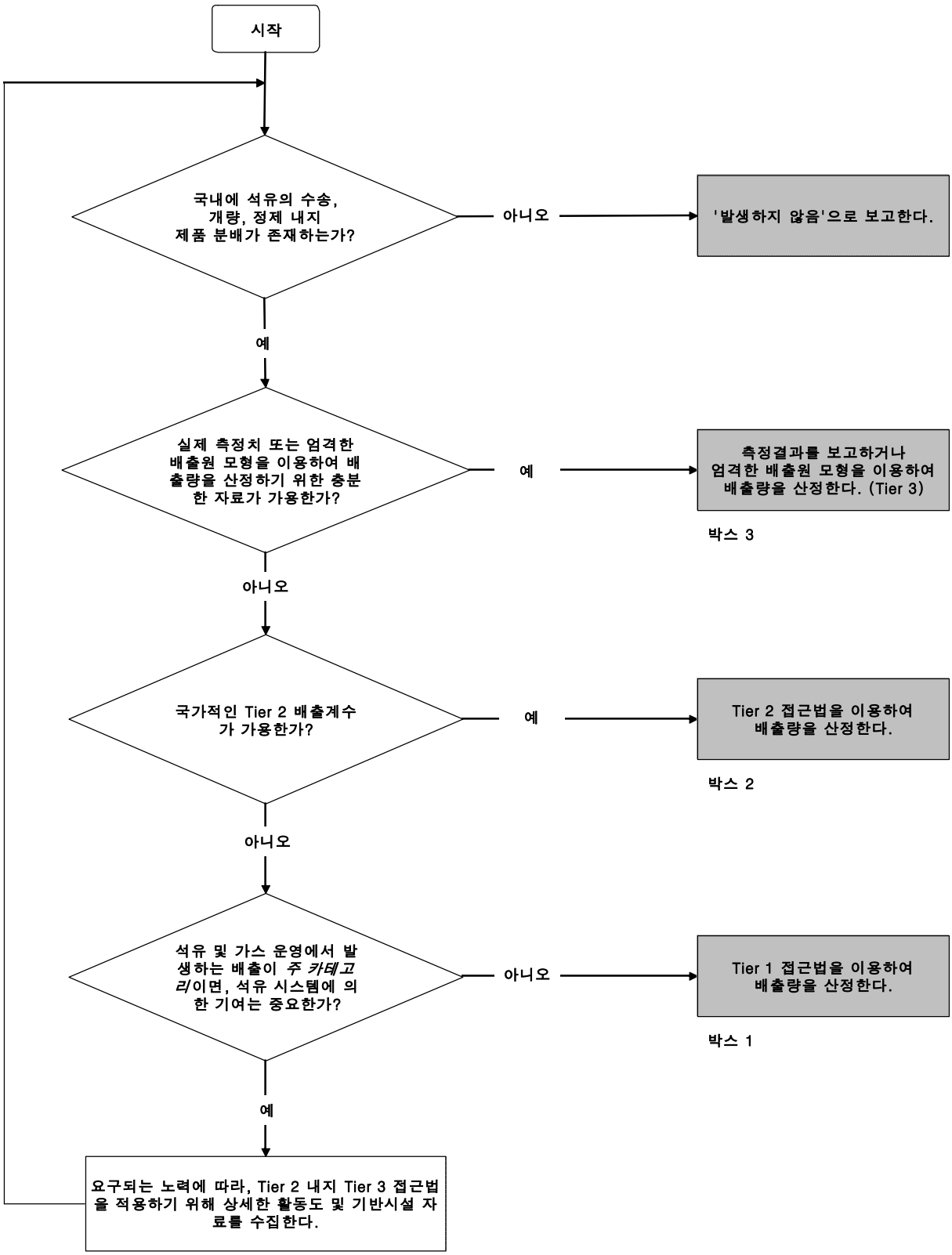
그림 4.2.2 원유 생산에 대한 의사결정도



주석 1: 주 카테고리 및 의사결정도의 이용에 관한 논의에 대해, 1권의 4장, "방법론 선택 및 주 카테고리"를 참고한다 (제한된 자원에 대해 4.1.2 절을 주목한다).

주석 2: GOR은 가스/석유 비율을 나타낸다 (4.2.2.2절을 참고).

그림 4.2.3 원유 수송, 정제 및 개량에 대한 의사결정도



주석 1: 주 카테고리 및 의사결정도의 이용에 관한 논의에 대해, 1권의 4장, "방법론 선택 및 주 카테고리"를 참고한다 (제한된 자원에 대해 4.1.2 절을 주목한다).

4.2.2.2 방법론의 선택

석유 및 천연가스 시스템에서 발생하는 탈루성 배출을 산정하기 위한 세 가지 방법론적 tier가 아래에 기술된다.

TIER 1은 석유 및 천연가스 산업의 각각의 적용가능한 부분 내지 하위카테고리에 대해 적절한 default 배출계수를 대표성있는 활동도 입력변수 (일반적으로 처리량)에 적용하는 것으로 구성되며 비핵심 배출원에만 이용되어야 한다. Tier1 접근법의 적용은 아래에 제시된 식 4.2.1과 4.2.2를 이용하여 이루어진다:

식 4.2.1
TIER 1: 산업 부분에서의 탈루성 배출의 산정

$$E_{\text{가스, 산업부분}} = A_{\text{산업부분}} \cdot EF_{\text{가스, 산업부분}}$$

식 4.2.2
TIER 1: 산업 부분에서의 총 탈루성 배출

$$E_{\text{가스}} = \sum_{\text{산업부분}} E_{\text{가스, 산업부분}}$$

여기서:

$E_{\text{가스, 산업 부분}}$ = 연간 배출량 (Gg)
$EF_{\text{가스, 산업 부분}}$ = 배출계수 (Gg/활동도 단위),
$A_{\text{산업부분}}$= 활동도 값 (활동도 단위),

고려되는 산업 부분은 표 4.2.2에서 나열된다. 모든 부분이 모든 국가에 적용될 필요는 없을 것이다. 예를 들어, 천연가스를 수입만 하고 생산하지 않는 국가는 가스 전송 및 분배만을 가질 것이다. 가용한 Tier 1 default 배출계수가 4.2.2.3절의 표 4.2.4와 4.2.5에 제시된다. 생산, 수입 및 수출은 일관적으로 가용한 유일한 국가적 석유 및 가스 통계이기 때문에, 이들 계수는 처리량에 관련된다. 작은 규모에서, 탈루성 배출은 처리량에 완전히 독립적이다. 탈루성 장비 누출에서의 배출을 산정하기 위한 가장 좋은 관계는 장비 구성요소의 수 및 유형과 서비스의 유형에 기초하며, 이는 Tier-3 접근법이다. 대규모에서, 생산량과 존재하는 기반시설의 양 사이에 합리적인 관계가 존재한다. 결론적으로, 석유 및 가스 시스템에 대한 제시된 Tier 1 계수의 신뢰성은 국가의 석유 및 가스 산업의 규모에 좌우될 것이다. 산업이 클수록 탈루성 배출의 기여는 보다 중요할 것이고 제시된 Tier 1 배출계수는 보다 신뢰성이 있을 것이다.

높은 정도의 불확도를 가지는 것 외에도, 석유 및 천연가스 시스템에 대한 Tier 1 접근법은 (예를 들어, 통제 수단의 시행 내지 배출원 특성의 변화로 인한) 시간에 따른 배출 강도의 실질적인 변화를 보여주는 것을 허용하지 않는다. 대신에, 배출량은 활동도 수준에 비례하여 고정되며, 시간에 따라 보고된 배출량의 변화는 단순히 활동도 수준의 변화를 반영한다. 배출 강도의 실질적인 변화

를 포착하기 위해 Tier 2 내지 3 접근법이 필요하다. 그렇지만, 보다 높은 tier 접근법으로 이동하는 것은 훨씬 더 많은 노력과, Tier 3 접근법에 대해, 보다 상세한 활동도 자료를 요구한다. 보다 정확한 결과를 달성하기 위해 보다 높은 tier 접근법에 이용되는 입력 정보의 완전성 및 정확성은 보다 낮은 방법론적 tier에 이용되는 입력 정보값에 필적하거나 보다 좋을 필요가 있을 것이다.

CO_2 포집 및 주입 활동 (예를 들어, CO_2 범람과 관련된 산성 가스 주입 및 EOR 프로젝트)과 관련된 석유 및 가스에서 발생하는 탈루성 온실가스 배출은 주입되는 CO_2 양에 비교할 때 일반적으로 작을 것이다 (예를 들어, 주입 부피의 1% 미만). Tier 1 내지 2 방법론 수준에서 이는 관련된 석유 및 가스 활동에 의한 탈루성 온실가스 배출과 구별되지 않는다. CO_2 포집 및 주입에서 발생하는 배출 기여는 제시된 Tier 1 계수가 개발된 원래 자료에 포함되었다 (즉, 누출, venting 및 flaring된 천연가스, 증기 및 산성 가스에서의 CO_2 농도를 고려하여, 전통적인 석유 및 가스 활동과 함께, 산성 가스 주입 및 EOR 활동을 포함하여 개발됨). CO_2 포집에서 발생한 손실은 포집이 발생한 산업에서 고려되어야 하며, 반면에 수송, 주입 및 저장 활동에서 발생한 손실은 5장에서 별도로 평가된다.

표 4.2.2
석유 및 가스 산업에서 주 카테고리 및 하위 카테고리

산업 부분	하위 카테고리
유정 굴착	모두
유정 시험	모두
유정 서비스	모두
가스 생산	Dry Gas[a]
	탄층 메탄 (1차 및 Enhanced Production)
	기타 enhanced gas recovery
	Sweet Gas[b]
	Sour Gas[c]
가스 처리	Sweet Gas 공장
	Sour Gas 공장
	Deep-cut 추출 공장[d]
가스 전송 및 저장	파이프라인 시스템
	저장 시설
가스 분배	외곽 분배
	도시 분배
액화 가스 수송	응축액
	액화석유가스 (LPG)
	액화천연가스 (LNG) (관련된 액화 및 기화 시설을 포함)
석유 생산	가벼운 밀도 및 중간 밀도의 원유 (1차, 2차 및 3차 생산)
	중질유 (1차 및 개선된 생산)
	천연 역청 (1차 및 개선된 생산)
	(오일샌드(Oil Sands)로부터의) 합성 원유
	(유모혈암(Oil Shales)로부터의) 합성 원유
석유 개질	천연 역청
	중질유
폐유 회수	모두
석유 수송	선박
	파이프라인
	유조 트럭 및 철도 차량
석유 정제	중질유
	전통적 원유 및 합성 원유
정제 제품 분배	휘발유
	디젤
	항공 연료
	제트유
	가스 오일 (중간 정제물)

[a] Dry gas는 판매용 가스 사양을 만족시키기 위해 탄화수소 이슬점 관리를 요구하지 않는 천연가스이다. 그렇지만, 수분 및 산성 가스 (즉, H_2S 및 CO_2) 함유량에 대한 판매용 사양을 만족시키는 처리를 여전히 요구할 것이다. Dry gas는 일반적으로 얕은 (1000 m 깊이 미만) 가스정에서 생산된다.

[b] Sweet gas는 상당한 양의 H_2S를 포함하지 않는 (즉, H_2S에 대한 판매용 가스 사양을 만족시키는 처리를 요구하지 않는) 천연가스이다.

[c] Sour gas는 H_2S 함유량에 대한 판매용 가스 제약을 만족시키기 위해 처리가 필요한 천연가스이다.

[d] Deep-cut 추출 공장은 천연가스에 있는 잔여 에탄 및 무거운 탄화수소를 회수하기 위해 이용되는 가스 전송 시스템에 위치한 가스 처리 공장이다.

TIER 2

Tier 2는 default 대신에, 국가에 고유한 배출계수와 함께 Tier 1 식 (4.2.1과 4.2.2)을 이용하는 것으로 구성된다. 이는 Tier 3 접근법이 실행가능하지 않은 주 카테고리에 적용되어야 한다. 국가에 고유한 값은 연구 및 측정 프로그램에서 개발되거나, Tier 3 접근법을 초기에 적용하고 다음으로 식 4.2.1과 4.2.2을 이용하여 Tier 2 배출계수를 역계산하여 유도될 것이다. 예를 들어, 일부 국가는 특정 연도동안 Tier 3 접근법을 적용해왔으며, 다음의 Tier 3 평가를 수행할 때까지 이후 연도에 이용하기 위한 Tier 2 계수를 개발하기 위해 이들 결과를 이용하였다. 일반적으로, (Tier 1 과 Tier 1 값을 포함한) 모든 배출계수는 주기적으로 재확인되거나 갱신되어야 한다. 이러한 갱신이 수행되는 빈도는 신기술, 관행, 표준 및 기타 관련 요인(예를 들어, 석유 및 가스 활동의 유형의 변화, 유전 및 시설의 연령 등)이 산업에 침투하는 비율에 적합해야 한다. 이러한 방식으로 개발된 새로운 배출계수는 산업내의 실질적인 변화를 고려하기 때문에, 이는 시계열에 역으로 적용되어서는 안된다.

석유 시스템의 생산부분에서 발생하는 venting 및 flaring 배출량을 산정하기 위해 적용되는 대체적인 Tier 2 접근법은 국가에 고유한 생산량, 가스 대 석유 비율 (GORs), 가스 조합 및 가스 보존 수준에 관한 정보를 이용하여 물질수지(mass balance)를 수행하는 것으로 구성된다. 이러한 접근법은 아래의 식 4.2.3에서 4.2.8를 이용하여 적용되며 신뢰성 있는 venting 및 flaring 값이 가용하지 않지만 대표성있는 GOR 자료를 구할 수 있고 venting 및 flaring 배출이 탈루성 배출의 지배적인 배출원으로 기대되는 경우에 적절하다 (즉, 관련된 가스 생산의 대부분이 포집/보존 내지 활용되지 않는다). 이러한 상황에서, 대표성 있는 관련 가스 및 증기 분석이 가용하고 CO_2 수송 및 주입 시스템에서의 탈루성 배출로 인한 기여가 (일반적으로 기대되는 것처럼) 비교적 작다면, EOR 활동에서의 탈루성 온실가스 배출을 산정하기 위해 대체적인 Tier 2 접근법이 또한 이용될 것이다. 대체적인 Tier 2 접근법이 적용되는 경우에, 이중계산을 가져오기 때문에 목표 배출원에 대해 가용한 venting 내지 flaring 자료는 고려하지 말아야 한다. 그렇지만, 잠재적 이상값 (anomalies)을 확인 및 해결하기 위해, GOR 자료를 이용하여 결정되는 산정된 가스의 venting 및 flaring된 부피와 가용한 venting 및 flaring의 보고 자료를 비교하는 것이 *우수실행(good practice)* 이다 (즉, 계산된 부피는 가용한 보고 자료와 비슷하거나, 후자의 자료가 불완전하다면 보다 커야 한다).

표 4.2.3은 선택된 위치의 유정에 대한 전형적인 GOR 값의 예를 보여준다. 실제 GOR 값은 지역의 지질, 생산 유층의 상태 및 생산 비율에 따라 0에서 매우 높은 값까지 변한다. 이럼에도 불구하고, 다수의 유정에 대한 평균적인 GOR 값은 보다 예측가능한 경향이 있다. 다수의 국가 및 지역에 대한 제한된 자료에 관한 검토는 전통적인 석유 생산에 대한 평균적인 GOR 값이 일반적으로 위치에 따라, 대략 100에서 350 m^3/m^3의 범위내에 있을 것이라는 것을 보여준다.

표 4.2.3
서로 다른 생산 유형에 대한 가스 대 석유 비율(GAS-TO-OIL RATIOS)의 전형적 범위

원유 생산의 유형	위치	전형적인 GOR 값 (m^3/m^3)	
		범위[6]	평균
전통적 석유 (Conventional Oil)	알래스카 (Prudhoe Bay)	142 to 6234[2,3]	NA
	캐나다	0 to 2,000+[1,2]	가용하지 않음 (NA)
	카타르 (해안, 1개 유전)	167 to 184[4]	173
	카타르 (해안, 3개 유전)	316 to 386[4]	333
1차 중질유 (Primary Heavy Oil)	캐나다	0 to 325+[1,5]	NA
고온 중질유 (Thermal Heavy Oil)	캐나다	0 to 90[1]	NA
천연 역청 (Crude Bitumen)	캐나다	0 to 20[1]	NA

[1] 출처: 캐나다에 있는 유정의 선택에 대한 출판되지 않은 자료에 기초함.
[2] 상당히 높은 GOR 값이 발생할 수 있지만, 이러한 유정은 일반적으로 가스정으로 분류되거나 커다란 가스캡(gas cap)이 존재하며 가스는 일반적으로 회수가능한 모든 석유가 생산될 때까지 재주입될 것이다.
[3] 출처: Mohaghegh, S.D., L.A. Hutchins and C.D. Sisk. 2002. Prudhoe Bay Oil Production Optimization: Using Virtual intelligence Techniques, Stage One: Neural Model Building. Presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in San Antonio, Texas, 29 September 2 October 2002.
[4] 출처: Corporate HSE, Qatar Petroleum, Qatar-Doha 2004.
[5] 커다란 가스캡이 존재하는 일부 유정에 대해 7,160 m^3/m 정도의 큰 값이 관찰되었다. 이러한 경우에 가스 재주입을 하지 않는다. 가스는 보존, venting 내지 flaring된다.
[6] 15°C, 101.325 kPa의 표준 조건에서 참조됨.

대체적인 Tier 2 접근법에서 물질수지를 적용하기 위해, 생산된 모든 가스 및 증기의 운명을 고려하는 것이 필요하다. 포집되어 연료로 이용되거나 가스 수집 시스템에 공급되거나 재주입되는, 생산된 가스 및 증기의 양을 표현하는 보존 효율성 (CE) 계수의 적용을 통해, 부분적으로, 이를 수행한다. CE 값 1은 모든 가스가 보존, 활용 내지 재주입되는 것을 의미하며 0 값은 모든 가스가 venting 내지 flaring되는 것을 의미한다. 값들은 0.1에서 0.95 까지의 범위를 가질 것으로 기대된다. 생산된 가스로부터 공정용 연료만을 끌어 당기고 나머지는 venting 내지 flaring되는 경우에 하한이 적용된다. 0.95 값은 일반적으로 가스수집 시스템에 대해 접근이 용이하고 지역적 규제가 venting 및 flaring 가스의 저감을 강조하는 상황을 반영한다.

식 4.2.3
대체적인 TIER 2 접근법 (venting으로 인한 배출)

$$E_{\text{가스, 석유 생산, 환기}} = GOR \cdot Q_{\text{석유}} \cdot (1 - CE) \cdot (1 - X_{\text{발화}}) \cdot M_{\text{가스}} \cdot y_{\text{가스}} \cdot 4$$

식 4.2.4
대체적인 TIER 2 접근법 (flaring로 인한 CH_4 배출)

$$E_{CH4,\text{ 석유 생산, 발화}} = GOR \cdot Q_{\text{석유}} \cdot (1 - CE) \cdot X_{\text{발화}} \cdot (1 - FE) \cdot M_{CH4} \cdot y_{C}$$

식 4.2.5
대체적인 TIER 2 접근법 (flaring로 인한 CO_2 배출)

$$E_{CH2,\text{ 석유 생산, 발화}} = GOR \cdot Q_{\text{석유}} \cdot (1 - CE) \cdot X_{\text{발화}} \cdot M_{CO2} \cdot [y_{CO2} + (Nc_{CH4} \cdot y_{CH4} + Nc_{NMVOC} \cdot y_{NMVOC})(1 - X_{\text{그을음}})] \cdot 42.3 \times 10^{-6}$$

식 4.2.6
flaring 및 venting으로 인한 CH_4 배출

$$E_{CH4,\text{ 석유 생산}} = E_{CH4,\text{ 석유 생산, 환기}} + E_{CH4,\text{ 석유 생산, 발화}}$$

식 4.2.7
flaring 및 venting으로 인한 CO_2 배출

$$E_{CO2,\text{ 석유 생산}} = E_{CO2,\text{ 석유 생산, 환기}} + E_{CO2,\text{ 석유 생산, 발화}}$$

식 4.2.8
flaring로 인한 N_2O 배출

$$E_{N2O,\text{ 석유 생산, 발화}} = GOR \cdot Q_{\text{석유}}(1 - CE)X_{\text{발화}}EF_{N2O}$$

여기서:

$E_{i,석유생산,venting}$ = 석유 생산시설에서 venting로 인해 배출된 GHG 가스 i의 직접적인 양 (Gg/y)

$E_{i,석유생산,flaring}$ = 석유 생산시설에서 flaring로 인해 배출된 GHG 가스 i의 직접적인 양 (Gg/y)

GOR = 15°C와 101.325 kPa에서 참조된 평균 가스 대 석유의 비율 (m^3/m^3)

QOIL = 총 연간 석유 생산 (10^3 m^3/y)

$M_{가스}$ = 관심있는 가스의 분자량 (예를 들어, CH_4는 16.043, CO_2는 44.011)

Nc_i = 화합물 i의 몰(mole) 당 탄소의 몰 수 (즉, CH_4는 1, C_2H_6는 2, C_3H_8은 3, CO_2는 1, 천연가스에 있는 NMVOC 부분은 2.1에서 2.7, 원유 증기의 NMVOC 부분은 4.6)

y_i = 물질 i (즉, CH_4, CO_2, NMVOC)로 구성된 관련 가스의 몰 내지 부피 비율

CE = 가스 보존 효율성 계수

$X_{flaring}$ = venting 대신에 flaring된 폐기가스의 비율. 주된 중유 유정을 제외하고, 일반적으로 대부분의 폐기 가스는 flaring된다.

FE = flaring 파괴 효율성 (즉, 부분 내지 전부 타버린 불꽃(flare)이 되버린 가스의 비율). 전형적으로, 정유공장에서는 불꽃에 대해 0.995 값이 가정되고, 생산 및 가공 시설에서 이용된 불꽃에 대해 0.98 값이 가정된다.

$X_{그을음}$ = flaring 동안 그을음 내지 미립자 물질로 전환된 입력 폐기 가스 흐름에서의 non-CO_2 탄소의 비율. 적용 가능한 자료가 없을 때 보존적 근사법으로서 이 값은 0으로 가정될 것이다.

EF_{N2O} = flaring에서 발생하는 N_2O의 배출계수 (flaring된 관련 가스의 Gg/10^3 m^3). 이 계수값에 대해 IPCC 배출계수 데이터베이스 (EFDB), 제조업체의 자료 내지 기타 적절한 원천을 참고한다.

$42.3x10^{-6}$ = 101.325 kPa와 15°C에서 참조된 가스의 m^3 당 kmol의 개수 (즉, $42.3x10^{-3}$ $kmol/m^3$) 곱하기 적용되는 각 식의 결과를 Gg/y 단위로 바꾸는 단위전환계수 10^{-3} Gg/Mg.

식 4.2.6과 4.2.7에서 $E_{CH4,\ oil\ prod,\ venting}$ 과 $E_{CO2,\ oil\ prod,\ venting}$ 값은 식 4.2.3을 이용하여 산정된다.

식 4.2.5는 에너지 권, 도입 장의 1.3절에서 연료 연소에 대해 수행된 것과 비슷한 접근법을 이용하여 CO_2 배출을 고려한다는 것을 주목해야 한다. 이 식에서 yCO_2는 flaring되는 폐기 가스에 존재하는 원래 (내지 지층형 CO_2)의 양을 효과적으로 고려한다. 식 4.2.5의 $NcCH_4$ yCH_4 and NcNMVOC yNMVOC 는 산화된 CH_4 및 NMVOC 단위당 생산되는 CO_2 양을 고려한다.

TIER 3

Tier 3는 임시의 소규모 현장 내지 유정 설비로부터의 기여를 적절히 고려하여, 개별적인 시설 수준에서 배출원의 주된 유형(예를 들어, venting, flaring, 탈루성 장비 누출, 증발성 손실 및 우발적 방출)에 의해 엄격한 상향식 평가를 적용하는 것으로 구성된다. 필요한 활동도 및 기반시설 자료가 이미 가용하거나 획득하는 것이 적당한 경우에, 주 카테고리에 대해 이를 이용하여야 한다. CCS와 관련하여 EOR, EGR 및 ECBM이 이용되는 경우에, 노천 시설에서 발생하는 배출을 산정하기 위해 Tier 3를 또한 이용해야 한다. 이보다 덜 세분화된 수준에서 배출을 산정하는 접근법은 적용되는 계수를 일반 문헌에서 구한다면 Tier 1 접근법, 계수가 국가에 고유한 값이라면 Tier 2 접근법과 동일한 것으로 간주된다.

Tier 3 평가에 활용되는 자료의 핵심적인 유형은 아래의 것을 포함할 것이다:

- 시설 인벤토리, 이는 각 시설에서 장비 내지 공정의 유형 및 양과 주된 배출 통제 (예를 들어, 증기 회수, 폐기 가스 소각 등)에 관한 평가를 포함한다.
- 유정 및 소규모 현장 설비의 인벤토리 (예를 들어, 현장 탈수기, 라인 가열기, 유정 계량기 등)
- 각 하위카테고리에 대한 국가에 고유한 flaring, venting 및 공정 가스 분석
- 시설 수준의 산성가스 생산, 분석 및 처분 자료
- 유정 파열 및 파이프라인의 파손으로 인한 보고된 대기중으로의 방출
- 탈루성 장비 누출, 고려/보고되지 않은 venting 및 flaring, 생산시설에서의 속발성 손실, 증발성 손실 등에 대한 국가에 고유한 배출계수
- 처분을 위해 안전한 지층에 주입된 산성가스의 양 및 조합

생산을 개선하는 수단 (예를 들어, EOR, EGR 및 ECBM 프로젝트) 내지 처분 사항 (예를 들어, sour gas 처리공장에서의 산성가스 주입)으로서 CO_2 주입과 관련된 석유 및 가스 프로젝트는 프로젝트의 CO_2 포집, 수송, 주입 및 격리 부분과 프로젝트의 석유 및 가스 생산 부분을 구별해야 한다. 격리된 CO_2의 순 배출량과 CO_2 시스템에서 발생한 탈루성 배출은 CO_2 포집 및 저장에 대해 5장에서 규정된 기준에 기초하여 결정되어야 한다. 이들 프로젝트에서 석유 및 가스 시스템에서 발생하는 탈루성 배출은 여기 4장에서 제공되는 지침에 기초하여 평가되어야 하며 배출된 천연가스 및 탄화수소 증기에서 시간에 따라 CO_2의 농도 증가를 보여줄 것이다. 따라서, 적용되는 배출계수는 이 사실을 고려하기 위해 주기적으로 갱신될 필요가 있다. 또한, 프로젝트의 두 부분 간에 모든 CO_2의 적절한 총량 계산이 이루어지는지를 확인하도록 주의를 기울여야 한다.

4.2.2.3 배출계수의 선택

TIER 1

이용가능한 Tier 1 default 배출계수가 표 4.2.4와 4.2.5에 제시된다. 제시된 배출계수 모두는 석유 내지 가스 처리량의 단위 부피당 질량 배출의 단위로 표현된다. 일부 유형의 탈루성 배출은 개별적인 배출원에서 처리량과 상관관계가 나쁘거나 관련이 없는 반면에 (예를 들어, 탈루성 장비 누출), 배출원의 대규모 모집단이 고려될 때 처리량과의 상관관계는 보다 합리적이 된다. 더욱이, 처리량 통계는 Tier 1 계산에서 이용하기 위한 가장 일관적으로 가용한 활동도 자료이다.

표 4.2.4는 북미 및 서유럽 표준으로 설계, 운영 및 유지되는 시스템에 단지 적용되어야 한다. 표 4.2.5는 (종종 10배 이상으로) 활동도 단위당 훨씬 더 많은 양의 탈루성 배출이 존재하는 개도국과 과도기 경제를 가진 국가에 있는 시스템에 일반적으로 적용된다. 이러한 경우에 보다 큰 배출의 이유에는 덜 엄격한 설계 기준, 저질 부품의 이용, 천연가스 시장에 대한 제한적 접근, 및, 일부 경우에, 에너지 보존의 감소를 가져오는 인위적으로 낮은 에너지 가격이 포함될 것이다. IPCC 배출계수 데이터베이스 (EFDB)는 보다 높은 tier의 배출계수 값을 포함하기 때문에, 이를 또한 참고해야 한다.

