



기후변화에 관한 정부간 협의체



국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

제5권



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.

환경부환경관리공단 : 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인 (2008)

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



WMO

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

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

제5권

폐기물

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 JAPAN¹
ISBN 4-88788-032-4²

¹ 가이드라인 원문의 출판 국가.

² 가이드라인 원문에 대한 ISBN 번호

제5권

폐기물

총괄 주저자

Riitta Pipatti (핀란드), Sonia Maria Manso Vieira (브라질)

편집 책임자

Dina Kruger (미국), Kirit Parikh (인도)

제5권은 한영지 교수(강원대학교) 책임 하에 번역된 후 환경관리공단 온실가스관리
팀에서 보완·정리하였습니다.

목 차

5권 폐기물

- 1장 서론
- 2장 폐기물 발생, 조성 및 관리 자료
- 3장 고형 폐기물 매립
- 4장 고형 폐기물의 생물학적 처리
- 5장 폐기물의 소각 및 노천 소각
- 6장 폐수처리 및 배출

제1장

서론

저자

Ritta Pipatti (핀란드), Sonia Maria Manso Vieira (브라질)

목 차

1. 서론	
1.1 서론	1.4
참고문헌	1.6

그 림

그림 1.1 폐기물 부문의 체계	1.4
-------------------------	-----

1 서론

1.1 서론

폐기물 권은 아래와 같은 카테고리로부터의 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 그리고 아산화질소(N₂O)의 배출량 산정에 대한 방법론적 지침을 제공한다.

- 고형 폐기물 매립(3장)
- 고형 폐기물의 생물학적 처리(4장)
- 폐기물의 소각 및 노천소각(5장)
- 폐수 처리와 배출(6장)

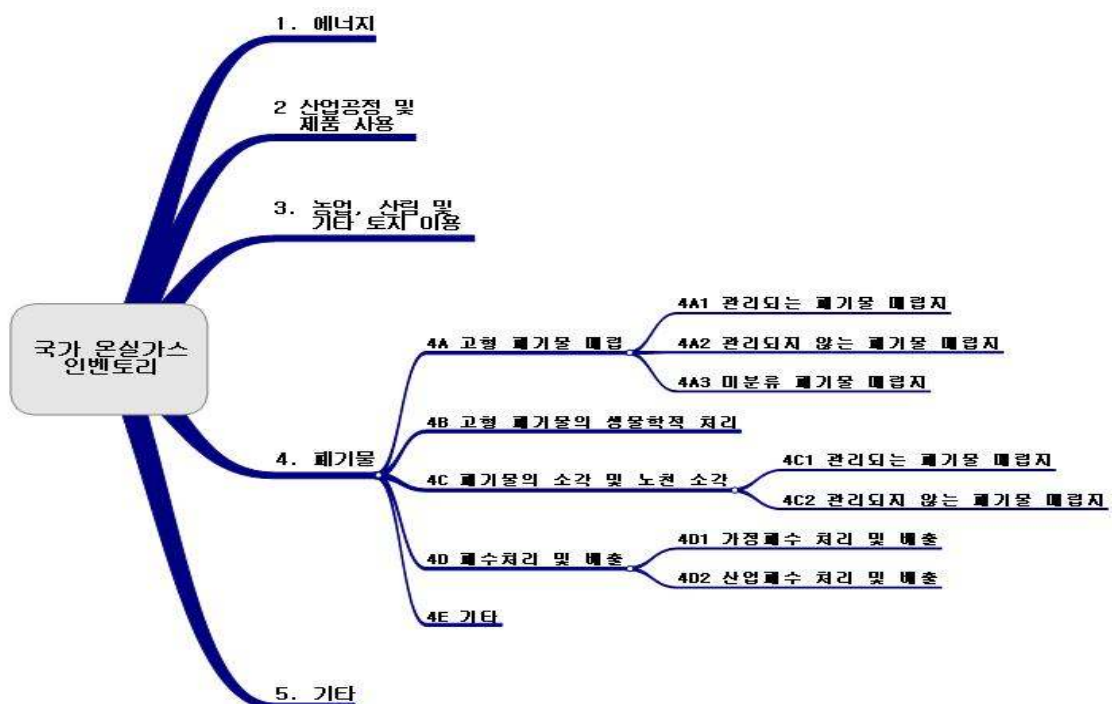
3장 ‘고형 폐기물 매립’에서는, 폐기물 부문에서 자료 항목(information item)으로써 보고되는(4장, AFOLU, 12장, 채취된 목재 생상품도 같이 참조할 것), 고형 폐기물 매립지(solid waste disposal sites; SWDS)에 저장되어 있는 탄소량의 변화를 산정하는 방법도 같이 제공한다.

2장 ‘폐기물 발생, 구성 및 관리 자료’에서는 폐기물 매립, 생물학적 처리, 소각 및 노천 소각을 포함한 고형 폐기물 관리에 대한 자료 수집의 일반적인 지침을 제공한다.

폐기물 부문의 카테고리화 활동도 및 관련된 정의는 1권(전반적인 지침과 보고) 8장의 표 8.2에서 찾을 수 있다. 가능한 한 최대한 이러한 카테고리들을 보고서에 적용시키는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

그림 1.1은 폐기물 부문 카테고리의 체계와 IPCC 카테고리의 코드를 보여준다.

그림 1.1 폐기물 부문 체계



일반적으로, SWDS로부터의 CH_4 배출이 폐기물 부문에서의 가장 큰 온실가스 배출원이다. 또한, 폐수 처리 및 방류에서 발생하는 CH_4 의 배출 역시 상당히 중요할 수 있다.

화석 탄소(fossil carbon)를 함유하는 폐기물(예를 들어, 플라스틱)의 소각 및 노천 소각은 폐기물 부문에서 가장 중요한 CO_2 의 배출원이다. 폐기물의 에너지 변환, 다시 말하면 폐기물 자체를 직접적으로 연료로 사용하는 과정이나 폐기물을 연료로 전환시키는 과정에서 배출되는 모든 온실가스는 에너지 부문에서 산정되어야 하고 보고되어야 한다. 본 권의 5장에서 설명하고 있는 지침은 에너지 회수를 하거나 하지 않는 폐기물 소각에 대해서 일반적으로 유효하다. CO_2 는 SWDS, 폐수 처리 및 비-화석 폐기물의 소각에서도 역시 발생하지만, 이러한 CO_2 는 생물 기원(biogenic origin)이기 때문에 본 부문에서 보고되어야 할 항목에 속하지 않는다¹. 반면 에너지 부문에서는, 생물 기원 제품의 연소로부터 발생하는 CO_2 발생량(폐기물의 에너지화 적용으로부터 발생하는 CO_2 도 포함한다)이 중요한 항목으로 보고된다. 폐기물 권에서 소개되고 있는 대부분의 처리에서 아산화질소도 배출된다. N_2O 배출의 중요성은 처리 유형과 처리 도중의 조건에 따라서 크게 달라진다.

폐기물 처리와 폐수 처리 및 방류는 암모니아(NH_3)뿐 아니라 비메탄 휘발성 유기화합물(non-methane volatile organic compounds; NMVOCs), 질소산화물(NO_x), 그리고 일산화탄소(CO)도 역시 배출시킨다. 그러나 이런 가스 물질에 대한 배출량 산정 방법은 본 권에서는 포함되지 않으며, 독자들은 대기오염의 장거리 이동에 관한 협정(Convention of Long Range Transboundary Air Pollution; EMEP/CORINAIR 지침서, EEA, 2005)과 EPA의 대기 오염물질 배출계수에 대한 간행(Compilation of Air Pollutant Emissions Factors; U.S.EPA, 1995)을 참조할 수 있다. 폐기물 부문에서 발생하는 NO_x 와 NH_3 는 간접적으로 N_2O 를 배출시킨다. NH_3 가 퇴비화에서 발생된다면, NO_x 는 폐기물의 소각으로부터 주로 발생된다. 전체적으로, 폐기물 부문에서의 간접적인 N_2O 배출은 중요하지 않아 보인다. 그러나 NO_x 와 NH_3 의 배출량 산정이 가능하다면, 완벽한 보고서를 위하여 간접적인 N_2O 의 배출량을 산정하는 것은 우수실행(good practice)이 될 것이다(1권의 7장을 참조하시오).

폐기물 권의 범위는 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 1996 IPCC 가이드라인(1996 가이드라인, IPCC, 1997) 및 국가 온실가스 인벤토리에 대한 우수실행지침 및 불확도 관리(Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories; GPG2000, IPCC, 2000)와 유사하다. 모든 주요 폐기물 처리 방법들을 포함하도록 가이드라인을 보완하기 위해서, 아래와 같은 하위 카테고리를 새롭게 추가하였다.

- 폐기물의 생물학적 처리: 생물학적 처리(퇴비화, 바이오 가스 설비에서의 혐기성 소화)로부터의 CH_4 과 N_2O 배출량 산정에 대한 지침이 4장, '고형 폐기물의 생물학적 처리'에 포함되었다.
- 폐기물의 노천 소각: 폐기물 소각에 대한 기존의 지침을 보완하기 위해서 소각으로부터의 CH_4 배출량 산정 및 폐기물의 노천 소각으로부터의 배출량 산정에 대한 지침이 5장, '폐기물의 소각 및 노천 소각'에 추가되었다.
- 오수 정화조와 변소: 폐수 방류뿐만 아니라 오수 정화조와 변소로부터 배출되는 CH_4 및 N_2O 의 배출량을 산정하기 위한 방법이 6장, '폐수 처리 및 방류'에 포함되어 있다.

¹ 생물 기원으로부터의 CO_2 배출은 AFOLU 부문에서 탄소 저장량 변화로써 보고하거나 산정할 필요가 없다. 왜냐하면, 식생에 의한 CO_2 흡수와의 상쇄로 인해 인벤토리에서 보고되지 않기 때문이다(예를 들어, 매해 농산물).

참고문헌

- EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook - 2005. European Environment Agency. URL: <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en>
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Treanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Enmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. and Tanabe, K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- U.S.EPA (1995). U.S. EPA's Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, AP-42, Edition 5. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>. United States Environmental Protection Agency.

제2장

폐기물 발생, 조성 및 관리 자료

저자

Riitta Pipatti (핀란드), Chhemendra Sharma (인도), Masato Yamada (일본)

Joao Wagner Silva Alves (브라질), Qingxian Gao (중국), G.H.Sabin Guendehou (베닌), Matthias Koch (독일), Carlos Lopez Cabrera (쿠바), Katarina Mareckova (슬로바키아), Hans Oonk (네덜란드), Elizabeth Scheehle (미국), Alison Smith (영국), Per Svardal (노르웨이), Sonia Maria Manso Vieira (브라질)

목 차

2 폐기물 발생, 조성 및 관리 자료	2.4
2.1 서론	2.4
2.2 폐기물 발생과 관리 자료	2.4
2.2.1 도시 고형 폐기물(Municipal Solid Waste; MSW)	2.5
2.2.2 슬러지	2.8
2.2.3 산업 폐기물	2.8
2.2.4 기타 폐기물	2.11
2.3 폐기물 조성	2.12
2.3.1 도시 고형 폐기물(MSW)	2.12
2.3.2 슬러지	2.15
2.3.3 산업 폐기물	2.16
2.3.4 기타 폐기물	2.17
첨부 2A.1 폐기물 발생과 관리 자료 - 국가와 지역 평균을 기준으로	2.18
참고문헌	2.24

표

표 2.1 MSW 발생과 처리 자료 - 지역 기본값(default)	2.5
표 2.2 일부 국가에서의 산업 폐기물 발생	2.10
표 2.3 백비율에 따른 MSW 구성 자료 - 지역 기본값	2.13
표 2.4 건조 물질 함량 기본값, DOC 함량, 총 탄소 함량 및 다양한 MSW 성분의 화석 탄소 비율	2.14
표 2.5 산업 폐기물에서의 기본 DOC, 화석 탄소 함량	2.16
표 2.6 기타 폐기물에서의 기본 DOC, 화석 탄소 함량	2.17
표 2A.1 MSW 발생과 관리 자료- 국가와 지역 평균을 기준으로	2.19

박스

박스 2.1 폐기물 유형에 따른 폐기물 흐름도 분석에 기반한 고형 폐기물 처리로부터의 배 출량 산정을 위한 활동도 자료 수집의 사례.....	2.7
---	-----

2. 폐기물 발생, 조성 및 관리 자료

2.1 서론

고형 폐기물 매립, 생물학적 처리, 소각, 고형 폐기물의 노천 소각으로부터의 온실가스 배출량 산정의 출발점은 폐기물 발생, 조성 및 관리에 관한 활동도 자료를 수집하는 것이다. 이번 장에서는 이러한 폐기물 카테고리에 대한 일관성을 확보하기 위하여 고형 폐기물 매립, 생물학적 처리, 소각, 폐기물의 노천 소각에 대한 자료 수집에 대한 일반적인 지침을 소개할 것이다. 배출량 산정에 필요한 활동도 자료, 산출 요소, 기타 요인(parameter)의 선택에 관한 보다 상세한 지침은 3장(고형 폐기물 매립), 4장(고형 폐기물의 생물학적 처리), 5장(폐기물의 소각과 노천 소각)에서 다루어질 것이다.