표 4.2.4
선진국에서의 기름 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

종류	하위카테고리	배출원	IPCC경로	CH_4		CO_2		NMVOC		N_2O		측정단위
				평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	
석유발굴	모두	연소 및 venting	flaring	3.3E-05	±100%	1.0E-04	±50%	8.7E-07	±100%	ND	ND	Gg per 10^3m^3 총오일생산량
유전실험	모두	연소 및 venting	flaring	5.1E-05	±50%	9.0E-03	±50%	1.2E-05	±50%	6.8E-08	-10 to +1000%	Ggper 10^3m^3 총오일생산량
Well Servicing	모두	연소 및 venting	flaring	1.1E-04	±50%	1.9E-06	±50%	1.7E-05	±50%	ND	ND	Gg per 10^3m^3 총오일생산량
가스생산	모두	일시적[d]	생산	3.8E-04 ~ 2.3E-03	±100%	1.4E-05 ~ 8.2E-05	±100%	9.1E-05 ~ 5.5E-04	±100%	NA	NA	Gg per 10^6m^6 생산가스
		연소	flaring	7.6E-07	±2.5%	1.2E-03	±25%	6.2E-07	±25%	2.1E-08	-10 to +1000%	Gg per 10^6m^3 생산가스
가스 처리공정	스위트가스 공장	처리	생산	4.8E-04 ~ 10.3E-04	±100%	1.5E-04 ~ 3.2E-04	±100%	2.2E-04 ~ 4.7E-04	±100%	NA	NA	Gg per 10^6m^3 공급가스
		연소	flaring	1.2E-06	±2.5%	1.8E-03	±25%	9.6E-07	±25%	2.5E-08	-10 to +1000%	Gg per 10^6m^3 공급가스
	사워가스 공장	처리	생산	9.7E-05	±100%	7.9E-06	±100%	6.8E-05	±100%	NA	NA	Gg per 10^6m^3 공급가스
		연소	flaring	2.4E-06	±2.5%	3.6E-03	±25%	1.9E-06	±25%	5.4E-08	-10 to +1000%	Gg per 10^6m^3 공급가스
		CO_2 venting	venting	NA	NA	6.3E-02	-10 ~ +1000%	NA	NA	NA	NA	Gg per 10^6m^3 공급가스

표 4.2.4(계속)
선진국에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

종류	하위카테고리	배출원	IPCC경로	CH_4		CO_2		NMVOC		N_2O		측정단위
				평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	
가스 분류	모두	모두	분배	1.1E-03	-20~500%	5.1E-05	-20 ~ +500%	1.6E-05	-20 ~ +500%	ND	ND	Gg per 10^6m^3 판매에 유용
액상 천연가스 수송	응축액	모두	수송	1.1E-04	±100%	7.2E-06	±100%	1.1E-03	±100%	ND	ND	Gg per 10^3m^3 응축액+펜탄
	액화석유가스	모두	수송	NA	NA	4.3E-04	±50%	ND	ND	2.2E-09	-10 ~ +1000%	Gg per 10^3m^3 LPG
	액화천연가스	모두	수송	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Gg per 10^6m^6 시장성이좋은
원유 생산	일반 원유	일시적	생산 및 개량	1.5E-06~ 3.6E-03	±100%	1.1E-07 ~ 2.6E-04	±100%	1.8E-06 ~ 4.5E-03	±100%	NA	NA	Gg per 10^6m^6 원유생산
		일시적	생산 및 개량	5.9E-07	±100%	4.3E-08	±100%	7.4E-07	±100%	NA	NA	Gg per 10^6m^6 원유생산
		venting	venting	7.2E-04	±50%	9.5E-05	±50%	4.3E-04	±50%	NA	NA	Gg per 10^6m^6 원유생산
		연소	flaring	2.5E-05	±50%	4.1E-02	±50%	2.1E-05	±50%	6.4E-07	-10 to +1000%	Gg per 10^6m^6 원유생산

표 4.2.4(계속)
선진국에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

종류	하위카테고리	배출원	IPCC경로	CH_4		CO_2		NMVOC		N_2O		측정단위
				평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	
	증유/차가운 가연성물질	일시적	생산 및 개량	7.9E-03	±100%	5.4E-04	±100%	2.9E-03	±100%	NA	NA	Gg per 10^6m^3 증유 생산
		venting	venting	1.7E-02	±75%	5.3E-06	±75%	2.7E-03	±75%	NA	NA	Gg per 10^3m^3 증유 생산
		연소	flaring	1.4E-04	±75%	2.2E-02	±75%	1.1E-05	±75%	4.6E-07	-10 ~ +1000%	Gg per 10^3m^3 증유 생산
	열 기출 제조	탈루성	생산 및 개량	1.8E-04	±100%	2.9E-05	±100%	2.3E-04	±100%	NA	NA	Gg per 10^6m^6 역청 열 생산
		venting	venting	3.5E-03	±50%	2.2E-04	±50%	8.7E-04	±50%	NA	NA	Gg per 10^6m^6 역청 열 생산
		연소	flaring	1.6E-05	±75%	2.7E-02	±75%	1.3E-05	±75%	2.4E-07	-10 ~ +1000%	Gg per 10^6m^6 역청 열 생산
	통합 원유	모두	생산 및 개량	2.3E-03	±75%	ND	ND	9.0E-04	±75%	ND	ND	Gg per 10^6m^6 다공성사암 혼합원유생산

표 4.2.4(계속)
선진국에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

종류	하위카테고리	배출원	IPCC경로	CH_4		CO_2		NMVOC		N_2O		측정단위
				평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	
	원유 (유모혈암)	모두	생산 및 개량	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Gg per 10^3m^3 유모혈암에서의 인조오일생산량
		일시적	생산 및 개량	2.2E-03	±100%	2.8E-04	±100%	3.1E-03	±100%	NA	NA	Gg per 10^3m^3 총기름 생산량
		venting	venting	8.7E-03	±75%	1.8E-03	±75%	1.6E-03	±75%	NA	NA	Gg per 10^3m^3 총기름 생산량
		연소	flaring	2.1E-05	±75%	3.4E-02	±75%	1.7E-05	±75%	5.4E-07	-10 ~ +1000%	Gg per 10^3m^3 총기름 생산량
연료 증가	모두	모두	생산 및 개량	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Gg per 10^3m^3 개량 오일량
연료 수송	경로	모두[k]	수송	5.4E-06	±100%	4.9E-07	±100%	5.4E-05	ND	NA	NA	Gg per 10^3m^3 송유관에 의한 수송량

표 4.2.4(계속)
선진국에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

종류	하위카테고리	배출원	IPCC경로	CH_4		CO_2		NMVOC		N_2O		측정단위
				평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	
	유조차와 기차	venting[k]	venting	2.5E-05	±100%	2.3E-06	±100%	2.5E-04	ND	NA	NA	Gg per 10^3m^3 유조차에의한 수송
	정박된 유조선	venting[k]	venting	ND[h]	ND	ND[h]	ND	ND[h]	ND	NA	NA	Gg per 10^3m^3 유조선에 의한 수송
오일 정제	모두	모두	정제	2.6E-06 ~ 41.0x10-6	±100%	ND	ND	0.0013	±100%	4.6E-07	-10 ~ +1000%	Gg per 10^3m^3 정제 오일
석유 제품의 분배	가솔린	모두	석유제품의 분배	NA	NA	NA	NA	0.0022	±100%	NA	NA	Gg per 10^3m^3 광범위 생산
	디젤	모두	석유제품의 분배	NA	NA	NA	NA	ND	ND	NA	NA	Gg per 10^3m^3 수송품
	비행기 연료	모두	석유제품의 분배	NA	NA	NA	NA	ND	ND	NA	NA	Gg per 10^3m^3 수송품
	제트기 등유	모두	석유제품의 분배	NA	NA	NA	NA	ND	ND	NA	NA	Gg per 10^3m^3 수송품

표 4.2.4(계속)

선진국[ab]에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

NA - 적용 불가능 ND - 미정

a 제시된 배출계수는 국가간에 분명히 다를 것이지만, 수행되는 가스 보존 및 활용의 양의 중대한 차이에 대한 가능성 때문에 특히 석유 생산에 대해서, venting 및 flaring 측면에서 가장 큰 차이가 발생할 것으로 기대된다.

b 탈루성 배출에 대한 값의 범위는 가스 처리 단위당 공정 기반시설의 양 (예를 들어, 시설의 평균적 개수 및 크기)에서의 차이에 주로 기인한다.

c 'All'은 venting 및 flaring 배출 뿐만 아니라 모든 탈루성 배출을 표시한다.

d 'Fugitives'는 탈루성 장비 누출, 저장 손실, 가스로 작동되는 장치 (예를 들어, 장비 통제 회로, 화학적 주입펌프, 압축기 기동장치 등)를 위한 공급매체로의 천연가스 이용 및 글리콜 탈수기에서의 고정기둥 오프가스의 venting에서 발생하는 배출을 포함한 모든 탈루성 배출을 표시한다. 제시된 값의 점위는 해안 (보다 작은 값)과 근해 (보다 큰 값) 배출에서의 탈루성 배출 간의 차이를 반영한다.

e 'Flaring'은 모든 지속적 및 긴급 flaring 시스템에서 발생하는 배출을 표시한다. 특정한 flaring 비율은 국가들간에 상당히 다를 것이다. 실제로 flaring된 양이 알려진 경우에는 제시된 배출계수를 생산비율에 적용하는 대신에 flaring 배출량을 결정하는데 이를 이용해야 한다. 보고된 flaring량에서 발생하는 CH_4, CO_2 및 N_2O 배출의 직접적인 산정을 위한 배출계수는 98%의 flaring 효율성과 가스처리공장에서의 전형적인 가스 분석 (즉, 부피에 의한 91.9% CH_4, 0.58% CO_2, 0.68% N_2 및 6.84% 비메탄 탄화수소)에 기초하여 flaring된 $10^6 m^3$의 가스당, 각각, 0.012, 2.0 및 0.000023 Gg이다.

f 작은 계수는 대개 원심형인 압축기를 반영하는 반면에 큰 계수는 시스템상의 대개 왕복형인 압축기의 이용을 반영한다.

g 'Venting'은 석유 생산시설에서의 관련 폐기물 및 용해가스의 보고된 venting 및 가스 시설에서의 파열, 제거 및 긴급 방출 사고에서 발생한 폐기가스 양을 표시한다. 실제로 venting된 양이 알려진 경우에는 제시된 배출계수를 생산비율에 적용하는 대신에 venting 배출량을 결정하는데 이를 이용해야 한다. 보고된 venting량에서 발생하는 CH_4 및 C_2O 배출의 직접적인 산정을 위한 배출계수는 가스 전송 및 분배 시스템에 대한 전형적인 가스 분석 (즉, 부피에 의한 97.3% CH_4, 0.26% CO_2, 1.7% N_2 및 0.74% 비메탄 탄화수소)에 기초하여 venting된 $10^6 m^3$의 가스당, 각각, 0.66 및 0.0049 Gg이다.

h 북미의 근해 생산물의 선박 적재에 대한 계수가 가용하지 않은 반면에 노르웨이의 자료는 이동되는 석유에 관해 1.0에서 3.6 $Gg/10^3 m^3$의 CH_4 배출계수를 나타낸다 (Norwegian Pollution Control Authority, 2000에 의해 제공된 자료에서 도출됨).

I 탈루성 장비 누출, 유동상촉매분해(fluid catalytic cracking) 및 0.53 kg/m3 (CPPI and Environment Canada, 1991), 0.6 kg/m3 (US EPA, 1995), 0.2 g/kg (대부분의 휘발성 제품이 2차 밀폐가 있는 부동형 지붕 탱크(floating roof tanks)에 저장된다고 가정) (EMEP/CORINAIR, 1996)의 저장 및 취급에 대한 통합된 배출계수에 기초하여 산정된다.

j 분배 터미널에서 처리량의 0.15%의 평균적인 증발손실 가정 및 소매점에서 처리량의 0.15%의 추가 손실에 기초하여 산정된다. 이들 값은 단계 1 및 단계 2의 증기 회수가 발생하는 경우에 매우 낮아질 것이고 더운 기후에 매우 커질 것이다.

k NMVOC 값은 NMVOC 대 CH_4의 질량 비율에 기초하여 메탄 값에서 도출된다. 가스 전송 및 분배에 대해 0.0144 kg/kg, 석유 및 응축액(condensate) 수송에 대해 9.951 kg/kg, 합성 원유 생산에 대해 0.3911 kg/kg의 값이 이용된다.

l 제시된 CO_2 배출계수는, 제시된 값이 직접적인 CO_2 배출과 기체형 비-CO_2 탄소 배출의 대기중 산화로 인한 간접적인 기여의 합을 고려하는 flaring을 제외하고는, 직접적인 CO_2 배출만을 고려한다.

출처: Canadian Association of Petroleum Producers (1999, 2004); API (2004); GRI/US EPA (1996); US EPA (1999).

표 4.2.5
개발도상국 및 EIT[a,b](구 동구권 10개국) 국가들에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

종류	하위카테고리	배출원	IPCC경로	CH_4		CO_2		NMVOC		N_2O		측정단위
				평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	
유정 굴착	모두	연소 및 venting	1.B.2aii or 1B.2bii	3.3E-05~ 5.6E-04	-12.5~ +800%	1.0E-04~ 1.7-03	-12.5~ +800%	8.7E-07~ 1.5E-05	-12.5~ +800%	ND	ND	Gg per 유정 굴착
유정 시험	모두	연소 및 venting	1,B2aii or 1.B2bii	5.1E-05~ 8.5E-04	-12.5~ +800%	9.0E-03~ 1.5E-01	-12.5~ +800%	1.2E-05~ 2.0E-04	-12.5~ +800%	6.8E-08~ 1.1E-06	-10 ~ +1000%	Gg per 유정 굴착
유정 생산 (well servicing)	모두	연소 및 venting	1.B2aii or 1.B2bii	1.1E-04~ 1.8E-03	-12.5~ +800%	1.9E-06~ 3.2e-05	-12.5~ +800%	1.7E-05~ 2.8E-04	-12.5~ +800%	ND	ND	Gg/yr 생산량 또는 유정량
가스 생산	모두	일시적	1.B2biii2	3.8E-04~ 2.4E-02	-40~ +250%	1.4E-05~ 1.8E-04	-40~ +250%	9.1E-05~ 1.2E-03	-40~ +250%	NA	NA	Gg per 10^6m^3 가스 생산
		연소	1.Bbii	7.6E-07~ 1.0E-06	±75%	1.2E-03~ 1.6E-03	±75%	6.2E-07~ 8.5E-07	±75%	2.1E-08~ 2.9E-08	-10 ~ +1000%	Gg per 10^6m^3 가스 생산
가스 처리	스위트 가스 공장	일시적	1.B.2biii3	4.8E-04~ 1.1E-03	-40~ +250%	1.5E-04~ 3.5E-04	-40~ +250%	2.2E-04~ 5.1E-04	-40~ +250%	NA	NA	Gg per 10^6m^3 가스발생량
		연소	1.B2bii	1.2E-06~ 1.6E-06	±75%	1.8E-03~ 2.5E-03	±75%	9.6E-07~ 1.3E-06	±75%	2.5E-08~ 3.4E-08	-10 ~ +1000%	Gg per 10^3m^3 가스발생량
	사워 가스 공장	일시적	1.B2biii3	9.7E-05~ 2.2E-04	-40~ +250%	7.9E-06~ 1.8E-05	-40~ +250%	6.8E-05~ 1.6E-04	-40~ +250%	NA	NA	Gg per 10^3m^3 가스발생량

표 4.2.5(계속)

개발도상국 및 EIT[a,b](구 동구권 10개국) 국가들에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

종류	하위카테고리	배출원	IPCC경로	CH_4		CO_2		NMVOC		N_2O		측정단위
				평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	
		연소	1.B.2.b.ii	2.4E-06 ~ 3.3E-06	±75%	3.6E-03 ~ 4.9E-03	±75%	1.9E-06 ~ 2.6E-06	-67 ~ +150%	5.4E-08 ~ 7.4E-08	-10 ~ +1000%	Gg per $10^6 m^3$ 가스발생량
		venting	1.B.2.b.i	NA	NA	6.3E-02 ~ 1.5E-01	-10 ~ +1000%	NA	NA	NA	NA	Gg per $10^6 m^3$ 가스발생량
	깊은 (Deep-cut) 추출 설비 (다리가 2개인 설비)	일시적	1.B.2.b.iii.3	1.1E-05~ 2.5E-05	-40 ~ +250%	1.6E-06 ~ 3.7E-06	-40 ~ +250%	2.7E-05 ~ 6.2E-05	-40 ~ +250%	NA	NA	Gg per $10^6 m^3$ 가스발생량
		연소	1.B.2.b.ii	7.2E-08~ 9.9E-08	±75%	1.1E-04 ~ 1.5E-04	±75%	5.9E-08~ 8.1E-08	±75%	1.2E-08 ~ 8.1E-08	-10 ~ +1000%	Gg per $10^6 m^3$ 가스발생량
	기본값 가중치합계	일시적	1.B.2.b.iii.3	1.5E-04~ 3.5E-04	-40 ~ +250%	1.2E-05 ~ 2.8E-05	-40 ~ +250%	1.4E-04 ~ 3.2E-04	-40 ~ +250%	NA	NA	Gg per $10^6 m^3$ 가스 생산량
		연소	1.B.2.b.ii	2.0E-06 ~ 2.8E-06	±75%	3.0E-03 ~ 4.1E-03	±75%	1.6E-06 ~ 2.2E-06	±75%	3.3E-08 ~ 4.5E-08	-10 ~ +1000%	Gg per $10^6 m^3$ 가스 생산량
		venting	1.B.2.b.i	NA	N/A	4.2E-02 ~ 9.5E-02	-10 ~ +1000%	NA	N/A	NA	N/A	Gg per $10^6 m^3$ 가스 생산량

표 4.2.5(계속)
개발도상국 및 EIT[a,b](구 동구권 10개국) 국가들에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

종류	하위카테고리	배출원	IPCC경로	CH_4		CO_2		NMVOC		N_2O		측정단위
				평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	
	중유/ 역청탄	일시적	1.B.2.a.iii.2	7.9E-03 ~ 1.3E-01	-12.5 ~ +800%	5.4E-04 ~ 9.0E-03	-12.5 ~ +800%	2.9E-03 ~ 4.8E-02	-12.5 ~ +800%	NA	NA	Gg per $10^3 m^3$ 중유/역청생산
		venting	1.B.2.a.i	1.7E-02 ~ 2.3E-02	-67 ~ +150%	5.3E-03 ~ 7.3E-03	-67 ~ +150%	2.7E-03 ~ 3.7E-03	-67 ~ +150%	NA	NA	Gg per $10^3 m^3$ 중유/역청생산
		연소	1.B.2.a.ii	1.4E-04 ~ 1.9E-04	-67 ~ +150%	2.2E-02 ~ 3.0E-02	-67 ~ +150%	1.1E-05 ~ 1.5E-05	-67 ~ +150%	4.6E-07 ~ 6.3E-07	-10 ~ +1000%	Gg per $10^3 m^3$ 중유/역청생산
	열매체유 생산	일시적	1.B.2.a.iii.2	1.8E-04 ~ 3.0E-03	-12.5 ~ +800%	2.9E-05 ~ 4.8E-04	-12.5 ~ +800%	2.3E-04 ~ 3.8E-03	-12.5 ~ +800%	NA	NA	Gg per $10^3 m^3$ 열매체유생산
		venting	1.B.2.a.i	3.5E-03 ~ 4.8E-03	-67 ~ +150%	2.2E-04 ~ 3.0E-04	-67 ~ +150%	8.7E-04 ~ 1.2E-03	-67 ~ +150%	NA	NA	Gg per $10^3 m^3$ 열매체유생산
		연소	1.B.2.a.ii	1.6E-05 ~ 2.2E-05	-67 ~ +150%	2.7E-02 ~ 3.7E-02	-67 ~ +150%	1.3E-05 ~ 1.8E-05	-67 ~ +150%	2.4E-07 ~ 3.3E-07	-10 ~ +1000%	Gg per $10^3 m^3$ 열매체유생산

표 4.2.5(계속)
개발도상국 및 EIT[a,b](구 동구권 10개국) 국가들에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

종류	하위카테고리	배출원	IPCC경로	CH_4		CO_2		NMVOC		N_2O		측정단위
				평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	
	합성원유(오일 샌드로부터)	모두	1.B.2.a.iii.2	2.3E-03~ 3.8E-02	-67% ~ +150%	ND	ND	9.2E-04~ 1.5E-02	-67 ~ +150%	ND	ND	Gg per 10^3m^3 총오일생산량
	합성원유(오일 쉘로부터)	모두	1.B.2.a.iii.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Gg per 10^3m^3 총오일생산량
	기본값 가중치합계	일시적	1.B.2.a.iii.2	2.2E-03 ~ 3.7E-02	-12.5 ~ +800%	2.8E-04~ 4.7E-03	-12.5 ~ 800%	3.1E-03~ 5.2E-02	-12.5 ~ 800%	NA	NA	Gg per 10^3m^3 총오일생산량
		venting	1.B.2.a.i	8.7E-03 ~ 1.2E-03	±75%	1.8E-03 ~ 2.5E-03	±75%	1.6E-03 ~ 2.2E-03	±75%	NA	NA	Gg per 10^6m^6 총오일생산량
		연소	1.B.2.a.ii	2.1E-05~ 2.9E-05	±75%	3.4E-02 ~ 4.7E-02	±75%	1.7E-05 ~ 2.3	±75%	5.4E-07 ~ 7.4E-07	-10 ~ +1000%	Gg per 10^6m^6 총오일생산량

표 4.2.5(계속)
개발도상국 및 EIT[a,b](구 동구권 10개국) 국가들에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

종류	하위카테고리	배출원	IPCC경로	CH_4		CO_2		NMVOC		N_2O		측정단위
				평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	
석유분배	모두	모두	1.B.2.a.iii.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Gg per $10^3 m^3$ 석유분배
석유 수송	수송관	모두	1.B.2.a.iii.3	5.4E-06	-50 ~ +200%	4.9E-07	-50 ~ +200%	5.4E-05	-50 ~ +200%	NA	NA	Gg per $10^3 m^3$ 오일수송(파이프라인)
	탱크로리 또는 기차	venting	1.B.2.a.i	2.5E-05	-50 ~ +200%	2.3E-06	-50 ~ +200%	2.5E-04	-50 ~ +200%	NA	NA	Gg per $10^3 m^3$ 오일수송(탱크트럭)
	원유시추설비로부터의 수급	venting	1.B.2.a.i	ND[h]	ND	ND[h]	ND	ND	ND	NA	NA	Gg per $10^3 m^3$ 오일수송(탱크트럭)
석유 정제	모두	모두	1.B.2.a.iii.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Gg per $10^3 m^3$ 석유정제

표 4.2.5(계속)
개발도상국 및 EIT[a,b](구 동구권 10개국) 국가들에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

종류	하위카테고리	배출원	IPCC경로	CH_4		CO_2		NMVOC		N_2O		측정단위
				평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	평가	불확도오차	
정제된 생산품 분배	가솔린	모두	1.B.2.a.iii.5	NA	NA	NA	NA	ND	ND	NA	NA	Gg per $10^3 m^3$ 수송된 량
	경유	모두	1.B.2.a.iii.5	NA	NA	NA	NA	ND	ND	NA	NA	Gg per $10^3 m^3$ 수송된 량
	항공연료	모두	1.B.2.a.iii.5	NA	NA	NA	NA	ND	ND	NA	NA	Gg per $10^3 m^3$ 수송된 량
	등유	모두	1.B.2.a.iii.5	NA	NA	NA	NA	ND	ND	NA	NA	Gg per $10^3 m^3$ 수송된 량

표 4.2.5(계속)

개발도상국 및 EIT[a,b](구 동구권 10개국) 국가들에서의 석유 및 가스의 가동으로 인한 탈루성 배출(venting 및 flaring을 포함한)에 대한 Tier 1 배출계수

NA - 적용 불가능 ND - 미정

a 제시된 배출계수는 국가간에 분명히 다를 것이지만, 수행되는 가스 보존 및 활용의 양의 중대한 차이에 대한 가능성 때문에 특히 석유 생산에 대해서, venting 및 flaring 측면에서 가장 큰 차이가 발생할 것으로 기대된다.

b 탈루성 배출에 대한 값의 범위는 가스 처리 단위당 공정 기반시설의 양 (예를 들어, 시설의 평균적 개수 및 크기)에서의 차이에 주로 기인한다.

c 'All'은 venting 및 flaring 배출 뿐만 아니라 모든 탈루성 배출을 표시한다.

d 'Fugitives'는 탈루성 장비 누출, 저장 손실, 가스로 작동되는 장치 (예를 들어, 장비 통제 회로, 화학적 주입펌프, 압축기 기동장치 등)를 위한 공급매체로의 천연가스 이용 및 글리콜 탈수기에서의 고정기둥 오프가스의 venting에서 발생하는 배출을 포함한 모든 탈루성 배출을 표시한다.

e 'Flaring'은 모든 지속적 및 긴급 flaring 시스템에서 발생하는 배출을 표시한다. 특정한 flaring 비율은 국가들간에 상당히 다를 것이다. 실제로 flaring된 양이 알려진 경우에는 제시된 배출계수를 생산비율에 적용하는 대신에 flaring 배출량을 결정하는데 이를 이용해야 한다. 보고된 flaring량에서 발생하는 CH_4, CO_2 및 N_2O 배출의 직접적인 산정을 위한 배출계수는 98%의 flaring 효율성과 가스처리공장에서의 전형적인 가스 분석 (즉, 부피에 의한 91.9% CH_4, 0.58% CO_2, 0.68% N_2 및 6.84% 비메탄 탄화수소)에 기초하여 flaring된 $10^6 m^3$의 가스당, 각각, 0.012, 2.0 및 0.000023 Gg이다.

f 작은 계수는 대개 원심형인 압축기를 반영하는 반면에 큰 계수는 시스템상의 대개 왕복형인 압축기의 이용을 반영한다.

g 'Venting'은 석유 생산시설에서의 관련 폐기물 및 용해가스의 보고된 venting 및 가스 시설에서의 파열, 제거 및 긴급 방출 사고에서 발생한 폐기가스 양을 표시한다. 실제로 venting된 양이 알려진 경우에는 제시된 배출계수를 생산비율에 적용하는 대신에 venting 배출량을 결정하는데 이를 이용해야 한다. 보고된 venting량에서 발생하는 CH_4 및 C_2O 배출의 직접적인 산정을 위한 배출계수는 가스 전송 및 분배 시스템에 대한 전형적인 가스 분석 (즉, 부피에 의한 97.3% CH_4, 0.26% CO_2, 1.7% N_2 및 0.74% 비메탄 탄화수소)에 기초하여 venting된 $10^6 m^3$의 가스당, 각각, 0.66 및 0.0049 Gg이다.

h 북미의 근해 생산물의 선박 적재에 대한 계수가 가용하지 않은 반면에 노르웨이의 자료는 이동되는 석유에 관해 1.0에서 3.6 $Gg/10^3 m^3$의 CH_4 배출계수를 나타낸다 (Norwegian Pollution Control Authority, 2000에 의해 제공된 자료에서 도출됨).

I 제시된 CO_2 배출계수는, 제시된 값이 직접적인 CO_2 배출과 기체형 비-CO_2 탄소 배출의 대기중 산화로 인한 간접적인 기여의 합을 고려하는 flaring을 제외하고는, 직접적인 CO_2 배출만을 고려한다.

출처: 이 표에서 제시된 계수는 각 카테고리에 대한 범위의 하한을 적어도 북미에 대한 표 4.2.4에서 출판된 자료와 동일하게 설정하여 결정하였다. 그렇지 않은 경우, 제시된 모든 값은 1996 IPCC 가이드라인에서 제공된 적용가능한 자료와 캐나다, 루마니아 및 우즈베키스탄의 천연가스 시스템에 관한 보다 최근의 미출판된 연구에서 가용한 제한된 측정 자료에서 수정되었다.

북미에 대한 표 4.2.4의 계수는 캐나다와 미국의 상세한 배출인벤토리 결과로부터 유도되며, 보다 최신의 정제된 배출인벤토리 결과를 반영하기 위해, 가능한 경우에, IPCC 우수실행지침 (2000) 문서에서 이전에 제시된 값으로부터 갱신되어 왔다. 적용 가능한 경우에, 석유 산업에 대한 배출산정 방법론에 관한 API 요약에서의 계수가 표시되어 왔다.
표 4.2.4의 계수가 예로서 제시되며, 이는 다음과 같은 석유 및 가스 산업의 관행 및 상태를 반영한다:

- 대부분의 관련 가스가 보존된다.
- Sweet waste gas는 flaring 내지 venting된다.
- Sour waste gas는 flaring된다.
- 많은 가스 전송 기업은 탈루성 장비 누출로 인한 메탄 손실을 감소시키는 프로그램을 자발적으로 수행하고 있다.
- 석유 및 가스 산업은 성숙기이며 많은 영역에서 실제로 쇠퇴기이다.
- 시스템 신뢰성은 높다.
- 장비는 일반적으로 잘 유지되며 고품질의 부품이 이용된다.
- 라인 파손 및 유정 파열은 드물다.
- 산업은 매우 규제적이며 이들 규제는 일반적으로 잘 시행된다.

표 4.2.5에서 제시된 배출계수는 각 범위의 하한이 적어도 표 4.2.4의 대응하는 값과 동일하도록 설정되었다. 그렇지 않으면 모든 값은 1996년 개정 IPCC 가이드라인에서 제시된 계수 및 개도국 내지 과도기 경제를 가진 국가에 있는 천연가스 시스템에 관한 최근의 미발표 연구를 위해 가용한 제한된 측정 자료로부터 개작되었다. 값의 범위가 제시되는 경우에, 이는 1996 IPCC 가이드라인에서 주어진 상대적 범위에 기초하거나 전문가 판단 및 미발표된 보고서의 자료에 기초하여 산정된다.

제시된 배출계수에 대해 주어진 불확도 값을 산정하기 위해 유사한 접근법이 이용되었다. 일부의 배출계수에 대해 주어진 큰 불확도는 개별 배출원 사이의 높은 변동, 적용된 통제의 유형 및 정도, 일부 경우에, 가용한 자료의 제한된 양을 반영한다. 많은 배출원 카테고리 (예를 들어, 장비 누출)에 대해, 탈루성 배출은 모집단의 작은 부분에 의해 배출의 대부분이 배출되는 비대칭 분포를 가진다. 불확도가 ±100% 이하인 경우에, 정규분포가 가정되며, 이는 평균에 대한 대칭 분포가 된다. Q 양에 대한 보고된 불확도 U %가 100%를 초과하는 경우에, 상한은 Q(100+U)/100이고 하한은 100Q/(100+U)이다.

TIER 3과 2

이러한 정보의 많은 양과 추가적인 측정 결과를 포함하고 새로운 통제기술과 요구사항의 개발 및 침투를 반영하기 위해 이들 자료가 지속적으로 갱신되고 있다는 사실 때문에, Tier 3과 Tier 2 평가를 수행하기 위한 배출계수는 IPCC 가이드라인에 제공되지 않는다. 대신에, IPCC는 주기적으로 갱신되고, www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php에서 인터넷으로 가용한 배출계수 데이터베

이스 (EFDB)를 개발하였다. 추가적으로 가용한 가장 좋은 계수가 이용되고 있는지 확인하기 위해 문헌에 관한 정기적 검토를 여전히 수행해야 한다. 선택된 값에 대한 참고문헌을 명확히 문서화해야 한다. 전형적으로, 배출계수는 환경기관과 산업협회에 의해 개발되고 출판된다. 이들 조직과 상의하여 인벤토리 산정치를 개발하는 것이 필요할 것이다. 예를 들어, 미국 석유협회(API)는 석유 및 가스 산업에 대한 배출산정 방법론에 관한 요약을 유지하며, 이는 가장 최근에 2004년에 갱신되었다. API 요약은 아래에서 이용가능하다:
http://api-ec.api.org/policy/index.cfm.

API 요약에서의 식을 이용하여 온실가스 배출을 산정하기 위한 소프트웨어 도구는 아래에서 이용가능하다.
http://ghg.api.org

온실가스 배출을 산정하기 위한 지침이 다수의 국내 석유 및 가스 산업 협회에 의해 또한 개발되었다. 이러한 문서는 유용한 추가 참고문헌이며 배출원에 고유한 계산절차를 종종 제공한다. 석유 및 가스 산업에 적용될 때 인벤토리 계산 원칙에 대한 지침과 경계에 대한 정의는 온실가스 배출의 보고를 위한 석유산업 가이드라인에서 이용가능하다 (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, 2003):
www.ipieca.org/downloads/climate_change/GHG_Reporting_Guidelines.pdf.

배출계수를 선택할 때, 선택된 값은 주어진 적용에 대해 타당하고 활동도 자료와 동일하게 표현되어야 한다. 운영 조건, 설계, 유지 관행에서의 현장 및 지역적 차이를 수정하기 위해 다른 유형의 계수를 적용하는 것이 또한 필요할 것이다. 예를 들면:

CH_4, 지층형 CO_2 및 기타 목표 배출의 양을 수정하기 위해 특정한 석유 및 가스전에서의 가스들의 조합 프로필

배출원이 활동적으로 서비스하는 시간의 양을 수정하기 위한 연간 운영시간

이용되는 특정 통제수단의 효율성.

아래는 배출계수를 선택할 때 고려하는 추가적인 문제이다:

유사하거나 동등한 배출원 행동 및 특성을 확인하기 위해 목표하는 적용에 대해 선택된 계수의 적용가능성을 평가하는 것은 중요하다.

보다 좋은 자료가 없는 경우에, 유사한 수준의 배출 통제를 이용하고 동등한 유형의 장비를 특징으로 하는 다른 지역에 대해 보고된 계수를 적용하는 것이 종종 필요할 것이다.

새로운 배출계수를 개발하기 위해 측정을 수행한 경우에, 승인되거나 방어가능한 테스트 절차만을 적용해야 한다. 방법 및 품질보증 (QA)/품질관리 (QC) 절차가 문서화되어야 하고, 표본 배출원은 전체적인 배출원 모집단에서의 전형적인 변화에 대표성이 있어야 하고, 평균적인 결과에 대한 95% 신뢰구간을 설정하기 위해 통계분석이 수행되어야 한다.

4.2.2.4 활동도 자료의 선택

석유 및 가스 활동에서의 탈루성 배출을 산정하기 위해 요구되는 활동도 자료에는 생산 통계, 기

반시설 자료 (예를 들어, 시설/설비, 공정 단위, 파이프라인, 및 장비 부품), 그리고 누출, 우발적 방출, 및 제3자에 의한 피해로부터 발생하는 보고된 배출이 포함된다. 각각의 tier 및 각 유형의 주된 배출원에 대해 요구되는 기본적인 활동도 자료는 표 4.2.6, 주된 배출원 카테고리에 의한 각각의 평가 접근법을 위한 전형적인 활동도 자료의 요구사항에 요약되어 있다.

TIER 1

Tier 1 수준에서 요구되는 활동도 자료는 전형적인 국내 석유 및 가스 통계에서 직접 얻어지거나 이러한 정보로부터 쉽게 산정되는 정보로 제한되었다. 아래의 표 4.2.7은 표 4.2.4와 4.2.5에서 제시된 Tier 1 배출계수에 요구되는 활동도 자료를 나열하고, 필요한 활동도 값을 얻거나 산정하기 위한 적절한 지침을 제공한다.

TIER 2

표준적인 Tier 2 방법론적 접근법에 대해 요구되는 활동도 자료는 Tier 1 접근법에 대해 요구되는 것과 동일하다. 원유 시스템에 대해 4.2.2.2절에서 기술된 대체적인 Tier 2 접근법이 이용된다면, 평균적인 GOR 값, 가스 보존 정도에 대한 정보 그리고 venting 및 flaring 간에 폐기물 관련 가스의 부피를 배분하기 위한 계수를 포함한, 추가적이고 보다 상세한 정보가 요구된다. 이러한 추가적 정보는 산업에서의 입력에 기초하여 개발되어야 한다.

표 4.2.6
주요 배출원 카테고리에 의한 석유 및 가스 작업에서 발생하는
탈루성 배출에 대한 평가 접근법을 위한 활동도 자료의 전형적인 요구사항

평가 Tier	주요 배출원 카테고리	활동도 자료의 최소 요구사항
3	공정 venting/flaring	보고된 양 가스 성분 venting과 flaring을 나누기 위한 할당계수
	저장 손실	용해가스(Solution Gas) 계수 액체 처리량 탱크 크기 증기 성분
	장비 누출	유형별 시설/장비 개수 각 시설에 이용되는 공정 공정 단위의 유형별 장비 요소 스케쥴 가스/증기 성분
	가스로 작동되는 장치	공정 단위의 유형별 가스로 작동되는 장치의 스케쥴 가스 소비 계수 공급 매체의 유형 가스 성분
	우발적 방출 및 제3자 피해	사건 보고서/요약
	지표로의 가스 이동 및 지표면 파이프 구멍에서의 누출	평균 배출계수 및 유정의 수
	굴착	굴착된 유정의 수 생산 가능성 조사(Drill Stem Tests)에서 보고된 venting량/flaring량 Mud Tank에서 발생하는 전형적인 배출량
	유정 서비스	유형별 서비스 사건의 수
	파이프라인 누출	파이프 자재의 유형 파이프라인의 길이
	노출된 석유 및 유모혈암	노출된 지표 영역 평균 배출계수
2	석유 생산에서 발생하는 venting 및 flaring	가스 대 석유 비율 flaring 및 venting된 양 보존된 가스량 재주입된 가스량 이용된 사용량 가스 성분
	기타	석유 및 가스 처리량
1	전부	석유 및 가스 처리량

표 4.2.7

Tier 1에서 기름과 가스 활동으로부터 발생되는 탈루성 배출원의 평가를 위해 요구되는 활동자료값 획득에 대한 지침

카테고리	하위 카테고리	요구되는 활동도 자료값	지침
유정 굴착	전부	10^3 ㎥ 총 석유 생산량	국가 통계로부터 직접 참고한다.
유정 시험	전부	10^3 ㎥ 총 석유 생산량	국가 통계로부터 직접 참고한다.
유정 서비스	전부	10^3 ㎥ 총 석유 생산량	국가 통계로부터 직접 참고한다.
가스 생산	전부	10^6 ㎥ 가스 생산량	국가 통계로부터 직접 참고한다.
		10^6 ㎥ 가스 생산량	국가 통계로부터 직접 참고한다.
가스 처리	Sweet Gas 공장	10^6 ㎥ 원 가스 공급량	가스 공장별 총 가스 접수량이 보고된다면 국가 통계를 직접 참고하며, 그렇지 않다면 이 값이 총 가스 생산량과 같다고 가정한다. 이 값을 sweet 공장과 sour 공장으로 배분한다. 이러한 배분을 허용하는 정보가 없는 경우에 모든 공장이 sweet이라고 가정한다.
	Sour Gas 공장	10^6 ㎥ 원 가스 공급량	
	Deep-cut 추출 공장 (Straddle Plants)	10^6 ㎥ 원 가스 공급량	가스 전송 시스템에 위치한 straddle plant별 총 가스 접수량이 보고된다면 국가 통계로부터 직접 참고하며, 그렇지 않다면 이 값이 총 판매가능 천연가스의 적절한 비율과 같다고 가정한다. 이러한 분배를 위한 정보가 없는 경우에 straddle plant가 없다고 가정한다.
	Default 가중 총계	10^6 ㎥ 가스 생산량	국가 통계로부터 직접 참고한다.
가스 전송 및 저장	전송	10^6 ㎥ 판매가능한 가스	총 순 공급량에 대해 보고된 값을 이용하여 국가 통계로부터 직접 참고한다. 이는 수입량 더하기 모든 상류(upstream)의 이용, 손실 및 재주입량을 차감한 후에 가스전 및 처리 내지 재처리 공장으로부터의 총 순 가스 접수량의 합계이다.
	저장	10^6 ㎥ 판매가능한 가스	
가스 분배	전부	10^6 ㎥ 설비의 판매량	가용한 경우 보고가 된다면 국가 통계로부터 직접 참고한다; 그렇지 않다면 가스 전송 및 저장 시스템에 의해 취급된 가스량 빼기 수출량과 같게 설정한다.
천연가스액 수송	응축액	10^3 ㎥ 응축액 및 펜탄(Pentanes)	국가 통계로부터 직접 참고한다.
	액화석유 가스	10^3 ㎥ LPG	국가 통계로부터 직접 참고한다.

표 4.2.7 (계속)

석유 및 가스 작업에서 발생하는 탈루성 배출을 산정하기 위한
Tier 1 접근법에서의 이용을 위해 요구되는 활동도 자료값의 획득에 대한 지침

석유 생산	전통적 석유	10^3 ㎥ 전통적 석유 생산량	국가 통계로부터 직접 참고한다.
	중질유/저온 역청	10^3 ㎥ 중질유 생산량	국가 통계로부터 직접 참고한다.
	고온 석유 생산	10^3 ㎥ 고온 역청 생산량	국가 통계로부터 직접 참고한다.
	(오일샌드로부터의) 합성 원유	10^3 ㎥ 오일샌드로부터의 합성원유 생산량	국가 통계로부터 직접 참고한다.
	(유모혈암으로부터의) 합성 원유	10^3 ㎥ 유모혈암으로부터의 합성 원유 생산량	국가 통계로부터 직접 참고한다.
	Default 가중 총계	10^3 ㎥ 총 석유 생산량	국가 통계로부터 직접 참고한다.
석유 개질	전부	10^3 ㎥ 개질된 석유	가용하다면 국가 통계로부터 직접 참고한다; 그렇지 않다면, 총 중질유 및 역청 생산량 빼기 이러한 원유의 수출량과 같게 설정한다.
석유 수송	파이프라인	10^3 ㎥ 파이프라인에 의해 수송된 석유	가용하다면 국가 통계로부터 직접 참고한다; 그렇지 않다면, 총 원유 생산량 더하기 수입량과 같게 설정한다.
	유조 트럭 및 철도 차량	10^3 ㎥ 유조 트럭에 의해 수송된 석유	가용하다면 국가 통계로부터 직접 참고한다; 그렇지 않다면, (첫번째 근사값으로) 총 원유의 50%를 가정한다.
	근해 생산품의 유조선 적재	10^3 ㎥ 유조선에 의해 수송된 석유	원유 수출량에 대해 보고된 값을 이용하여 국가 통계로부터 직접 참고하며, 유조선에 의해 수출된 부분만을 고려하기 위해 이 양을 배분한다. 파이프라인, 유조선, 내지 유조 트럭에 의해 수출이 발생하지만, 이들 방법 중 하나에 의해 거의 독점적으로 이루어질 것이다. 수출에 대해 유조선이 거의 독점적으로 이용될 것으로 생각된다.
석유 정제	전부	10^3 ㎥ 정제된 석유	가용하다면 국가 통계로부터 직접 참고한다; 그렇지 않다면, 이 값을 총 생산량 더하기 수입량 빼기 수출량과 같게 설정한다.
정제된 제품 분배	휘발유	10^3 ㎥ 분배된 제품	가용하다면 국가 통계로부터 직접 참고한다; 그렇지 않다면, 이를 정유공장의 총 휘발유 생산량 더하기 수입량 빼기 수출량과 같게 설정한다.
	디젤유	10^3 ㎥ 수송된 제품	가용하다면 국가 통계로부터 직접 참고한다; 그렇지 않다면, 이를 정유공장의 총 휘발유 생산량 더하기 수입량 빼기 수출량과 같게 설정한다.
	항공 연료	10^3 ㎥ 수송된 제품	가용하다면 국가 통계로부터 직접 참고한다; 그렇지 않다면, 이를 정유공장의 총 휘발유 생산량 더하기 수입량 빼기 수출량과 같게 설정한다.
	제트유	10^3 ㎥ 수송된 제품	가용하다면 국가 통계로부터 직접 참고한다; 그렇지 않다면, 이를 정유공장의 총 휘발유 생산량 더하기 수입량 빼기 수출량과 같게 설정한다.

TIER 3

Tier 3 접근법에서 이용하기 위해 요구되는 상세한 활동도 자료를 편집할 때 고려할 특정한 문제에는 다음과 같은 것이 포함된다:

- 석유 및 가스 시스템을 통과할 때 (예를 들어, 수입, 수출, 재처리, 회수 등으로 인한) 처리량의 변화를 포착하기 위해 생산 통계는 세분화되어야 한다.
- 국가 기관에 의해 제공된 생산 통계는 일반적으로 보다 나은 신뢰성 및 세분화 때문에, IEA 내지 UN과 같은 국제기구로부터 가용한 통계를 위해 이용되어야 한다. 지역, 주 및 산업의 보고집단은 보다 큰 세분화를 제공한다.
- 탈루성 배출을 산정하는데 이용되는 생산 자료는, 적용 가능한 경우에, 순 수입 내지 수출을 고려하기 위해 수정되어야 한다. 생산 자료가 가용하지 않지만 수입 및 수출 자료가 가용한 것은 가능하지만, 반대는 사실이 아닐 것이다.
- 탄층 메탄이 천연가스 수집 시스템에 공급되는 경우에, 관련되는 탈루성 배출은 적절한 천연가스 탐사 및 생산 카테고리에 보고되어야 한다. 생산된 가스가 가스 수집 시스템으로 들어가면 상품이 되고 어떤 유정에서 나온 가스가 수집 시스템에 들어갈 때와 동일한 방식으로 자동적으로 고려될 것이기 때문에 이는 기본으로 발생할 것이다. 가스가 탄층에서 발생한다는 사실은 매우 세분화된 수준에서 단지 식별될 것이다. 이유에 관계없이, 탄층이 탈기(degassed)되고, 가스가 수집 시스템에 공급되지 않는 경우에, 관련 배출은 IPCC 카테고리 1.B.1의 적절한 부분에서 석탄 부문에 할당되어야 한다.
- 석유 및 가스 통계에서 venting 및 flaring된 양은 매우 의심스러울 것이며, 이는 이 값이 일반적으로 산정치이며 실제적인 측정에 기초하지 않기 때문이다. 따라서, 값들이 종종 통합되어 단순히 flaring된 양으로 보고된다. 보고된 양이 실제로 venting 내지 flaring되는지를 결정하거나, venting 대 flaring의 적절한 배분을 개발하기 위해 산업 각 부분의 운영 관행을 산업의 대표자와 함께 검토해야 한다. venting 및 flaring된 모든 양이 실제로 보고되는지를 결정하기 위해 각 산업 부분의 감사 내지 검토를 또한 수행해야 한다 (예를 들어, 저장 탱크 및 처리기에서의 solution gas 배출, 긴급한 flaring/내지, venting/flaring 시스템으로의 누출, 및 방출 및 제거량이 반드시 고려될 필요는 없을 것이다).
- 기반시설 자료는 생산 통계보다 얻기가 어렵다. 주된 시설의 수 및 유형과 이들 시설에서 이용되는 공정의 유형에 관한 정보는 종종 규제기관 및 산업 집단, 또는 실제 회사로부터 직접 이용가능할 것이다.
- 소규모 시설 (예를 들어, 현장 탈수기 및 현장 압축기)에 대한 정보는 석유 및 가스 회사로부터 일반적으로 가용하지 않다. 결론적으로, 이들 시설의 수를 산정하기 위해, 지역의 설계 관행에 기초하여 가정을 해야 한다. 이는 적절한 배출계수 내지 상관관계를 개발하기 위한 현장 작업을 요구할 것이다.
- 많은 기업들은 전산화된 검사 및 유지 정보관리 시스템을 이용한다. 이러한 시스템은 선택된 시설에서 주된 장비 (예를 들어, 압축기, 공정 히터 및 보일러 등)를 집계하는 매우 신뢰성있는 수단이다. 또한, 기업내의 일부 부서는 다양한 내부적 이유 (예를 들어, 세금 계산, 생산량 계산, 보험 기록, 품질 관리 프로그램, 안전 감사, 라이센스 갱신 등) 때문에 어떤 유형의 장비 내지 시설에 관한 데이터베이스를 유지한다. 이러한 잠재적으로 유용한 정보원을 확인하는 노

력을 기울여야 한다.

- 공정 단위의 유형에 의한 부품 개수는 설계 및 운영 관행의 차이로 인해 시설 및 국가간에 상당히 다를 것이다. 그러므로, 초기에는 일반적인 문헌에 보고된 값을 이용하는 것이 적절할 것이지만, 국가는 자신의 값을 개발하도록 노력해야 한다.
- 일관적인 용어와 명확한 정의의 이용은 시설 및 장비 부품의 개수를 개발하고, 결과를 다른 것과 의미있게 비교하기 위해 중요하다.
- 일부 생산 통계는 (열량가에 기초한) 에너지 단위로 보고되며 가용한 배출계수의 적용을 위해 부피로 또는 그 반대로 전환될 필요가 있다. 전형적으로, 생산 값이 에너지 단위로 표현되는 경우에, 이는 제품의 총 (내지 보다 높은) 열량가에 의한다. 그렇지만, 배출계수가 에너지로 표현되는 경우에 이는 일반적으로 제품의 순 (내지 보다 낮은) 열량가에 의한다. GCV의 에너지 자료를 NCV로 전환하기 위해, 국제 에너지 기구는 석유에 대해 5%, 천연가스에 대해 10%의 차이를 가정한다. 불순물이 매우 풍부하거나 높은 개별적인 천연가스 흐름은 이러한 평균값과 다를 것이다. 배출계수와 활동도 자료는 서로 일치해야 한다.
- 석유 및 가스의 수입과 수출은 이들 시스템의 하류 부분에서 활동도 수준을 변화시킬 것이다.
- 소비 및 수출량에 비해 낮은 수입량을 가지는 국가에서 생산 활동은 석유 및 가스 활동에서 발생하는 탈루성 배출의 주된 기여자인 경향이 있을 것이다. 가스 전송 및 분배와 석유 정제는 상대적으로 높은 수입량을 가지는 국가에서 이들 배출의 주된 기여자인 경향이 있을 것이다. 전체적으로, 순 수입자는 순 수출자보다 낮은 특정한 배출을 가지는 경향이 있을 것이다.

4.2.2.5 완전성

완전성은 석유 및 가스 산업에 대한 탈루성 배출인벤토리를 개발하는데 중요한 주제이다. 다른 국가와의 직접적인 비교를 통해,그리고 정제된 인벤토리에 대해, 동일한 산업 부분 및 하위카테고리에 있는 개별 기업들간에 비교를 통해 이를 다룰 수 있다. 이는 일관적인 정의 및 분류체계의 이용을 필요로 한다. 예를 들어, 캐나다에서 상류의 석유산업은 생산-에너지 강도와 생산-탄소 강도에 의해 개별 기업들의 배출인벤토리 결과를 비교하는 벤치마킹 체계를 채택했다. 이러한 벤치마킹은 기업이 자신의 상대적인 환경성과를 평가하게끔 한다. 이는 또한, 높은 수준에서, 조사 및 해결되어야 하는 이상값 내지 가능한 오차를 알려준다.

표 4.2.8에서 제시된 지표는 낮음, 중간, 높음으로 특정한 메탄 손실를 계량화하기 위해 이용되며, 적합성을 평가하는데 도움이 된다. 특정한 메탄 손실이 분명히 낮은 기준보다 작거나 높은 기준보다 크다면, 이는 설명이 되어야 한다; 그렇지 않다면, 이는 각각 누락되거나 이중 집계된 가능성의 지표일 것이다. 제시된 지표에 대한 특정한 메탄 손실의 순위를 가장 적절한 평가 접근법을 선택하기 위한 기초로 이용하지는 말아야 한다; 대신에, 총 배출량 (즉, 활동도 자료와 배출계수의 곱), 산업의 복잡성, 가용한 평가 자원을 모두 고려해야 한다.

개별적인 기업 수준 인벤토리의 수집에 기초하여 배출인벤토리가 개발될 때, 모든 회사가 포함되는지 확인하는 주의를 기울여야 한다. 보고하지 않은 기업을 고려하는데 적절한 외삽법 (extrapolations)이 필요할 것이다.

표 4.2.8

선택된 유형의 천연가스 시설에서 가스 손실의 상, 중, 하 분류

시설	활동도 자료	연간 배출계수			
		하	중	상	측정 단위
생산 및 처리	순 가스 생산량 (즉, 판매되는 생산량)	0.05	0.2	0.7	순 생산량의 %
전송 파이프라인 시스템	전송 파이프라인의 길이	200	2 000	20 000	m^3/km/연
압축기 시설	설치된 압축기 용량	6 000	20 000	100 000	m^3/MW/연
지하 저장	지하 저장시설의 가동 용량	0.05	0.1	0.7	가동 가스 용량의 %
LNG 공장 (액화 내지 재가스화)	가스 처리량	0.005	0.05	0.1	처리량의 %
계량 및 조절 시설	시설의 수	1 000	5 000	50 000	m^3/시설/연
분배	분배 네트워크의 길이	100	1 000	10 000	m^3/km/연
가스 이용	가스 기구의 수	2	5	20	m^3/기구/연

출처: 국제가스연맹(International Gas Union)의 미출판된 연구에서 저자들에 의해 수정되었으며, 러시아와 알제리를 포함한 12개국의 자료에 기초함.

1년 동안 국가적으로 통합될 때, 보다 작은 개별 배출원은 종종 중대한 총 기여자이다. 그러므로, *우수실행(good practice)*은 그들을 무시하지 않는 것이다. 철저한 평가가 수행되었을 때, 결과에서 불확도를 가장 잘 감소시키기 위해 접근법을 단순화하고 미래에 자원을 가장 잘 할당하기 위한 기초가 존재하는 것이다.

개별적인 석유 및 가스 회사에 의해 보고된 산정치들의 수집에 기초하여 석유 및 천연가스 시스템의 일부 내지 전부에서 발생하는 탈루성 배출을 산정하는 경우에, 이러한 결과가 완전하고, 투명하고, 시계열에 일관적이라는 것을 확인하기 위해 취한 단계들을 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 보고를 하지 않은 회사 내지 시설을 고려하기 위한 수정과 (특히 소유권 변화가 발생한 경우에) 누락 내지 이중 집계를 피하고 불확도를 평가하기 위한 수단이 강조되어야 한다.

4.2.2.6 일관적인 시계열의 개발

이상적으로는 동일한 방법을 이용하여 기준년도와 이후의 연도에 대해 배출산정치가 준비될 것이다. 목적은 시계열에서의 배출산정치들이 온실가스 배출의 진실한 추세를 반영하도록 하는 것이다. (예를 들어, 배출원 인구통계에서의 변화 내지 통제기술의 침투로 인해) 시간에 따라 변하는 배출 내지 통제 계수는 정기적으로 갱신되어야 하며, 타당한 기간에만 적용되어야 한다. 예를 들어, 배출통제장치가 배출원에 대한 갱신이라면, 이후에 계속하여 새로운 배출계수가 해당 배출원에 적용될 것이다; 그렇지만, 갱신 이전의 상황을 반영하는 이전에 적용된 배출계수는 시계열의 모든 이전 연도에 대해 여전히 적용되어야 한다. 배출계수가 추가적인 테스트를 통해 정제되었고 배출원 내지 배출원 카테고리에 관한 보다 나은 이해를 반영한다면, 개선된 계수의 이용을 반영하여 모든 이전의 산정치가 갱신되고 투명한 방식으로 보고되어야 한다.

일부 역사적 자료가 누락된 경우에, 기준연도의 배출과 활동도 자료간의 바람직한 관계를 설정하기 위해 회고적 기법(back-casting techniques)과 조합된 배출원에 고유한 측정결과를 이용하는 것이 여전히 가능하다. 이를 위한 접근법은 특정한 상황에 좌우되며, 2006 가이드라인의 1권 5장에서 일반적인 용어로 논의된다.

개별적인 회사 산정치들의 수집에 기초하여 배출산정치가 개발된다면, 특히 빈번한 시설 소유권의 변화가 발생하고 시계열을 통해 이러한 변화를 회고하지 않고 새로운 소유자에 의해 서로 다른 방법론 및 배출계수가 적용되는 경우에, 시계열 일관성을 유지하기 위해 보다 큰 노력이 요구될 것이다.

4.2.2.7 불확도 평가

발생할지 모르는 오차의 원천에는 다음이 포함된다:

- 측정 오차
- 외삽 오차
- 선택된 산정기법의 고유한 불확도
- 배출원 모집단 및 활동도 자료에 관한 누락 내지 불완전한 정보

- 배출원에서의 시간적 및 계절적 변화에 관한 나쁜 이해
- 카테고리 및 배출원 정의의 혼란 내지 비일관성으로 인한 과대 내지 과소 계산
- 활동도 자료 내지 배출계수의 잘못된 적용
- 보고된 활동도 자료에서의 오차
- 중간 이전 작업 및 재처리 활동의 계산 누락 (예를 들어, slop oil의 재처리, 해외석유 접수분의 처리, 가스 흐름의 반복적 탈수:유전, 공장 및 저장소에서)
- 통제 장치들의 유효성 차이, 시간에 따른 성과의 잠재적 악화 및 통제 수단에 관한 계산 누락

배출계수와 활동도 자료에서의 불확도 평가에 관한 지침이 아래의 하위 절에서 제시된다.

4.2.2.7.1 배출계수 불확도

배출계수의 불확도는 그것이 기초한 측정의 정확성과, 이러한 결과가 목표 배출원 모집단의 평균적 행동을 반영하는 정도에 좌우될 것이다. 따라서, 한 국가에서 측정된 자료에 기초해 개발된 배출계수는 계수가 해당 국가에 적용될 때 일단의 불확도를 가지며, 그것이 비슷하게 다른 국가에 적용될 때 또다른 일단의 불확도를 가질 것이다. 그러므로, 항상 적용되는 일단의 불확도를 설정하는 것은 어렵지만, 표 4.2.4와 4.2.5에서 제공된 default 계수에 대해 일단의 기본값이 제공되었다. 이러한 불확도는 전문가 판단에 기초하여 산정되며, 국가 수준에서 배출산정치를 개발하기 위해 해당 배출계수가 이용될 때 기대되는 불확도 수준을 반영한다. 개별 시설 내지 배출원에서 발생하는 배출을 산정하기 위해 제시된 계수를 이용하는 것은 훨씬 더 큰 불확도를 초래할 것으로 기대된다.

4.2.2.7.2 활동도 자료 불확도

이 절에서 인용되는 백분율은 전문가 판단에 기초하며, 중심산정치 주위로 95% 신뢰구간을 계산하는 것을 목적으로 한다. 가스 혼합물은 일반적으로 개별적인 구성요소에 대해 ±5% 이내까지 정확하다. 흐름율(Flow rates)은 전형적으로 판매량에 대해 ±3% 이하, 다른 양에 대해 ±15% 이상의 오차를 가진다. 생산 통계 내지 처분 분석(disposition analyses)[2]은 (예를 들어, 용어의 차이 및 이러한 자료를 합산할 때의 잠재적 오차로 인해) 이것이 동일한 원래의 측정결과에 기초할지라도 서로 다른 보고기관간에 일치가 되지 않는다. 이러한 불일치는 자료에서의 불확도에 관한 지표로 이용된다. 원래의 측정결과에 고유한 편의(bias)가 존재한다면 추가적인 불확도가 존재할 것이다 (예를 들어, 판매용 계량기는 종종 고객에 유리하도록 설계되며, 액체 취급 시스템은 증발성 손실로 인해 음의 편의를 가질 것이다). 무작위 계량과 계산 오차는 산업에 대해 통합될 때 사소한 것으로 가정될 수 있을 것이다.

주요 시설(예를 들어, 가스 공장, 정유공장 및 이전용 압축 사업소)의 개수는 일반적으로 오차가 거의 없는 것으로 알려져 있을 것이다(예를 들어 5% 미만). 이 개수에 오차가 발생하는 경우에 이는 일반적으로 특정 기간동안 건설되는 새로운 시설 및 중지되는 구식 시설의 수에 관한 일부 불확도 때문이다.

각 현장에서 장비의 유형 및 양 뿐만 아니라, 유정 시설, 소규모 유전 설비 및 가스 수집용 압축

2 처분분석은 유정 내지 접수 지점에서 최종 판매지점 내지 수출 지점까지 생산된 탄화수소의 일치된 계산을 제공한다. 전형적인 처분 카테고리에는 flaring/venting된 양, 연료 이용, 시스템 손실, 인벤토리/저장소에서 추가/제거되는 양, 수입, 수출 등이 포함된다.

사업소의 개수는 훨씬 덜 정확히 알려져 있을 것이다 (예를 들어, 적어도 ±25%의 불확도 이상). 개별적인 통제 조치로 인한 배출 저감의 산정치는 고려되는 하위 시스템 내지 배출원의 수에 따라 작은 퍼센트에서 ±25% 내에서 정확할 것이다.

4.2.3 인벤토리 QA/QC

2006 IPCC 가이드라인의 1권 6장, Tier 1 일반적인 인벤토리 수준의 QC 절차에서 요약된 품질관리 검사와 배출산정치에 관한 전문가 검토를 수행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 특히 이 배출원 카테고리에서의 배출을 결정하기 위해 보다 높은 tier의 방법이 이용된다면, *2006 IPCC 가이드라인*의 1권 5장에서 요약된 추가적인 품질관리 검사와 품질보증 절차가 또한 적용가능할 것이다.

2006 IPCC 가이드라인의 1권 6장의 지침에 추가하여, 이 배출원 카테고리에 관련된 특정한 절차가 아래에 요약되어 있다.

산업의 참여

대규모의 복잡한 석유 및 가스 산업에 대한 배출인벤토리는 배출원에 대한 누락되거나 고려되지 못한 부분으로 인해, 중대한 오차에 취약할 것이다. 이러한 오차를 최소화하기 위해, 인벤토리를 준비 및 정제할 때 활동중인 산업의 참여를 얻는 것이 중요하다.

직접적인 배출 측정에 관한 검토

국가에 고유한 배출계수를 개발하기 위해 직접적인 측정이 이용된다면, 인벤토리 작성자는 현장에서의 측정이 공인된 표준 방법에 따라 이루어지는지 여부를 확인해야 한다. 측정 관행이 이 기준에 맞지 않는다면, 이러한 배출자료의 이용은 신중히 평가되어야 하고, 산정치가 재고려되어야 하고 자격조건이 문서화되어야 한다.

배출계수의 검사

인벤토리작성자는 측정에 기초한 계수를 IPCC 기본 계수 및 유사한 산업 특성을 가진 다른 국가에 의해 개발된 계수와 비교해야 한다. IPCC 기본 계수가 이용된다면, 인벤토리작성자는 계수가 카테고리에 적용가능하고 적절한지 확인해야 한다. 가능하다면, 계수가 적용가능한지에 대한 추가적인 지표를 제공하기 위해 IPCC 기본 계수는 국가 내지 지역적 자료와 비교되어야 한다.

활동도 자료의 검사

배출을 산정하기 위해 어떤 방법론적 tier가 이용되는지에 따라, 이 배출원 카테고리에 대해 여러 가지 서로 다른 유형의 활동도 자료가 요구될 것이다. (즉, 국가 통계 및 산업 조직에서의) 다수의 배출원에서 활동도 자료가 가용한 경우에, 적합성을 평가하기 위해 이들 자료집합은 상호간에 검사되어야 한다. 자료에서의 중대한 차이를 설명하고 문서화해야 한다. 시간에 따른 주된 배출 요인과 활동도 자료에서의 추세를 검사하고 이상값을 조사해야 한다.

외부의 검토

대규모의 복잡한 석유 및 가스 산업에 대한 배출인벤토리는 배출원에 대한 누락되거나 고려되지 못한 부분으로 인해, 또는 배출계수가 적용되는 국가의 특성과 다른 운영 특성을 가지는 다른 국가 내지 지역의 산정치를 나타내는 자료원에서 구해진 평균적인 배출계수의 맞춤화로 인해 중대한 오차에 취약할 것이다. 이러한 오차를 최소화하기 위해, 인벤토리를 준비 및 정제할 때 활동중인 산업의 참여를 얻는 것이 중요하다.

4.2.4 보고 및 문서화

2006 가이드라인의 1권 8장에서 요약된 것처럼, 국가 배출인벤토리 산정치를 작성하는데 필요한 모든 정보를 문서화하고 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

인벤토리보고서에 모든 지원 문서를 포함하는 것은 실용적이 아닐지 모른다. 그렇지만, 최소한, 인벤토리보고서는 보고된 배출산정치가 투명하고 계산 단계가 재 추적이 되도록, 이용된 방법의 요약과 자료를 제공하는 참고문헌을 포함해야 한다. 석유 및 천연가스 시스템의 여러 부분에서 탈루성 온실가스 배출량을 평가하기 위해 많은 국가들이 방법론적 tier들의 조합을 이용할 것으로 기대된다. 특정한 선택은 여러 하위카테고리의 상대적 중요성 및 해당 계산을 지원하기 위해 필요한 자료 및 자원의 가용성을 반영해야 한다. 표 4.2.9는 적용된 방법론과 배출계수 및 활동도 자료의 원천을 편리하게 요약하기 위해 이용되는, 예제 자료의 입력을 포함한, 표본 틀이다.

배출계수와 산정절차는 지속적으로 개선 및 정제되고 있기 때문에, 실제적인 배출의 실질적 변화 없이 보고된 배출의 변화가 발생하는 것이 가능하다. 따라서, 인벤토리 재계산들간의 결과의 변화에 대한 근거가 명확히 논의되어야 하며, 방법 및 계수의 변화로 인한 변화가 강조되어야 한다.

극비인 사업 정보의 문제는 시장에 있는 기업의 수와 사업의 성격에 따라 지역별로 다를 것이다. 이 문제의 중요성은 석유 및 가스 산업의 하류로 이동할 때 증가하는 경향이 있다. 문제가 발생하는 경우에 이러한 문제를 다루는 공통적인 수단은 저명한 제3자를 이용하여 자료를 통합하는 것이다.

위의 보고 및 문서화 지침은 모든 방법론적 선택에 적용가능하다. IPCC 가이드라인은 석유 및 가스 부문에 대한 표준적인 Tier 3 접근법을 기술하지 않기 때문에, Tier 3 방법이 이용되는 경우에, 적용된 절차가 인벤토리보고서에 상세히 설명되어 있는지, 또는 이 절차에 대한 가용한 참고문헌이 인용되는지를 확인하는 것이 중요하다. 무엇이 잠재적으로 Tier 3 접근법으로 분류되는지와 결과에서의 불확도의 양에서 넓은 범위가 존재한다. 가용하다면, 결과를 전체적인 시야로 보는데 도움이 되도록 요약된 성과 및 활동도 지표가 보고되어야 한다 (예를 들어 총 생산수준과 수송거리, 순 수입 및 수출, 그리고 특정한 에너지, 탄소 및 배출강도). 시간에 따른 배출, 활동도 자료 및 배출강도 (즉, 활동도 지표의 단위당 평균 배출)의 변화를 보여주기 위해, 보고된 배출 결과는 추세분석을 또한 포함해야 한다. 결과의 기대되는 정확성이 설명되어야 하며, 가장 큰 불확도의 영역이 명확히 기록되어야 한다. 이는 결과의 적절한 해석 및 순 저감분의 주장을 위해 매우 중요하다.

정부기관과 산업협회에 의한 현재 추세는 산업의 특정한 부분 및 하위카테고리에 대해 상세한 방법론 매뉴얼과 보고용 양식을 개발하는 것이다. 이는 주제 정보(subject information)를 유지, 기록

및 배포하는 가장 실용적인 수단이다. 그렇지만, 이러한 모든 프로그램은 배출결과가 국가간에 비교될 수 있도록 IPCC 가이드라인에서 설정한 공통적인 구조를 따라야 한다.

표 4.2.9
샘플 입력에서 보여주는 기름과 천연가스 시스템으로부터의 배출량 측정을 위해 적용된 방법론과 기초의 요약 형태

IPCC Code	부문명	부카테고리	배출원 카테고리	방법	활동자료			배출계수			
								편의/참고			국가 배출계수 갱신날짜
					종류	편의	연도	CH_4	CO_2	N_2O	
1.B.2	오일 & 천연가스										
1.B.2.a	오일										
1.B.2.a.i	venting										
1.B.2.a.ii	연소										
1.B.2.a.iii	기타										
1.B.2.a.iii.1	탐사										
1.B.2.a.iii.2	생산 및 개량										
1.B.2.a.iii.3	수송										
1.B.2.a.iii.4	정제										
1.B.2.a.iii.5	분배										
1.B.2.a.iii.6	기타										
1.B.2.b	천연가스										
1.B.2.b.i	venting										

표 4.2.9 (계속)
샘플 입력에서 보여주는 기름과 천연가스 시스템으로부터의 배출량 측정을 위해 적용된 방법론과 기초의 요약 형태

IPCC Code	부문명	부카테고리	배출원 카테고리	방법	활동자료			배출계수			
					종류	편의	연도	편의/참고			국가 배출계수 갱신날짜
								CH_4	CO_2	N_2O	
1.B.2.b.ii	연소										
1.B.2.b.iii	기타										
1.B.2.b.iii.1	탐사										
1.B.2.b.iii.2	생산	유정 생산	모두	Tier 1	유정의 수	국가통계	2005	D	D	D	-
		가스 생산	장치 누출	Tier 1	처리량	국가통계	2005	EFDB	EFDB	EFDB	-
1.B.2.b.iii.3	처리	모두	장치 누출	Tier 1	처리량t	국가통계	2005	D	EFDB	EFDB	-
1.B.2.b.iii.4	수송 및 저장	가스 수송	장치 누출	Tier 2	장치의 수	업체조사	2005	CS	CS	-	2005
1.B.2.b.iii.5	분배										
1.B.2.b.iii.6	기타										
1.B.3	에너지 생산으로부터의 기타 배출										

AP API 요약
D IPCC 배출계수(기본값)
CS 국가고유배출계수
EFDB IPCC 배출계수 데이터베이스

참고문헌 : Coal Mining

BCTRSE (1992). Quantification of methane emissions from British coal mine sources' prepared by British Coal Technical Services and Research Executive for the Working Group on Methane Emissions, The Watt Committee on Energy, UK.