고형 폐기물 발생량은 고형 폐기물 매립, 폐기물의 생물학적 처리, 소각, 노천 소각으로부터의 배출량을 산정하기 위한 가장 기본적인 활동도 자료이다. 고형 폐기물 발생 비율과 구성은 경제적 상황, 산업 구조, 폐기물 관리 규정, 삶의 양식에 따라 국가마다 다양하게 나타난다. 고형 폐기물 발생에 관한 자료는 지속적인 관리뿐만 아니라 그 이용도와 질 측면에서 국가마다 현저한 차이가 있다. 폐기물 발생과 처리에 대한 통계는 지난 세기 동안 많은 국가에서 현저하게 향상되었지만, 현재 단지 소수의 국가만이 모든 폐기물 유형과 처리 기술에 걸친 광범위한 폐기물 자료를 가지고 있다. SWDS의 폐기물 매립에 대한 과거부터의 자료는 1차 분해 반응법(First Order Decay method)(3장 고형 폐기물 매립, 3.2.2절을 참고)을 사용하는 이 카테고리에서의 메탄(CH_4) 배출량을 산정하기 위하여 필요하다. 매우 소수의 국가만이 수세기에 걸친 과거 폐기물 매립에 관한 자료를 가지고 있다.

고형 폐기물은 가정, 사무실, 상점, 식당, 공공 조직, 산업 시설, 수도 및 하수 시설, 건축 및 건물 해체 부지, 농업 활동(농업 잔류물의 현지 내 소각뿐만 아니라 비료 처리에 의한 배출량은 농업, 산림 및 기타 토지 이용(Agriculture, Forestry and Other Land Use; AFOLU) 장에서 다루어진다)에서 발생한다. 온실가스 인벤토리에서 폐기물 관련 배출량을 산정할 때 모든 유형의 고형 폐기물에 대해 산정하는 것이 **우수실행**이다.

고형 폐기물 관리는 폐기물의 수집, 재활용, 고형 폐기물 토지 매립, 소각 및 노천 소각, 생물학적 처리, 기타 처리 등을 포함한다. 비록 재활용(물질 회수; material recovery)¹ 활동이 다른 관리나 처리 시스템에 속하는 폐기물의 양에 영향을 미치는 것은 하지만, 재활용이 배출량에 미치는 영향은 다른 절에서 다루어질 것이고 더 상세한 내용은 여기에서 다루어지지 않을 것이다.

2.2 폐기물 발생과 관리 자료

폐기물 발생과 관리에 관한 자료를 수집하는 방법에 관한 지침은 도시 고형 폐기물(MSW), 슬러지, 산업 및 기타 폐기물에 대하여 각각 제시될 것이다. 이러한 카테고리에 대한 기본값 정의는 아래와 같다. 이 기본값 정의는 다음의 방법론적 지침에서 사용된다. 이 정의는 국가별로 폐기물

¹ 재활용은 종종 폐기물의 에너지 전환(waste-to-energy) 활동과 생물학적 처리를 포함하는 것으로 정의된다. 실용적인 관점에서의 보다 협소한 정의는 다음과 같다. 재활용은 폐기물 흐름도에서의 물질 자원의 재생, 즉 전형적인 종이, 유리, 금속, 플라스틱, 나무, 음식물 쓰레기 등의 재생으로 정의된다.

카테고리 분류가 다양하고 상이한 폐기물 성분²을 포함할 수 있기 때문에, 국가별로 변용할 수 있다. 인벤토리에 있는 이용 가능한 자료가 특정 폐기물 유형 및 배출원(예: 도시 폐기물)만을 포함한다면, 이 제한된 이용가능성은 인벤토리 보고서에 분명히 명시되어야만 하며, 이 자료들이 모든 유형의 폐기물을 포괄할 수 있도록 보완하는 데 노력을 기울여야 할 것이다.

2.3절 폐기물 조성에서, 조성의 기본값은 이러한 폐기물 카테고리 기본값에 대해 주어지 있다. 폐기물 조성의 기본값은 Tier 1 방법의 계산을 위한 근거로 사용된다.

2.2.1 도시 고형 폐기물(MSW)

도시 폐기물은 일반적으로 도시나 다른 지역 당국에 의해 수집된 폐기물로 정의된다. 그러나 이러한 정의는 국가에 따라 다양하다. 일반적으로 MSW는 다음을 포함한다.

- 가정 폐기물
- 정원 및 공원 폐기물
- 상업/기관(institutional) 폐기물

기본값 데이터

1인당 MSW 발생과 관리에 대한 지역 고유의 기본값 자료를 표 2.1에 나타내었다. 이러한 자료는 첨부 2A.1에 있는 제한된 수의 국가로부터 얻어진 특정 국가 자료에 근거하여 산정되었다. 이 자료는 습윤 폐기물(wet waste)³의 양에 근거하며, 2000년에 적용할 수 있다. 그 다음 연도 혹은 그 전 연도에 대한 1인당 폐기물 발생은 SWDS로부터의 지난 과거부터의 배출량 산정 방법에 관한 지침(3장, 3.2.2절 참고)과, 외삽법(extrapolation) 및 내삽법(interpolation)에 대한 방법(6장 시간 연속성, 1권 일반적인 지침과 보고 참고)을 사용하여 추정될 수 있다.

표 2.1 MSW 발생과 처리 자료- 지역 기본값					
지역	MSW 발생률 ^{1,2,3} (tonnes/cap/yr)	SWDS로 매립되는 MSW 비율	소각되는 MSW 비율	퇴비화되는 MSW 비율	분류되지 않은 ⁵ 기타 MSW 관리 비율
아시아					
동아시아	0.37	0.55	0.26	0.01	0.18
남부 중앙아시아	0.21	0.74	-	0.05	0.21
동남아시아	0.27	0.59	0.09	0.05	0.27
아프리카	0.29	0.69	-	-	0.31
유럽					
동유럽	0.38	0.90	0.04	0.01	0.02
북유럽	0.64	0.47	0.24	0.08	0.20

² 일부 국가에서는 이러한 광의의 폐기물 카테고리를 사용하지 않으며 더 상세한 분류를 사용한다. 예를 들면, 폐기물 통계에 관한 유럽의 의회 및 지방 의회의 법규(EC no 2150/2002)는 하나의 카테고리로서 국가 고형 폐기물을 포함하지 않는다.

³ 건조 폐기물이 특정 온도, 통풍, 시간 조건하에서 폐기물을 건조시킨 후에 측정되는 것과는 달리, 습윤 폐기물은 측량 전에 처리되지 않는다. 이 권에서의 변환은(표 2.4 참고) 건조 물질에 수분이 존재하지 않는다는 가정을 전제로 한다.

남유럽	0.52	0.85	0.05	0.05	0.05
서유럽	0.56	0.47	0.22	0.15	0.15
아메리카					
캐리비안	0.49	0.083	0.02	-	0.15
중앙아메리카	0.21	0.50	-	-	0.50
남아메리카	0.26	0.54	0.01	0.003	0.46
북아메리카	0.65	0.58	0.06	0.06	0.29
오세아니아	0.69	0.85	-	-	0.15

¹ 자료는 습윤 폐기물 중량에 근거한다.

² 국가별 총 폐기물 발생량을 산정하기 위해서, 1인당 발생량을 폐기물이 수집된 인구수와 곱해주어야 한다. 많은 국가에서, 특히 개발도상국에서는, 도시 인구수만 포함한다.

³ 일부 국가에서는 자료가 적용될 수 있는 해가 참고로 주어지지 않거나 2000년에 해당하는 자료가 존재하지 않지만, 대부분 2000년에 해당하는 기본값이다. 몇 년에 수집된 자료인지, 어디에서 이용 가능한 자료인지는 첨부 2A.1에 제시되어 있다.

⁴ 기타, 분류되지 않은 폐기물은 일부 국가의 재활용 자료를 포함한다.

⁵ 아프리카에서는 지역별로 더 자세한 자료가 존재하지 않기 때문에, 표에 나타난 지역 평균값은 전체 아프리카에 해당된다.

⁶ 오세아니아 자료는 호주와 뉴질랜드의 자료만을 근거로 한다.

국가 고유 자료

여러 국가들이 각 국가의 발생량 산정에 근거하여, 국가 고유의 MSW 발생, 구성, 관리 실습에 관한 자료를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이 된다.

MSW 발생 및 관리에 대한 국가 고유의 자료는 폐기물 통계, 조사(도시 혹은 다른 관련 행정지역, 폐기물 관리 회사, 폐기물 연합 조직, 기타)나 연구 프로젝트(세계 은행, OECD, ADB, JICA, U.S.EPA, ILASA, EEA 등)에 의해 수집될 수 있다.

폐기물 흐름 분석에 의한 자료

MSW 처리 기술은 종종 사슬이나 평행선 차원에서 적용될 수 있다. 자료 수집에 대한 더 정확하고 집약적인 접근 방법은, 배출량에 영향을 미치는 조성 및 기타 변수의 변화를 고려하면서 하나의 처리 방법에서부터 다른 처리 방법으로 가는 폐기물 흐름도를 따라가는 것이다. 이러한 폐기물 흐름 분석은 폐기물 발생 및 관리에 대한 국가 고유의 질 높은 자료를 이용해야 한다. 이러한 접근은 종종 모델링으로 보완된다. 이러한 접근법을 사용할 때, MSW 발생, 처리, 매립에 관해 각각 수집된 자료를 사용하여 자료를 검증하는 것이-특히 그 자료들이 전반적으로 모델링에 근거한 경우에는- *우수실행(good practice)*이 된다. 만약 국가들이 각각의 목표 지점에서 질이 높고 상세한 자료를 가지고 있으며 정보를 검증할 수 있다면, 이 방법이 위에 제시된 접근법보다 더욱 정확할 수 있다.

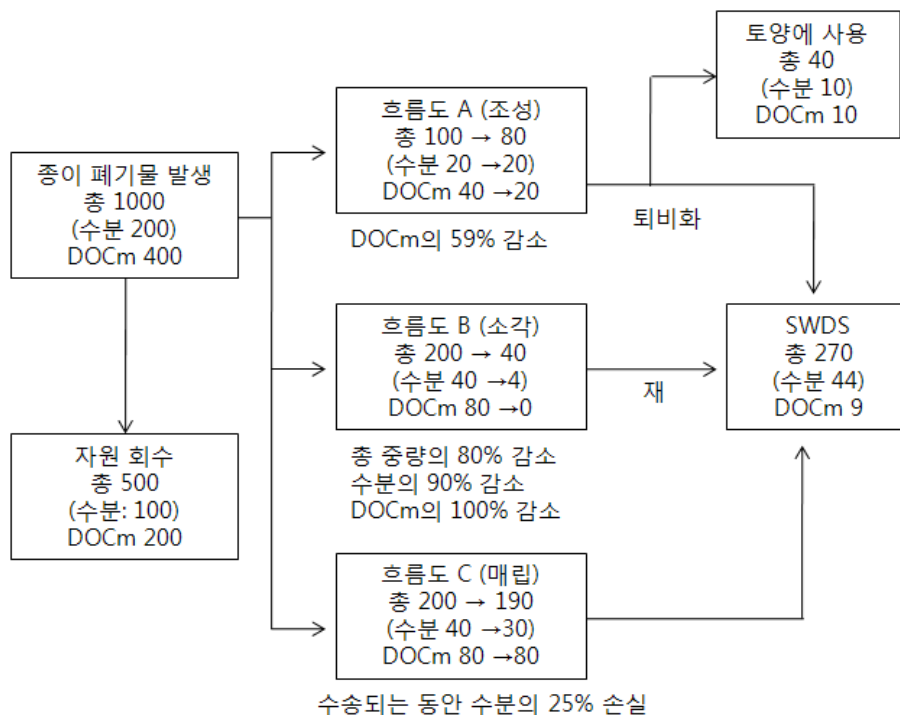
SWDS에서 매립된 종이 폐기물의 양을 산정하기 위한 접근법을 적용하는 사례는 박스 2.1, 폐기물 유형에 따른 폐기물 흐름 분석에 근거한 고형 폐기물 처리로부터의 배출량 산정을 위한 활동도 자료 수집의 예에 제시되어 있다. 이러한 접근법을 사용함으로써 다음과 같은 모든 폐기물 흐름은 모든 고형 폐기물 처리와 매립(폐기물 소각과 폐기물의 노천 소각을 포함한)에 대한 활동도 자료를 제공한다. 이 접근법에 필요한 자료는 산업, 가정, 폐기물 관리 회사 및 기관에 대한 조사에 근거하고, MSW 발생, 처리 및 매립에 관한 통계적 자료를 보완하여 추정될 수 있다.