Bibler C.J. et al (1992). Assessment of the potential for economic development and utilisation of coalbed methane in Czechoslovakia' EPA/430/R-92/1008. US Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Washington, DC, USA.

Franklin, P., Scheehle, E., Collings R.C., Cote M.M. and Pilcher R.C. (2004). White Paper: 'roposed methodology for estimating emission inventories from abandoned coal mines'. USEPA, Prepared for 2006 IPCC Greenhouse Gas Inventories Guidelines Fourth Authors Experts Meeting. Energy : Methane Emissions for Coal Mining and Handling, Arusha, Tanzania

IPCC/UNEP/OECD/IEA, (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Paris: Intergovernmental Panel on Climate Change; J. T. Houghton, L.G. Meiro Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell, eds.; Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

IPCC/UNEP/OECD/IEA, (2000). 'PCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories'UNDP & WMO.

Kershaw S, (2005). Development of a methodology for estimating emissions of methane from abandoned coal mines in the UK, White Young Green for the Department for the Environment, Food and Rural Affairs.

Lama RD (1992). Methane gas emissions from coal mining in Australia: estimates and control Strategies'in Proceedings of the IEA/OECD Conference on Coal, the Environment and Development: Technologies to Reduce Greenhouse Gas Emissions, IEA/OECD, Paris, France, pp. 255-266.

Murtha, James A., (2002). Sums and products of distributions: Rules of thumb and applications' Society of Petroleum Engineers, Paper 77422.

Mutmansky, J.M., and Y. Wang, (2000). Analysis of potential errors in determination of coal mine annual methane emissions, Mineral Resources Engineering, 9, 2, pp. 465-474.

Pilcher R.C. et al (1991). Assessment of the potential for economic development and utilisation of coalbed methane in Poland' EPA/400/1-91/032, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.

US EPA (1993a). Anthropogenic methane emissions in the United States: estimates for the 1990 Report to the US Congress, US Environmental Protection Agency, Office of Air and Radiation, Washington DC, USA.

US EPA (1993b). Global anthropogenic methane emissions; estimates for the 1990 Report to the US Congress, US Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning and Evaluation. Washington, DC, USA.

Williams, D.J. and Saghafi, A. (1993). Methane emission from coal mining – a perspective' Coal J., 41, 37-42.

Zimmermeyer G. (1989). 'ethane emissions and hard coal mining' gluckaufhaus, Essen, Germany, Gesamtverband des deutschen Steinkohlenbergbaus, personal communication.

참고문헌 : Oil and Gas

American Petroleum Institute. 2004. Compendium of Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for the Oil and Gas Industry. Washington, DC.

Canadian Association of Petroleum Producers (1999). CH_4 and VOC Emissions From The Canadian Upstream Oil and Gas Industry. Volumes 1 to 4. CValgary, AB.

Canadian Association of Petroleum Producers (2004). A National Inventory of Greenhouse Gas (GHG), Criteria Air Contaminant (CAC) and Hydrogen Sulphide (H2S) Emissions by the Upstream Oil and Gas Industry. Volumes 1 to 5. Calgary, AB.

Canadian Petroleum Products Institute (CPPI) and Environment Canada (1991), Atmospheric Emissions from Canadian Petroleum Refineries and the Associated Gasoline Distribution System for 1988. CPPI Report No. 91-7. Prepared by B.H Levelton and Associates Ltd. and RTM Engineering Ltd. Gas

Research Institute and US Environmental Protection Agency (1996). Methane Emissions from the Natural gas Industry. Volumes 1 to 15. Chicago, IL.

IPIECA (2003). "etroleum Industry Guidelines for Reporting Greenhouse Gas Emissions."InternationalPetroleum Industry Environmental Conservation Association, London, UK.(December 2003)

Joint EMEP/CORINAIR (1996), Atmospheric Emission Inventory Guidebook. Volume 1, 2.

Mohaghegh, S.D., L.A. Hutchins and C.D. Sisk. 2002. Prudhoe Bay Oil Production Optimization: Using Virtual intelligence Techniques, Stage One: Neural Model Building. Presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in San Antonio, Texas, 29 September October 2002.

SFT/SN 2000b: The Norwegian Emission Inventory. Documentation of methodology and data for estimating emissions of greenhouse gases and lomg-range transboundary air pollutants. Statistics Norway/ Norwegian Pollution Control Authority. SN report 2000/1

US EPA (1995), Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Vol. I: Stationary Point and Area Sources, 5th Edition, AP-42; US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina, USA.

US EPA (1999). Methane Emissions from the U.S. Petroleum Industry. EPA Report No. EPA-600/R-99-010, p. 158, prepared by Radian International LLC for United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.

제5장

이산화탄소 수송, 주입 및 지중 저장

저자

Sam Holloway (영국), Anhar Karimjee (미국),
Makoto Akai (일본), Riitta Pipatti (핀란드), and Kristin Rypdal (노르웨이)

목 차

5 이산화탄소 수송, 주입 및 지중 저장

5.1 서론 ····· 5.5

5.2 개요 ····· 5.5

5.3 CO_2 포집 ····· 5.7

5.4 CO_2 수송 ····· 5.9

5.4.1 파이프라인에 의한 CO_2 수송 ····· 5.10

5.4.2 선박에 의한 CO_2 수송 ····· 5.12

5.4.3 CO_2 수송 경로상의 중간 저장시설 ····· 5.12

5.5 CO_2 주입 ····· 5.12

5.6 CO_2의 지중 저장 ····· 5.13

5.6.1 배출 경로/배출원에 관한 설명 ····· 5.13

5.7 방법론적 이슈 ····· 5.16

5.7.1 방법의 선택 ····· 5.17

5.7.2 배출계수와 활동자료의 선택 ····· 5.21

5.7.3 완전성 ····· 5.22

5.7.4 일관적 시계열의 개발 ····· 5.22

5.8 불확도 평가 ····· 5.23

5.9 인벤토리 QA/QC ····· 5.23

5.10 보고 및 문서화 ····· 5.25

첨부 5.1 지중 CO_2 저장 현장을 위한 잠재적인 모니터링기술에 관한 요약적 설명 ··5.27

참고문헌 ····· 5.39

식

식 5.1 총 국가배출 ····· 5.21

그 림

그림 5.1 위에서 언급된 시스템에 번호로 연결된 탄소 포집 및 저장 프로세스의 개략적 표현 ····· 5.6
그림 5.2 CO_2 포집 시스템 (SRCCS의 이후부분) ····· 5.8
그림 5.3 CO_2 저장 지점에서의 배출량 산정 절차 ····· 5.16
그림 A1 저장 지점 밖에서 발생하는 지중 저장소에서의 CO_2 누출에 대한 잠재성 묘사 ····· 5.27

표

표 5.1 CCS에 대한 배출원 카테고리 ····· 5.7
표 5.2 CO_2 포집 장소에서 파이프라인 수송에 의해 최종 저장 장소로 옮겨질 때의 기본값 TIER 1 배출계수 ····· 5.11
표 5.3 지중 저장소의 잠재적인 배출 경로 ····· 5.15
표 5.4 검토 표: CO_2 포집, 수송, 주입의 검토 및 장기적인 저장을 위한 CO_2 ····· 5.23
표 A 5.1 잠재적인 깊은 표면하의 모니터링 기술과 적용 가능성 ····· 5.29
표 A 5.2 잠재적인 얕은 표면하의 모니터링 기술과 적용 가능성 ····· 5.32
표 A 5.3 지표나 물에서 대기로 방출되는 플럭스의 결정 기술과 적용 가능성 ····· 5.34
표 A 5.4 공기와 토양으로 배출된 CO_2 수준을 감지하는 기술(누출 감지) ····· 5.36
표 A 5.5 지중 저장지점의 CO_2 배출 측정에 대한 대용 방법 ····· 5.37
표 A 5.6 해수에서의 CO_2 모니터링 기술과 적용 가능성 ····· 5.38

박 스

박스 5.1 CO_2 파이프라인 수송에 대한 기본값 배출계수의 도출 ····· 5.11

5 이산화탄소 수송, 주입 및 지중 저장

5.1 서론

이산화탄소 (CO_2) 포집 및 저장 (CCS)은 화석연료의 지속적인 이용에서 발생하는 온실가스 배출을 저감하기 위해 이용될 수 있는 조치의 포트폴리오에서 하나의 옵션이다.

가장 단순한 경우에, CCS 프로세스는 세 가지 주된 단계로 구성되는 체인이다: (일반적으로 대규모의 산업설비에서[1]) CO_2의 포집 및 압축, 저장 장소로의 수송 및 대기로부터의 장기적인 격리. IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체 2005)는 이산화탄소 포집 및 저장에 대한 특별보고서 (SRCCS)를 작성했으며, 여기서 CCS에 대한 추가적인 정보를 얻을 수 있다. 가이드라인의 소재는 SRCCS의 저자들과 상의하여 작성되었다.

지중 저장은 석유 및 가스전, 탄층과 같은 자연적인 지하 저장소를 이용할 수 있으며, CO_2를 대기에서 격리하기 위해 자연적인 지질을 활용하는 염수층 형태(saline water-bearing formations)로 장벽을 친다. 관련된 저장 프로세스에 관한 설명은 SRCCS의 5장에서 제시된다. 지질적 CO_2 저장은 유일한 목적이 CO_2 저장인 현장에서, 또는 enhanced oil recovery, enhanced gas recovery 혹은 enhanced coalbed methane recovery (각각 EOR, EGR 및 ECBM) 작업과 협력하여 발생할 것이다.

가이드라인은 단지 이산화탄소 수송, 주입 및 지중 저장 (CCGS)에 대한 배출량 산정의 지침을 제공한다. 해양 저장 내지 CO_2의 비활성 무기 탄산염으로의 전환과 같은 다른 유형의 저장 옵션에 대한 배출량 산정 방법은 제공되지 않는다. 폐기물의 광물성 탄산염화(mineral carbonation)를 제외하고는 이런 기술은 기술개발의 입증 내지 후기 단계가 아니고 연구 단계에 있다 (IPCC 2005). 그들이 개발의 후기 단계에 도달할 때, 이 기술에서 발생하는 배출의 인벤토리를 작성하기 위한 지침은 가이드라인의 미래 개정판에서 제공될 것이다.

CO_2의 포집, 압축, 수송, 및 주입을 위해 이용된 화석연료에서 발생하는 배출은 이 장에서 다루어지지 않는다. 이러한 배출은 적절한 고정형 내지 이동형 에너지 이용 카테고리에서 에너지 이용으로서 국가인벤토리에 포함 및 보고된다. 국제적 수송에 종사하는 선박에 의한 연료 이용은 화물이 무엇이든지 간에, 벙커 규칙(bunker rules)에 의해 필요한 경우에 제외될 것이고, 벙커 조항을 파이프라인을 운영하는데 이용된 에너지로부터의 배출로 확장하는 것은 바람직하지 않다.

5.2 개요

가이드라인에서, CO_2 포집 및 지중 저장 체인은 네 가지 시스템으로 나누어진다 (그림 5.1).

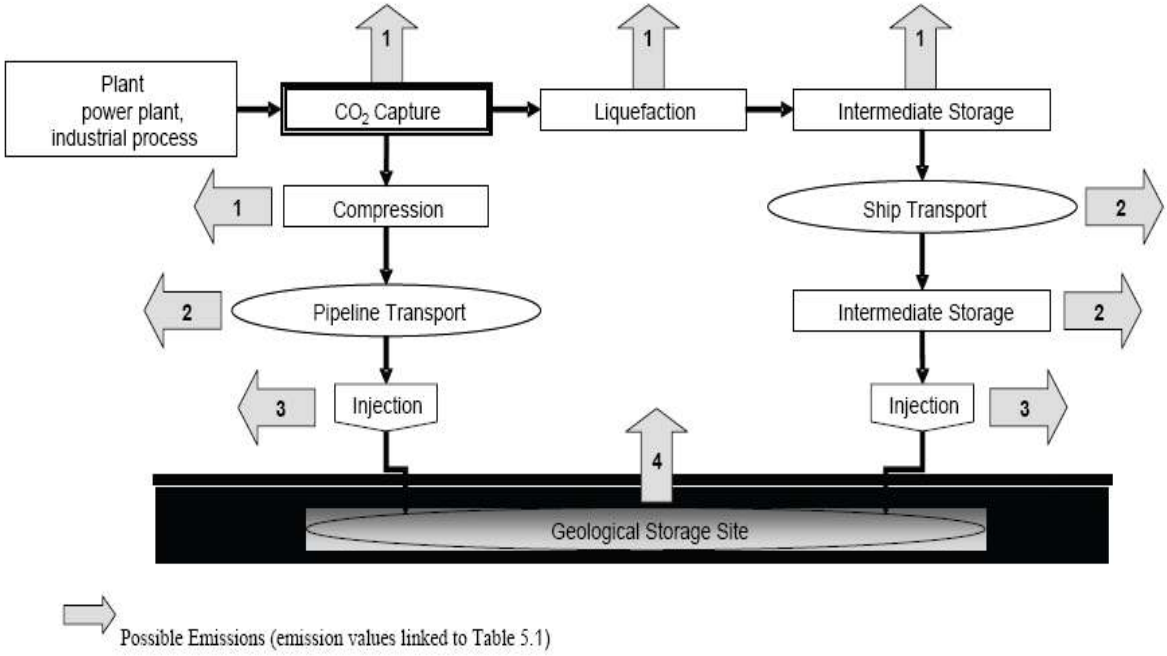
1. 포집 및 압축 시스템. 시스템 경계는 포집, 압축 및, 필요한 경우에, 수송을 위한 조절(conditioning)을 포함한다.
2. 수송 시스템. 파이프라인과 선박은 대규모의 CO_2 수송의 가장 가능성 있는 수단으로 간주

1 포집이 가능한 CO_2의 대규모 점배출원(point sources)의 예에는 전력생산, 철강 제조, 천연가스 처리, 시멘트 제조, 암모니아 생산 및 에탄올 제조 공장이 포함된다.

된다. 상류 시스템 경계는 포집 및 압축 시스템에서 압축/조절 공장의 방출구이다. 하류 시스템 경계는 수송용 파이프라인 내지 선박 하역시설의 하류 끝이다. 파이프라인 시스템을 따라 위치한, 시스템 1 내지 시스템 3에서의 압축에 부가적인, 압축 스테이션(compressor stations)이 존재할 것이라는 것을 주목해야 한다.

3. 주입 시스템. 주입 시스템은 주입 현장에 있는 노천 시설, 예를 들어 저장시설, 수송 파이프라인의 끝에 있는 분배 다기관(distribution manifold), 유정으로의 분배 파이프라인, 추가적인 압축시설, 측정 및 통제 시스템, 유정덮개(wellhead(s)) 및 주입 유정으로 구성된다. 상류 시스템 경계는 수송용 파이프라인 내지 선박 하역시설의 하류 끝이다. 하류 시스템 경계는 지중 저장소(geological storage reservoir)이다.
4. 저장 시스템. 저장 시스템은 지중 저장소로 구성된다.

그림 5.1 위에서 언급된 시스템에 번호로 연결된 탄소 포집 및 저장 프로세스의 개략적 표현



이 장은 CO_2 포집 및 압축에 대한 지침을 포함하지 않는다. CO_2 포집 및 압축에 대한 배출량 산정 가이드라인을 어디서 발견할 것인가에 대한 간단한 요약 및 정보는 5.3절에서 발견할 수 있다. CCGS 체인의 CO_2 수송, 주입 및 저장 시스템에서 발생하는 배출의 인벤토리를 작성하기 위한 가이드라인은 각각 이 장의 5.4, 5.5 및 5.6절에서 제공된다. (CO_2를 저장하거나 저장하지 않는) EOR, EGR 및 ECBM 현장에서 노천시설로부터 발생하는 탈루성 배출은 석유 및 가스 작업으로 분류되며 2권, 4장은 이러한 배출량을 산정하는 지침을 제공한다. EOR, EGR 및 ECBM 현장에서 지하 저장소로부터 발생하는 배출은 지중 저장 현장에서의 배출로 분류되고 이 장의 5.7절은 이러한 배출량을 산정하는 지침을 제공한다.

표 5.1은 CO_2 수송, 주입 및 저장 시스템에서 발생하는 배출이 보고되는 카테고리를 보여준다.

5.3 CO_2 포집

인간활동에 의한 이산화탄소 배출은 주로 전력 생산, 산업, 건물 및 수송 부문에서 화석연료(및 바이오매스)의 연소로부터 발생한다. CO_2는 시멘트 제조, 천연가스 가공 및 수소 생산과 같은 산업 공정에서 비연소 배출원으로부터 또한 배출된다.

CO_2 포집은 저장 현장으로 수송되어 저장될 수 있는 고압인 CO_2의 농축된 흐름을 생성한다. 가이드라인에서, 포집에 대한 시스템 경계는 수송 전에 일어나는 CO_2의 압축 및 탈수 내지 기타 조절을 포함한다.

현재까지 포집 및 저장된 것은 가스 처리 산업에서 천연가스로부터 분리된 CO_2의 고순도 흐름이었지만, 발전소 및 기타 대규모 산업시설은 CO_2 포집의 주된 후보들이다. 포집 공장에서 처리된 CO_2의 85-95%를 포집하는 방식으로 가용한 기술이 일반적으로 배치된다 (IPCC 2005). SRCCS에서 가져온, 그림 5.2는 관련 프로세스의 개요를 제공한다. 주된 기법은 아래에서 간단히 기술된다. 보다 상세한 내용은 SRCCS의 3장에서 가용하다:

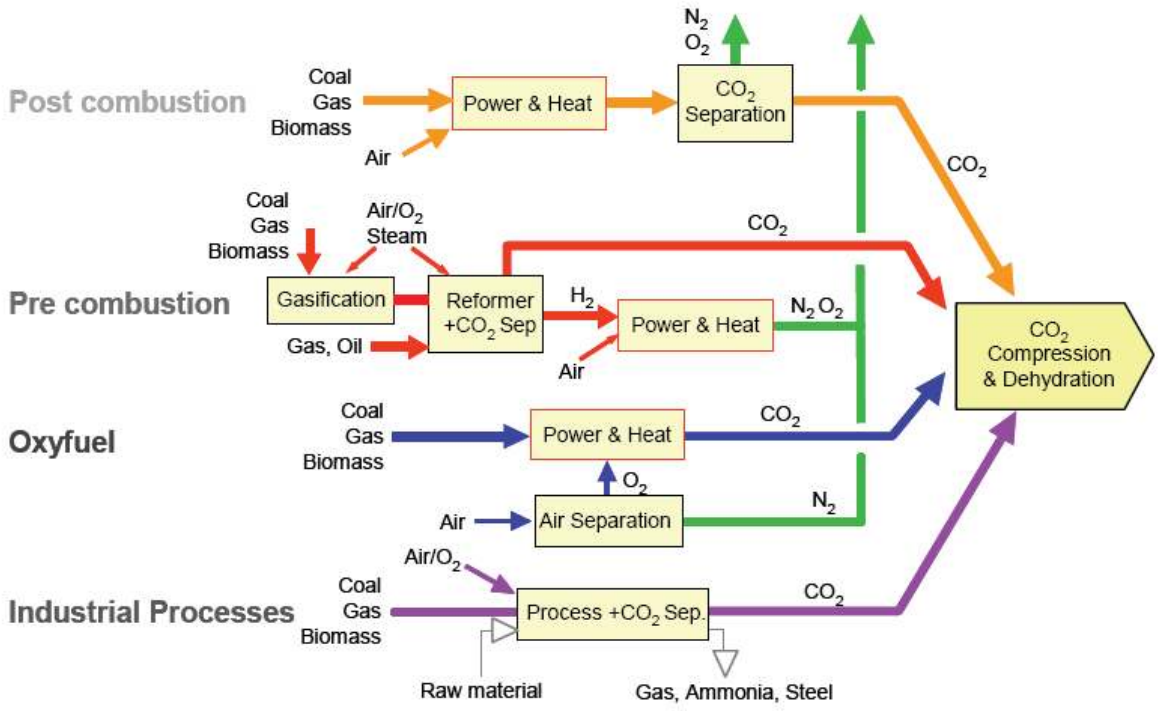
- 연소 후 포집: CO_2는 연소 공장의 연통 가스(flue gases) 내지 천연가스 흐름에서 분리되고, 상대적으로 깨끗하고 건조한 CO_2 흐름을 수송 시스템에 전달하기 위해 압축 및 탈수 장치로 공급될 수 있다. 이 시스템은 일반적으로 CO_2를 포집하기 위해 액체 용제를 이용한다.
- 연소 전 포집: 이는 주로 일산화탄소와 수소로 구성된 '합성 가스' 내지 '연료 가스'를 생산하기 위해 연료를 산소 또는 공기, 및/내지 증기와 반응하는 것과 관련된다. 일산화탄소는 CO_2와 많은 수소를 제공하는, shift converter로 불리는, 촉매 반응기에서 증기와 반응한다. 다음으로 CO_2는 일반적으로 물리적 내지 화학적 흡수 프로세스에 의해 가스 혼합물에서 분리되어, 보일러, 용광로, 가스 터빈 및 연료전지와 같은 응용기기에서 이용될 수 있는 수소가 풍부한 연료가 된다. 이 기술은 암모니아 및 비료 제조와 석유 정제 작업에서 주로 이용되는 수소 생산에 널리 이용된다. 이 프로세스에서 발생하는 배출량을 산정 및 보고하는 방법에 대한 지침은 이 권의 2장, 2.3.4절에서 제공된다.
- 산소 연료 포집: 산소 연료(oxy-fuel) 연소에서는 공기 대신에 연소를 위해 순수한 산소가 이용되며, 주로 CO_2와 H_2O인 연통 가스가 된다. 이러한 연통가스 흐름은 CO_2 압축 및 탈수 장치에 직접 공급될 수 있다. 이 기술은 입증 단계에 있다. 이 프로세스에서 발생하는 배출량을 산정 및 보고하는 방법에 대한 지침은 이 권의 2장, 2.3.4절에서 제공된다.

표 5.1
CCS에 대한 배출원 카테고리

1	C			이산화탄소 수송 및 저장	이산화탄소 (CO_2) 포집 및 저장 (CCS)은 CO_2의 포집, 저장장소로의 수송 및 대기로부터의 장기적 격리를 포함한다. CO_2 수송, 주입 및 저장에 관련된 배출은 카테고리 1C에서 다루어진다. CO_2 포집과 관련된 배출 (내지 저감)은 포집이 발생하는 IPCC 부문 (예를 들어, 고정형 연소 내지 산업활동)에서 보고되어야 한다.
1	C	1		CO_2 수송	포집된 CO_2를 배출원에서 주입장소로 수송하는데 이용되는 시스템에서 발생하는 탈루성 배출. 이러한 배출은 장비 누출로 인한 탈루성 손실, 환기 및 파이프라인 파열로 인한

					방출 내지 기타 우발적 방출 (예를 들어, 일시적 저장소)로 구성될 것이다.
1	C	1	a	파이프라인	CO_2를 주입장소로 수송하는데 이용되는 파이프라인 시스템에서 발생하는 탈루성 배출.
1	C	1	b	선박	CO_2를 주입장소로 수송하는데 이용되는 선박에서 발생하는 탈루성 배출.
1	C	1	c	기타(지정하시오)	CO_2를 주입장소 및 일시적 저장소로 수송하는데 이용되는 기타 시스템에서 발생하는 탈루성 배출.
1	C	2		주입 및 저장	주입장소에서의 활동 및 장비에서 발생하는 탈루성 배출과 CO_2가 저장된 후 최종 봉쇄장치(end containment)에서 발생하는 탈루성 배출
1	C	2	a	주입	주입장소에서의 활동 및 장비에서 발생하는 탈루성 배출
1	C	2	b	저장	CO_2가 저장된 후 최종 봉쇄장치(end containment)에서 발생하는 탈루성 배출
1	C	3		기타	다른 곳에서 보고되지 않은 CCS에서 발생하는 기타 배출

그림 5.2 CO_2 포집 시스템 (SRCCS의 이후부분):



다수의 산업 공정에서 이미 언급된 것처럼, 화학반응은 오프 가스(off gases)에서 CO_2의 직접적인 포집 내지 분리를 허용하는 양과 농도로 CO_2의 생성을 가져온다. 예를 들면: 암모니아 생산, 시멘트 제조, 에탄올 제조, 수소 제조, 철강 제조, 및 천연가스 처리공장.

CO_2 포집 및 압축 시스템에서 발생하는 배출의 인벤토리를 작성하기 위한 가이드라인의 위치는 CO_2 배출원의 성격에 좌우된다:

- 고정형 연소 시스템 (주로 전력 및 열 생산 공장): 2권, 2장, 2.3.4절
- 천연가스 처리 공장: 2권, 4.2.1절
- 수소 생산 공장: 2권, 4.2.1절
- 기타 산업공정에서의 포집: 3권 (IPPU) 1장, 1.2.2절
  (i) 시멘트 제조: IPPU 권, 2.2절
  (ii) 메탄올 제조: IPPU 권, 3.9절
  (iii) 암모니아 생산: IPPU 권, 3.2절
  (iv) 철강 제조: IPPU 권, 4.2절

바이오매스 연소에 의해 생성된 CO_2가 포집된다면, 포집 및 압축 시스템에서 음의 배출이 발생할 것이다. 이는 정확한 절차이며 음의 배출은 다음과 같이 보고되어야 한다.

많은 잠재적 배출경로는 모든 유형의 지중 저장에 공통적이지만, 개선된 탄화수소 재생 작업에 있는 배출경로의 일부는 개선된 탄화수소 재생이 없는 지질적 CO_2 저장을 위한 배출경로와 다르다. EOR 작업에서, CO_2는 석유 저장소(oil reservoir)에 주입되지만, 주입된 양의 일부는 생산 유정에서 석유, 탄화수소 및 물과 함께 일반적으로 생산된다. CO_2-탄화수소 가스 혼합물은 탄화수소 함유량에 따라 원유와 분리되어 석유 저장소에 재주입되거나, 현장에서 연료 가스로 이용되거나, CO_2와 탄화수소 가스로 분리하기 위해 가스 처리공장으로 보내질 것이다. 생산된 가스 혼합물에서 CO_2를 분리하는 것은 비용이 들기 때문에 EGR 및 ECBM 프로세스는 CO_2 생산을 회피하고자 한다. 탄화수소 가스에서 분리된 CO_2는 EOR 작업에서 재활용 및 재주입되거나 환기될 것이다; 이는 유입된 CO_2의 재활용 대 재주입의 경제성에 좌우된다. CO_2가 풍부한 가스는 EOR 작업에서 원유 저장 탱크로부터 또한 방출된다. 이 증기는 탄화수소 함유량에 따라 환기, 발화 내지 연료 가스로서 이용된다. 그러므로 CO_2 의 환기 및 CO_2가 풍부한 탄화수소 가스의 발화 내지 연소, 그리고 또한 추가적인 탄화수소와 함께 유출된 주입된 CO_2로부터 탈루성 배출의 추가적인 배출원의 가능성이 존재한다. (CO_2의 주입, 및/내지 CO_2가 풍부한 탄화수소 가스의 생산, 재활용, 환기, 발화 내지 연소로부터) EOR, EGR 및 ECBM 현장의 노천 운영에서 발생하는 탈루성 배출과 함께, 그리고 추가적인 탄화수소와 함께 유출된 주입된 CO_2를 포함하는 이들 배출은 2권 4장에서 제공된 지침에 기술된 고차적 방법을 이용하여 산정 및 보고될 수 있다.

5.4 CO_2 수송

탈루성 배출은 예를 들어 파이프라인 파손, 봉인 및 밸브, 파이프라인의 중간 압축 스테이션 (compressor stations), 중간 저장시설, 저온으로 액화된 CO_2를 수송하는 선박, 및 선박용 선적 및 하역 시설로부터 발생할 것이다. 포집된 CO_2 의 수송에서 발생하는 배출은 카테고리 1C에서 보고된다 (표 5.1. 참고). CO_2 파이프라인은 벌크형 CO_2 수송의 가장 지배적인 수단이며, 현재 운영 중인 성숙한 시장 기술이다. 상대적으로 소규모이지만 선박에 의한 CO_2의 벌크 수송도 이미 실행중이다. 이는 주변보다 훨씬 낮은 온도 및 파이프라인 수송보다 훨씬 낮은 압력의 격리된 컨테이너에서 발생한다. 트럭 및 철도에 의한 수송은 소량의 CO_2에 가능하지만, 포집되는 엄청난 양 때문에 CCS에서 중요할 것 같지 않다. 그러므로 트럭 및 철도 수송에서 발생하는 배출을 계산하는 방

법은 여기서 제공되지 않는다. CO_2 수송에 관한 추가적인 정보는 SRCCS의 4장에서 가용하다 (IPCC 2005).

5.4.1 파이프라인에 의한 CO_2 수송

CO_2의 파이프라인 수송에서 발생하는 배출량을 산정하기 위해, 기본값 배출계수는 이 권의 4.2절에서 제공되는 것처럼 천연가스의 전송 (파이프라인 수송)에 대한 배출계수로부터 도출될 수 있다. 파이프 길이는 일반적으로 가용한 국가 통계가 아니기 때문에, 표 4.2.4 및 4.2.5에서 제시되는 천연가스 파이프라인 수송에 대한 Tier 1 배출계수는 주로 가스 처리량에 기초하여 제공된다. 그렇지만, 파이프라인 수송에서 발생하는 탈루성 배출은 처리량에 상당히 독립적이지만, 파이프라인 시스템의 크기 및 설치된 장비에 좌우된다. 시스템의 크기와 이용되는 천연가스 간에 관계가 존재한다고 가정되기 때문에, 이러한 접근법은 천연가스 수송에 대한 Tier 1 방법으로 받아들일 수 있다.

위의 내용은 CCS의 적용에서 CO_2 수송에 대해 사실이 아닐 지도 모른다. 개별적인 공장 내지 시설에 기초하여 포집 및 저장 모두를 처리하는 것이 *우수실행(good practice)*이기 때문에, 수송용 CO_2 파이프라인 시스템의 길이는 알려질 것이며 수송에서의 배출량을 산정하기 위해 이용되어야 한다.

박스 5.1
CO_2 파이프라인 수송에 대한 기본값 배출계수의 도출

기하학에서 가스의 압력 하락은 다음과 같이 기술된다:

$$\Delta P = \frac{f}{2} \rho \times v^2 \frac{l}{D}$$

여기서:

- v는 구멍을 통과하는 가스의 선형속도이며, 동일한 크기의 구멍에서, 누출되는 부피에 비례한다.
- ρ는 가스의 밀도이다.
- f는 단위가 없는 마찰 수치이다.
- l/D (길이 나누기 지름)는 시스템의 물리적 크기를 특징짓는다.

구멍에 대해, f=1이고 가스의 특성에 독립적이다. 그러므로 CO_2와 CH_4 수송에 대해 파이프라인의 내부 압력과 물리적 차원이 동일하다고 가정하면, 구멍-속도는 가스 밀도의 제곱근에 반비례하고 분자량의 제곱근에 비례한다.

그러므로 ΔP가 메탄과 이산화탄소에 대해 동일할 때

$$v \sim \frac{1}{\sqrt{\rho}}$$

CO_2의 분자량은 44이고 CH_4의 분자량은 16이다. 그러므로 질량에 기초하여 CO_2-배출비율은 $\sqrt{\frac{44}{16}} = 1.66$ 곱하기 CH_4-배출비율이다.

이로부터 CO_2 파이프라인 수송에 대한 기본값 배출계수는 천연가스(주로 CH_4)에 대한 표 4.2.8의 관련 기본값 배출계수[a]와 계수 1.66을 곱함으로써 구해진다.

주석:

[a] m^3로 표현된 계수를 질량 단위로 전환하기 위해, 메탄에 대해 0.7 kg/m^3의 특정한 질량이 적용된다.

R.H. Perry, D. Green, Perry's chemical engineers handbook, 6th edition, McGraw Hill Book Company - New York, 1984에서 5장을 참고.

이 권의 4.2절의 표 4.2.8은 천연가스 파이프라인 수송에 대한 지표적 누출계수(leakage factors)를 제공한다. 파이프라인에 의한 CO_2 수송에 대한 Tier 1 기본값 배출계수를 구하기 위해, 이들 값을 세제곱 미터에서 질량 단위로 전환하고 1.66을 곱해야 한다 (박스 1 참고). 결과적인 기본값 배출계수는 표 5.2에서 제공된다.