박스 2.1

폐기물 유형에 따른 폐기물 흐름 분석에 근거한 고형 폐기물 처리로부터의 배출량 산정을 위한 활동도 자료 수집의 예

폐기물 흐름은 폐기물 발생 지점에서 출발하여 수집과 수송, 자원 재생을 위한 분리, SWDS에서의 부피 감소, 독소 제거, 안정화, 재활용, 에너지 회수와 SWDS에서의 종료까지 흐른다. 폐기물 흐름은 국가마다 다르다. 다수의 국가에서 전통적으로 대부분의 고형 폐기물은 SWDS에 매립되어 왔다. 그러나 자원 보호와 환경 보호가 필요하다는 인식이 최근 증가하면서 고형 폐기물의 재활용, 선진국의 매립 전 처리도 증가하고 있다. 개발 도상 국가에서는 폐기물 수합 시, 수송 중, 그리고 SWDS에서 가치 있는 물질의 회수가 흔히 이루어지고 있다.

분해 가능한 유기 탄소(degradable organic carbon; DOC)는 고형 폐기물 매립으로 인한 메탄(CH_4)의 배출에 영향을 미치는 주요 인자 중의 하나이다. DOC는 폐기물 조성에 근거하여 산정되고, 다른 폐기물의 비율(fraction)에 따라 변화한다. SWDS에 매립된 폐기물 양과 폐기물 내 DOC의 질량(DOCm)의 정확한 산정은 SWDS의 유입구에서 폐기물을 시료 채취하여 폐기물의 DOC양을 측정하거나, 각 폐기물 유형의 종류, 또는 배출원에 대한 폐기물 흐름도를 구체화하여 얻어낼 수 있다. 폐기물 흐름도의 매개 과정은 수분과 DOC양을 포함한 폐기물의 물리적, 화학적인 특성을 의미 있게 변화시킬 수 있다. SWDS에 매립된 폐기물의 DOC양은 매립 전 처리에 따라 발생 시점에서의 DOC양과 상당히 다를 것이다. SWDS에 매립된 DOC양의 측정치에 기반한 신뢰성 있는 자료를 갖고 있지 않은 국가들은, 각 폐기물 유형의 초기 처리 과정 동안의 수분량과 DOC양의 변화에 대한 분석을 통해 SWDS에서의 메탄(CH_4) 배출량의 과대 혹은 과소 평가를 방지할 수 있다.



참고 1: DOCm은 분해 가능한 유기탄소의 질량을 뜻한다.

참고 2: 각 상자 안의 값은 총 질량, 수분, 그리고 질량 단위로서의 DOCm(tonnes, kilograms, 및 기타)을 의미한다.

위 그림은 매립 전 처리과정 동안에 일어나는 DOCm의 변화량 분석을 위한 종이 폐기물의 흐름도를 보여준다. 종이 폐기물의 일부는 재사용할 수 있도록 회수될 수 있고, 폐기물 관리 흐름으로부터 전용될 수 있다. 종이 폐기물에서의 DOCm은 SWDS에서의 매립 전 퇴비화, 소각과 같은 중간 과정에 의해 감소된다. 각 공정의 최종 단계에서의 폐기물의 총량, DOCm 및 수분량은 유입구에서의 각 성분들의 질량과 각 공정의 감소율을 곱함으로써 계산될 수 있다. 처리 단계에서 다른 폐기물 유형이 포함되기는 하지만, 이 그림에서는 종이 폐기물만을 보여준다. 소각은 대부분의 수분을 제거하지만, 재(ash)는 SWDS에 운반되고 적재되는 동안 대기로의 배출(fly loss)을 피하기 위해 다시 젖게 된다. SWDS(예: 자원 회수, 퇴비화, 소각, 토지에서의 사용)와 다른 카테고리로부터의 온실가스 배출은 관련된 장에 제시된 지침 하에서 산정되어야 한다. 이 그림에서의 산정은 한 가지 예에 국한된 전문가의 판단에 기인한 것이다.

이러한 접근법을 적용해서 정확한 산정을 하기 위해서는, 도시 폐기물 발생과 처리 흐름, 국가 고유의 각 폐기물 유형의 DOC 산정량, 폐기물 퇴비화, 수분 함량에 대한 변수에 대한 국가적인 통계가 필요하다. 많은 국가에서 이러한 모든 자료와 변수를 얻는 것은 어려울 수 있다. 만약 SWDS에서 매립 전의 각 중간 처리 단계에서 국가 고유의 수분량과 DOCm 감소율을 얻을 수 있다면, SWDS에 매립된 DOC 산정량은 발생 단계에서 측정된 자료에 근거할 때보다 더 정확할 것이다.

2.2.2 슬러지

이번 권에서 가정과 산업 폐수 처리장으로부터의 슬러지는 각 폐기물 카테고리에 따라 다르게 다루어진다. 일부 국가에서는 가정 폐수로부터의 슬러지는 MSW에 포함되고, 산업 폐기물 처리로부터의 슬러지는 산업 폐기물에 포함된다. 그러나 또 다른 일부 국가들은 모든 슬러지를 산업 폐기물에 포함시킨다. 따라서 국가 고유의 카테고리가 사용될 때는 투명하게 문서화되어야 한다.

폐기물 처리 시설에서의 슬러지 처리로 인한 배출량은 6장(폐수 처리와 방출)에서 다루어질 것이다. 3, 4, 5장에서는 각각 매립, 퇴비화(그리고 다른 유기 고형 폐기물과 함께 슬러지의 혐기성 소화), 슬러지의 소각이 설명된다. 농지와 관련된 슬러지는 4권(농업, 삼림업, 기타 토지 사용)의 11장 11.2절(관리되고 있는 토양으로부터의 아산화질소 배출)에서 서술될 것이다. 상이한 카테고리 간의 배출에 대한 이중 산정은 반드시 피해야만 한다. 매립, 퇴비화, 소각, 또는 농업에서의 활용에 의해, 슬러지와 같이 하수 처리로부터 제거된 유기물의 양(6장의 식 6.1을 참조)은 이러한 카테고리 하에서 보고된 양과 일치하여야 한다.

슬러지 발생, SWDS로의 매립, 퇴비화, 소각에 대한 기본값 자료는 여기에서는 제공되지 않는다⁴. 만약 국가 고유의 자료가 존재하지 않는다면, 배출량 산정에 관한 방법은 6장에서 소개되는 방법론에서 다루어질 것이다. 슬러지 내 분해 가능한 유기 탄소 함량에 대한 기본값은 이 장의 2.3절(폐기물 구성)에서 설명된다.

⁴ 일부 유럽 국가에 대해서 하수 폐기물 매립에 관한 자료는 Eurostat(2005)에 의해 수집된다.

2.2.3. 산업 폐기물

일부 국가에서는, 상당한 양의 유기 산업 고형 폐기물이 발생한다.⁵ 산업 폐기물 발생과 조성은 관련 국가에서의 산업, 과정/기술 유형에 따라 다양하다. 국가들은 산업 폐기물에 대하여 다양한 카테고리를 적용한다. 예를 들면, 건축 및 해체 폐기물은 MSW에서는 산업 폐기물로 포함될 수도 있고, 분리된 카테고리로서 정의될 수도 있다. 여기에서 사용된 기본값 카테고리는 건축 및 해체 폐기물을 산업 폐기물의 일부로 가정한다. 많은 국가에서는 산업 고형 폐기물이 특정한 분류로 다루어지며, 이러한 폐기물의 양은 일반적인 폐기물 통계에 포함되지 않는다. OECD(2002)는 산업 폐기물 발생과 처리에 관한 통계 자료를 수집하고 있다. 이러한 통계는 주기적으로 출판된다. 대부분의 개발도상국에서는 산업 폐기물이 도시 고형 폐기물 분류에 포함되기 때문에, 개별적인 산업 폐기물 자료를 입수하는 데에 어려움이 있다.

산업 고형 폐기물 매립 자료는 국가적인 통계나 조사에 의해 얻어진다. DOC와 화석 탄소를 함유한다고 예상되는 산업 폐기물만이 폐기물 배출량 산정의 대상으로 취급되어야 한다. 건축 및 해체 폐기물은 주로 콘크리트나 잡석 등의 불활성 물질이지만, 목재에서는 일부 DOC(2.3.3절 참고)를, 플라스틱에서는 일부 화석 탄소를 함유할 수 있다. 폐기물을 SWDS에 매립하거나 소각하기 전에, 다양한 재활용이나 감축 기술이 산업 폐기물에 적용되고 이에 대해 이용 가능한 자료가 존재한다면 이를 반드시 산정에 고려해야 한다.

기본값 자료

산업 폐기물 발생 자료(총 산업 폐기물 발생과 제조업 및 건축 폐기물에 대한 자료)는 일부 국가에 대해서 표 2.2에 나타나 있다. 총량은 또한 산업과 건설업 생산으로부터 발생하는 폐기물 이외의 다른 폐기물 유형까지 포함한다. 이 자료는 습윤 폐기물의 중량에 기인한다. 비록 상당량의 산업 폐기물이 발생되지만 재활용/재사용 비율은 대개 높은 편이며, 고형 폐기물 매립지에 매립된 산업 폐기물로부터의 분해 가능한 유기 물질 비율은 대개 MSW보다 적다. 국가마다 다르긴 하지만 산업폐기물의 상당한 양이 소각된다. 퇴비화나 기타 생물학적 처리는 음식물을 생산하는 산업에서 발생하는 폐기물이나 기타 부패하기 쉬운 폐기물에 국한되어 있다. 산업 폐기물 발생에 관한 국가적 자료가 없거나 표 2.2에 자료가 제시되지 않은 국가들은, 유사한 환경에 있는 다른 국가들의 자료를 사용하면 된다. 제 1권의 제 2장(자료 수집을 위한 접근법)은 자료 수집에 대한 일반적인 지침을 제공한다.

표 2.2의 자료는 산업 폐기물 관리에 관한 자료를 포함하지 않는다. 산업 폐기물 관리 측면에서 국가 고유의 자료를 다른 출처에서 얻을 수 없을 때, MSW의 관리(표 2.1 참고)와 같은 동일한 양식을 따르도록 추정될 수 있다. 보다 정확한 자료를 위해서, 인벤토리 작성자가 국가 정보 기관, 예컨대 산업 조직뿐만 아니라 산업 폐기물 관리에 책임이 있는 정부 조직 및 지역 당국과 접촉하는 것이 좋다.

⁵ 표 2.1에 제공되는 기본값은 산업 고형 폐기물을 포함하지 않는다.