표 5.2
CO_2 포집 장소에서 파이프라인 수송에 의해 최종 저장 장소로 옮겨질 때의 기본값 TIER 1 배출계수

배출원	값			불확도	측정단위
	저	중	고		
파이프라인에 의한 CO_2 수송에서의 탈루성 배출	0.00014	0.0014	0.014	±2의 차수	전송용 파이프라인의 연도 및 km 당 Gg

파이프라인 수송에서의 누출성 배출은 처리량에 독립적이지만, 새는 곳의 수가 파이프라인 길이에 반드시 상관관계가 있는 것은 아니다. 가장 좋은 상관관계는 장비 부품의 수 및 유형과 서비스의 유형간에 존재한다. 대부분의 장비는 파이프라인 자체가 아니라 파이프라인에 연결되는 설비에서 발생하는 경향이 있다. 사실상, CO_2가 매우 먼 거리로 수송되지 않고 중간의 압축 스테이션이 필요하지 않다면, 가상적으로 CCS 시스템에서의 모든 탈루성 배출은 본질적으로 파이프라인 자체에서의 배출이 없이, 파이프라인의 시작에서의 최초의 CO_2 포집 및 압축 시설 및 파이프라인 끝에서의 주입 시설과 관련이 있을 것이다. Tier 3 접근법에서, 수송용 파이프라인에서의 누출성 배출은 장비의 수 및 유형에 관한 자료와 장비에 고유한 배출계수로부터 구할 수 있을 것이다.

5.4.2 선박에 의한 CO_2 수송

선박에 의한 CO_2 수송에서 발생하는 탈루성 배출에 대한 기본값 배출계수는 가용하지 않다. 흐름계량을 이용하여 선적 및 하역 동안 가스의 양이 계량되어야 하고, 손실은 카테고리 1C1 b에서 선박에 의한 수송에서 발생하는 CO_2의 탈루성 배출로 보고되어야 한다.

5.4.3 CO_2 수송 경로상의 중간 저장시설

공급량과 수송 내지 저장 용량간에 시간적 불일치가 존재한다면, CO_2를 일시적으로 저장하기 위해 (지상 내지 지하의) CO_2 완충장치(buffer)가 필요할 것이다. 완충장치가 탱크라면, 탈루성 배출은 수송 시스템의 일부로 측정 및 취급되어야 하며 카테고리 1C1 c (기타)에 보고되어야 한다. 중간의 저장시설 (내지 완충장치)이 지중 저장소이면, 이로부터 발생하는 탈루성 배출은 다른 지중 저장소에 대해서와 동일한 방식으로 취급되고 카테고리 1C3에서 보고될 수 있다.

5.5 CO_2 주입

주입 시스템은 주입 현장에 있는 노천 시설, 예를 들어 저장 시설, 수송 파이프라인의 끝에 있는 분배 다기관, 유정으로의 분배 파이프라인, 추가적인 압축 시설, 측정 및 통제 시스템, 유정덮개 및 주입용 유정으로 구성된다.주입용 유정의 설계에 대한 추가적인 정보는 SRCCS, 5장, 5.5절에서 발견할 수 있다.

유정덮개의 계량기는 주입된 유체(fluid)의 흐름율, 온도 및 압력을 측정한다. 유정덮개는 주입된 유체의 분출을 방지하기 위한 안전장치를 또한 포함한다. 노천 장비가 문제가 있는 경우에 역류를 방지하기 위해 배관의 하향공(downhole) 안전밸브 내지 체크밸브와 같은, 안전장치는 지하에 또한 삽입될 것이다. 밸브 및 기타 봉인은 임계를 초과한 CO_2에 의해 영향을 받으므로, 적절한 물질을 선택할 필요가 있다. 탄소강 및 전통적인 시멘트는 높은 염도의 염수 및 CO_2가 풍부한 유체에 의해 공격을 받기 쉽다 (Scherer et al. 2005). 더욱이 CO_2 주입용 유정의 완전성이 매우 오랜 기간 동안 유지될 필요가 있으므로, 적절한 유정 건설자재와 규제가 필요할 것이다. 유정과 암석층 사이를 봉인하기 위해, 그리고 폐쇄 이후에, 유정을 막기 위해 이용되는 시멘트는 장기간에 걸쳐 CO_2/염수에 저항성이 있어야 한다. 이러한 시멘트가 개발되었지만 추가적인 테스트를 필요로 한다. 유정이 대기중으로 CO_2가 누출되는 도관(conduits)으로 행동할 잠재성 때문에, 이 장의 5.7절에서 설계된 것과 같은 포괄적인 모니터링 계획의 일부로서 유정을 모니터링해야 한다.

유정을 통해 지질층에 주입되는 CO_2 양은 CO_2가 주입용 유정에 들어가기 직전에, 유정 덮개에

있는 장비에 의해 모니터링될 수 있다. 전형적인 기법은 Wright and Majek (1998)에 의해 기술된다. 유정덮개에 있는 계량기는 지속적으로 주입된 가스의 압력, 온도 및 흐름율을 측정한다. 유입된 CO_2 혼합물은 거의 변화를 보이지 않으며 가스 크로마토그래프(gas chromatograph)를 이용하여 주기적으로 분석된다. 유정덮개를 통과하는 CO_2의 질량은 측정된 양으로부터 계산될 수 있다. 기본방법은 제시되지 않으며, 직접적인 측정에서 계산된 것처럼 주입된 CO_2의 질량을 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

저장 현장에 도달한 CO_2의 압력이 요구되는 주입 압력보다 높지 않으면, 압축이 필요할 것이다. 저장 현장에서 저장된 가스의 압축에서 발생하는 배출이 측정 및 보고되어야 한다.

5.6 CO_2의 지중 저장

SRCCS의 5장 (IPCC 2005)은 이산화탄소의 지중 저장이 다음과 같은 연안 내지 근해에서 발생한다고 지적한다.

- 깊은 염수층. 이들은 구멍에 염수를 포함하고 있는 다공성 및 투과성의 저장소 암석이다.
- 고갈된 또는 부분적으로 고갈된 유전 - enhanced oil recovery (EOR) 작업의 일부이거나 이를 포함하지 않음.
- 고갈된 또는 부분적으로 고갈된 천연가스전 - enhanced oil recovery (EGR) 작업을 포함하거나 포함하지 않음.
- 탄층 - enhanced coalbed methane recovery (ECBM) 작업을 포함하거나 포함하지 않음.

추가적으로, 소금 동굴, 현무암층 및 유기물이 풍부한 혈암에서 저장하는 것과 같은 다른 개념으로부터 저장을 위한 틈새 기회가 발생할 것이다.

이들 유형의 저장 사이트와 그 안에 CO_2를 유지하는 메커니즘(trapping mechanism)에 대한 추가적인 정보는 SRCCS의 5장에서 다루고 있다 (IPCC 2005).

5.6.1 배출 경로/배출원에 관한 설명

SRCCS의 서론은 지중 저장소에 저장된 CO_2 의 99% 이상이 천 년 이상동안 거기에 남아있을 것이라고 말한다. 그러므로 단기에서 중기기간 동안(수십 년에서 수백 년) 활동하는 배출경로 뿐만 아니라 느리거나 장기적 프로세스에 의해 생성되거나 활성화되는 잠재적인 배출경로를 고려할 필요가 있다.
가이드라인에서 이주(migration)는 지표 내지 해저 아래에 남아있는 동안, 지중 저장소 내에서 그리고 밖으로 CO_2가 빠져나가는 것으로 정의되고, 누출(leakage)은 지표 내지 해저 아래에서 대기 내지 해양으로 CO_2가 이전하는 것으로 정의된다.

계산상 고려될 필요가 있는 유일한 배출경로는 지중 저장소[2]에서 지표 내지 해저로 CO_2가 누출되는 것이다. 저장소로부터의 잠재적 배출경로가 표 5.3에서 보여진다.

CO_2 배출뿐만 아니라, 메탄 배출이 탄화수소를 포함하는 지중 저장소로부터 발생할 수 있는 가능

2 CO2의 배출은 자유 가스(free gas) 내지 예를 들어, 샘에서, 지표에 도달하는 지하수에 용해된 가스로서 발생할 것이다.

성이 존재한다. 메탄 배출량을 산정하기 위한 지침을 제공하기에 불충분한 정보가 존재하지만, 이러한 저장소에서 발생하는 메탄 배출에 대한 잠재성에 관한 적절한 평가에 착수하고, 필요하다면, 인벤토리에서 CO_2 저장 프로세스에 기인하는 이러한 배출을 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*일 것이다.

표 5.3
지중 저장소의 잠재적인 배출 경로

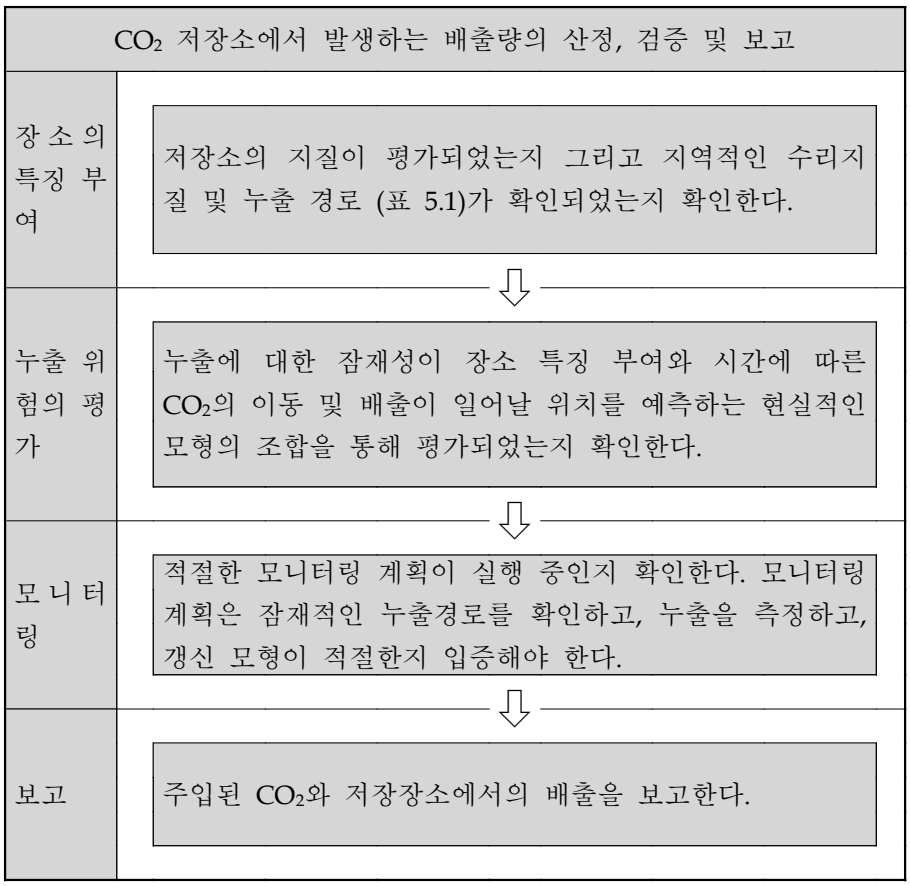
배출 유형	잠재적 배출경로/배출원	추가 설명
시추정 및 채굴에 의해 생성된 직접적인 누출 경로	• 운영중 내지 폐기된 시추정	• 저장 장소 내외의 폐기된 시추정을 확인하는 모든 노력이 이루어질 것으로 기대된다. 부적절하게 건설, 봉인, 및/내지 막힌 시추정은 누출에 대한 가장 큰 잠재적 위험을 제공할 것이다. 누출을 교정하는 기법이 개발되어 있으며 필요하다면 이를 적용해야 한다.
	• 시추정 파열 (주입 시추정에서의 통제되지 않은 배출)	• 일반적으로 단기간 동안의 대량 누출의 가능한 배출원. 파열은 교정될 것이며 확립된 굴착 관행이 위험을 감소시키므로 이는 드물 것이다.
	• CO_2 저장소에 대한 미래의 채굴	• 탄층 저장소에 대한 문제
(시간에 따른 배출을 초래할 수 있는) 자연적인 누출 및 이동 경로	• 모세관 투입 압력이 초과되거나 CO_2가 녹아있다면 저 투과성 덮개암(cap rocks)의 공극(pore) 시스템을 통해 배출	• 적절한 현장 특성 확인 및 선택과 주입 압력 관리는 누출 위험을 감소시킬 수 있다.
	• 덮개암이 국지적으로 없는 경우	• 적절한 현장 특성 확인 및 선택은 누출 위험을 감소시킬 수 있다.
	• 저장소가 과대 충전되어 있다면 유출지점(spill point)을 통해 배출	• 수리지질학의 평가를 포함한, 적절한 현장 특성 확인 및 선택은 누출 위험을 감소시킬 수 있다.
	• CO_2/물/암석 반응의 결과로서 퇴화된 덮개암을 통해 배출	• 적절한 현장 특성 확인 및 선택은 누출 위험을 감소시킬 수 있다. 암석 및 관련 지구화학적 요인의 상세한 평가가 유용할 것이다.
	• 공극 유체(pore fluid)로의 CO_2의 용해 및 자연적인 유체 흐름에 의한 저장 장소 밖으로의 수송을 통해 배출	• 수리지질학의 평가를 포함한, 적절한 현장 특성 확인 및 선택은 누출 위험을 감소시킬 수 있다.
	• 자연적 내지 유도된 단층 및/내지 단구(fractures)를 통해 배출	• 대량 누출의 가능한 배출원. 적절한 현장 특성 확인 및 선택과 주입 압력 관리는 누출 위험을 감소시킬 수 있다.
지질적 저장 장소에서의 기타 탈루적 배출	• 탈루적 메탄 배출은 지질적 저장 장소에서 CO_2에 의한 CH_4의 치환에서 발생할 수 있다. 이는 특히 ECBM, EOR, 및 고갈된 석유 및 가스 저장소에 대해 사실이다.	적절한 평가를 필요로 한다.

5.7 방법론적 이슈

지질적 상황이 폭넓게 다르며 지질적 저장 작업으로부터의 탈루성 인위적 이산화탄소 배출을 확인 및 계량화하는 모니터링 프로그램에 관한 소수의 출판된 연구만이 현재 존재한다 (Arts et al. 2003, Wilson and Monea 2005; Klusman 2003a, b, c). SRCCS의 정책결정자를 위한 요약(Summary for Policymakers)은 적절히 선택된 지중 저장 현장은 저장된 CO_2의 99% 이상을 유지하고 이를 수백만년까지 동안 유지할 것이라고 말하지만, 작성 시점에서, 소수의 모니터링된 저장 현장은 지중 저장소에서 발생하는 누출에 적용될 수 있는 배출계수를 생성하는데 불충분한 실증적 증거가 존재한다는 것을 의미한다. 결론적으로, 이 지침은 Tier 1 내지 Tier 2 방법론을 포함하지 않는다. 그렇지만, 보다 많은 모니터링된 저장 현장이 운영되고 기존의 현장이 오랜 시간 동안 운영될 때, 미래에 이러한 방법론을 개발할 가능성은 존재한다 (Yoshigahara et al. 2005). 그렇지만 현장에 고유한 Tier 3 접근법은 개발될 수 있다. 모니터링 기술은 석유 및 가스, 지하수, 환경 모니터링 산업에서, 지난 30년 동안 개발되고 정제되어 왔다(첨부 1을 참고). 이러한 기술의 적합성 및 효능은 개별 저장 현장의 지질과 잠재적인 배출경로에 의해 크게 영향을 받을 수 있으므로, 모니터링 기술의 선택은 현장별로 이루어질 필요가 있다. 모니터링 기술은 빠르게 발전되고 있으며 새로운 기술을 최신으로 유지하는 것이 *우수실행(good practice)*일 것이다.

CO_2 저장 현장에서의 배출량을 산정 및 보고하기 위한 Tier 3 절차가 그림 5.3에 요약되어 있으며 아래에서 논의된다.

그림 5.3 CO_2 저장 지점에서의 배출량 산정 절차



오랜 시간 동안 지중 저장소에 주입된 CO_2의 운명을 이해하고, 표 5.3에서 확인된 누출경로를 통해 대기 내지 해저로 역으로 배출될 잠재성을 평가하고, 탈루성 배출을 측정하기 위해, 다음이 필요하다:

(a) 저장 현장과 주변 지층의 지질에 적절하고 철저히 특징을 부여한다.

(b) 저장소의 CO_2 주입과 저장 시스템의 미래 행동을 모형화한다.

(c) 저장 시스템을 모니터링한다.

(d) 저장 시스템의 모형을 입증 및/내지 갱신하기 위해 모니터링 결과를 이용한다.

적절한 현장 선택 및 특징 부여는 최소한의 누출이 있을 것이라는 신뢰를 구축하고, 모형화 능력 및 결과를 개선하고, 최종적으로 필요한 모니터링 수준을 줄이는데 도움을 줄 수 있다. 현장의 특징 부여에 대한 추가적인 정보는 SRCCS와 국제 에너지 기구 온실가스 R&D 프로그램 (IEAGHG 2005)에서 가용하다.

모니터링 기술은 지난 30년동안 석유 및 가스, 지하수, 환경 모니터링 산업에서 개발 및 정제되었다. 가장 일반적으로 이용되는 기술이 이 장의 첨부 I의 표 5.1-5.6에서 기술된다. 이러한 기술의 적합성 및 효능은 개별 저장 현장의 지질 및 잠재적인 배출경로에 의해 크게 영향을 받을 수 있으므로, 모니터링 기술의 선택은 현장별로 이루어질 필요가 있다. 모니터링 기술은 빠르게 발전되고 있으며 새로운 기술을 최신으로 유지하는 것이 *우수실행(good practice)*일 것이다.

다양한 범위의 모형화 도구가 가용하며, 이들 중 일부는 코드 상호비교의 프로세스를 겪었다 (Pruess et al. 2004). 모든 모형은 일부 과정을 근사화 및/내지 무시하며 단순화시킨다. 더욱이, 그 결과는 본질적인 질, 특히, 모형에 입력된 자료의 질에 좌우된다. 관련된 많은 이화학적 요인 (온도 및 압력의 변화, 주입된 가스와 저장소에서 초기에 존재한 유체의 혼합, 이산화탄소 고정 메커니즘 및 지질적 환경을 통과하는 유체 흐름의 유형 및 비율)은 저장소 시뮬레이터(reservoir simulators)로 알려진 수치 모형화 도구를 가지고 성공적으로 모형화될 수 있다. 이들은 석유 및 가스 산업에서 널리 이용되며, 지질층을 통한, CO_2를 포함한, 가스 및 액체의 이동을 예측하는데 효과적임을 입증하였다.

저장소 시뮬레이션은 배출의 가능한 위치, 시점, 유량을 예측하는데 이용될 수 있으며, 이는 다시 직접적인 모니터링 기법을 이용하여 체크될 수 있다. 그러므로 이는 저장 현장에서 발생하는 누출의 위험을 평가하기 위한 매우 유용한 기법이 될 수 있다. 그렇지만, 필요한 규모 및 해상도에서 관련된 모든 프로세스들을 설명할 수 있는 단일한 모형은 현재 존재하지 않는다. 그러므로, 지질에 관한 측면들을 분석하기 위해, 종종 추가적인 수치적 모형화 기법이 이용될 필요가 있다. 오염물질 수송의 평가를 위해 일반적으로 이용되는, 다단계 반응 수송모형은 저장소 내의 CO_2 수송 및 CO_2/물/암석의 반응을 모형화하기 위해 이용될 수 있으며, 지질역학적 모형(geomechanical models)을 이용하여 지질역학적 결과를 고려할 필요가 있다. 이러한 모형들은 저장소 시뮬레이터와 연결되거나 독립적이다.

수치적 시뮬레이션은 가능한 경우에 저장 현장에서의 직접적인 측정에 의해 타당성이 입증되어야 한다. 이러한 측정은 모니터링 프로그램에서 도출되어야 하며, 모니터링 결과와 기대값 간의 비교

는 지질적 및 수치적 모형을 개선하기 위해 이용되어야 한다. 지질적 및 수치적 모형화가 저장 현장 및 주변 지층의 타당한 표현인지 여부와 이후의 시뮬레이션이 현장 성능(site performance)의 적절한 예측을 제공하는지 여부를 평가하기 위해 전문가의 의견이 필요할 것이다.

아래에서 기술되는 것과 같은 적절한 계획에 따라 모니터링이 수행되어야 한다. 이는 CO_2가 존재할 것 같은 전체 지역에 대해 이루어진 측정뿐만 아니라, 어디서 누출이 발생할 지에 대한 모형에서의 기대를 고려해야 한다. 현장 관리자는 전형적으로 이산화탄소 저장 모니터링 기술을 설치 및 운영하는데 책임을 질 것이다. 인벤토리 작성자는 이 장에서 제공된 지침에 따라 연간 배출량을 평가하기 위해 각각의 저장 현장으로부터 충분한 정보를 얻을 수 있는지 확인할 필요가 있을 것이다. 이를 평가하기 위해, 인벤토리 작성자는 현장에 고유한 자료의 연간 보고, 검토 및 검증을 허용하도록 각각의 현장 운영자와 공식적인 합의를 해야 한다.

5.7.1 방법의 선택

작성 시점에서, 존재하고 있는 소수의 CO_2 저장 현장은 석유 생산 작업의 일부이며 그러한 것으로 규제를 받는다. 예를 들어, 서부 캐나다에서의 산성가스 저장 작업은 전통적인 석유 및 가스 저장소를 운영하는 응용시설을 다루는 요구사항을 따를 필요가 있다 (Bachu and Gunter, 2005). CCS에 대한 규제적 발전은 초기 단계에 있다. 지질적 CO_2 저장 현장의 성능에 대한 국가적 내지 국제적 기준은 존재하지 않으며, 많은 국가들은 누출 위험을 다루는 적절한 규제를 현재 개발 중이다. 모니터링 기술의 실증은 이러한 발전의 필요부분이다 (첨부 1을 참고). 이러한 기준 및 규제적 접근법이 개발 및 수행될 때, 상대적으로 확실하게 배출 정보를 제공할 수 있을 것이다. 그러므로, 연간 인벤토리 프로세스의 일부로서, 이산화탄소 포집 및 저장을 규제하는 하나 이상의 적절한 정부기관이 존재한다면, 인벤토리 작성자는 이 기관으로부터 배출 정보를 구할 것이다. 인벤토리 작성자가 이러한 정보에 의지한다면, 그는 배출량이 어떻게 산정 내지 측정되고 이러한 방법이 IPCC 관행과 어떻게 일치하는지를 설명하는 보조문서를 제출해야 한다. 이러한 기관이 존재하지 않는다면, 인벤토리 작성자가 아래에 제시된 방법론을 따르는 것이 *우수실행(good practice)*일 것이다. 아래에 제시된 방법론에서, 현장의 특징 부여, 모형화, 누출 위험의 평가 및 모니터링 활동은 저장 프로젝트 관리자 및/내지 이산화탄소 포집 및 저장을 규제하는 적절한 정부기관의 책임이다. 추가적으로, 저장 프로젝트 관리자 내지 규제 기관은 연간 인벤토리 프로세스의 일부로서 국가 인벤토리 작성자에게 보고될 배출량 산정치를 개발할 것이다. 국가 인벤토리 작성자의 책임은 배출 자료를 요구하고 그것의 타당성에 관한 보장을 추구하는 것이다. ECBM 재생과 관련된 CCS의 경우에, 방법론은 CO_2와 CH_4 탐지 모두에 적용되어야 한다.

1. 관할권내의 모든 지중 저장 작업을 확인 및 문서화한다. 인벤토리 작성자는 이 절부터 QA/QC를 위한 CO_2 포집 및 저장 체인의 기타 요소들까지 교차 참조(cross-reference)를 위해 필요한 모든 정보를 포함한, 모든 지중 저장 작업에 관한 갱신된 기록을 유지해야 한다, 즉 각 작업에 대해:

- 현장의 위치
- 작업의 유형 (EOR, EGR, ECBM와의 관련 여부)
- CO_2 저장이 시작된 연도

- 배출원, 각 배출원에 기인하는 주입된 CO_2의 연간 질량, 저장중인 전가된 누적량
- 적절한 경우에, 관련된 CO_2 수송, 주입 및 재활용 기반시설 (즉, 현장의 생성 및 포집 시설, 파이프라인 연결부, 주입 기술 등)과 그로 인한 배출

인벤토리 작성자는 관할권내의 작업 결과에 대한 보고에만 책임을 지지만, 그는 상호참조 및 QA/QC를 위해 CO_2의 경계간 이전을 기록해야 한다 (5.9절 참고).

2. 각 저장 현장에 대해 적절한 지질적 현장의 특징 부여 보고서가 작성되었는지 여부를 결정한다. 현장의 특징 부여 보고서는 단층 및 이전에 존재한 유정과 같은 잠재적인 누출경로를 확인하고 특징을 부여해야 하며, 특히 CO_2 이주(migration)에 대해, 저장 시스템의 수리지질적 속성을 계량화해야 한다. 현장의 특징 부여 보고서는 현장 및 주변 지역에 관한 지질적 모형에 이러한 특징을 표현하는데 충분한 자료를 포함해야 한다. 보고서는 적절한 수치적 저장소 시뮬레이터에 입력하기 위해 현장 및 주변 지역에 관한 대응하는 수치적 모형을 생성하는데 필요한 모든 자료를 또한 포함해야 한다.

3. 운영자가 저장 현장에서의 누출에 대한 잠재성을 평가했는지 여부를 결정한다. 운영자는 저장소에서의 탈루성 배출의 가능한 시점, 위치 및 유량을 결정하거나, 누출이 발생할 것으로 기대되지 않는다는 것을 입증해야 한다. 주입의 시작부터 주입이 중단된 상당한 이후 (대략 수십년)까지 현장의 성능을 예측하기 위해, CO_2 주입에 관한 단기 시뮬레이션이 이루어져야 한다. 수세기에서 수천년 동안 CO_2의 운명을 예측하기 위해 장기 시뮬레이션이 수행되어야 한다. 가능한 배출 범위를 평가하기 위해 민감도 분석(Sensitivity analysis)이 수행되어야 한다. 현장이 기대된 것처럼 수행되는지 여부를 검증할 모니터링 프로그램의 설계에 모형이 이용되어야 한다. 지질적 모형과 저장소 모형은 새로운 자료에 비추어, 그리고 새로운 시설 내지 운영적 변화를 설명하기 위해 미래에 갱신되어야 한다.

4. 각 현장이 적절한 모니터링 계획을 가지고 있는지 여부를 결정한다. 각 현장의 모니터링 계획은 누출 평가와 모형 결과와 일치하는 모니터링 활동을 기술해야 한다. 첨부 1에서 제시된 기존 기술은 지표 내지 해저로의 누출을 측정할 수 있다. SRCCS는 모니터링 기술 및 접근법에 대한 상세한 정보를 포함한다 (첨부 1을 참고). 요약하면 모니터링 프로그램은 아래에 대한 준비를 포함해야 한다:

(i) 저장 현장과 저장 현장 외부의 가능한 배출지점 모두에서 CO_2 (적절한 경우에 CH_4)의 배후 유량(background fluxes)의 측정. 지중 저장 현장은 주입 이전에 자연적이고, 계절적으로 변하는 배출의 (생태적 및/내지 산업적인) 배후 유량을 가질 것이다. 이러한 배후 유량은 연간 배출량의 산정치에 포함되지 말아야 한다. 잠재적 방법에 관한 논의에 대해 첨부 1을 참고한다. CO_2의 배후 유량에 관한 동위원소 분석이 권고되며, 이 분석이 자연적 CO_2와 주입된 CO_2를 구별하는데 도움을 줄 것이기 때문이다.

(ii) 주입 기간에 걸쳐 각 유정에 주입된 CO_2 질량의 지속적 측정, 위의 5.5절을 참고한다.

(iii) 주입 시스템에서의 CO_2 배출을 결정하기 위한 모니터링.

(iv) 적절한 경우에 유정과 샘과 같은 수원(water sources)을 통과하는 것을 포함하여, 해저 내지 지표를 통과하는 CO_2 (그리고 적절하다면 CH_4) 유량을 결정하기 위한 모니터링. 예측하지 못한 누출을 탐지하기 위해, 전체 현장, 그리고 모니터링과 모형이 CO_2가 분포할 것

이라고 제안한 추가 지역의 주기적 조사가 이루어져야 한다.

(v) 주입 후 모니터링: 계획은 주입 단계 이후에 현장에 관한 모니터링을 준비해야 한다. 모니터링의 주입 후 단계는 적절한 장소와 시간에 모니터링 장비가 배치되는 것을 보장하도록 CO_2 분포의 이전 모형의 결과를 고려해야 한다. CO_2가 저장소 내의 예측된 장기적 분포에 접근하고 CO_2 분포의 모형과 모니터링 계획에 따라 이루어진 측정간에 일치가 존재한다면, 모니터링의 빈도를 줄이는 것이 (또는 모니터링을 중단하는 것이) 적절할 것이다. 저장 현장이 예를 들어 지진과 같은, 예측하지 못한 사건에 의해 영향을 받는 경우 모니터링을 다시 할 필요가 있을 것이다.

(vi) 시간에 따른 모니터링 기법/기술의 개선을 포함.

(vii) 배출량 산정치의 주기적 검증. 필요한 주기는 프로젝트 설계, 수행 및 위험 잠재성의 초기 결정의 함수이다. 주입 기간 동안, 적어도 매 5년 또는 현장 운영에서의 중대한 변화 이후에 검증이 제안된다.

주입 압력의 지속적 모니터링과 지하에 있는 CO_2의 분포에 관한 주기적 모니터링은 모니터링 계획의 일부로서 유용할 것이다. 주입 압력의 모니터링은 주입 프로세스를 통제하기 위해, 예를 들어, 저장소에 축적되는 다공성 유체의 압력 초과를 방지하기 위해 필요하다. 이는 저장소 특성에 대한 가치있는 정보와 누출의 사전 경고를 제공할 수 있다. 이는 이미 일반적 관행이며 현재의 지하 주입 작업에 대한 규제적 요구일 수 있다. 저장소 외부로의 CO_2의 이주(migration)에 관한 증거 및 대기 내지 해저로의 잠재적 누출에 관한 사전 경고를 제공할 수 있기 때문에, 지하에 있는 CO_2의 분포를 직접 내지 원격으로 주기적으로 모니터링하는 것은 또한 유용할 것이다.

5. 각 현장으로부터 연간 배출을 수집 및 검증한다: 각 저장 현장의 운영자는, 연간 기준으로, 인벤토리 작성자에게 공개적으로 가용한 연간 배출량 산정치를 제공해야 한다. 특정 연도에 현장으로부터 기록된 배출과 현장의 내외에서 발생한 누출은 모형에서 산정되고, 연간의 모니터링 결과를 고려하여 조정된 배출일 것이다. 예를 들어, 유정의 파열로부터, 갑작스런 방출이 발생한다면, 배출된 CO_2의 양은 인벤토리에서 산정되어야 한다. 근해의 지중 저장을 단순하게 설명하기 위해, 해저로의 누출은 인벤토리를 작성하기 위해 대기로의 배출로 간주되어야 한다. 총 연간배출에 추가하여, 배후 자료에는 주입된 CO_2의 총량, 주입된 CO_2의 배출원, 현재까지 저장된 CO_2의 누적적 총량, 배출량을 산정하기 위해 이용된 기술, 및 위의 4(iii)과 4(iv)에서 지시된 것과 같은 모니터링 계획에 따라 현장 운영자가 착수한 검증 절차가 포함된다. 배출을 검증하기 위해, 인벤토리 작성자는 모니터링의 빈도, 기술적 검출 한계, 및 배출 모니터링 계획에서 확인된 다양한 경로와 검증의 결과로 도입된 변화로부터 발생한 배출의 할당을 포함한, 모니터링 자료의 문서를 요구 및 검토해야 한다. 직접적인 모니터링이 수행되지 않은 연도들 동안 배출량을 산정하기 위해 모형이 이용되었다면, 인벤토리 작성자는 모형의 결과와 최근의 모니터링 자료를 비교해야 한다. 위의 단계 2, 3, 4는 미래의 누출에 대한 잠재성 및 가능한 시점과 직접적인 모니터링에 대한 필요를 나타내어야 한다.

지중 이산화탄소 저장에 대한 총 국가 배출은 현장에 고유한 배출량 산정치의 합계일 것이다:

식 5.1
총 국가 배출

지질적 이산화탄소 저장에서 발생하는 국가 배출 = ∑ 이산화탄소 저장 현장의 배출

하나 이상의 국가가 CO_2 포집, 저장, 및/내지 배출에 관련되는 경우에 배출의 보고에 대한 추가적인 지침은 5.10절: 보고 및 문서화에서 제공된다.