표 2.2 일부 국가에서의 산업 폐기물 발생량 (연간 1,000톤)			
지역/ 국가	총량	제조 산업	건설업
아시아			
중국	1,004,280		
일본		120,050	76,240
싱가포르	1,423.5		
한국		39,810	28,750
이스라엘	1,000		
유럽			
오스트리아		14,284	27,500
벨기에		14,144	9,046
불가리아		3,145	7
크로아티아		1,600	142
체코		9,168	5,083
덴마크		2,950	3,220
에스토니아	1,261.5		
핀란드		15,281	1,420
프랑스		98,000	
독일		47,960	231,000
그리스		6,680	1,800
헝가리		2,605	707
아이슬란드		10	
아일랜드		5,361	3,651
이탈리아		35,392	27,291
라트비아	1,103	422	7
말타		25	206
네덜란드		17,595	23,800
노르웨이		415	4
폴란드		58,975	143
포르투갈		8,356	85
루마니아		797	
슬로바키아		6,715	223
슬로베니아		1,493	
스페인		20,308	
스웨덴		18,690	
스위스		1,470	6,390
터키		1,166	
UK		50,000	72,000
오세아니아			
호주		37,040	10
뉴질랜드		1,750	NR
자료는 습윤 폐기물량에 근거한다. 일부 국가에서는 자료가 적용될 수 있는 해가 참고로 주어지지 않거나 2000년에 해당하는 자료			

가 존재하지 않지만, 대부분 2000년에 해당하는 기본값이다.

참고 문헌:

Environmental Statistics Yearbook of China(2003)

Eurostat(2005)

Latvian Environment Agency(2004)

OECD(2002)

National environmental agency, Singapore(2001)

Estonian Environment Information Centre(2003)

Statistics Finland(2005)

Milleubalans(2005)

국가 고유의 산업 폐기물 발생 자료

일부 국가에서는 산업 폐기물 발생과 관리에 관한 통계적 자료를 가지고 있다. 배출량 산정을 위한 토대로서의 관리뿐만 아니라 산업 폐기물 발생, 폐기물 퇴비화(3.2.2절 참고)에 관한 국가 고유의 자료를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이 된다. 이 자료는 산업 유형에 따라 가능한 한 최대한으로 수집되어야 한다. 만약 이용 가능한 자료가 일부의 산업 및 산업 폐기물 유형에 국한된다면, 이러한 제한된 이용가능성은 인벤토리 보고서에서 분명하게 명시되어야 하며, 모든 산업 폐기물을 포함하도록 보완하기 위한 노력이 이루어져야 한다.

폐기물 흐름도 분석을 위한 자료

2.2.1절에서 다루어졌듯이 배출량에 영향을 미치는 조성 및 기타 변수의 변화를 고려하면서 하나의 처리로부터 다른 처리로의 폐기물 흐름도 분석을 따르는 접근방법은 산업폐기물에 대해서도 역시 적용할 수 있다. 자료는 표본 조사를 통해 수집되거나 각 공장별로 수집될 수 있다.

2.2.4 기타 폐기물

병원 폐기물: 이 폐기물은 플라스틱 주사기, 동물 조직, 봉대, 옷 등을 포함한다. 일부 국가에서는 MSW에 이러한 항목들을 포함하였다. 병원 폐기물은 보통 소각된다. 그러나 일부 병원 폐기물은 SWDS에 매립될 수도 있다. 지역 고유의 혹은 국가 고유의 어떠한 기본값 자료도 병원 폐기물 발생과 관리에 관해 다루고 있지 않다. 대부분의 국가에서, 병원 폐기물로 인한 온실가스 배출량은 중요하지 않은 것으로 나타난다. 병원 폐기물에서의 DOC와 화석 탄소 함량의 기본값은 2.3.4절, 표 2.6에서 다루어진다.

유해 폐기물: 폐유, 폐용매, 재, 석탄재, 가연성, 폭발성, 부식성, 독성과 같은 기타 위험성을 지닌 폐기물은 유해 폐기물에 해당한다. 유해 폐기물은 일반적으로 위험성이 없는 MSW나 산업 폐기물과 분리되어 수집되고 처리되며 매립된다. 일부 유해 폐기물은 소각되는데, 이는 소각에 의한 화석 이산화탄소 배출의 유입원이 된다(제 5장 참고)(Eurostat, 2005).⁶ 중화와 시멘트 고정화도 유해 폐기물의 처리 공정이다. 유기 슬러지나 유해한 기타 액체 폐기물과 더불어 사용되는 이 공정은, 격리를 통해 SWDS에의 온실가스 배출을 감소시키거나 지연시킬 수 있다. 많은 국가에서는 사전 처리 과정 없이 SWDS에 유해 폐기물을 매립하는 것이 금지되어 있다. 유해 폐기물의 매립으로

⁶ Eurostat(2005)는 유럽 국가들로부터의 위험 폐기물 발생과 처리에 관련된 국가적 통계 자료를 수집한다.

인한 배출은 대부분 적다. 유해 폐기물의 발생과 관리에 대해서는 지역 및 국가 고유의 기본값 자료가 존재하지 않는다. 유해 폐기물에 포함된 DOC와 화석 탄소 함량 기본값은 2.3.4절, 표 2.6에 제시되어 있다.

농업 폐기물: 농업 잔류물의 퇴비 관리나 소각은 AFOLU권에서 설명된다. 그러나 다른 고품 폐기물과 함께 처리되거나 매립될 수 있는 농업 폐기물은 MSW나 산업 폐기물에 포함된다. 예를 들면, 이에 해당하는 폐기물은 퇴비, 농업 잔류물, 가축의 시체, 온실과 뿌리 덮개용도의 플라스틱 필름이다.

2.3 폐기물 조성

2.3.1 도시 고품 폐기물(MSW)

폐기물 유형마다 포함된 분해 가능한 유기 탄소(DOC)와 화석 탄소의 양이 다르기 때문에, 폐기물 조성은 고품 폐기물 처리로 인한 배출량에 영향을 주는 주요 요인들 중 하나이다. 폐기물 조성은 다른 지역과 국가에서 MSW에서의 폐기물 조성에 관한 자료 수집에 사용된 분류 외에도 다방면에 걸쳐 다양하게 나타난다.

이 권에서는, 다음의 폐기물 유형에 따라 MSW의 폐기물 조성에 관한 기본값 자료가 제시된다.

- (1) 음식 폐기물
- (2) 정원 및 공원 폐기물
- (3) 종이와 카드보드
- (4) 목재
- (5) 섬유
- (6) 기저귀(일회용 기저귀)
- (7) 고무와 가죽
- (8) 플라스틱
- (9) 금속
- (10) 유리(도기와 자기)
- (11) 기타(재, 오물, 먼지, 흙, 전자 폐기물)

(1)에서 (6)까지의 폐기물 유형은 MSW의 대부분의 DOC를 포함한다. 재, 먼지, 고무, 가죽은 비화석 탄소도 물론 포함하지만 이것은 거의 분해되지 않는다. 일부 섬유, 플라스틱(일회용 기저귀에 쓰인 플라스틱을 포함한), 고무, 전자 폐기물은 MSW의 대부분의 화석 탄소를 포함한다. 코팅된 종이와 인조 가죽도 소량의 화석 탄소를 포함할 수 있다.

지역 및 국가 고유의 MSW에 있어서의 폐기물 조성에 관한 기본값 자료는 표 2.3에 제시되어 있다. 이 자료는 습윤 폐기물 중량에 근거한다. 표 2.3은 정원과 공원 폐기물, 기저귀에 대한 기본값 자료를 제공하지 않는다. Tier 1 기본값 방법에서는 이러한 폐기물 비율을 0으로 가정할 수 있는

데, 예를 들어 기타 폐기물 유형에 포함될 수 있다.

표 2.3 백비율에 의한 MSW 조성 자료- 지역 기본값									
지역	음식물 쓰레기	종이 /판지	목재	섬유	고무 /가죽	플라스 틱	금속	유리	기타
아시아									
동아시아	26.2	18.8	3.5	3.5	1.0	14.3	2.7	3.1	7.4
남부중앙아시아	40.3	11.3	7.9	2.5	0.8	6.4	3.8	3.5	21.9
동남 아시아	43.5	12.9	9.9	2.7	0.9	7.2	3.3	4.0	16.3
서아시아, 중동아시아	41.1	18.0	9.8	2.9	0.6	6.3	1.3	2.2	5.4
아프리카									
동아프리카	53.9	7.7	7.0	1.7	1.1	5.5	1.8	2.3	11.6
중앙아프리카	43.4	16.8	6.5	2.5		4.5	3.5	2.0	1.5
북아프리카	51.1	16.5	2	2.5		4.5	3.5	2	1.5
남아프리카	23	25	15						
서아프리카	40.4	9.8	4.4	1.0		3.0	1.0		
유럽									
동유럽	30.1	21.8	7.5	4.7	1.4	6.2	3.6	10.0	14.6
북유럽	23.8	30.6	10.0	2.0		13.0	7.0	8.0	
남유럽	36.9	17.0	10.6						
서유럽	24.2	27.5	11.0						
오세아니아									
호주	36.0	30.0	24.0						
기타 지역	67.5	6.0	2.5						
아메리카									
북아메리카	33.9	23.2	6.2	3.9	1.4	8.5	4.6	6.5	9.8
중앙아메리카	43.8	13.7	13.5	2.6	1.8	6.7	2.6	3.7	12.3
남아메리카	44.9	17.1	4.7	2.6	0.7	10.8	2.9	3.3	13.0
캐리비안	46.9	17.0	2.4	5.1	1.9	9.9	5.0	5.7	3.5
참고 1: 자료는 2000년에 발생한 산업 폐기물을 제외한 MSW의 습윤 폐기물 중량에 근거한다. 참고 2: 지역 고유의 값은 국가적인, 부분적으로 불완전한 조성 자료에 의해 계산되었다. 따라서 제시된 백비율은 100%까지 추가될 수 없다. 일부 지역은 일부 폐기물 유형에 대한 자료를 가지고 있지 않으며, 위 표의 빈 칸은 결측값(missing data)을 의미한다. 출처: Doom and Barlaz(1995) Vishwanathan and Trakler(2003a and b) Shimura et al.(2001) www.defra.gov.uk/environment/statistics/wastats/mwb0203/wbch04.htm www.climatechange.govt.nz/resources/reports/nir-apr04 CONADE/SEDUE(1992);INE/SMARN(2000) U.S.EPA(2002) BID/OPS/OMS(1997) Monreal(1998) JICA(1991) OPS/OMS(1997)									

Ministerion de Desarrollo Social y Medio Ambiente/Secretaria de Desarrollo Sustentable y Politica Ambiental(1999) Lopez., C.(2006). Personal Communication Ministry of Science and Technology, Brazil(2002) U.S.EPA(1997) MAG/SSERNMA/DOA-PNUD/UNITAR(1999) Lopez. et al.(2002)
--

다른 폐기물 유형에서의 DOC와 화석 탄소물의 기본값은 표 2.4에 나타나있다. 표 2.4는 정원 및 공원 폐기물, 일회용 기저귀의 기본값을 제시한다. 이러한 폐기물 유형은 자료의 결여로 인해 표 2.3에는 포함되지 않는다. 표 2.4의 모든 비율은 백비율로 제시되어 있다.

표 2.4 다른 MSW 요소의 건조물질 함량, DOC량, 총 탄소함량, 화석탄소비율의 기본값									
MSW 요소	습중량 중 건조물질 함량 ¹	습윤 폐기물의 DOC함량		건조 폐기물의 DOC 함량		건조 폐기물의 총 탄소함량		총탄소량 중 화석탄소 비율	
	기본값	기본값	범위	기본값	범위 ²	기본값	범위	기본값	범위
종이/판지	90	40	36-45	44	40-50	46	42-50	1	0-5
섬유 ³	80	24	20-40	30	25-50	50	25-50	20	0-50
음식물 쓰레기	40	15	8-20	38	20-50	38	20-50	-	-
목재	85 ⁴	43	39-46	50	46-54	50	46-54	-	-
정원 및 공원 폐기물	40	20	18-22	49	45-55	49	45-55	0	0
기저귀	40	24	18-32	60	44-80	70	54-90	10	10
고무 및 가죽	84	(39) ⁵	(39) ⁵	(47) ⁵	(47) ⁵	67	67	20	20
플라스틱	100					75	67-85	100	95-100
금속 ⁶	100					NA	NA	NA	NA
유리 ⁶	100					NA	NA	NA	NA
기타, 비활성 폐기물	90					3	0-5	100	50-100

¹ 여기에 제시된 수분 함량은 폐기물이 수집되고 처리되기 전의 특정 폐기물 유형에 적용된다. 수집된 폐기물, 예컨대 SWDS로부터 얻어진 표본(sample)으로부터 얻어진 각 폐기물 유형별 수분 함량은, 같이 있는 다른 폐기물의 수분과 채취할 때의 날씨에 따라 다르게 나타날 것이다.