5.7.2 배출계수와 활동자료의 선택

Tier 1 or 2 배출계수는 이산화탄소 저장 현장에 대해 현재 가용하지 않지만, 미래에는 개발될 것이다 (5.7절을 참고). 그렇지만, Tier 3 배출량 산정 프로세스의 일부로서, 인벤토리 작성자는 저장된 연간 및 누적 CO_2 에 대해 운영자로부터 활동자료를 수집해야 한다. 이들 자료는 주입 유정 덮개 내지 인접한 배관에서 쉽게 모니터링될 수 있다.

초기 프로젝트에서 모니터링은 미래에 Tier 1 내지 2 방법론를 개발하는 데 이용될 수 있는 유용한 자료를 구하는데 도움을 줄 것이다. 모니터링 기술의 적용 예는 미국, Colorado의 Rangely (Klusman, 2003a, b, c), 캐나다, Saskatchewan의 Weyburn (Wilson and Monea, 2005), 및 북해, Sleipner의 CO_2 저장 프로젝트 (Arts et al., 2003; 첨부 5.1을 참고)에서 개선된 석유 재생 프로젝트의 모니터링 프로그램에 의해 제공된다. 전 세계에서 나머지 CO_2 주입 프로젝트는 누출적 CO_2 에 대한 체계적 모니터링의 결과를 출판하지 않았다.

Rangely의 개선된 석유 재생 프로젝트는 1986년에 Rangely 유전의 Weber Sand Unit 석유 저장소로 CO_2를 주입하기 시작했다. 2003년까지 투적된 CO_2 주입은 대략 23백만 톤이었다. 모니터링 프로그램은 78 km^2의 현장에 걸쳐 산재된 41개의 측정 위치에 기초하여 착수되었다 (Klusman 2003a, b, c). 주입 전 배후 측정(background measurements)은 가용하지 않았다 (이는 새로운 현장에서, 위에서 요약된 모니터링 계획의 단계 4 (i)에서 결정된다). 주입 전의 기준선 대신에, 유전 외부의 통제지역에서 16개의 측정 위치를 표본으로 추출했다. 모니터링 프로그램의 결과는 유전 위의 지표로부터 발생하는 깊은 곳에서 공급되는 3 800 톤/연도 미만의 연간 CO_2 배출량을 나타낸다. 전부는 아니지만, 이 유량의 적어도 일부는 석유저장소 내지 상부의 지층에서 도출된 깊은 곳에서 공급되는 메탄의 산화로 인한 것이다. 그러나 그 일부는 석유 저장소에 주입된 CO_2의 탈루성 배출일 수 있다. 주입 전 기준선 측정의 부재는 배출원의 최종적인 확인을 방해한다.

2000년 9월 이후로 EOR을 위해 Weyburn 유전 (Saskatchewan, Canada)에서 CO_2가 주입되어 왔다. 배후 농도 및 저장소로부터 CO_2 내지 관련 추적 가스(tracer gases)의 누출 여부를 결정하려는 주된 목적을 가지고, 토양 가스(Soil gas) 표본 추출이 2001년 7월과 2003년 10월의 세 기간에 발생했다. 주입된 CO_2의 누출의 증거는 지금까지 없다. 그렇지만, 이것이 미래에도 사실이라는 것을 검증하기 위해 토양 가스의 추가적인 모니터링이 필요하며, 토양 가스 함유량의 변화 원인을 이해하고 가스 유출의 추가적인 가능한 도관(conduits)을 조사하기 위해 보다 상세한 작업이 필요하다 (Wilson and Monea 2005).

노르웨이 근해의 북해에 있는 Sleipner CO_2 저장 현장 (Chadwick et al. 2003)은 1996년 이후로

염수성 지층인 Utsira Sand에 연간 대략 백만톤의 CO_2를 주입해왔다. 2004년까지 누적된 CO_2 주입은 7백만톤 이상이다. 지하에 있는 CO_2 의 분포는 반복적인 3-D 지진조사 (지금까지 주입 전 및 두 번의 반복 조사가 공개적으로 가용하다)와 이후에, 중력조사 (지금까지 단지 한 번의 조사가 입수되었다)로 모니터링되고 있다. 3D 지진조사의 결과는 누출 증거가 없음을 나타낸다 (Arts et al. 2003).

함께 고려될 때, 이들 연구는 영의 배출량 산정치를 지원하거나, 누출이 발생할 경우 낮은 수준에서도 누출을 탐지하기 위해 Tier 3 방법론이 실행될 수 있음을 보여준다.

CO_2를 주입물로 이용한 개선된 탄층 메탄 (ECBM) 생산에 관한 단 하나의 대규모 시도가 존재한다; 미국, San Juan Basin에서의 Allison 프로젝트 (Reeves, 2005). CO_2가 탄층에 안전하게 격리된다는 것을 나타내는, Allison 프로젝트로부터 도출된 충분한 정보가 존재한다. 4개의 주입정(injection wells)과 15개의 생산정(production wells)에서의 압력 및 혼합물 자료는 누출이 없음을 나타낸다. 대략 5년 후에 일부의 CO_2가 생산정으로부터 재생되었다. 그렇지만, 이를 기대했고, 인벤토리를 위해, (생산된 탄층 메탄에서 분리되어 재활용되지 않는다면) 이는 배출로 고려된다. CO_2 내지 메탄 누출에 대한 지표 모니터링은 착수되지 않았다.

5.7.3 완전성

모든 CO_2 저장 현장에서 발생하는 모든 배출 (CO_2 및 적절한 경우에, CH_4)이 인벤토리에 포함되어야 한다. CO_2 저장과 다른 국가에서 CO_2 포집이 발생하는 경우에, 저장의 이중계산이 없는 것을 확실히 하는 합의가 관련 국가의 인벤토리 작성자들 간에 이루어져야 한다.

현장의 특징 부여 및 모니터링 계획은 현장 외부의 가능한 배출원 (예를 들어, 측면 이주(lateral migration), 지하수 등)을 확인해야 한다. 대안적으로는 내부의 정보에 기초하여, 현장 외부의 장소에 대한 반응적 전략이 전개될 수 있다. 저장 작업 (CO_2 주입)이 발생하는 국가 밖에서 배출이 예측되거나 발생한다면, 이들 배출을 모니터링 및 계산하기 위해 관련 국가의 인벤토리 작성자들 간에 합의가 이루어져야 한다 (아래의 5.10절을 참고).

석유에 용해되어 표면처리의 결과로 대기중에 배출된 CO_2의 산정치는 가스 및 석유 생산에 대한 방법론에서 다루어진다. 인벤토리 작성자는 CO_2 저장 현장에서 수집된 이러한 배출에 대한 정보가 해당 배출원 카테고리의 산정치와 일치하는지 확인해야 한다.

5.7.4 일관적 시계열의 개발

시간에 지남에 따라 모니터링 장비의 탐지 능력이 개선되거나, 이전에 기록되지 않은 배출이 확인되거나, 또는 확인되지 않은 배출이 발생했다고 갱신된 모형이 제안하고, 갱신된 모니터링 프로그램이 이를 보강한다면, 배출의 적절한 재계산이 필요할 것이다. 가장 발전된 현재의 기술을 이용하는, 현재의 모니터링 장비와 관련된 일반적으로 낮은 정밀도에서 이는 특히 중요하다. 배후 유량 및 변동의 설정 또한 결정적이다. 전용의 CO_2 저장 현장에 대해, 주입 및 저장 이전에 인간활동에 의한 배출은 0일 것이다. 일부의 개선된 석유 재생 작업에 대해, CO_2 저장 현장으로 전환하기 전에 인간활동에 의한 배출이 존재할 지 모른다.

5.8 불확도 평가

Tier 3 방법을 이용할 때 불확도 평가가 포함되는 것은 *우수실행(good practice)*의 일부이다. 배출량 산정치의 불확도는 배출을 검증 및 측정하기 위해 이용된 모니터링 기법의 정밀도와 저장 현장에서 발생하는 누출을 예측하기 위해 이용되는 모형에 좌우될 것이다. 불확도 비율(percentage uncertainties)의 개념은 이 부문에서 적용 가능하지 않을 것이므로 신뢰구간 및/내지 확률곡선이 주어질 수 있을 것이다.

현지 측정의 불확도는 가장 중요하며, 측정의 표본추출 밀도 및 빈도에 의존할 것이고 표준적인 통계 방법을 이용하여 결정될 수 있다.

저장소 모형은 장기간 동안의 유체의 움직임을 예측하기 위해 설계되며, 지중 저장소는 원래 이질적이고 변하기 쉽기 때문에, 효과적인 저장소 시뮬레이션은 물리적인 특성 - 특히 저장소 암석 및 저장소 유체의 속성 - 의 변동 및 불확도의 문제를 다룬다. 그러므로 모형에서 도출된 산정치의 불확도는 다음에 의존한다:

- 현장 평가 동안 이용된 주된 자료의 완전성
- 지질적 모형과 현장 및 주변 지역 지질의 중대한 측면 - 특히 가능한 이주 경로의 처리 - 간의 대응성

모형을 지원하는 결정적 자료의 정확성:

- 격자 블록(grid blocks)에 의한 이후의 수치적 표현
- 이화학적인 수치적 및 분석적 모형에서 프로세스의 적절한 표현

모형의 입력변수를 변화시키고, 단기적인 모형 결과 및 장기적인 예측에 대한 영향을 결정하기 위해 다수의 시뮬레이션에 착수함으로써 불확도 산정이 전형적으로 이루어진다. 현지 측정의 불확도는 측정의 표본추출 밀도 및 빈도에 의존할 것이며 표준적인 통계 방법을 이용하여 결정될 수 있다. 모형 추정과 측정이 모두 가용한 경우에, 배출의 가장 좋은 추정은 모형의 타당성을 검증하고 갱신된 모형을 가지고 배출량을 산정함으로써 이루어질 것이다. 역사적으로 일치하는 모형을 이용한 다수의 구현은 이들 추정치의 불확도를 다룰 수 있다. 이들 자료는 원래의 모니터링 요구사항을 수정하고 (예를 들어 새로운 위치 내지 기술을 추가하고, 빈도를 증가 내지 감소시킨다), 최종적으로는 시설을 중단하기 위한 정보에 근거한 의사결정의 기초를 구성하기 위해 이용될 것이다.

5.9 인벤토리 QA/QC

전체 CCS 시스템을 위한 QA/QC
CO_2 포집은 이를 장기적인 저장과 연결하지 않은 채로 보고하지 말아야 한다.

포집된 CO_2의 질량이 저장된 CO_2의 질량 더하기 인벤토리년도의 보고된 탈루성 배출을 초과하지 않는지 체크해야 한다 (표 5.4).

지금까지 CCS에 제한된 경험이 존재했지만, 다음 수년동안 경험이 증가할 것으로 기대된다. 그러므로, 국제적으로 비교가능한 현장간에 모니터링방법 및 가능한 누출의 시나리오를 비교하는 것은

*우수실행(good practice)*일 것이다. 모니터링 방법론 및 기술을 개발할 때 국제간 협력이 또한 유리할 것이다.

표 5.4
검토 표: CO_2 포집, 수송, 주입의 검토 및 장기적인 저장을 위한 CO_2

카테고리	활동		CO_2 (Gg) [1]
	자료 원천	단위	
저장을 위해 포집된 총량 (A)	관련된 모든 카테고리들로부터 합산	Gg	
저장을 위해 수입된 총량 (B)	파이프 라인 회사 내지 통계 기관으로부터의 자료	Gg	
저장을 위해 수출된 총량 (B)	파이프 라인 회사 내지 통계 기관으로부터의 자료	Gg	
저장 현장에서 주입된 CO_2의 총량 (D)	5장에서 기술한 것처럼, 운영자가 제공하는 저장 현장으로부터의 자료	Gg	
수송 동안 누출의 총량 (E1)	IPCC 보고 카테고리 1 C 1으로부터의 합계	Gg	
주입 동안 누출의 총량 (E2)	IPCC 보고 카테고리 1 C 2 a로부터의 합계	Gg	
저장 현장에서 누출의 총량 (E3)	IPCC 보고 카테고리 1 C 2 b로부터의 합계	Gg	
총 누출 (E4)	E1 + E2 + E3	Gg	
포집 + 수입 (F)	A + B	Gg	
주입 + 누출 + 수출 (G)	D + E4 + C	Gg	
불일치	F - G	Gg	

[1] 포집이 되면, 생체 탄소(biogenic carbon)와 화석연료(fossil carbon)간에 차별화된 처리는 없다: 양쪽의 배출 및 저장이 산정 및 보고될 것이다.

이상적으로는 (포집 + 수입) = (주입 + 수출 + 누출)

(포집 + 수입) < (주입 + 수출 + 누출) 이면 다음을 체크할 필요가 있다

수출이 과대 산정되지 않았다.

수입이 과소 산정되지 않았다.

CO_2 주입에 대한 자료는 저장과 관련되지 않은 EOR 작업을 포함하지 않는다.

(포집 + 수입) > (주입 + 수출 + 누출) 이면 다음을 체크할 필요가 있다

수출이 과소 산정되지 않았다.

수입이 과대 산정되지 않았다.

'장기적 저장'으로 지정된 CO_2 포집은 실제로는 다른 단기적 배출 용도로 갈 것이다 (예를 들어, 제품, 저장이 없는 EOR)

현장의 QA/QC

현장의 QA/QC는 운영자에 의한 모니터링 장비 및 현장의 기반시설에 관한 정기적인 조사에 의해 달성될 것이다. 모니터링 장비 및 프로그램은 인벤토리 작성자 및/내지 규제기관에 의한 독립적인 조사를 필요로 할 것이다.

현장의 특징 부여 보고서를 포함한 모든 자료, 지질적 모형, CO_2 주입의 시뮬레이션, 현장에 관한 예측 모형, 위험 평가, 주입 계획, 라이센스 적용, 모니터링 전략 및 결과, 및 검증이 QA/QC를 위해 운영자에 의해 유지되어야 하며, 인벤토리 작성자에게 전송되어야 한다.

인벤토리 작성자는 주어진 저장시설의 누출 비율을 비슷한 저장 현장과 비교 (벤치마크)해야 하며 성능 차이에 대한 이유를 설명해야 한다.

적용 가능한 경우에, 관련 규제기관은 배출량 산정치의 검증 및/내지 위에서 기술된 모니터링계획을 제공할 수 있다. 이러한 기관이 존재하지 않는다면, 현장 운영자는 처음부터 인벤토리 작성자에게 지질적 및 수치적 모형이 대표성이 있고, 저장소 시뮬레이터가 적절하고, 모형이 현실적이고, 모니터링 계획이 적절하다는 것을 확인하는 유능한 제3자에 의한 전문가 검토(peer review)를 제공해야 한다. 그것이 가용할 때, 현장 운영자는 모니터링 프로그램의 결과를 예측 모형과 비교하고, 모형, 모니터링 프로그램 및/내지 주입 전략을 적절히 수정해야 한다. 현장 운영자는 인벤토리 작성자에게 변화사항을 알려주어야 한다.

5.10 보고 및 문서화

지중 저장에서 발생하는 배출을 보고하기 위한 가이드라인:
지중 저장 작업의 시작에 앞서, 저장이 발생하는 곳의 국가 인벤토리 작성자는 다음을 획득 및 보관해야 한다:

- 현장 특징부여의 방법 및 결과에 대한 보고서
- 모형의 방법 및 결과에 대한 보고서
- 적절한 배후 측정을 포함한 제안된 모니터링 프로그램에 관한 설명
- CO_2 저장이 시작 내지 시작될 연도
- CO_2의 제안된 배출원과 배출원 및 저장소 간의 전체적인 CCGS 체인에 있는 관련 기반시설 동일한 국가 인벤토리 작성자는 각 현장으로부터 매년 다음을 접수해야 한다:
- 보고연도 동안 주입된 CO_2의 질량
- 보고연도 동안 저장된 CO_2의 질량
- 현장에 저장된 CO_2의 누적 질량
- CO_2의 배출원과 배출원 및 저장소 간의 전체적인 CCGS 체인에 있는 관련 기반시설
- 모니터링 프로그램의 이론적 근거, 방법, 모니터링 빈도 및 결과를 상세히 설명하는 보고서 - 이는 보고연도 동안 저장 현장에서 대기 내기 해저로 발생한 CO_2 및 기타 온실가스의 탈루성 배출 질량을 포함한다.
- 모니터링 결과에 비추어 필요했던 현장의 모형화 및 사전 모형화의 수정에 대한 보고서
- 보고연도 동안 저장 현장에서 대기 내지 해저로 발생한 CO_2 및 기타 온실가스의 탈루성 배출 질량
- 이용된 모니터링 프로그램 및 모니터링 방법, 모니터링 빈도 및 결과에 관한 설명

• 모니터링 프로그램 및 방법의 제3자 검증의 결과

현장이 배출권 거래 사업 계획의 일부인, 프로젝트 수준에서 추가적인 보고 요구사항이 존재할 것이다.

경계간 CCS 작업의 보고

CO_2 가 한 국가, A 국가에서 포집되고 다른 국가, B 국가에서 저장하기 위해 수출될 지 모른다. 이러한 시나리오 하에서, A 국가는 포집된 CO_2의 양, A 국가에서 발생하는 수송 및/내지 일시적 저장에서 발생하는 배출, 및 B 국가에 수출되는 CO_2의 양을 보고해야 한다. B 국가는 수입된 CO_2의 양, (B 국가에서 발생하는) 수송 및/내지 일시적 저장에서 발생하는 배출, 및 주입 및 지중 저장 현장에서 발생하는 배출을 보고해야 한다.

CO_2가 한 국가, A 국가에서 주입되고, 저장 현장에서 이동하여, 다른 국가, B 국가에서 누출된다면, A 국가는 지중 저장 현장에서 발생하는 배출을 보고할 책임이 있다. 이러한 누출이 현장의 특징 부여 및 모형화에 기초하여 예측된다면, 장기적인 저장과 모니터링 및/내지 배출량의 산정에 대한 적절한 표준을 확인하기 위해 A 국가는 B 국가와 합의를 해야 한다 (관련 규제기관은 지하수 보호 및/내지 석유 및 가스의 재생에 관한 경계간 문제를 다루는 기존의 합의를 가지고 있을 것이다).

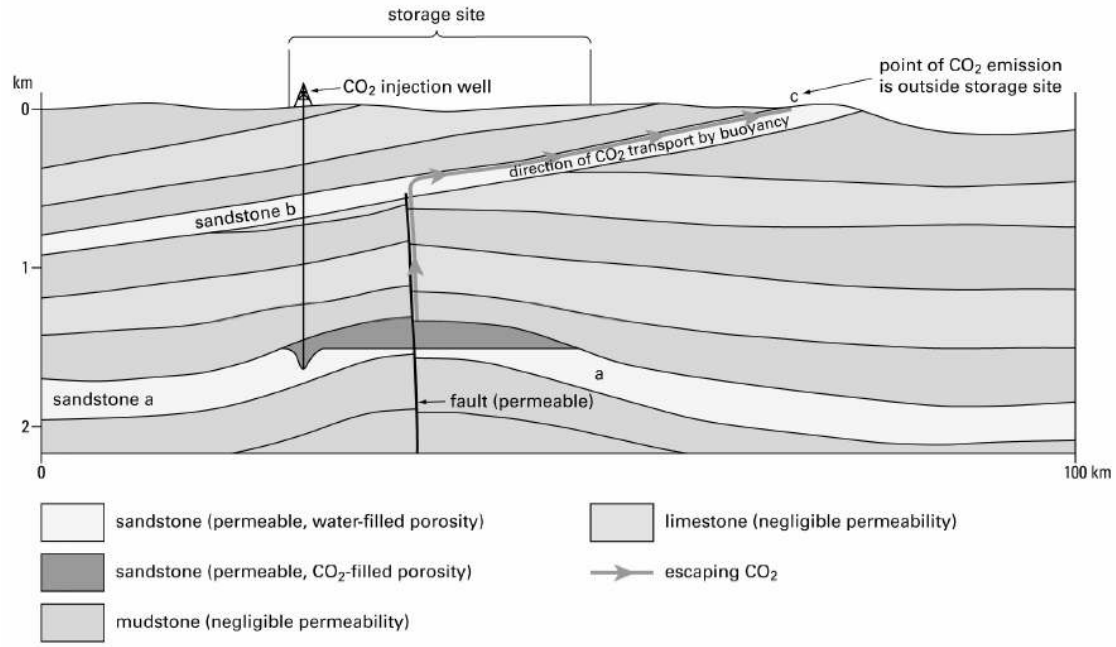
하나 이상의 국가가 공통적인 저장 현장을 이용한다면, 지중 저장이 발생하는 국가는 해당 현장에서 발생하는 배출을 보고할 책임이 있다. 배출이 해당 국가의 밖에서 발생한다면, 위에서 기술된 것처럼 그러한 배출을 보고할 책임이 여전히 있다. 저장 현장이 하나 이상의 국가에서 발생하는 경우에, 관련 국가들은 각자가 무엇에 의해 총 배출의 합의된 부분을 보고할 지 합의를 해야 한다.

첨부 5.1 지중 CO_2 저장 현장을 위한 잠재적인 모니터링기술에 관한 요약적 설명

CO_2의 지중 저장을 모니터링하는 것은 지중 저장소의 주입 지점에서 지표 내지 해저로의 경로를 따라, 주입된 CO_2의 분포, 단계 및 질량을 정의할 수 있는 다양한 기법의 이용을 필요로 한다. 이는 일반적으로 여러 가지 다른 기법들을 동시에 적용하는 것을 필요로 할 것이다.

저장소로부터 CO_2의 누출을 초래할 수 있는 특성, 사건 및 프로세스를 확인하고, 누출이 반드시 주입 현장 위에서 있을 필요는 없기 때문에 (그림 A1), 저장소로부터 CO_2의 누출이 있는 경우에 잠재적인 CO_2 수송로 및 유량을 모형화할 수 있도록 저장 현장 및 주변 지역의 지질은 특징이 부여되어야 한다.

그림 A1) 저장 지점 밖에서 발생하는 지중 저장소에서의 CO_2 누출에 대한 잠재성 묘사



CO_2가 저장소 (a)에서 탐지되지 않은 단층을 통해 다공성 및 투과성이 있는 저장소 암석 (b)으로 이주한다면, CO_2는 부력에 의해 지점 (c)의 지표로 수송될 것이다. 이는 미래의 미지의 시간에 현장 자체에서 수 킬로가 떨어진 지표에서 CO_2의 배출을 가져올 것이다. 저장 현장 및 주변 지역의 지질에 관한 특징 부여와 잠재적인 누출 시나리오 및 프로세스에 관한 수치적 모형화는 주입 프로세스 동안 및 그 이후에 지표 및 지하의 모니터링장비를 정확히 위치시키는데 필요한 정보를 제공할 수 있다,

표 A5.1 - A5.6는 깊은 지하 (지표 내지 해저 아래의 대략 200 미터에서 5 000 미터의 지역), 얕은 지하 (대략적으로 지표 내지 해저 아래의 최대 200 미터) 및 지표 근처 (지표 내지 해저의 위 및 아래 10 미터 미만인 지역)에서 CO_2 를 모니터링하기 위해 이용될 수 있는 보다 일반적인 모니터링 기법 및 측정 도구를 나열한다.

주어진 상황에서 가장 정확한 결과를 생산할 기법이 이용되어야 한다. 적절한 기법은 일반적으로 전문가에게는 명확하지만, 상대적인 적합성을 위해 서로 다른 기법들이 또한 평가될 수 있다. 대부분의 기법을 위해 예민하게 정의된 검출 한계(detection limits)는 존재하지 않는다. 현지에서, 지하 저장소에 있는 CO_2 의 분포, 단계 및 질량을 측정하는 그들의 능력은 현장에 고유할 것이다. 이는 현장 및 주변 지역의 지질과 온도, 압력 및 수분으로 포화된 지하(water saturation underground)의 주변 상황 그리고 기법 내지 측정 도구 자체의 이론적 민감도에 의해 결정될 것이다.

비슷하게, 지표 모니터링 기법의 검출 한계는 모니터링 도구 자체의 민감도뿐만 아니라 환경적 입력변수에 의해 결정된다. 육지의 지표 근처 시스템에서, CO_2 유량 및 농도는 광합성 동안 식물에 의한 CO_2 흡수, 뿌리 호흡, 토양에서의 미생물의 호흡, CO_2의 깊은 기체방출(deep outgassing) 및 토양과 대기 간의 CO_2 교환에 의해 결정된다 [Oldenburg and Unger 2003]. 인간이 만든 CO_2 저장소에서의 CO_2 기체방출(outgassing)은 가변적인 자연적 상황과 구별될 필요가 있다 (Oldenburg and Unger 2003, Klusman 2003a, c). 탐지된 CO_2에서 안정 탄소 동위원소 및 방사성 탄소 동위원소의 비율에 관한 분석은 이 프로세스에 도움을 줄 수 있다.

대부분의 기법은 주입이 시작되기 전에 이루어진, 예를 들어, CO_2의 배후 유량(background fluxes)을 결정하는, 기준선 조사(baseline surveys)와의 조절 내지 비교를 요구한다. 깊은 지하에서 모니터링하기 위한 전략은 Weyburn 유전과 Sleipner CO_2 저장 현장에서 적용되었다 (Wilson and and Monea 2005, Arts et al. 2003). 4D 지진 조사(seismic surveys)에 관한 해석은 양쪽의 경우에 매우 성공적이었다. Weyburn 유전에서는 많은 유정의 일부에서 얻은 지구화학적(geochemical) 정보가 매우 유용한 것으로 입증되었다.

지표 및 지표 근처의 연안을 모니터링하기 위한 전략이 제안되고 (Oldenburg and Unger 2003), 적용되었다 (Klusman 2003a, c; Wilson and Monea 2005). 토양가스(Soil gas) 조사와 지표가스량(surface gas flux) 측정이 이용되었다. 지금까지는 특히 근해에서 CO_2에 대한 얕은 지하 내지 해저 모니터링에 관한 적용은 없었다. 천연가스 침출(seepage) 및 그것이 얕은 지하 및 해저에 미치는 영향에 관한 모니터링이 착수되었고, CO_2 침출에 대한 유사 사례로 간주되었다 [예를 들어, Schroot and Schüttenhelm 2003a, b].

표 A 5.1
잠재적인 깊은 표면하의 모니터링 기술과 적용 가능성

기법	능력	감지 한계	적용가능한 장소, 비용	한계	현재의 기술 상태
2D, 3D 및 4D (저속 촬영)와 다중 요소의 지진파 반사 조사	현장 및 주변 지역의 지질적 구조, 저장소 암석 및 덮개암의 구조, 분포 및 두께, 저장소에서의 CO_2의 분포 (및 저속 촬영 조사를 통한 이동)를 이미지화한다. 저장소 내의 CO_2 양을 (한계내에서) 검증한다. 저속 촬영 (4D)을 얻기 위해 영구적인 지진파 장치가 설치될 수 있다.	현장에 고유함. 목표의 최적 깊이는 일반적으로 500-3000 m. 기법의 최적값에 근접한 Sleipner에서, Utsira Sand의 감지 한계는 c. 2800 톤 CO_2이다. Weyburn에서, 감지 한계는 c. 2500 - 7500 톤 CO_2이다(White et al. 2004). 상층부 지층에 분산된 CO_2는 감지될 수 있다 밝은 지점으로 표시되는 얕은 천연가스 지역 및 가스 굴뚝(gas chimneys)의 분산된 메탄이 잘 이미지화될 수 있다.	해안 및 근해. 일반적으로 해상도는 깊이에 따라 감소하며, 카르스트 지형과, 염분 및 가스 아래에서 이미지가 보다 나빠진다.	용해된 CO_2를 이미지화할 수 없다 (CO_2가 포화된 공극 유체와 천연 공극 유체 간의 불충분한 임피던스 대조(impedance contrast)). 유체와 CO_2가 포화된 암석 간에 임피던스 대조가 작은 경우에 제대로 이미지화할 수 없다. 이는 매우 일반적일 것이다 (Wang, 1997)	고도로 개발되어 있으며 석유 및 가스 산업에서 완전한 상업적 배치가 이루어짐
시추공 간의 지진파 조사 (Crosshole seismic)	시추공 간의 속도 분포를 이미지화한다. 암석 및 그에 포함된 유체에 관한 2D 정보를 제공한다.	현장에 고유함. 해상도는 지표 지진파 반사 조사보다 높을 수 있지만 적용범위는 보다 제한적이다.	해안 및 근해	위와 같으며, 시추공 간의 영역으로 제한된다.	고도로 개발되어 있으며 석유 및 가스 산업에서 완전한 상업적 배치가 이루어짐
수직 지진파 프로필 (Vertical seismic profile)	단일 시추공 주변의 속도 분포를 이미지화한다. 시추공 주변의 유체 압력 분포를 묘사한다. 시추공 주변의 누출에 관한 잠재적인 초기 경고.	현장에 고유함	해안 및 근해	위와 같으며 단일 시추공 주변의 작은 영역으로 제한된다.	고도로 개발되어 있으며 석유 및 가스 산업에서 완전한 상업적 배치가 이루어짐

표 A 5.1(계속)
잠재적인 깊은 표면하의 모니터링 기술과 적용 가능성

기법	능력	검출 한계	적용가능한 장소, 비용	한계	현재의 기술 상태
마이크로 지진파 모니터링 (Microseismic monitoring)	저장소 암석 및 주변 지층의 미세균열의 위치를 탐지 및 삼각측량한다. 주입된 유동체 전선의 위치를 표시한다. 유도된 지진파 위험을 평가한다.	현장에 고유함. 다른 요인들 중에 배경 잡음 (background noise)에 좌우된다. 보다 많은 시추정에 보다 많은 수신기는 사건의 위치에 보다 큰 정확성을 제공한다.	해안 및 근해	배치를 위한 시추정을 요구한다.	잘 개발되어 있으며 일부 상업적 배치가 이루어짐
시추정 모니터링 (Monitoring wells)	CO_2 포화, 유동체 압력, 온도의 측정을 포함한 많은 잠재적 기능. 시멘트 내지 파이프의 퇴화 내지 고장. 시추정 기록. 추적자 탐지(Tracer detection) - 빠르게 움직이는 추적자는 운영 입력변수를 변경함으로써 누출 방지에 개입할 가능성을 제공할 것이다. 지층 유동체의 지구화학적 변화의 탐지. 암석 및 유동체의 물리적 표본추출. CO_2 주입에 의해 초래되는 지표 움직임을 탐지하기 위한 시추정내 경사계. 저장소에서의 누출 징후를 확인하기 위해 저장소를 덮고 있는 지층을 모니터링함.	하향공의 지구과학적 표본은 Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (10억분의 1의 해상도를 가짐)에 의해 분석될 수 있다. 과불화탄소 추적자는 10^{12}의 1에서 탐지될 수 있다. 시추정 기록은 많은 입력변수 (다공성, 저항력, 밀도 등)의 정확한 측정을 제공한다.	해안 및 근해. 근해에 접근하는 것은 보다 비용이 많이 듬.	어떤 기능은 시추정이 포장되기 전에 단지 수행될 수 있다. 다른 기능은 포장의 어떤 구간의 관통을 요구한다. 비용은 특히 근해에서 제한사항이다.	시추정 모니터링은 예를 들어 천연가스 저장 산업에 배지되어 있음. 많은 도구가 고도로 개발되어 있으며 석유 및 가스 산업에 정기적으로 배치되며, 다른 도구는 개발중임.
주입, 지층 압력 검사 동안 시추정 덮개 압력의 모니터링	계기를 통해 시추정 덮개에서 주입 압력을 지속적으로 모니터할 수 있다 (Wright & Majek 1998). 계기를 통해 하향공 압력을 모니터할 수 있다.	석유 및 가스전 저장소 공학 및 매장량 추정을 위해 입증된 기술. CO_2 주입으로 인한 요소 성분의 미묘한 변화를 탐지하기 위해 이용되는 ICP-MS.	해안 및 근해. 해안이 보다 비용이 많이 듬.		고도로 개발되어 있으며 석유 및 가스 산업에서 완전한 상업적 배치가 이루어짐

	투과성, 저장소의 장애물의 존재, 유동체를 유지하는 덮개암의 능력을 측정하기 위해 시추정에서 적용된 주입압력 검사 및 생산 검사.				
인력 조사 (Gravity surveys)	저장소의 원래 공극 유동체(pore fluid)를 대체하는 주입된 CO_2에 의한 인력의 작은 변화로부터 질량을 측정하고 주입된 CO_2 분포의 근사치를 구한다. 특히 밀도의 변화 때문에 초임계 유동체(supercritical fluid)에서 가스로 단계 변화가 관련될 때, 반복적인 조사로 수직적인 CO_2 이동을 탐지할 수 있다. 검출한계는 나쁘며 현장에 고유하다.	대략 수십만에서 수백만 톤에서 탐지할 수 있는 최소량 (Benson et al. 2004; Chadwick et al 2003). 탐지할 수 있는 실제량은 현장에 고유하다. 자연적인 공극 유동체와 주입된 CO_2 간의 다공성 및 밀도 대비가 클수록, 해상도가 좋아진다.	해안 및 근해. 연안이 저렴함.	용해된 CO_2를 이미지화할 수 없다. (자연적인 공극 유동체와의 불충분한 밀도 대비)	고도로 개발되어 있으며 석유 및 가스 산업에서 완전한 상업적 배치가 이루어짐. 지구 물리학적 연구에 널리 이용됨.

표 A 5.2
잠재적인 얕은 표면하의 모니터링 기술과 적용 가능성

기법	능력	검출한계	적용가능한 장소, 비용	한계	현재의 기술 상태
스파커(Sparker): 대략 0.1에서 1.2 kHz의 중심 주파수를 가지는 지진파 원천은 일반적으로 얕은 깊이에서 견인된다.	얕은 지하에 있는 가스 분포 (의 변화)를 이미지화한다 (전형적으로 음향 차단, 밝은 지점, 반사물 개선에 의해 표시됨).	일반적으로 2% 이상의 자유 가스 농도는 음향 차단에 의해 확인된다. 수직 해상도 >1m	근해	깊이 견인되는 부머보다 높은 관통력과 낮은 해상도. 농도가 5% 이상일 때 가스 계량이 어려울 수 있다.	고도로 개발되고, 해저 및 얕은 지진파 조사와 해양 연구에서, 상업적으로 폭넓게 배치됨.
깊이 견인되는 부머(boomer): 대략 2.5 kHz의 중심 주파수를 가지는 광대역의 음향 펄스를 생성하는 지진파 원천은 깊이 견인된다.	침전물에서 얕은 가스 분포 (의 변화)를 이미지화한다 (전형적으로 음향 차단, 밝은 지점 등에 의해 표시됨). 해저의 지형을 이미지화한다. 해수에서 거품 흐름을 이미지화한다.	일반적으로 2% 이상의 자유 가스 농도는 음향 차단에 의해 확인된다. 해저 지형의 해상도는 전형적으로 1 미터 미만이다. 관통력은 대략 해저 200m 이하까지일 것이다.	근해	메탄 거품보다 잘 녹는 거품 흐름은 상대적으로 얕은 물기둥(water columns) (대략 50m)에서 용해될 것이다. 거품 흐름은 간헐적이고 단일한 조사에 의해 누락될 수 있다. 부머의 정확한 위치선정이 필수적이다.	고도로 개발되고, 해저 및 얕은 지진파 조사와 해양 연구에서, 상업적으로 폭넓게 배치됨.
측방 모니터링용 수중 음파 탐지기 (Sidescan sonar)	해저 지형을 이미지화한다. 해수에서 거품 흐름을 이미지화한다. 예를 들어, 탄산염 시멘트화 같은 해저 지형의 특성 부여	가스 거품을 탐지하는 최적의 방법.	근해	위와 같음. 측방 모니터링용 수중 음파 탐지기의 정확한 위치 선정이 필수적이다.	고도로 개발되고, 해저 및 얕은 지진파 조사와 해양 연구에서, 상업적으로 폭넓게 배치됨.
멀티-빔 음향 측심 (구획 수심 측량) Multi-beam	해저 지형을 이미지화한다. 반복 조사는 지형 변화의 계량화를 허용한다. 후방 산란으로 해저	10cm 만큼 작은 해저 지형의 변화를 확인할 수 있다.	근해	위와 같음. 단시간에 큰 적용범위	해양 연구에 폭넓게 배치됨.

echo-sounding (Swath bathymetry)	지형이 확인된다.				
전기적 방법 (Electrical methods)	특히 CO_2가 초임계일 때, 천연 공극 유동체가 CO_2로 대체됨에 따른 저항력의 변화를 탐지한다. EM과 전기적 방법은 잠재적으로 저장소의 CO_2 산포를 표시할 수 있을 것이다. 지표면 EM은 저장소내의 CO_2 포화도 변화를 표시할 잠재력을 가질 것이다.	상대적으로 낮은 비용 및 낮은 해상도	해안 및 근해의 표면 EM 능력이 입증되었다. CO_2 저장에서의 응용에 대한 개발이 필요하다.	해상도 - 개발 및 추가적인 입증을 필요로 함.	연구단계

표 A 5.3
지표나 물에서 대기로 방출되는 플럭스의 결정 기술과 적용 가능성

기법	능력	검출한계	적용가능한 장소, 비용	한계
에디 공분산 기법 (Miles, Davis and Wyngaard 2005).	탐지 장비의 수학적으로 정의된 발자국 역풍(footprint upwind)에서 대기의 CO_2 유량을 측정한다. 장비는 플랫폼이나 탑에 설치된다. 발자국을 정의하고 유량을 계산하기 위해 일반적으로 고정된 공개 내지 폐쇄 경로의 적외선 CO_2 감지기로부터, 가스 분석 자료가 풍속과 방향으로 통합된다.	시간으로 측정한, 생물학적으로 활동적인 영역에서 탐지가 가능한 실제적인 유량 = 4.4 x 10^{-7}kg $m^{-2}s^{-1}$= 13870 t km^{-2}/년 (Miles, Davis and Wyngaard 2005)	해안에서만 이용될 수 있다. 입증된 기술. 상대적으로 저렴. 유량을 측정하고 누출을 탐지하기 위해 상대적으로 큰 영역을 조사할 수 있는 잠재력. 누출이 탐지되면 이를 정확하게 지적하기 위해 발자국에 관한 상세한 (휴대용 IR CO_2 감지기 내지 토양 가스) 조사가 요구될 것임.	전체 현장을 감당하기 위해 여러 개의 장비 탑이 필요할 것이다. 10 m 탑에 설치된 감지기로 대략 10^4-$10^6$$m^2$의 발자국이 존재할 것이다. 측정을 자동화하도록 개발하는 것이 바람직하다. 유량의 계량적 측정은 평지 지역으로 제한될 것이다.
누적 챔버 기법(Accumulation chambers technique), 유량을 측정하기 위해 현장 IR 내지 표본 추출된 가스의 실험실 분석을 이용한다 (Klusman 2003).	알려진 부피의 누적 챔버는 지상에 설치되며 예를 들어 그 주변에 흙을 쌓아 지표와 느슨하게 연결되거나 지표에 삽입된 고리(collars)위에 설치된다. 챔버내의 가스는 주기적으로 표본추출되고 예를 들어, 휴대용 IR 가스 감지기에 의해 분석되며, 시간에 따른 축적을 모니터하기 위해 챔버로 반환된다. 토양을 통과하는 어떤 유량을 탐지한다.	0.04g CO_2 m^{-2}일$^{-1}$ = 14.6 t/km^2/년의 유량을 쉽게 탐지할 수 있다 (Klusman 2003a). 주된 주제는 다양한 생체적 배경 수준에 대해 진정한 지하 누출을 탐지하는 것이다 (잠재적으로, 이 경우에 추적자가 도움이 될 수 있다). 생물학적 활동의 계절적 변화가 겨울동안 진정되기 때문에 겨울에 보다 작업이 잘된다.	Rangely에서 입증된 기술 (Klusman 2003a, b, c). 다른 가스의 분석과 안정 및 방사성 탄소 동위원소 분석 - 이는 수집된 CO_2의 원천을 확인하는데 도움이 된다- 을 조합하여 이용될 때 강력한 도구. 주입된 CO_2 에 추가된 추적자 가스는 이 경우에 도움이 될 수 있다 - 빠르게 움직이는 추적자의 탐지는 운영중인 입력변수를 변경함으로써 누출 방지에 개입할 기회를 제공할 지 모른다.	표본 점들간의 차이는 탐지되지 않은 누출의 이론적 가능성을 보여준다. 석유 및 가스 부문에서 저장소로부터 누출된 CO_2가 아니라 미생물에 의해 산화된 CH_4 일지 모르는 가능성이 존재한다.
지하수 및 지표수의 가스 분석	지하수와 샘과 같은 지표수의 가스 함유량을 표본을 추출하여 측정한다. 다음이 가능하다: a) 액체 위에 부분적 진공을 만들어 용해된 가스를 추출한다. 가스 크로마토그래피, 질량 분석 등에 의한 가스 분석. b) 신선한 표본에 대해, 중탄산염 함유량에 대한 분석. 이는 본질적으로 Weyburn의 들판과 수원(well-head)에서 수행되었던 것이다 (Shevalier et al. 2004). 용해된 CO_2와 중탄산염 함유량이 연관되어 있기 때문에, (균	배경 수준은 낮은 ppm 범위에 있을 것 같다. 중탄산염에 대한 검출한계는 2 ppm 이하에 해당된다.	해안. CO_2 배출에 대한 대안적 경로를 제공하기 때문에 지표 대 대기의 유량 측정과 조합하여 이용되어야 한다. 측정 기법은 잘 개발되어 있으며 상대적으로 간단하다 (예를 들어, Evans et al., 2002) 그러나 물에서 발생한 CO_2의 빠른 소실을 고려하도록 주의를 기울여야 한다 (Gambardella et al., 2004).	다양한 물 유량을 고려해야 한다.

	형 상황을 가정하면) 중탄산염 분석은 용해된 CO_2 함유량과 직접 관련될 수 있다.			

표 A 5.4
공기와 토양으로 배출된 CO_2 수준을 감지하는 기술 (누출감지)

기법	능력	검출한계	적용가능한 장소, 비용	한계	현재의 기술 상태
장기적인 공개 경로 적외선 레이저 가스 분석	레이저 빔의 경로를 따라 적외선 스펙트럼의 특정 부분의 대기중 CO_2에 의한 흡수를 측정하므로 지표 근방의 대기중 CO_2 수준을 측정한다. 측정치로부터 단층 촬영 지도를 작성하는 것이 가능하지만 이를 지표를 통한 유량으로 전환하는데 대한 업적은 거의 없다.	개발이 필요하지만 대기의 ±3% (c.11 ppm)에서의 추정 잠재력	해안. 하나의 장치로 수 km^2를 감당하는 가장 좋은 잠재력을 가지고 있으므로, 소수의 장치로 전 부분을 감당한다. 단위당 $1000로 비용이 추정되므로 전체 부분을 상대적으로 저렴하게 조사할 잠재력이 있다. 누출이 탐지된다면 이를 정확히 지적하기 위해 보다 상세한 (휴대용 IR CO_2 감지기 내지 토양 가스) 조사를 요구할 것이다.	기술이 여전히 개발중임. 장기 경로로 CO_2 농도를 측정하므로, 누출 지점을 정확히 발견하기 위해 단층 촬영의 해석 내지 보다 상세한 조사가 필요. 상대적으로 다양한 자연적 원인에 따라 유량을 계산하거나 낮은 수준의 누출을 감지하기가 어려움.	입증 및 개발 단계
토양 가스 분석	지표로부터의 배경 유량의 설정과 그 변화가 중요하다. 기법은 일반적으로 50-100 cm의 깊이로 토양에 박은 탐침을 이용하여 토양에서의 CO_2 수준 및 유량을 측정하지만 우물에서 표본을 추출할 수도 있다. 일반적으로 격자에서 표본을 추출. 우물에 삽입된 탐침 내지 튜브의 아래 부분은 구멍이 나 있으며 휴대용 IR 레이저 감지기를 이용한 현장 분석을 위해 토양 가스를 끌어 올리거나 실험실 분석을 위해 가스통에 넣는다.	토양 가스 조사에 이용되는 휴대용 적외선 감지기는 적어도 ± 1-2 ppm에서 CO_2 농도 하락의 변화를 해결할 수 있다. 토양 가스에 있는 CO_2의 절대값 (0.2-4%)은 대기에서보다 높지만, 배경 유량의 변화는 지표 아래에서 보다 작으므로 지하의 낮은 유량은 감지하기 쉽다. 가스의 범위가 측정될 것이다 - 다른 가스 및 동위원소의 비율은 CO_2의 기원에 대한 실마리를 제공할 수 있다.	해안. Weyburn 및 Rangely 현장 및 화산/지열 지역에서 입증된 기술. 특히 낮은 유량 유출이 감지된 지점 주변에서, 상세한 측정에 유용함.	측정에 수분이 걸린다. 큰 지역을 정확히 조사하는 것은 상대적으로 비용이 많이 드로 시간이 소비된다. 석유 및 가스전에서는 CO_2가 저장소에서 누출된 CO_2가 아니라 미생물에 의해 산화된 CH_4일 가능성이 존재한다.	연구 공동체에 의해 배치됨
휴대용 개인 안전지향 적외선 가스 분석기	대기중의 CO_2 수준을 측정한다.	개인적 보호를 위한 작은 휴대용 장치의 해상도는 전형적으로 c. 100 ppm이다.	해안 및 플랫폼과 같은 근해 기반시설에서 이용될 수 있음. 입증된 기술. 전형적으로 단위당 $1000 미만의 개인적 보호를 위한 소형의 휴대 장치. 광범위한 탐색방법에 의해 감지된 고농도 누출을 정확히 지적하는데 또한 유용할 것임.	CO_2 누출을 모니터링하기 위해 충분히 정확하지 않음.	상업적으로 광범위하게 배치됨

항공용 적외선 레이저 가스 분석	헬리콥터 내지 비행기에 설치된 공개 내지 폐쇄형 경로의 적외선 레이저 가스 감지기는 매 10m 마다 대기중의 CO_2를 측정하는 잠재력를 가진다.	Brantley and Koepenick (1995)는 항공용 폐쇄형 경로 기법에 이용된 장비에 대해 ±1 ppm 이상의 검출한계를 인용한다. 공개형 경로 기법은 ±1% 이하일 것 같지만, 이에 대해 적은 정보가 가용하다.	해안. 파이프라인에서의 메탄 누출 및 매우 큰 지점 배출원에서의 CO_2를 감지하기 위한 입증된 기술. 파이프라인 및 기반시설에서의 CO_2 누출 내지 지하에서의 농축된 누출을 감지하기 위해 적용 가능.	최소한 지표위 수백 미터에서 측정이 이루어지며, 지표 수준에서의 농도는 이 수준에서 감지가 가능한 최소값보다 훨씬 높을 것이다. CO_2는 공기보다 무거우므로 지표를 감싸며 항공 방법에 의해 메탄만큼 쉽게 감지되지 않는다.	CO_2 감지 기기에서가 아니라, 천연가스 파이프라인 응용기기에서 상업적으로 배치됨.
주석: 부분적으로 Schuler & Tang (2005)에서 나온 자료로 CO_2 Capture Project의 허락에 의해 포함됨.					

표 A 5.5
지중 저장지점의 CO_2 배출 측정에 대한 대용 방법

기법	능력	검출한계	적용가능한 장소, 비용	한계	현재의 기술 상태
인공위성 내지 항공 초미세분광 영상 (Satellite or airborne hyperspectral imaging)	지표로의 CO_2의 누출때문일 수 있는 초목의 건강에 있어서의 예외적인 변화를 감지한다. 지표에 나타나는 가스에 대한 경로(pathways)일 수 있는 미묘하거나 숨겨진 잘못을 또한 감지할 수 있다. 가시 및 적외선 스펙트럼의 일부를 이용한다.	인공위성 및 항공 이미지의 공간 해상도는 1-3m. 공기 내지 토양 가스에서의 CO_2 유량 내지 부피 비율의 측면으로 조정되지 않으며, 상세하게 표본추출된 지역의 지표를 제공한다.	해안	초목의 건강 및 분포의 감지 가능한 변화를 가져올 토양내 CO_2의 수준을 결정하기 위해 연구가 필요함. 기후의 변화에 대한 (계절적) 대응을 설정하기 위해 많은 반복적 연구가 필요함. 건조 지역에는 유용하지 않음.	연구 단계
위성 간섭 관측법 (Satellite interferometry)	반복적인 인공위성 레이더 조사는 지면 상승이 발생한다면, CO_2 주입에 의해 잠재적으로 초래될 수 있는 지표 높이의 변화를 감지한다.	InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)는 밀리미터 단위의 높이 변화를 감지할 수 있다.	해안	높이의 변화가 발생하지 않거나, 예를 들어, 동결/해동으로 인해 계절적으로 발생할 것이다. 국지적인 대기 및 지형 상황이 간섭할 것이다.	연구 단계, CO_2 저장을 위해 아직 배치되지 않음

표 A 5.6
해수에서의 CO_2 모니터링 기술과 적용 가능성

기법	능력	검출한계	적용가능한 장소, 비용	한계	현재의 기술 상태
침전물 가스 분석	표본을 추출하고, 실험실에서, 해저 침전물의 가스 함유량을 측정한다.	측정된 가스 함유량이 원래의 가스 함유량과 어떻게 관련되는지 불확실함.	근해. 선박 시간은 비용이 많이 듬.	가압된 표본이 수집되지 않는다면 자료의 압력 수정이 필요할 것이다. 필요한 경우에 표본추출을 위해 ROV와 잠수부가 이용될 수 있다. 선박 시간은 비용이 많이 듬.	근해의 메탄 가스 분석을 위해 연구 공동체에 의해 배치됨.
해수 가스 분석	표본을 추출하고, 실험실에서, 해수의 가스 함유량을 측정한다. 해수 표본의 분석에 대해 규약이 존재한다.	분석장비의 검출한계는 낮은 ppm 범위에 있을 것임. 중탄산염의 검출한계는 2 ppm 이하의 범위에 있음. 현장에서 누출을 탐지하는 능력이 입증되지 않음. 실제로 탐지될 수 있는 누출의 최소 크기가 입증되지 않음.	근해. 선박 시간은 비용이 많이 듬.	위와 동일	연구 공동체에 의해 수면 근처에 배치되었지만, 깊은 곳에서는 널리 이용되지 않음.

참고문헌

Arts, R., Eiken, O., Chadwick, R.A., Zweigel, P., van der Meer, L.G.H. and Zinszner, B. (2003). ''Monitoring of CO_2 injected at Sleipner using time-lapse seismic data.'' Proceedings of the 6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-6), J. Gale & Y. Kaya (eds.), 1-4 October 2002, Kyoto, Japan, Pergamon, v. 1, pp. 347-352.

Bachu, S. and Gunter, W.D. (2005). ''Overview of acid-gas injection operations in Western Canada.'' In: E.S. Rubin, D.W. Keith & C.F. Gilboy (Eds.), Greenhouse Gas Control Technologies, Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, 5-9 September 2004, Vancouver, Canada. Volume 1: Peer Reviewed Papers and Overviews, Elsevier, Oxford, pp.443-448.

Benson, S.M., Gasperikova, E. and Hoversten, M. (2004). ''Overview of monitoring techniques and protocols for geologic storage projects.'' IEA Greenhouse Gas R&D Programme Report, PH4/29. 99 pages.

Brantley, S. L. and Koepenick, K. W. (1995). ''Measured carbon-dioxide emissions from Oldoinyo-Lengai and the skewed distribution of passive volcanic fluxes.'' Geology, v. 23(10), pp. 933-936.

Chadwick, R.A., Zweigel, P., Gregersen, U., Kirby, G.A., Holloway, S. and Johannesen, P.N. (2003). ''Geological characterization of CO2 storage sites: Lessons from Sleipner, northern North Sea.'' Proceedings of the 6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-6), J. Gale and Y. Kaya (eds.), 1 -4 October 2002, Kyoto, Japan, Pergamon, v.I, 321 -326.

Evans, W. C., Sorey, M.L., Cook, A.C., Kennedy, B.M., Shuster, D.L., Colvard, E.M., White, L.D., and Huebner, M.A., (2002). ''Tracing and quantifying magmatic carbon discharge in cold groundwaters: lessons learned from Mammoth Mountain, USA.'' Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 114(3-4), pp. 291-312.

Gambardella, B., Cardellini, C., Chiodini, G., Frondini, F., Marini, L., Ottonello, G., Vetuschi Zuccolini, M., (2004). ''Fluxes of deep CO_2 in the volcanic areas of central-southern Italy''. J. Volcanol. Geotherm. Res. v. 136 (1-2), pp. 31-52.

IEA GHG, (2005). ''Permitting issues for CO_2 capture and storage: A review of regulatory requirements in Europe, USA and Australia.'' IEA Greenhouse Gas R&D Programme, Report IEA/CON/04/104, Cheltenham, UK.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2005). Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage [Metz, B., Davidson, O., Meyer, L and. de Coninck, H.C (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, USA.

Jones, D. G., Beaubien, S., Strutt, M. H., Baubron, J.-C., Cardellini, C., Quattrochi, F. and Penner, L. A. (2003). ''Additional soil gas monitoring at the Weyburn unit (2003).'' Task 2.8 Report for PTRC. British Geological Survey Commissioned Report, CR/03/326.

Klusman, R.W. (2003(a)). ''Rate measurements and detection of gas microseepage to the atmosphere from an enhanced oil recovery/sequestration operation, Rangely, Colorado, USA.'' Applied Geochemistry, v. 18, pp. 1825-1838.

Klusman, R.W. (2003(b)) ''Computer modelling of methanotrphic oxidation of hydrocarbons in

the unsaturated zone from an enhanced oil recovery/sequestration project, Rangely, Colorado, USA.'' Applied Geochemistry, v. 18, pp. 1839-1852.

Klusman, R.W., (2003 (c)). ''A geochemical perspective and assessment of leakage potential for a mature carbon dioxide-enhanced oil recovery project and as a prototype for carbon dioxide sequestration; Rangely field, Colorado.'' American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 87(9), pp. 1485 -1507.

Miles, N.L., Davis, K.J. and Wyngaard, J.C. (2005). ''Detecting leaks from belowground CO_2 reservoirs using eddy covariance, Carbon Dioxide Capture for Storage in Deep Geologic Formations.'' Results from the CO_2 Capture Project, v. 2: Geologic Storage of Carbon Dioxide with Monitoring and Verification S.M. Benson (ed.), Elsevier Science, London, pp. 1031-1044.

Oldenburg, C.M. and A.J. Unger, (2003). ''On leakage and seepage from geologic carbon sequestration sites: unsaturated zone attenuation. Vadose Zone''. Journal, 2, 287 -296.

Pruess, K., Garcıa, J., Kovscek, T., Oldenburg, C., Rutqvist, J., Steefel, C., and Xu, T. (2004). ''Code intercomparison builds confidence in numerical simulation models for geologic disposal of CO_2''. Energy, v. 29, pp. 1431-1444.

Reeves, S.R., (2005). ''The Coal-Seq project: Key results from field, laboratory and modeling studies.'' Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-7), September 5 -9, 2004, Vancouver, Canada, v.II, 1399-1406.

Scherer, G.W., Celia, M.A., Prevost, J-H., Bachu, S., Bruant, R , Duguid, A, Fuller, R., Gasda, S.E., Radonjic, M. and Vichit-Vadakan, W. (2005). ''Leakage of CO_2 through abandoned wells: role of corrosion of cement, carbon dioxide capture for storage in deep geologic formations'' Results from the CO_2 Capture Project, v. 2: Geologic Storage of Carbon Dioxide with Monitoring and Verification, Benson, S.M. (Ed.), Elsevier Science, London, pp. 827 -850.

Schroot, B.M. and. Schüttenhelm, R.T.E (2003). ''Expressions of shallow gas in the Netherlands North Sea.'' Netherlands Journal of Geosciences, v. 82(1), pp. 91-105.

Schroot, B.M. and. Schüttenhelm, R.T.E (2003). ''Shallow gas and gas seepage: expressions on seismic and other acoustic data from the Netherlands North Sea.'' Journal of Geochemical Exploration, v. 4061, pp. 1-5.

Shevalier, M., Durocher, K., Perez, R., Hutcheon, I., Mayer, B., Perkins, E., and Gunter, W. (2004). ''Geochemical monitoring of gas-water-rock interaction at the IEA Weyburn CO_2 Monitoring and Storage Project.'' Saskatchewan, Canada. GHGT7 Proceedings. At: http://www.ghgt7.ca/papers_posters.php?format=poster.

Shuler, P. and. Tang, Y (2005). ''Atmospheric CO_2 monitoring systems, carbon dioxide capture for storage in deep geologic formations.'' Results from the CO_2 Capture Project, v. 2: Geologic Storage of Carbon Dioxide with Monitoring and Verification, S.M. Benson (ed.), Elsevier Science, London, pp. 1015 -1030.

Strutt, M.H, Beaubien, S.E.,. Beabron, J.C., Brach, M., Cardellini, C., Granieri, R., Jones, D.G., Lombardi, S., Penner, L., Quattrocchi F. and Voltatorni, N. (2003). ''Soil gas as a monitoring tool of deep geological sequestration of carbon dioxide: preliminary results from the EnCana EOR project in Weyburn, Saskatchewan (Canada).'' Proceedings of the

6th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-6), J. Gale and Y. Kaya (eds.), 1 -4 October 2002, Kyoto, Japan, Pergamon, Amsterdam, v.I., 391 -396.

Wang, Z, (1997). ''Feasibility of time-lapse seismic reservoir monitoring; the physical basis.'' The Leading Edge, v. 16, pp. 1327-1329.

White, D.J., Burrowes, G., Davis, T., Hajnal, Z., Hirsche, I., Hutcheon, K., Majer, E., Rostron, B and. Whittaker, S. (2004). ''Greenhouse gas sequestration in abandoned oil reservoirs.'' The International Energy Agency Weyburn pilot project. GSA Today, 14, 4 -10.

Wilson, M., and Monea, M. (2005). IEA GHG Weyburn Monitoring and Storage Project, Summary Report, 2000- 2004. Petroleum Technology Research Center, Regina SK, Canada. In: Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-7), Vol. III, September 5 -9, Vancouver, Canada.

Wright, G. and Majek, A. (1998). ''Chromatograph, RTU System monitors CO_2 injection''. Oil and Gas Journal, July 20, 1998.

Yoshigahara, C, Itaoka, K. and Akai, M. (2005). ''Draft accounting rules for CO_2 capture and storage''. Proceedings of the GHGT-7 Conference.

기타 참고문헌

Barrie, J., Brown, K., Hatcher, P.R. & Schellhase, H.U. (2005). ''Carbon dioxide pipelines: A preliminary review of design and risks.'' In: E.S. Rubin, D.W. Keith & C.F. Gilboy (Eds.), Greenhouse Gas Control Technologies, Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, 5-9 September 2004, Vancouver, Canada. Volume 1: Peer Reviewed Papers and Overviews, Elsevier, Oxford, pp. 315-320.

Haefeli, S., Bosi, M. and Philibert, C. (2004). ''Carbon dioxide capture and storage issues - accounting and baselines under the United Nations Framework Convention on Climate Change''. IEA Information Paper. IEA, Paris, 36 p.

Holloway, S., Pearce, J.M., Ohsumi, T. and Hards, V.L. (2005). ''A review of natural CO_2 occurrences and their relevance to CO_2 storage.'' IEA Greenhouse Gas R&D Programme, Cheltenham, UK.

Oldenburg, Curtis M., Lewicki, Jennifer L., and Hepple, Robert P., (2003). ''Near-surface monitoring strategies for geologic carbon dioxide storage verification.'' Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA LBNL- 54089.

Schremp, F.W. and Roberson, G.R. (1975). ''Effect of supercritical carbon dioxide (CO_2) on construction materials.'' Society of Petroleum Engineers Journal, June 1975, 227 -233.

제 6 장

기본 접근법

저자

Karen Treanton (국제에너지기구)
Francis Ibitoye (나이지리아), Kazunari Kainou (일본), Jos G. J. Olivier (네델란드), Jan Pretel (체코), Timothy Simmons (영구), and Hongwei Yang (중국)

부저자

Roberta Quadrelli (국제에너지기구)

목 차

6 기본 접근법
6.1 개요 ····6.5
6.2 배출원 카테고리 ····6.5
6.3 알고리즘 ····6.5
6.4 활동자료 ····6.6
6.4.1 소비총량(apparent consumption) ····6.6
6.4.2 에너지 단위로의 전환 ····6.7
6.5 탄소 함유량 ····6.8
6.6 제외된 탄소 ····6.8
6.6.1 원료(feedstock) ····6.9
6.6.2 환원제 ····6.10
6.6.3 비-에너지 제품 이용 ····6.11
6.6.4 방법 ····6.11
6.7 연료 연소 동안 산화되지 않은 탄소 ····6.12
6.8 기본 접근법과 부문별 접근법 간의 비교 ····6.12
6.9 자료 출처 ····6.15
6.10 불확도 ····6.15
6.10.1 활동자료 ····6.15
6.10.2 탄소 함유량 및 순 발열량 ····6.15
6.10.3 산화계수 ····6.15

참고문헌 ····6.16

식

식 6.1 기본 접근법을 이용하는, 연료 연소로부터의 CO_2 배출 ····6.6
식 6.2 1차 연료의 소비총량(apparent consumption) ····6.7
식 6.3 2차 연료의 소비총량(apparent consumption) ····6.7
식 6.4 연료 연소 배출에서 제외된 탄소 ····6.11

그 림

그림 6.1 기본 접근법 대 부문별 접근법 ·····6.13

표

표 6.1 원료(feedstock), 환원제 및 비-에너지 용도로 이용되는 제품 ·····6.9
표 6.2 제외된 탄소 흐름에 대한 활동자료 ·····6.12

6 기본 접근법

6.1 개요

기본 접근법은 주로 화석연료의 연소로부터 CO_2의 배출을 계산하기 위해 국가의 에너지 공급 자료를 이용하는 하향식 접근법이다. 기본 접근법은 상대적으로 쉽게 가용한 에너지 공급 통계에 기초하여 적용될 수 있는 간단한 방법이다. 제외된 탄소(Excluded carbon)는 자료에 대한 요구를 어느 정도 증가시켰다. 그렇지만, 부문별 접근법(sectoral approach)과 기본 접근법(reference approach)간의 비교가능성의 증대는 제한된 추가 노력과 자료 요구를 가지고 연료 연소로부터 두 번째의 독립적인 CO_2 배출량 산정치를 지속적으로 생산하도록 한다.

연료 연소로부터 국가의 CO_2 배출량을 산정하기 위해 부문별 접근법과 기본 접근법 모두를 적용하고 이들 두 가지 독립적인 산정치의 결과를 비교하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 상당한 차이는 활동자료, 순 발열량(net calorific values), 탄소 함유량, 제외된 탄소의 계산 등의 가능성문제일 수 있다 (이러한 비교에 관한 보다 상세한 설명에 대해 6.8절을 참고).

6.2 배출원 카테고리

기본 접근법은 높은 수준의 에너지 공급 자료에서 시작하여, 연료 연소로부터 발생하는 CO_2의 배출을 계산하기 위해 설계된다. 가정은 탄소가 보존된다는 것이므로, 예를 들어, 원유에 있는 탄소는 모든 파생 제품(derived products.)의 총 탄소 함유량과 동일하다. 기본 접근법은 에너지 부문 내의 서로 다른 배출원 카테고리를 구별하지 않고, 단지 배출원 카테고리 1A, 연료 연소로부터 발생하는 총 CO_2 배출량을 산정한다. 배출은 연료가 정제 내지 전력 생산에서 열원(heat source)으로 이용되는 에너지 부문의 연소와 연료 내지 2차 제품의 최종적 소비에서의 연소 모두로부터 파생된다. 기본 접근법은 1A의 일부가 아닌 작은 기여부분을 또한 포함할 것이며 이는 6.8절에서 논의된다.