² 범위는 Dehoust et al., 2002; Gangdonggu, 1997; Guendehou, 2004; JESC, 2001; Jager and Blok, 1993; Wurdinger et al., 1997; Zeschmar-Lahl, 2002에 보고된 최소값과 최대값의 자료를 참조로 한 것이다.

³ 섬유의 40%는 합성섬유로 간주한다(기본값). 저자들에 의한 전문가 판단에 근거하였다.

⁴ 이 값은 수명이 다한 목재 생산물에 대한 것이다. 수확기에 나타난 목재(정원 및 공원 폐기물에 대해서)의 일반적인 건조물질함량은 40%이다. 저자들에 의한 전문가 판단에 근거하였다.

⁵ 천연 고무는 SWDS의 혐기성 조건 하에서는 분해될 수 없다.(Tsuchii et al., 1985; Rose and Steinbuchel, 2005)

⁶ 금속과 유리는 화석 연료에 기인한 탄소 일부를 포함한다. 많은 양의 유리나 금속 조각은 일반적인 것이 아니다.

SWDS 혹은 소각장에서의 폐기물에 대한 시료 채취를 통한 분석에서 도출된, 폐기물 유형별 DOC 값은 불확실성을 내포할 수 있다(예를 들어, 유리 및 플라스틱 폐기물에 음식 쓰레기가 일부 섞여 있다거나). 종이, 섬유, 기저귀, 고무 및 플라스틱의 탄소 함량은 국가별로, 그리고 시대별로 다르게 나타날 수 있다. 따라서 표 2.4에 주어진 값과 다른 DOC 산정량이 나타날 수 있다. 폐기물 조성 자료가 수집된 방법을 일관적으로 적용시켜 DOC 값을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)* 이 된다.

SWDS나 소각장, 그리고 기타 처리 시설의 유입구에서 주기적인 모니터링을 하면 가장 좋은 폐기물 조성 자료를 얻을 수 있다. 이 자료들이 존재하지 않으면, 발생 단계나 운송, 처리, 재활용 시

설에서 얻어진 조성 자료를 사용하여 폐기물 흐름 분석에 적용하고, 이로써 매립된 DOC 양을 추정할 수 있다(박스 2.1 참고).

폐기물 처리 시설의 구덩이나(at pits) 수송 역의 적재 장소 및 SWDS에서 폐기물 시료를 추출할 수 있다. 매립된 폐기물의 조성 자료는 SWDS에서의 현장 추출로부터 얻어질 수 있다. 폐기물의 양(시료의 대표성을 위해, 일반적으로 1m^3 보다 더 많은 양의 채취)은 젖은 중량 조성을 얻기 위하여 각 항목별로 수동으로 분리되어야만 하며, 항목별로 무게를 측정해야 한다. 각 항목의 일정량은 4등분하여 수분과 DOC를 포함한 화학 분석을 위해 사용해야 한다. 시료는 한 주의 다른 날에 채취되어야 한다.

MSW 조성은 동일한 국가에서도 도시마다 다를 것이다. 또한 동일한 도시에서도 요일, 계절, 년도에 따라 다양할 것이다. 국가별 대표적인(혹은 평균적인) 조성 자료는 각 계절의 같은 요일에 여러 개의 대표 도시에서 추출된 표본으로부터 얻어져야만 한다. 비오는 날에 SWDS에서 표본을 추출하는 것은 수분량(예: 젖은 중량 구성)을 상당히 변화시킬 것이고, 따라서 연간 수분량 자료 예측에 주의를 기울일 필요가 있다.

국가 폐기물 조성을 결정짓는 분석은 적절한 표본 추출법에 근거해야만 하고(1권 2장, 자료 수집 접근법 참고), 폐기물 발생과 관리 측면에서의 변화를 반영하기 위하여 주기적으로 반복되어야 한다. 표본 추출 방법, 표본 추출의 빈도, 시계열 반영은 반드시 문서화되어야 한다.

표 2.4에 제시된 DOC의 기본값은 SWDS에 저장된 탄소량 및 SWDS로부터의 메탄(CH_4) 배출량을 산정하는 데 사용된다(3장 참고). 총 탄소함량의 기본값과 소각과 노천 소각으로부터의 화석 이산화탄소(CO_2) 배출량을 산정하기 위한 화석 탄소 비율 또한 표 2.4에서 제시되었다.

2.3.2 슬러지

슬러지 내 DOC 함량은 슬러지를 발생시키는 폐수 처리 방법에 따라서 다양하게 변하고, 가정 슬러지인지 산업 슬러지인지에 따라서도 달라진다.

가정 슬러지의 경우 DOC 기본값(건조 물질 함량 기본값인 10%을 가정했을 때의 습윤 폐기물의 백비율로써의)은 5%이다(4-5% 범위, 즉 DOC 함량이 건조 물질의 40-50%라는 것을 의미한다).

국가별 그리고/혹은 산업별 자료가 존재하지 않을 때는, 산업 슬러지에 대해서 대략적인 DOC 기본값을 9%로 사용할 수 있다(건조물질 함량이 35%라고 가정했을 때). 국가의 모든 산업 슬러지에 대해서는 기본 DOC 값을 적용한다. 하수, 식품산업, 섬유 산업 그리고 화학 산업은 유기 슬러지를 발생시킬 것이다. 수도(water work) 및 준설 작업(dredging)으로부터 발생하는 슬러지 역시 DOC를 함유한다. 슬러지 내 DOC는 산업 유형에 따라 크게 달라진다. 예를 들어, 일본의 일부 유기 슬러지 내 탄소 함량(건조물질의 백비율)은 제지 산업에 대해서는 27%, 식품 산업에 대해서는 30%, 그리고 화학 산업에 대해서는 52%를 차지한다(Yamada et al., 2003).

2.3.3 산업 폐기물

많은 폐기물 유형이 산업 폐기물과 도시 폐기물에 모두 포함되기는 하지만, 산업 폐기물의 평균 조성은 MSW의 평균 조성보다 크게 다를 뿐만 아니라 산업 유형별로도 달라진다. 산업 폐기물 내의 DOC와 화석 탄소는 MSW와 같은 폐기물 유형에서 주로 발견된다. DOC는 종이 및 카드보드, 섬

유, 식품, 그리고 나무에 존재한다. 합성 피혁, 고무, 그리고 플라스틱도 화석 탄소의 주요한 배출원이다. 폐유와 폐용매 역시 산업 액체 폐기물 내 화석탄소의 중요한 배출원이 된다. 종이 및 카드보드, 그리고 플라스틱은 사무 작업을 포함한 다양한 산업과 포장 폐기물에 의해 발생하게 된다. 제지업, 목재 제조업, 건설 활동 및 건물 해체 활동으로부터 발생하는 폐기물에는 목재가 포함되어 있을 것이다. 식음료 및 담배 산업은 음식 폐기물의 주요한 배출원일 것이다. 각 산업의 자세한 생산품 및 활동도는 국가별로 달라진다. 산업 폐기물 내 DOC와 화석 탄소를 산정하기 위해서, 대표적 산업에 대해서 폐기물 발생과 조성에 대한 조사와 생산량, 작업장 넓이, 고용인 수와 같은 경제적 조절인자 당 특정 성분의 단위 발생량 산정을 실시할 수 있다. 산업 활동으로부터 배출되는 무독성 폐기물(사무실 폐기물이나 요식 조달업 폐기물과 같은)은 때때로 MSW에 포함되는 경우도 있는데, 이럴 경우에는 배출량의 이중산정을 반드시 피해야 한다.

표 2.5는 폐기물 발생량 당 산업 유형에 따른 산업 폐기물 내 DOC와 화석 탄소 함량의 기본값을 제공한다. 이 기본값들은 시설에서의 폐기물 발생 공정에 대해서만 유효하다(예를 들어, 사무실 폐기물은 MSW에 속한다고 가정한다). 기본값들은 매우 불확실하기 때문에, 모든 국가는 가능하면 국가별 자료를 수집해서 사용하는 것이 가장 좋다. 산업 폐기물에 대한 자료 수집 시스템을 개발하기 위해서, 위에서 열거한 지침과 1권 2장에 나타난 지침을 사용할 수 있다. MSW에서 사용한 동일한 표본 추출 방법을 사용하여, DOC와 화석탄소 함량을 결정할 수 있다.

표 2.5 산업 폐기물 내 DOC와 화석 탄소 함량의 기본값(발생한 습윤 폐기물 내 백비율) ¹				
산업 유형	DOC	화석 탄소	총 탄소	수분 함량 ²
음식, 음료 및 담배 (슬러지 외)	15	-	15	60
섬유	24	16	40	20
나무 및 목재 생산품	43	-	43	15
제지(슬러지 외)	40	1	41	10
석유제품, 용매, 플라스틱	-	80	80	0
고무	(39) ³	17	56	16
건설 및 폭파	4	20	24	0
기타	1	3	4	10

출처: Expert Judgement; Pipatti et al., 1996; Yamada et al., 2003

¹기본값들은 산업 공정 폐기물에 대해서만 적용되며, 사무 및 기타 유사한 폐기물은 MSW에 포함된다고 가정한다.

²산업 폐기물의 수분 함량은 단일 산업 내에서도 매우 다양한 값을 가진다.

³천연 고무는 SWDS의 혐기성 조건하에서 대부분 분해되지 않는다(Tsuchii et al., 1985; Rose and Steinbuchel, 2005).

⁴산업 유형별 폐기물 생산에 대한 자료가 존재하지 않을 때에, 위의 값들은 모든 제조업의 총 폐기물에 대해서 기본값으로 사용될 수 있다. 광업 및 quarrying에서 배출되는 폐기물은 그 배출량이 매우 큰 데 반해 DOC와 화석 탄소 함량은 무시할 수 있을 정도로 적기 때문에, 계산에서 배제해야 한다.

2.3.4 기타 폐기물

유해 폐기물과 병원 폐기물에 대한 DOC과 화석 탄소의 기본값을 표 2.6에 나타내었다. 이 값들은 국가에서 발생하는 유해 및 병원 폐기물의 총량에 대해서만 적용되어야 한다. 유해 폐기물의 많은 부분이 건조한 재나 석탄재뿐만 아니라 액체 타입이나 슬러지로써도 발생한다.

표 2.6 기타 폐기물의 DOC 및 화석 탄소 함량의 기본값(발생한 습윤 폐기물 내 백비율)				
폐기물 유형	DOC	화석 탄소	총 탄소	수분 함량
유해 폐기물	NA	5-50 ¹	NA	10-90 ¹
병원 폐기물	15	25	40	35

NA= not available (이용 가능한 자료가 없음)
출처: Expert Judgement: IPCC 2000
¹ 낮은 수분 함량을 가진 폐기물일수록 높은 화석 탄소 함량을 갖는다. 수분 함량에 대한 자료가 존재하지 않을 때는, 범위의 평균값을 사용하여야 한다.

첨부 2A.1 폐기물 발생 및 관리 자료- 국가 및 지역 평균을 기준으로

이 첨부에 있는 표 2A.1은 자료가 존재하는 일부 국가에 대한 MSW 발생 및 관리 자료를 보여준다. 2장의 표 2.1에서 제공된 폐기물 발생 및 처리에 대한 지역 기본값은 이 표의 정보에 근거하여 도출된 것이다. 이 자료는 기본값과 같이 2000년에 대해서 적용이 가능하다. 비교를 위해서, 국가 온실가스 인벤토리를 위한 1996 IPCC 가이드라인에 있는 폐기물 발생 및 SWDS에의 매립에 대한 자료도 이 표에서 같이 나타내고 있다.

표 2A.1 MSW 발생과 관리 자료- 국가 및 지역 평균을 기준으로								
지역/국가	MSW ^{1,2} 발생률 IPCC-1996 ⁴ (tonnes/cap/yr)	MSW ^{1,2,3} 발생률 Year 2000 (tonnes/cap/yr)	SWDS로 매립되는 MSW 비율 IPCC-1996 ⁴	SWDS로 매립되는 MSW 비율	소각되는 MSW 비율	퇴비화되는 MSW 비율	분류되지 않은 ⁵ 기타 MSW 비율	출처
아시아								
동아시아	0.41	0.37	0.38	0.55	0.26	0.01	0.18	
중국		0.27		0.97	0.02	0.01		1
일본	0.41	0.47	0.38	0.25	0.72	0.02	0.01	2, 31
한국		0.38		0.42	0.04		0.54	3
남부 및 중앙아시아	0.12	0.21	0.60	0.74	-	0.05	0.21	
방글라데시		0.18		0.95			0.05	4
인도	0.12	0.17	0.60	0.70		0.20	0.10	4
네팔		0.18		0.40			0.60	4
스리랑카		0.32		0.90			0.10	4
남동 아시아		0.27		0.59	0.09	0.05	0.27	
인도네시아		0.28		0.80	0.05	0.10	0.05	4
Lao PDR		0.25		0.40			0.60	4
말레이시아		0.30		0.70	0.05	0.10	0.15	4
미얀마		0.16		0.60			0.40	4
필리핀		0.19		0.62		0.10	0.28	4, 5
싱가포르		0.40		0.20	0.58		0.22	6
타일랜드		0.40		0.80	0.05	0.10	0.05	4
베트남		0.20		0.60			0.40	4
아프리카								
아프리카6		0.29		0.69			0.31	
이집트				0.70			0.30	4
수단		0.29		0.82			0.18	7
남아프리카			1.00	0.90			0.10	4
나이지리아				0.40			0.60	4
유럽								
동유럽		0.38		0.9	0.04	0.01	0.02	
불가리아		0.52		1.00	0.00	0.00	0.00	8
크로아티아				1.00	0.00	0.00	0.00	8
체코		0.33		0.75	0.14	0.04	0.06	8
에스토니아		0.44		0.98	0.00	0.00	0.02	8
헝가리		0.45		0.92	0.08	0.00	0.00	8
라트비아		0.27		0.92	0.04	0.02	0.02	8
리투아니아		0.31		1.00	0.00	0.00	0.00	8
폴란드		0.32		0.98	0.00	0.02	0.00	8

표 2A.1 (계속)								
MSW 발생과 관리 자료- 국가 및 지역 평균을 기준으로								
지역/국가	MSW ^{1,2} 발생률 IPCC-1996 ⁴ (tonnes/cap/yr)	MSW ^{1,2,3} 발생률 Year 2000 (tonnes/cap/yr)	SWDS로 매립되는 MSW 비율 IPCC-1996 ⁴	SWDS로 매립되는 MSW 비율	소각되는 MSW 비율	퇴비화되는 MSW 비율	분류되지 않은 ⁵ 기타 MSW 비율	출처
루마니아		0.36		1.00	0.00	0.00	0.00	8
러시아 연방	0.32	0.34	0.94	0.71	0.19	0.00	0.10	9
슬로바키아		0.32		1.00	0.00	0.00	0.00	8
슬로베니아		0.51		0.90	0.00	0.08	0.02	8
북유럽		0.64		0.47	0.24	0.08	0.20	
덴마크	0.46	0.67	0.2	0.10	0.53	0.16	0.22	8
핀란드	0.62	0.50	0.77	0.61	0.1	0.07	0.22	8
아이슬란드		1.00		0.86	0.06	0.01	0.06	8
노르웨이	0.51	0.62	0.75	0.55	0.15	0.09	0.22	8
스웨덴	0.37	0.43	0.44	0.23	0.39	0.10	0.29	8
남유럽		0.52		0.85	0.05	0.05	0.05	
키프로스		0.68		1.00	0.00	0.00	0.00	8
그리스	0.31	0.41	0.93	0.91	0.00	0.01	0.08	8
이탈리아	0.34	0.50	0.88	0.70	0.07	0.14	0.09	8
몰타		0.48		1.00	0.00	0.00	0.00	8
포르투갈	0.33	0.47	0.86	0.69	0.19	0.05	0.07	8
스페인	0.36	0.60	0.85	0.68	0.07	0.16	0.09	8
터키		0.50		0.99	0.00	0.01	0.00	8
서유럽	0.45	0.56	0.57	0.47	0.22	0.15	0.15	
오스트리아	0.34	0.58	0.4	0.30	0.10	0.37	0.23	8
벨기에	0.40	0.47	0.43	0.17	0.32	0.23	0.28	8
프랑스	0.47	0.53	0.46	0.43	0.33	0.12	0.13	8
독일	0.36	0.61	0.66	0.30	0.24	0.17	0.29	8
아일랜드	0.31	0.60	1.0	0.89	0.00	0.01	0.11	8
룩셈부르크	0.49	0.66	0.35	0.27	0.55	0.18	0.00	8
네덜란드	0.59	0.62	0.67	0.11	0.36	0.28	0.25	8
스위스	0.40	0.40	0.23	1.00	0.00	0.00	0.00	8
UK	0.69	0.57	0.90	0.82	0.07	0.03	0.08	8
중앙 및 남아메리카, 그리고 캐리비안 주								
캐리비안		0.49		0.83	0.02		0.15	
바하마		0.95		0.7			0.3	10
쿠바		0.21		0.90			0.1	11
도미니카 공화국		0.25		0.90	0.06		0.04	12
St. Lucia		0.55		0.83			0.17	13
중앙 아메리카		0.21		0.50			0.50	
코스타리카		0.17						14,15
과테말라		0.22		0.40			0.60	16,17,18
온두라스		0.15		0.40			0.60	4
니카라과		0.28		0.70			0.30	4
남아메리카								
남아메리카		0.26		0.54	0.01	0.003	0.46	
아르헨티나		0.28		0.59			0.41	4
볼리비아		0.16		0.70			0.30	19

표 2A.1 (계속)
MSW 발생과 관리 자료- 국가 및 지역 평균을 기준으로

지역/국가	MSW ^{1,2} 발생률 IPCC-1996 ⁴ (tonnes/cap/yr)	MSW ^{1,2,3} 발생률 Year 2000 (tonnes/cap/yr)	SWDS로 매립되는 MSW 비율 IPCC-1996 ⁴	SWDS로 매립되는 MSW 비율	소각되는 MSW 비율	퇴비화되는 MSW 비율	분류되지 않은 ⁵ 기타 MSW 비율	출처
브라질		0.18		0.80	0.05	0.03	0.12	20,21
칠레				0.40			0.60	4
콜롬비아		0.26		0.31			0.69	22
에콰도르		0.22		0.40			0.60	23
파라과이 (Asuncion)		0.44		0.40			0.60	24
페루		0.20		0.53			0.47	4,25
우루과이		0.26		0.72			0.28	26,27
베네수엘라		0.33		0.50			0.50	28
북아메리카								
북아메리카	0.70	0.65	0.69	0.58	0.06	0.06	0.29	
캐나다	0.66	0.49	0.75	0.71	0.04	0.19	0.06	29,30,31
멕시코		0.31		0.49			0.51	32,33
미국	0.73	1.14	0.62	0.55	0.14		0.31	34
오세아니아								
오세아니아	0.47	0.69	1.00	0.85			0.15	
호주	0.46	0.69	1.00	1.00				4,31
뉴질랜드	0.49		1.00	0.70			0.30	4

¹ 자료는 습윤 폐기물 중량에 근거한다.

² 국가별 총 폐기물 발생량을 산정하기 위해서, 1인당 발생량을 폐기물이 수집된 인구수와 곱해주어야 한다. 많은 국가에서, 특히 개발도상국에서는, 도시 인구수만 포함한다.

³ 일부 국가에서는 자료가 적용될 수 있는 해가 참고로 주어지지 않거나 2000년에 해당하는 자료가 존재하지 않지만, 대부분 2000년에 해당하는 기본값이다.

⁴ 이 칼럼에 나타난 값은 1996 IPCC 가이드라인에 포함된 값들이다.

⁵ 기타, 분류되지 않은 폐기물은 일부 국가의 재활용 자료를 포함한다.

⁶ 아프리카에서는 지역별로 더 자세한 자료가 존재하지 않기 때문에, 표에 나타난 지역 평균값은 전체 아프리카에 해당된다.

출처 연도

- 1 Urban Construction Statistics Yearbook of China- Year 2000 (2001). Ministry of Chinese Construction. Chinese Construction Industry Publication Company
- 2 OECD Environment Directorate, OECD Environmental Data 2002, Waste Ministry of Environment, Japan (1992-2003), Waste of Japan, <http://www.env.go.jp/recycle/waste/ippan.html>
- 3 1) '97 National Status of Solid Waste Generation and Treatment , the Ministry of Environment, Korea, 1998.
2) '96 National Status of Solid Waste Generation and Treatment , the Ministry of Environment, Korea, 1997.
3) Korea Environmental Yearbook, the Ministry of Environment, Korea, 1990.
- 4 Doorn and Barlaz, 1995, Estimate of global methane emissions from landfills and open dumps, EPA-600/R-95-019, Office of Research & Development, Washington DC, USA.
- 5 Shimura et al. (2001).
- 6 2001 National Environmental Agency, Singapore (www.nea.gov.sg.) and www.acrr.org/resourcecities/waste_resources/europe_waste.htm.
- 7 Ministry of Environment and Physical Development, Higher Council for Environment and Natural Resources, Sudan (2003), Sudan's First National Communications under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- 8 2000 Eurostat (2005). Waste Generated and Treated in Europe. Data 1995-2003. European Commission - Eurostat, Luxemburg. 131p.
- 9 Problems of waste management in Russia: Not-for-Profit Partnership "Waste Management - Strategic Ecological Initiative" <http://www.sagepub.com/journalsProdEditBoards.nav?prodId=Journal201691>.