6.3 알고리즘

기본 접근법 방법론은 연료 연소에서의 이산화탄소 배출에 관한 계산을 5단계로 나눈다:
단계 1: 명백한 연료 소비총량을 고유 단위로 산정한다.
단계 2: 공통적인 에너지 단위로 전환한다.
단계 3: 총 탄소를 계산하기 위해 탄소 함유량을 곱한다.
단계 4: 제외된 탄소를 계산한다.
단계 5: 산화되지 않은 탄소에 대해 수정하고 CO_2 배출량으로 전환한다.
이들 단계는 다음의 식으로 표현된다:

식 6.1
기본 접근법을 이용하는, 연료 연소로부터의 CO_2 배출

$$CO_2 \text{배출} = \sum_{\text{모든연료}} \left[\left((\text{명백한 소비}_{\text{연료}} \cdot \text{전환계수}_{\text{연료}} \cdot CC_{\text{연료}}) \cdot 10^{-3} - \text{제외된 탄소}_{\text{연료}} \right) \cdot COF_{\text{연료}} \cdot 44/12 \right]$$

여기서

CO_2 배출	= CO_2 배출 (Gg CO_2)
소비총량(apparent consumption)	= 생산 + 수입 - 수출 - 국제적 벙커 - 재고 변화
Conv 계수 (전환 계수)	= 순발열량에 기초한 에너지 단위 (TJ)로 연료에 대한 전환계수
CC	= 탄소 함유량 (톤 C/TJ) 톤 C/T는 kg C/GJ와 동일하다는 것에 주목한다.
제외된 탄소	= 연료 연소 배출에서 제외된 원료(feedstock) 및 비-에너지 용도에 있는 탄소 (Gg C)
COF (탄소 산화계수)	= 산화되는 탄소 부분. 일반적으로 그 값은 1이며, 완전 산화를 반영한다. 재 내지 그을음에서 무기한 유지되는 탄소를 설명하기 위해 보다 낮은 값이 이용된다.
44/12	= CO_2 대 C의 분자량 비율

6.4 활동자료

기본 접근법은 재고의 변화 뿐만 아니라 연료의 생산 및 외부적 (국제적) 거래에 대한 통계에서 시작한다. 이러한 정보로부터 "소비총량(apparent consumption)"이 산정된다. 이는 연료 연소에서 다루어지지 않거나 단지 부분적으로 다루어지는 활동을 통해 탄소가 배출되는, 비-에너지 목적을 위해 이용된 연료의 소비에 대한 제한된 수의 값을 또한 요구한다.

6.4.1 소비총량(apparent consumption)

기본 접근법의 첫 번째 단계는 국가 내에서 연료의 소비총량(apparent consumption)을 산정하는 것이다. 이는 1차 연료(primary fuel)와 2차 연료(secondary fuel)의 공급 발란스(supply balance)를 요구한다 (생산된, 수입된, 수출된, 국제적 수송 (벙커 연료)에서 이용된, 저장되거나 재고에서 제거된 연료). 이러한 방식으로 탄소는 (재고 변화에 대해 수정된) 에너지 생산 및 수입으로 국가에 들어오고, 수출 및 국제 벙커를 통해 국가에서 나간다. 이중 계산을 피하기 위해 석탄, 원유 및 천연가스와 같이 자연에서 발견되는 연료인 1차 연료와 1차 연료에서 파생된 가솔린 및 윤활유와 같은 2차 연료 내지 연료제품을 구별하는 것이 중요하다. 연료의 완전한 목록은 에너지 권, 서론 장의 1.4.1.1절에서 제공된다.

국가에 대한 연료의 공급을 계산하기 위해, 각각의 연료 및 인벤토리 연도에 대해 아래의 자료가 요구된다:

- 생산된 1차 연료의 양[1] (2차 연료 및 연료 제품의 생산은 포함되지 않는다)

1 천연가스의 생산은 NGLs 및 황의 정제 및 추출 후에 측정된다. 추출 손실 및 재주입, 환기 내지 발화된 양은 포함되지 않는다. 석탄의 생산에는 추출 내지 생산된, 불활성 물질의 제거를 위한 작업 후에 계산된 양이 포함된다. 석유의 생산에는 시장성이 있는 생산이 포함되며, 지층에 반환된 양을 제외한다.

- 수입된 1차 및 2차 연료의 양
- 수출된 1차 및 2차 연료의 양
- 국제 벙커에서 이용된 1차 및 2차 연료의 양
- 1차 및 2차 연료의 재고의 순 증가 내지 감소

그러므로, 1차 연료의 소비총량(apparent consumption)은 다음과 같이 위의 자료로부터 계산된다.:

식 6.2
1차 연료의 소비총량(apparent consumption)

$$\text{소비총량}(ApparentConsumption)_{\text{연료}} = \text{생산}_{\text{연료}} + \text{수입}_{\text{연료}} - \text{수출}_{\text{연료}} - \text{국제 벙커}_{\text{연료}} - \text{재고 변화}_{\text{연료}}$$

재고 증가는 소비에서 공급을 줄이는 양의 재고 변화이다. 재고 감소는, 식에서 차감될 때, 소비총량(apparent consumption)의 증가를 초래하는 음의 재고 변화이다.

1차 연료의 총 소비총량(apparent consumption)은 각각의 1차 연료에 대한 소비총량들의 합계일 것이다.

2차 연료의 소비총량(apparent consumption)은 1차 연료의 소비총량에 추가되어야 한다. 2차 연료의 생산 (내지 제조)은 계산에서 무시되어야 하며, 이는 이들 연료에 있는 탄소는 그것이 파생된 1차 연료의 공급에 이미 포함되기 때문이다; 예를 들어, 원유의 소비총량에 대한 산정치는 휘발유가 정제되는 탄소를 이미 포함한다. 2차 연료의 소비총량은 다음과 같이 계산된다.:

식 6.3
2차 연료의 소비총량(apparent consumption)

$$\text{명백한 소비}_{\text{연료}} = \text{수입}_{\text{연료}} - \text{수출}_{\text{연료}} - \text{국제적 벙커}_{\text{연료}} - \text{재고 변화}_{\text{연료}}$$

이러한 계산은 주어진 연료의 소비총량(apparent consumption)에 대해 음수를 초래할 수 있다는 것을 주목한다. 이는 가능하며 국가에서 해당 연료의 순 수출 내지 재고 증가를 나타낸다.
2차 연료의 총 소비총량은 각각의 2차 연료에 대한 소비총량의 합계일 것이다.

6.4.2 에너지 단위로의 전환

종종 석유 및 석탄 자료는 톤으로 표현된다. 천연가스는 세제곱 미터 내지 총 발열량 내지 순 발열량[2]에 기초한 BTU와 같은 열량(heat value)으로 표현된다. 기본 접근법을 위해, 소비총량

2 연료에 대해 "순" 발열량 및 "총" 발열량 간의 차이는 연료의 연소 동안 생산된 물의 기화에 관한 잠열(latent heat)이다. IPCC 가이드라인의 목적을 위해, 순 발열량에 기초하여 기본값 탄소 배출계수가 주어졌다. 일부 국가들은 총 발열량에 기초하여 에너지 자료를 가질 지 모른다. 이 국가들이 기본값 배출계수를 이용하고자 한다면, 그들은 석탄 및 석유에 대한 순 발열량은 총 발열량 보다 5% 작고, 천연가스에 대해 9에서 10% 작다고 가정할 것이다.

(apparent consumption)은 순 발열량에 기초한 테라줄(terajoules)로 전환되어야 한다. 그렇지만, 기본 접근법의 의도가 보다 상세한 접근법을 이용하여 구한 산정치를 검증하는 것이기 때문에, 국가가 보다 상세한 계산에서 총 발열량을 이용했다면, 기본 접근법의 계산에서도 그렇게 하는 것이 보다 바람직하다. 상세한 소비 값들에 기초하여 기본 접근법을 위한 국가에 고유한 발열량을 선택할 때, 우수실행(*good practice*)은 가중평균이 이용되어야 한다고 제안한다. 에너지 단위로의 전환에 관한 상세한 설명을 위해 이 권의 서론 장을 참고한다 (1.4.1.2절).

6.5 탄소 함유량

연료의 탄소 함유량은 1차 연료의 유형 간에 그리고 유형 내에서 상당히 다를 것이다:

- 천연가스에 대해, 탄소 함유량은, 방출된 상태에서, 주로 메탄이지만 소량의 에탄, 프로판, 부탄, CO_2 및 보다 무거운 탄화수소를 포함할 수 있는 가스의 구성에 의존한다. 생산 현장에서 flared되는 천연가스는 일반적으로 "습성(wet)", 즉, 훨씬 많은 양의 비-메탄 탄화수소를 포함한다. 탄소 함유량은 따라서 다를 것이다.
- 원유에 대해, 탄소 함유량은 원유의 구성에 따라 (예를 들어, API 중량(gravity) 및 황 함유량에 따라) 다를 것이다. 2차 석유제품에 대해, 휘발유와 같은 가벼운 정제 제품의 탄소 함유량은 잔여 연료유(residual fuel oil)와 같은 무거운 제품보다 일반적으로 작을 것이다.
- 석탄에 대해, 톤당 탄소 함유량은 탄소, 수소, 황, 회분, 산소, 및 질소의 석탄 구성에 따라 상당히 다르다.

탄소 함유량은 연료의 에너지 함유량에 밀접하게 관련되기 때문에, 활동자료가 에너지 단위로 표현될 때 탄소 함유량의 변동은 작다.

탄소 함유량은 연료 유형에 따라 다르기 때문에, 연료 및 제품 유형의 상세한 카테고리에 대해 자료가 이용되어야 한다. 에너지 권의 서론 장에 주어진 탄소 함유량의 기본값은 국가에 고유한 값이 가용하지 않을 경우에만 제안된다. 상세한 소비 값들에 기초하여 기본 접근법을 위한 국가에 고유한 탄소 함유량을 선택할 때, *우수실행(good practice)*은 가중평균이 이용되어야 한다고 제안한다.

주어진 연료에 대해, 국가에 고유한 탄소 함유량은 시간에 따라 달라질 것이다. 이러한 경우에, 다른 연도에 대해 다른 값이 이용될 것이다.

6.6 제외된 탄소

다음 단계는 연료 연소 배출을 가져오지 않는 탄소의 양을 총 탄소로부터 제외하는 것으로, 이는 목적이 연료 연소 배출 (배출원 카테고리 1A)의 산정치를 제공하는 것이기 때문이다.

연료 연소로부터 제외된 탄소는 (예를 들어, 산업공정 배출로서) 인벤토리의 다른 부문에서 배출되거나 연료로부터 제조된 제품에 저장된다. 1996 가이드라인에서는 연료 연소 배출을 가져오지 않는 소비총량(apparent consumption)내의 탄소를 "저장된 탄소"로 불렀지만, 위의 정의가 명확하기 때문에, 저장된 탄소는 2006 IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체) 가이드라인에서는 "총 탄소

"에서 제외되는 탄소의 단지 일부이다.

제외된 탄소의 계산에 관련된 탄소의 주된 흐름은 원료(feedstock), 환원제 또는 비-에너지 제품으로 이용되는 것이다. 표 6.1은 각 집단의 주된 제품을 제시한다.[3] 국가들이 제외되어야 하는 다른 화석연료 탄소 제품을 가진다면, 이를 고려하고 문서화해야 한다.

표 6.1
원료(feedstock), 환원제 및 비-에너지 용도로 이용되는 제품

원료(feedstock)	나프타
	LPG (부탄/프로판)
	정유소 가스
	가스/디젤 오일 및 등유
	천연가스
	에탄
환원제	코크스로 코크스 (야금용 코크스) 및 석유 코크스
	석탄 및 콜타르/피치
	천연가스
비-에너지 제품	역청
	윤활유
	파라핀 왁스
	백유

6.6.1 원료(feedstock)

원료(feedstock)로서 위에서 나열된 연료의 이용으로부터 발생하는 탄소 배출은 산업공정 및 제품 이용 (IPPU) 장의 배출원 카테고리 내에서 보고된다. 결론적으로, 원료(feedstock)로 방출된 연료에 있는 모든 탄소는 에너지 소비총량의 총 탄소로부터 제외된다. 원료(feedstock)로 이용되는 연료의 대부분은 정유공장 내지 다른 곳에서 가열을 위해 또한 이용된다. 예를 들어, 가스 오일 내지 천연가스는 원료(feedstock) 용도에 추가하여 가열을 위해 방출될 것이다. 그러므로 원료(feedstock) 용도로 방출된 연료의 양만이 에너지 소비총량의 총 탄소로부터 차감되는 것이 필수적이다. 연료의 원료(feedstock) 이용과 연료 연소를 위한 이용간의 구별은 신중한 고려를 요구한다.

원료(feedstock)의 처리는 부산물 가스 내지 오일을 생산할 것이다. 동일하게, 공정에 공급된 원료(feedstock)의 일부는 공정에 연료를 때기 위해 이용될 것이다. 석유화학 처리 내지 철강 제조로부터 발생하는 부산물 (내지 '오프') 가스의 연소로부터, 또는 원료(feedstock)를 연료로 직접 이용함으로써 발생하는 배출에 관한 보고는 IPPU와 연료 연소 부문간에 연료 연소 배출을 할당하기 위해 이 권, 서론 장의 1.2절에서 공식화된 원칙을 따른다. 그 원칙의 적용은 일부 국가들이 목록에서 원료(feedstock) 탄소의 일부를 연료 연소 배출로 보고할 것임을 의미한다. 그렇지만, 단순성이 기본 접근법의 목적이기 때문에, 원료(feedstock) 탄소의 완전한 제외가 거기서 유지되어야 한다. 이것이 기본 접근법과 부문별 접근법 간에 발생시키는 불일치는 보고 단계에서 계량화 및 설명되

3 원료(feedstock), 환원제 내지 기타 비-에너지 이용을 위한 연료의 이용에서 발생하는 배출을 산정하기 위한 상세한 상향식 방법은 3권, 5장에서 제공된다.

어야 하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

6.6.2 환원제

코크스로 코크스 및 석유 코크스

석탄 및 석유 제품에서 제조되는 코크스(Cokes)는 가장 현저하게 철강 및 비철금속 산업에서, 연료 연소 내지 산업공정을 위해 이용될 것이다. 산업공정에서 환원제로 이용될 때, 코크스는 무기 산화물과 함께 가열되고, 일산화탄소와 이산화탄소에 있는 산소를 가져가서 무기 산화물을 환원시킨다. 그렇게 생산된 '오프가스'는 공정을 가열하는데 도움이 되도록 현장에서 연소되거나 또다른 배출원 카테고리의 다른 곳에서 연소될 것이다. 후자의 경우에, 배출은 연료 연소로 보고된다. 이 권, 서론 장의 1.2절은 보고의 원칙에 대한 지침을 제공한다. 그렇지만, 이러한 활동에 대한 자료는 항상 즉시 가용하지는 않기 때문에, 그리고 기본 접근법의 단순성을 유지하기 위해, 철강 및 비철금속 산업을 위해 방출된 코크스의 양은 총 탄소로부터 제외되어야 한다. 이것의 영향은 비교가 이루어질 때, 기본 접근법과 부문별 접근법 간의 차이로서 반영될 것이다. 6.8절을 참고한다.

석탄 및 콜타르/피치

분쇄된 석탄은 환원제로 용광로에 주입되며, 석탄은 일부 이산화티타늄(titanium dioxide) 제조 공정에서 환원제로 비슷하게 이용된다. 탄소는 공정과 관련된 부산물 가스에 주로 들어갈 것이고 배출은 가스를 태우는 활동에서 다루어질 것이다. 분쇄된 석탄에 대해, 이는 주로 철강 산업내에 존재하며 IPPU에서 보고될 것이다. 용광로 가스가 또다른 산업에 연료로서 이전되는 경우에만 배출은 에너지 부문으로 분류될 것이며, 분쇄된 석탄 및 기타 주입된 탄화수소에 기인하는 배출 부분은 매우 작을 것이다.

코크스를 생산하기 위해 코크스로에서 석탄을 증류하는 것은 타르와 코크스로 가스(coke oven gas)에서 재생된 경유(light oils)의 생산을 가져온다. 경유에는 벤젠, 톨루엔, 크실렌 및 비-방향족 화합물과 소량의 기타 화학물질이 포함된다. 타르에는 나프탈렌, 안트라센, 및 피치(pitch)가 포함된다. 경유는 용매(solvents) 및 기본 화학물질로 가치가 있다. 관련된 배출은 IPPU에서 다루어지는 것으로 가정된다.

피치는 양극(anode) 생산을 위한 결합제로 종종 이용된다. 피치와 관련된 보다 무거운 오일은 염료, 목재 방부제 또는 아스팔트 칠을 위한 도로용 오일에 이용될 것이다. 이러한 활동 모두는 IPPU에서 다루어지며 관련된 배출은 연료 연소로부터 제외된다.

가열을 위해 오일 내지 타르를 태우는 코크스 제조공장이 존재한다면, 조정을 할 때 기본 접근법과 부문별 접근법 간의 차이를 설명하기 위해, 국가내에서 이러한 활동의 사례를 고려해야 한다.

천연가스

일부 철강 공장에서는 철 생산공정에서 환원제로서 천연가스가 용광로에 주입될 것이다. 가스 주입과 관련된 배출의 분류는 위에서 논의된 분쇄된 석탄에 대한 것과 동일하며 이러한 양은 제외되어야 한다.

6.6.3 비-에너지 제품 이용

역청

역청/아스팔트는 포함된 탄소가 장기간 동안 저장되는 도로 포장 및 도로 피복을 위해 이용된다. 결론적으로 인벤토리 연도내에 역청의 방출로부터 발생하는 연료 연소 배출은 존재하지 않는다.

윤활유

윤활용 오일 통계는 일반적으로 엔진에서의 윤활유 이용뿐만 아니라 산업적 목적을 위한 오일 및 그리스(greases)와 열 전달 및 절삭용 오일을 다룬다. 윤활용 오일의 모든 방출은 기본 접근법으로부터 제외되어야 한다. 이는 "기타 화석 연료"에서 기본 접근법이 다루는 폐윤활유의 연소에서 발생하는 배출에 관한 잠재적인 이중 집계를 방지하지만, 2행정 엔진의 윤활유에서 발생하는 배출을 포함하는 것을 무시한다. 6.8절의 '기본 접근법의 단순화'에서의 논의를 참고한다.

파라핀 (석유) 왁스

파라핀 왁스의 모든 양은 기본 접근법에서 제외된다. 파라핀 왁스에 대한 많은 용도내에 1.2절에서 정의된 것과 같은 연료 연소를 초래하는 두 가지 주된 용도가 존재한다. 이들은 가열 내지 난방 장치(예를 들어 신선로)에서 양초의 연소와 열 재생을 하는 시립의 폐기물 공장에서 왁스가 코팅된 물질의 소각이다. 조명을 위한 양초의 이용은 주로 장식적인 목적으로 고려되며 연료 연소가 아니다. 열 재생을 하는 시립의 폐기물 공장에서 왁스의 연소로부터 발생하는 배출은 이미 ("기타 화석연료"에서) 기본 접근법에 포함되므로 관련된 왁스 양은 제외되어야 한다. 에너지의 나머지 작은 배출원에서의 기여에 대한 자료는 획득하기가 매우 어려우므로, 기본 접근법 내에서, 이러한 배출원은 연료 연소로부터 제외된다.

백유

백유(White spirit)는 연료 연소 배출이 아닌 용매 배출(solvent emissions)을 초래하므로 제외되어야 한다.

6.6.4 방법

연료 연소 배출의 산정에서 제외된 탄소량은 아래의 식에 따라 계산된다.

식 6.4
연료 연소 배출에서 제외된 탄소

$$\text{제외된 탄소}_{\text{연료}} = \text{활동도 자료}_{\text{연료}} \cdot CC_{\text{연료}} \cdot 10^{-3}$$

여기서

제외된 탄소	= 연료 연소 배출에서 제외된 탄소 (Gg C)
활동자료	= 활동자료 (TJ)
CC	= 탄소 함유량 (톤 C/TJ)

각각의 관련 제품에 대한 활동자료는 표 6.2에서 주어진다.

표 6.2
제외된 탄소 흐름에 대한 활동자료

연료	활동자료[1]
LPG, 에탄, 나프타, 정유소 가스[2], 가스/디젤 오일, 등유	석유화학의 원료(feedstock)로의 방출[3]
역청	총 방출
윤활유	총 방출
파라핀 왁스2	총 방출
백유2	총 방출
코크스 하소된 석유 코크스 코크스로 코크스	총 방출 철강 및 비철금속 산업으로의 방출
콜타르 석탄에서 나온 경유 콜타르/피치	화학산업으로의 방출 화학산업 및 건설로의 방출
천연가스	석유화학의 원료(feedstock) 및 철강산업에서 철광석의 직접적인 환원을 위한 방출

주석:
[1] 방출은 방출된 연료의 총량을 말하며 (2차 연료의 생산이 제외되는 경우에) 소비총량(apparent consumption)과 같은 것은 아니다.
[2] 정유소 가스, 파라핀 왁스 및 백유는 "기타 오일"에 포함된다.
[3] 기본 접근법을 위해, 활동자료로서 이용되는 방출은 석유화학 처리로부터 정유공장으로 반환된 오일의 순량(net)이어야 한다.

6.7 연료 연소 동안 산화되지 않은 탄소

연소에 들어간 연료 탄소의 작은 부분은 산화를 피하지만 이러한 탄소의 대부분은 이후에 대기중에서 산화된다. (예를 들어, 그을음 내지 회분으로) 산화되지 않고 남아있는 탄소는 무기한 저장된다고 가정한다. 기본 접근법을 위해, 국가에 고유한 정보가 가용하지 않으면, 1의 기본값 값 (완전 산화)이 이용되어야 한다.

6.8 기본 접근법과 부문별 접근법 간의 비교

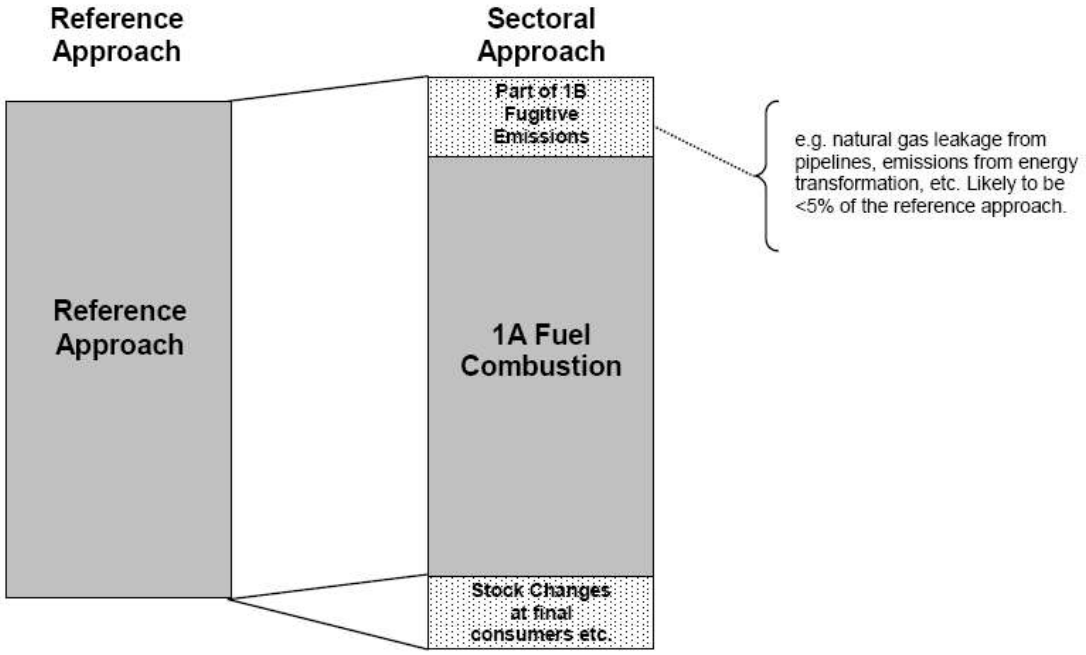
기본 접근법은 국가의 에너지 공급 자료를 이용하는 하향식 접근법이고, 개별적인 연료가 각 부문에서 어떻게 이용되는지에 대한 상세한 정보를 가지지 않기 때문에, 기본 접근법과 부문별 접근법은 종종 서로 다른 결과를 가진다.

기본 접근법은 부문별 접근법을 이용하여 도출된 산정치와 비교되는 CO_2 산정치를 제공한다. 기본 접근법은 포집된 탄소를 고려하지 않기 때문에, 그 결과는 그러한 양이 차감되기 전에 CO_2 배출과 비교되어야 한다. 연료에 있는 탄소의 일부는 연소되지 않지만 (생산 및/내지 변환 단계에서

누출 내지 증발로서) 탈루성 배출로 배출될 것이기 때문에, 이론적으로 기본 접근법은 부문별 접근법 '1A 연료 연소'의 상한을 나타낸다.

두 가지 접근법을 가지고 CO_2 배출을 계산하는 것은 일부 국가에 대해 서로 다른 결과를 초래할 것이다. 관련된 총 탄소 흐름을 비교할 때, 전형적으로 두 가지 접근법 간의 격차는 상대적으로 작다 (5% 이하). 1) 탈루성 배출이 생산 및/내지 변환 공정에 들어오는 질량 흐름에 비례적이고, 2) 최종 소비자 수준의 재고 변화가 크지 않고, 3) 에너지 자료의 통계적 차이가 제한적인 경우에, 기본 접근법과 부문별 접근법은 CO_2 배출 추세에 관한 비슷한 평가를 초래할 것이다.

그림 6.1 기본 접근법 대 부문별 접근법



중대한 불일치 및/내지 큰 시계열 편차가 발생할 때, 주된 이유는 아래에서 나열된다.

- 기본적인 에너지 자료에서 에너지 공급과 에너지 소비 간의 큰 통계적 차이. 통계적 차이는 공급원에서 하류의 전환 및 이용의 다양한 단계까지 연료 흐름의 서로 다른 부분에서의 자료의 수집으로부터 발생한다. 그들은 연료 발란스(fuel balance)의 정상적이고 적절한 부분이다. 무작위적인 큰 통계적 차이는 차이에 대한 이유를 결정하기 위해 항상 조사되어야 하지만, 수요에 대한 공급의 초과 (또는 반대)를 체계적으로 보여주는 동일하게 중요한 보다 작은 통계적 차이도 추적되어야 한다.
- 정유공장에 들어가는 원유 및 기타 원료(feedstock)와 제조되는 (총) 석유 제품 간의 중대한 질량 불균형.
- 연소되지 않고 전환된 1차 연료에 대해 근사적인 순 발열량 및 탄소 함유량 값을 이용. 예를 들어, 특정한 연도 동안 정유공장에 들어간 원유 및 정유공장에서 생산된 제품 조합에 대해 선택된 발열량 및/내지 탄소 함유량에 따라 에너지 내지 탄소의 보존이 존재하지 않을 수 있을 것이다. 이는 기본 접근법과 관련된 배출의 과대 산정 내지 과소 산정을 초래할 것이다.

- (전력 내지 열이 아닌) 파생 제품으로 전환하기 위해 이용된 연료의 양 내지 에너지 부문에서 연소된 양의 잘못된 할당. 기본 접근법과 Tier 1 부문별 접근법 간의 차이를 조정할 때, 변환과 에너지 부문에서 보고된 양이 (예를 들어, 코크스로에 대해) 각각 전환과 연료 용도로 이용된 양을 정확히 반영하는지, 그리고 잘못된 할당이 발생하지 않았는지 확인하는 것이 중요하다. 파생 제품으로 전환된 연료의 양이 에너지 수지의 변환 부문에 보고되었어야 하는 것을 주목한다. 파생 제품이 전환 공정의 연료를 때기 위해 이용된다면, 관련된 양은 에너지 수지의 에너지 부문에 보고되었어야 한다. Tier 1 부문별 접근법에서, 변환 부문으로의 투입물은 배출을 산정하기 위해 이용되는 활동자료에 포함되지 말아야 한다.
- 변환 산출물의 연소에 대한 정보의 누락. 통합 공정에서 생산된 2차 연료 (예를 들어, 코크스로 가스)의 연소에서 발생하는 배출은, 자료가 부실하거나 가용하지 않다면, Tier 1 부문별 접근법에서 간과될 지 모른다. 2차 연료 (변환공정에서의 산출물)의 이용은 모든 2차 제품에 대한 부문별 접근법에 포함되어야 한다. 그렇게 못하는 것은 부문별 접근법의 과소 산정을 가져올 것이다.
- 기본 접근법의 단순화. 배출이 연료 연소에 해당하기 때문에 기본 접근법에 포함되어야 하는 소량의 탄소가 존재한다. 흐름량이 작거나 에너지 자료내의 가용한 주요 통계치에 의해 표현되지 않는 경우에, 이들 양은 제외되었다. 기본 접근법에서 설명되지 않는 양의 예에는 2행정 엔진에 이용되는 윤활유, 생산의 배출원 카테고리 밖에서 연료 연소를 위해 이용된 용광로 및 기타 부산물 가스 그리고 열 재생을 하는 폐기물 공장에서 왁스가 코팅된 제품의 연소가 포함된다. 다른 쪽에서는 기본 접근법에서 제외되어야 하는 탄소의 흐름이 존재하지만, 위와 비슷한 이유 때문에 계산을 너무 복잡하게 하지 않고 그들을 제외하는 실용적인 수단을 발견할 수 없다. 여기에는 무기 화학물질의 제조에서 환원제로 이용되는 코크스 뿐만 아니라 용광로에 주입된 석탄 및 기타 탄화수소가 포함된다. 이러한 단순화의 결과는 기본 접근법과 부문별 접근법 간의 불일치에서 보여질 것이며, 자료가 가용하다면, 그 크기가 산정될 수 있다.
- 최종 소비자 수준에서 발생하는 재고 변화에 대한 정보의 누락. 소비자 재고의 적절성은 부문별 접근법에 이용된 방법에 의존한다. 배달(delivery) 수치가 이용된다면 (이는 종종 사실이다) 소비자 재고의 변화는 부적절하다. 그렇지만, 부문별 접근법이 연료의 실제 소비를 이용하고 있다면, 이는 기본 접근법의 과대 산정 내지 과소 산정을 초래할 수 있다.
- 가스에 대한 높은 분배 손실은 기본 접근법이 부문별 접근법보다 높도록 만들 것이다.
- 가스 내지 기타 연료의 기록되지 않은 소비는 부문별 접근법의 과소 산정을 가져올 것이다.
- 연료가 어떻게 분류되는지에 따라 서로 다른 순 발열량 및 배출계수가 이용될 것이기 때문에, 에너지 제품의 이전 및 재분류에 관한 처리는 부문별 접근접 산정에 차이를 초래할 것이다.
- 대량의 연료를 생산 및 수출하는 국가에 대해, 잔여 공급(residual supply)에 대한 불확도는 중요할 것이고 기본 접근법에 영향을 미칠 수 있다.

6.9 자료 출처

배출목록의 계산에 관한 IPCC 접근법은 공인된 국가 기관에 의해 수집된 연료 통계의 이용을 권고하며, 왜냐하면 이것이 일반적으로 가장 포괄적이고 접근 가능한 활동자료의 원천이기 때문이다. 그렇지만 일부 국가에서는 인벤토리 정보를 작성하는 과업을 맡은 사람이 국가 내에서 가용한 자료의 전체 범위에 즉시 접근하지 못하고, 정책 기능이 전세계의 에너지 공급 및 이용에 관한 지식을 요구하는 국제 기구에 해당 국가가 특별히 제공한 자료를 이용하고자 할 지 모른다. 현재, 국제적인 에너지 통계의 두 가지 주요 원천이 존재한다: 국제에너지기구 (IEA)와 유엔 (UN). 국제적인 자료 출처에 대한 정보는 에너지 권의 서론 장에서 주어진다 (1.4.1.3절).

6.10 불확도

기본 접근법이 연료 연소에서 발생하는 CO_2에 대한 주요 계산 방법이라면, 불확도 분석을 수행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

6.10.1 활동자료

활동자료의 전체 불확도는 체계적 오차와 무작위 오차의 조합이다. 대부분의 선진국은 연료공급 발란스(balances of fuel supply)를 준비하며 이는 체계적 오차에 대한 검사를 제공한다. 이러한 환경에서, 전체적인 체계적 오차는 작을 것이다. 그렇지만, 개인 및 소규모 생산자가 자신이 이용하기 위해 화석연료 (일반적으로 석탄)를 추출하고 이것이 공식적인 계산 시스템에 들어가지 않는 경우에 불완전한 계산이 발생할 것이다. 그렇지만, 전문가들은 잘 개발된 통계 시스템을 가진 국가의 활동자료에서 오차로 인한 불확도는 주어진 연료에 대해 ±5% 범위에 아마 있을 것이라고 믿는다. 덜 잘 개발된 에너지 자료 시스템을 가진 국가에 대해, 이는 상당히 클 수 있으며, 주어진 연료에 대해 대략 ±10% 일 것이다.

6.10.2 탄소 함유량 및 순 발열량

탄소 함유량 및 순 발열량에 관련된 불확도는 두 가지 주된 요소에 의해 발생한다, 값들이 측정되는 정확성, 연료 공급원 및 가용한 공급 표본의 질에서의 변동. 결론적으로, 오차는 주로 무작위인 것으로 간주될 수 있다. 불확도는 연료 구성의 변동에서 주로 발생할 것이다. 거래되는 연료에 대해, 불확도는 거래되지 않는 연료보다 작을 것이다 (표 1.2 및 1.3을 참고).

6.10.3 산화계수

기본값 불확도 범위는 산화계수에 대해 가용하지 않다. 산화계수에 대한 불확도는 이용하고 있는 장비의 유형에서 연소의 완전성에 대해 대규모 소비자에 의해 제공된 정보에 기초하여 개발될 것이다.

참고문헌

IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (2000)Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

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.