표 2A.1 (계속)
MSW 발생과 관리 자료- 국가 및 지역 평균을 기준으로

출처 해당연도	
10	The Bahamas Environment, Science and Technology Commission (2001). Commonwealth of the Bahamas. First National Communication on Climate Change. Nassau, New Providence, April 2001, 121pp.
11	1990 OPS/OMS (1997). Analisis Sectorial de Residuos Solidos en Cuba. Serie Analisis 1. Sectoriales No. 13, Organizacion, Panamericana de la Salud, 206 pp., 2. Lopez, C., et al. (2002). Republica de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero (colectivo de autores). Reporte para el Año 1996/Actualizacion para los Años 1990 y 1994. CD-ROM Vol. 01. Instituto de Meteorologia-AMA-CITMA. La Habana, 320 pp. ISBN: 959-02-0352-3.
12	Secretaria de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2004). Republica Dominicana. Primera Comunicacion Nacional a la Convencion Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climatico. UNEP/GEF, Santo Domingo, Marzo de 2004, 163 pp.
13	1990 Ministry of Planning, Development, Environment and Housing (2001). Saint Lucias's Initial National Communication on Climate Change, UNEP/GEF, 306 pp.
14	Lammers, P. E. M., J. F. Feenstra, A. A. Olstroom (1998). Country/Region-Specific Emission Factors in National Greenhouse Gas Inventories. UNEP/Institute for Environmental Studies Vrije Universiteit, 112 pp.
15	Ministerio de Recursos Naturales, Energia y Minas (1995). Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de Gases con Efecto Invernadero en Costa Rica. MRNEM, Instituto Meteorologico Nacional, San Jose Septiembre 1995.
16	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2001). Republica de Guatemala. Primera Comunicacion Nacional sobre Cambio Climatico.
17	JICA (Agencia Japonesa de Cooperacion Internacional) (1991). Estudio sobre el Manejo de los Desechos Solidos en el Area Metropolitana de la Ciudad de Guatemala. Volumen 1.
18	Guatemala de la Asuncion, diciembre 2001, 127 p., OPS/OMS (1995). Analisis Sectorial de Residuos Solidos en Guatemala, Diciembre 1995, 183 pp.
19	1990 Fondo Nacional de Desarrollo (FNDR). Cantidad de RSM dispuestos en RSA-años 1996 y 1997, La Paz, Bolivia., 2. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente/Secretaria Nacional de Recursos Naturales y Medio Ambiente (1997). Inventariacion de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Bolivia - 1990. MDSMA/SNRRNMA/SMA/PNCC/U.S. CSP, La Paz, 1997.
20	Ministry of Science and Technology, Brazil (2002). First Brazilian Inventory of Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions. Background Reports. Methane Emissions from Waste Treatment and Disposal. CETESB. 1990 and 1994, Brazilia, DF, 85 pp.
21	CETESB (1992). Companhia de Tecnologia de Saneamiento Ambiental. Programa de gerenciamento de residuos solidos domiciliaries e de services de saude. PROLIXO, CETESB; Sao Paulo, 29 pp., IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística. http://www.ibge.gov.br/home/estadistica/populacao/atlassaneamiento/pdf/mappag59.pdf in November 2004.
22	1990 Ministerio de Medio Ambiente/IDEAM (1999). Republica de Colombia. Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de Gases de Efecto Invernadero. 1990. Modulo Residuos, Santa Fe de Bogota DC, Marzo de 1999, 14pp.
23	BID/OPS/OMS (1997). Diagnostico de la Situacion del Manejo de los Residuos Solidos Municipales en America Latina y el Caribe., Doorn and Barlaz, 1995, Estimate of global methane emissions from landfills and open dumps, EPA-600/R-95-019, Office of Research & Development, Washington DC, USA.
24	1990 MAG/SSERNMA/DOA - PNUD/UNITAR (1999). Paraguay: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero por Fuentes y Sumideros. Año 1990. Proyecto PAR GLO/95/G31. Asuncion, Noviembre 1999, 90 pp.
25	1990 Estudios CEPIS-OPS y/o Estudio Sectorial de Residuos Solidos del Peru Ditesa/OPS., Lammers, P. E. M., J. F. Feenstra, A. A. Olstroom (1998). Country/Region-Specific Emission Factors in National Greenhouse Gas Inventories. UNEP/Institute for Environmental Studies Vrije Universiteit, 112 pp.
26	1998 Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente/Direccion Nacional de Medio Ambiente/Unidad de Cambio Climatico (1998). Uruguay. Inventario Nacional de Emisiones Netas de Gases de Efecto Invernadero 1994/Estudio Comparativo de Emisiones Netas de Gases de Efecto Invernadero para 1990 y 1994. Montevideo, Noviembre de 1998, 363pp.
27	OPS/OMS (1996). Analisis Sectorial de Residuos So, Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente/Direccion Nacional de Medio Ambiente/Unidad de Cambio Climatico (2004). Uruguay. Segunda Comunicacion a la CMNUCC. 330p. lidos en Uruguay. Plan Regional de Inversiones en Medio Ambiente y Salud, Marzo 1996.
28	2000 Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Ministerio de Energia y Minas (1996).Venezuela. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Año 1990. GEF/UNEP/U.S. CSP.
29	1992 Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) http://www.oecd.org/dataoecd/11/15/24111692.PDF

표 2A.1 (계속)
MSW 발생과 관리 자료- 국가 및 지역 평균을 기준으로

출처 해당연도	
30	The Fraser Institute, Environmental Indicators, 4th Edition (2000). http://oldfraser.lexi.net/publications/critical_issues/2000/env_indic/section_05.html .
31	UNFCCC Secretariat, Working paper No.3 (g) (2000). Expert report, prepared for the UNFCCC secretariat, 20 February 2000.
32 1992	http://www.oecd.org/dataoecd/11/15/24111692.PDF .
33	INE/SMARN (2000). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Invernadero 1994-1998, Ciudad de Mexico, Octubre 2000, 461 p.
34	Waste generation from: BioCycle (January 2004). "14th Annual BioCycle Nationwide Survey: The State of Garbage in America", Waste disposition from: BioCycle (December 2001). "13th Annual BioCycle Nationwide Survey: The State of Garbage in America"; Personal Communication: Elizabeth Scheele, U.S. EPA.

참고문헌

- BID/OPS/OMS (1997). Diagnóstico de la Situación del Manejo de los Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe.
- CONADE/SEDUE (1992). Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1989-1990. (Actualizado por la Dirección General de Servicios Urbanos, DDF, 1992.
- Dehoust, G., Gebhardt, P., Gärtner, S. (2002). Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung [The contribution of thermal waste treatment to climate change mitigation, air quality and resource management]. For: Interessengemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD). Öko-Institut, Darmstadt 2002 [In German].
- Dehoust, G., et al. (2002). Dehoust, G., Gebhardt, P., Gärtner, S., Der Beitrag der thermischen Abfallbehandlung zu Klimaschutz, Luftreinhaltung und Ressourcenschonung [The contribution of thermal waste treatment to climate change mitigation, air quality and resource management]. For: Interessengemeinschaft der Betreiber Thermischer Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland (ITAD). Öko-Institut, Darmstadt 2002 [In German].
- Doorn, M. and Barlaz, M. (1995). Estimate of global methane emissions from landfills and open dumps, EPA-600/R-95-019, Office of Research & Development, Washington DC, USA.
- Environmental Statistics Yearbook of China (2003).
URL: <http://www.cnemc.cn/stat/index.asp?id=15> (in Chinese)
- Estonian Environment Information Centre. (2003).
URL: <http://www.keskkonnainfo.ee/english/waste>
- Eurostat (2005). Waste Generated and Treated in Europe. Data 1995-2003, European Commission -Eurostat, Luxemburg. 131 p.
- Gangdonggu Go'mi (1997). Study on the situation of wastes discharge in Gangdonggu. (Institute of Metropolitan), Seoul (University of Seoul) 1997.2
- Guendehou, G.H.S. (2004). Open-Burning of Waste. Discussion Paper. Fifth Authors/Experts Meeting : Waste, 2-4 November 2004, Ottawa, Canada, in the Preparation of the 2006 IPCC National Greenhouse Gas Inventories Guidelines.
- Hoornweg, D. T. L. (1999). What A Waste: Solid Waste Management in Asia, The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank, p 42.
- INE/SMARN. (2000). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Invernadero 1994-1998. Ciudad de Mexico, Octubre 2000. 461 p.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Treanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander B.A. (Eds), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- Jager, D. de and Blok, K. (1993). Koolstofbalans van het afvalsysteem in Nederland [Carbon balance of the waste management system in the Netherlands]. For: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene RIVM. Ecofys, Utrecht [In Dutch].
- JESC (2001). Fact Book: Waste Management & Recycling in JAPAN, Japan Environmental

- Sanitation Center, Kanagawa.
- JICA (1991). Estudio sobre el Manejo de los Desechos Sólidos en el Area Metropolitana de la Ciudad de Guatemala. Volumen 1. Agencia Japonesa de Cooperación Internacional.
- Latvian Environment Agency (2004). Economy-wide Natural Resources Flow Assessment (in Latvian: Resursu patēriņa novērtējums), pages 84-85, The Ministry of the Environment of the Republic of Latvia, Riga. ISBN (in English) 9984-9557-6-1 (URL: <http://www.lvgma.gov.lv/produkti/rpn2004/MFA.pdf>)
- López, C., et al. (2002). República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero (colectivo de autores). Reporte para el Año 1996/Actualización para los Años 1990 y 1994. CD-ROM Vol. 01. Instituto de Meteorología-AMA-CITMA. La Habana, 320 pp. ISBN: 959-02-0352-3.
- López, C. (2006). Personal Communication.
- MAG/SSERNMA/DOA PNUD/UNITAR (1999). Paraguay: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero por Fuentes y Sumideros. Año 1990. Proyecto PAR GLO/95/G31. Asunción, Noviembre 1999, 90 pp
- Milleubalans (2005). Milieu en Natuur Planbureau. ISBN 90-6969-120-6. Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente/Secretaría de Desarrollo Sustentable y Política Ambiental (1999). Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la República Argentina. Año 1997. Manejo de Residuos. Buenos Aires, Octubre 1999, p 146.
- Ministry of Environment, Japan (1992-2003). Waste of Japan, URL: <http://www.env.go.jp/recycle/waste/ippan.html>
- Ministry of Environment, Korea (1998). '97 National Status of Solid Waste Generation and Treatment', Korea. URL: <http://www.me.go.kr/> (in Korea)
- Ministry of Environment, Korea (1997). '96 National Status of Solid Waste Generation and Treatment', Korea. URL: <http://www.me.go.kr/> (in Korea)
- Ministry of Environment, Korea (1990). Korea Environmental Yearbook, Korea. URL: <http://www.me.go.kr/> (in Korea)
- Ministry of Science and Technology, Brazil (2002). First Brazilian Inventory of Anthropogenic Greenhouse Gas Emissions. Background Reports. Methane Emissions from Waste Treatment and Disposal. CETESB. 1990 and 1994, Brazilia, DF, 85 pp. Monreal, J. C. (1998). Gestion de Residuos Solidos en America Latina y el Caribe. OEA. Programa Interamericano de Cooperacion en Tecnologias Ambientales en Sectores Claves de la Industria. URL: http://www.idrc/industry/brazil_s9html.
- National Environmental Agency, Singapore (2001). URL: www.nea.gov.sg, and www.acrr.org/resourcecities/waste_resources/europe_waste.htm
- OECD (2002). OECD Environmental Data. Waste. Compendium 2002. Environmental Performance and Information Division, Environment Directorate, Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Working Group on Environmental Information and Outlooks. 27 p. URL: <http://www.oecd.org>
- OPS/OMS (1997). Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Cuba. Serie Análisis 1. Sectoriales

- No. 13, Organizacion Panamericana de la Salud, 206 pp., 2.
- Pipatti, R., Hanninen, K., Vesterinen, R., Wihersaari, M. and Savolainen, I. (1996). Impact of waste management alternative on greenhouse gas emissions, Espoo, VTT Julkaisuja - Publikationer. 85 p. (In Finnish)
- Rose, K. and Steinbuchel, A. (2005). 'Biodegradation of natural rubber and related compounds: recent insights into a hardly understood catabolic capability of microorganisms', *Applied and Environmental Microbiology*, June 2005, 2803-2812.
- Shimura, S., Yokota, I. and Nitta, Y. (2001). Research for MSW Flow Analysis in Developing Nations. *J. Mater cycles waste manag.*, 3, p. 48-59
- Statistics Finland (2005). *Environmental Statistics. Environment and Natural Resources*. 2005:2, Helsinki, 208p.
- Tsuchii, A., Suzuki, T. and Takeda, K. (1985). 'Microbial degradation of natural rubber vulcanizates', *Applied and Environmental Microbiology*, Oct. 1985, p. 965-970.
- UNFCCC Secretariat (2000). Working paper No.3 (g), Expert report, prepared for the UNFCCC secretariat, 20 February 2000.
- U.S.EPA (1997). *Evaluation of Emissions from the Open Burning of Household Waste in Barrels, Volume1, Technical Report*, United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Control Technology Center.
- U.S.EPA (2002). *Solid Waste Management and Greenhouse Gases*, 2nd Ed, United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), EPA530-R-02-006.
- Vishwanathan, C. and Trakler, J. (2003a). 'Municipal solid waste management in Asia', ARPPET Report, Asian Institute of Technology.
- Vishwanathan, C. and Trakler, J. (2003b). Municipal solid waste management in Asia: A comparative analysis. In *Proc. of the workshop on Sustainable landfill management*, 3-5 Dec. 2003, Anna University, p 5 & 40.
- Würdinger, E., et al. (1997) Studie über die energetische Nutzung der Biomasseanteile in Abfällen [Study on the energy recovery of the biomass fraction in waste]. For: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen. Bayerisches Institut für Abfallforschung (BifA), Würdinger, E., Wagner, J., Tränkler, J., Rommel, W. Augsburg 1997 (In German).
- Yamada, M., Ishigaki, T., Tachio, K. and Inue, Y. (2003). Carbon flow and landfill methane emissions in Japanese waste stream. *Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium*, Cagliari, Italy.
- Zeschmar-Lahl, B. (2002). Die Klimarelevanz der Abfallwirtschaft im Freistaat Sachsen [The relevance of climate change for waste management in the federal state of Saxonia]. For: Sächsisches Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft. BZL, Oyten 2002 (In German).

제3장

고형폐기물 매립

저자

Riitta Pipatti (핀란드), Per Svardal (노르웨이), Joao Wagner Silva Alves (브라질), Qingxian Gao (중국), Carlos Lopez Cabrera (쿠바), Katarina Mareckova (슬로바키아), Hans Oonk (네덜란드), 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. 고형 폐기물 매립.....	3.6
3.1 서론.....	3.6
3.2 방법론.....	3.6
3.2.1 방법론의 선택.....	3.6
3.2.2 활동도 자료의 선택.....	3.14
3.2.3 배출계수와 변수들의 선택.....	3.15
3.3 SWDS로부터의 CH ₄ 배출량 산정을 위한 측정의 활용.....	3.25
3.4 SWDS에 저장된 탄소.....	3.29
3.5 완전성.....	3.30
3.6 일관된 시계열 개발.....	3.31
3.7 불확도 평가.....	3.32
3.7.1 방법에 기인한 불확도.....	3.32
3.7.2 자료에 기인한 불확도.....	3.33
3.8 QA/QC, 보고와 문서화.....	3.36
참고문헌.....	3.38
첨부 3A.1 1차 분해 반응 모델.....	3.42
참고문헌.....	3.53

식

식 3.1 SWDS로부터의 CH_4 배출량.....	3.9
식 3.2 폐기물 매립 자료 중 분해 가능한 DOC.....	3.10
식 3.3 DDOCm으로부터 L_0 로의 변형.....	3.10
식 3.4 T년도까지 SWDS에 축적된 DDOCm.....	3.11
식 3.5 T년도까지 분해된 DDOCm.....	3.11
식 3.6 분해된 DDOCm로부터 발생된 CH_4	3.11
식 3.7 탄소 함량 기본값을 이용한 DOC 산정.....	3.16
식 3A1.1 1차 분해 반응에 대한 미분식.....	3.42
식 3A1.2 1차 분해 반응식.....	3.42
식 3A1.3 1년 동안의 분해 후에 잔존하는 DDOCm.....	3.43
식 3A1.4 1년 동안의 혐기성 분해 후에 분해된 DDOCm.....	3.43
식 3A1.5 T연도에 분해된 DDOCm.....	3.43
식 3A1.6 반감기와 반응속도상수사이의 관계.....	3.43
식 3A1.7 3개월 후에 시작된 분해에 대한 FOD 수식.....	3.44
식 3A1.8 매립 해당연도에 분해된 DDOCm (3개월 유예).....	3.44
식 3A1.9 (t)연도에 동화된 DDOCm (3개월 유예).....	3.44
식 3A1.10 T연도까지 축적된 분해가능한 유기탄소의 양.....	3.45
식 3A1.11 T 연도에 혐기성으로 분해된 분해가능 유기탄소의 양.....	3.45
식 3A1.12 매립 해당연도의 마지막 날까지 잔존하는 DDOCm.....	3.46
식 3A1.13 매립 해당연도 동안 분해된 DDOCm.....	3.46
식 3A1.14 T 연도까지 축적된 DDOCm.....	3.47
식 3A1.15 T 연도에 분해된 DDOCm.....	3.47
식 3A1.16 폐기물 매립 자료로부터 분해 가능한 DOCm의 계산.....	3.48
식 3A1.17 혐기적으로 분해된 DDOCm으로부터 발생된 CH_4	3.48
식 3A1.18 SWDS로부터 배출된 CH_4	3.48
식 3A1.19 폐기물 매립 자료로부터 장기간 저장된 DOCm의 계산.....	3.49
식 3A1.20 반응식의 1차 속도 상수.....	3.50
식 3A1.21 IPCC 1996 지침서에서 제시된, T 연도의 DOC 반응에 대한 수식.....	3.50
식 3A1.22 IPCC 2000 GPG에서 제시된, T 연도의 DDOCm 반응에 대한 FOD 수식..	3.51
식 3A1.23 매립속도 $D(t)$ 와 FOD.....	3.52
식 3A1.24 한 해 동안 축적된 분해 가능한 유기 탄소.....	3.52
식 3A1.25 한 해 동안 발생된 CH_4	3.53

그 림

그림 3.1 고형 폐기물 매립지로부터의 CH_4 배출에 대한 의사결정도.....	3.8
그림 3A1.1 반응 속도 곡선을 완전히 적분하지 않음으로써 유발되는 오차.....	3.51
그림 3A1.2 GPG 2000의 수식에서 오차의 영향.....	3.51

표

표 3.1 SWDS 분류와 메탄보정계수(Methane Correction Factors; MCF).....	3.18
표 3.2 SWDS에 대한 산화율(Oxidation factor; OX).....	3.19
표 3.3 Tier 1 하에서의 메탄발생속도(k) 기본값 권고치.....	3.22
표 3.4 Tier 1 하에서의 반감기($t_{1/2}$) 기본값(yr) 권고치.....	3.23
표 3.5 SWDS로부터의 CH_4 배출량에 대한 FOD 방법의 활용에 있어, 활동자료 및 변수 의 기본값과 연관된 불확도의 산정.....	3.35
표 3A1.1 새로운 FOD 계산 방법.....	3.46

박 스

박스 3.1 FOD 모델 변수 산정을 위한 가스 채취 시스템으로부터의 직접적인 측정....	3.26
박스 3.2 SWDS 표면으로부터 메탄 발생의 직접적인 측정.....	3.28

3. 고형 폐기물 매립

3.1 서론

도시, 산업 및 기타 고형 폐기물의 처리와 매립은 상당량의 메탄(CH_4)을 생성시킨다. 고형 폐기물 매립지(solid waste disposal site; SWDS)는 메탄(CH_4)뿐만 아니라, 유기 이산화탄소(CO_2), 비메탄 휘발성 유기 화합물(NMVOCs), 그리고 이보다 더 적은 양이지만 아산화질소(N_2O), 질소산화물(NO_x), 그리고 일산화탄소(CO)도 발생시킨다. SWDS에서 발생한 메탄은 연간 세계 인위적 온실가스 배출량의 약 3~4%를 차지한다(IPCC, 2001). 지난 10년 동안 대부분의 산업화 국가의 폐기물 관리 방법은 많이 변화하였다. 이들 국가는 발생된 폐기물의 양을 감소시키기 위해 폐기물 최소화 및 재활용/재사용 정책을 도입하였고, 폐기물 관리가 환경에 미치는 영향을 감소시키기 위해 고형 폐기물의 토지 매립에 대한 대안적인 폐기물 관리 방법을 점증적으로 실행해오고 있다. 또한 SWDS에서 배출된 CH_4 을 감소시키기 위한 수단으로 매립지의 가스 회수가 보다 일반화되고 있다.

바이오매스(예컨대 농작물, 나무)의 유기물질 분해는 폐기물에서 배출되는 이산화탄소의 주요 배출원이다. 이 CO_2 는 생물 기원이며 순 배출량은 AFOLU 부문에서 설명되기 때문에, 이들 CO_2 배출량은 국가 총량에 포함시키지 않는다. NMVOCs, NO_x 및 CO 의 방법론은 '대기오염물질의 장거리 이동에 관한 UNECE 협약(UNECE Convention on Long Range Transboundary Air Pollution; CLRTAP)'등의 여러 국제 협약에서 제안한 지침에 설명되어 있다. 이들 방법론의 연계는 이 권의 제1장에서 서술될 것이며, 추가적으로 1권의 제7장에서 다루어질 것이다. 단, SWDS에서 배출되는 N_2O 량은 그다지 중요하지 않으므로, 방법론이 제시되지 않는다.

국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 1996 가이드라인(Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; 1996 가이드라인, IPCC, 1997)와 국가 온실가스 인벤토리에 대한 우수 실행지침 및 불확도 관리(Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories: GPG 2000, IPCC, 2000)는 SWDS 메탄 배출량을 추정하는 2가지의 방법, 즉, 질량 수지법(Tier 1)과 1차 분해 반응(First Order Decay; FOD) 방법(Tier 2)을 기술하고 있다. 그러나 이 권에서는 질량 수지법을 권장하지 않는데, 그것은 이 방법이 FOD 방법과는 달리 연간 배출량 산정이 정확하지 않기 때문이다. 질량 수지법 대신에, 단계적 지침과 개선된 기본값(default) 자료와 함께 단순 스프레드시트 모델이 포함된 FOD 방법의 Tier 1 버전을 제시한다. 이 지침서에 의해, 모든 국가는 FOD 방법을 적용할 수 있어야 한다.

3.2 방법론

3.2.1 방법론의 선택

SWDS로부터의 CH_4 배출량 산정을 위한 IPCC 방법론은 FOD 방법에 근거한 것이다. 이 방법은 폐기물에 있는 분해 가능한 유기 물질(분해 가능한 유기 탄소, DOC)이 수십 년을 거쳐 천천히 분해되고, 그 동안 CH_4 과 CO_2 가 생성된다는 것을 가정한다. 일정한 조건 하에서는, CH_4 생성률은 오로지 폐기물에 잔존하는 탄소량에만 의존한다. 그 결과로, 매립지 폐기물에서의 CH_4 배출량은

매립 이후 초기 수년 동안에 가장 크며, 이후 폐기물 내 분해 가능한 탄소가 분해 박테리아에 의해 소비되면서 점진적으로 감소하게 된다.

연쇄반응(chain of reaction) 및 병렬반응(parallel reaction)에 의해, SWDS 내 분해 가능한 물질은 CH₄이나 CO₂로 변환된다. 완전한 모델은 매우 복잡한 듯 하며 SWDS 내 여러 조건에 따라 다르다. 그러나 CH₄ 발생에 대한 실험실이나 현장에서의 측정 연구 결과, 전체 분해 과정은 1차 반응(first order kinetics)(예컨대, Hoeks, 1983)에 의해 근사될 수 있다는 것이 받아들여지고 있다. 따라서 SWDS로부터의 CH₄ 배출량 산정을 위해 IPCC는 상대적으로 단순한 FOD 모델을 채택했다.

여러 폐기물 종류의 반감기는 수년에서 수십 년 이상까지 매우 다양하다. FOD 방법은 정확한 결과를 얻기 위하여, 3~5 반감기에 걸쳐 있는 과거의 폐기물 매립량에 대해 수집, 산정된 자료를 필요로 한다. 이 시간구성(time frame)(3~5 반감기)이 대부분의 전형적인 매립 조건에 대해서 비교적 정확한 결과를 제공하기 때문에, 적어도 약 50년 동안의 매립 자료를 사용하는 것이 *바람직하다*(good practice). 만약 보다 짧은 시간구성을 선택한다면, 배출량에 대해서 과소평가하지 않았다는 것을 인벤토리 작성자가 보여주어야만 한다. 이 지침서는 과거부터 현재까지의 폐기물 매립 자료의 추정법(3.2.2절, 활동도 자료의 선택), FOD 모델의 모든 변수들에 대한 기본값(3.2.3절, 배출계수와 변수들의 선택), 그리고 FOD 방법을 이용할 수 있는 단순 스프레드시트 모델에 대한 지침을 제공한다.

SWDS로부터의 CH₄ 배출량을 산정하는 3가지 tier에 대한 설명은 다음과 같다.

Tier 1: Tier 1 산정 방법은 주로 기본값 활동자료 및 기본값 변수를 사용하는 IPCC FOD 방법을 토대로 한다.

Tier 2: Tier 2 방법은 IPCC FOD 방법과 일부 기본값 변수를 사용하나, SWDS의 현재와 과거의 폐기물 매립에 관한 양질의 국가 고유 활동도 자료가 있어야 한다. 10년, 혹은 그 이상의 폐기물 매립 자료는 국가 고유의 통계나 조사, 다른 유사 자료에 근거해야 한다. SWDS에 매립된 매립량 자료가 필요하다.

Tier 3: Tier 3 방법은 양질의 국가고유 활동자료(Tier 2 참고)를 사용하고, (1) 국가적으로 개발된 주요 변수 또는 (2) 국가고유 변수에서 도출된 측정값과 함께 FOD 방법을 사용하는 것을 기본으로 한다. 인벤토리 작성자는 FOD에 근거한 Tier 3 방법과 동일하거나 더 좋은 국가 고유의 방법을 사용할 수도 있다. 주요 변수에는 반감기를 비롯하여, 메탄 발생 잠재량(L₀)이나 폐기물 내 DOC 함유량과 분해되는 DOC 분율(DOC_f)이 포함된다. 이러한 변수들은 박스 3.1에 기술된 것처럼 측정치에 근거할 수 있다.

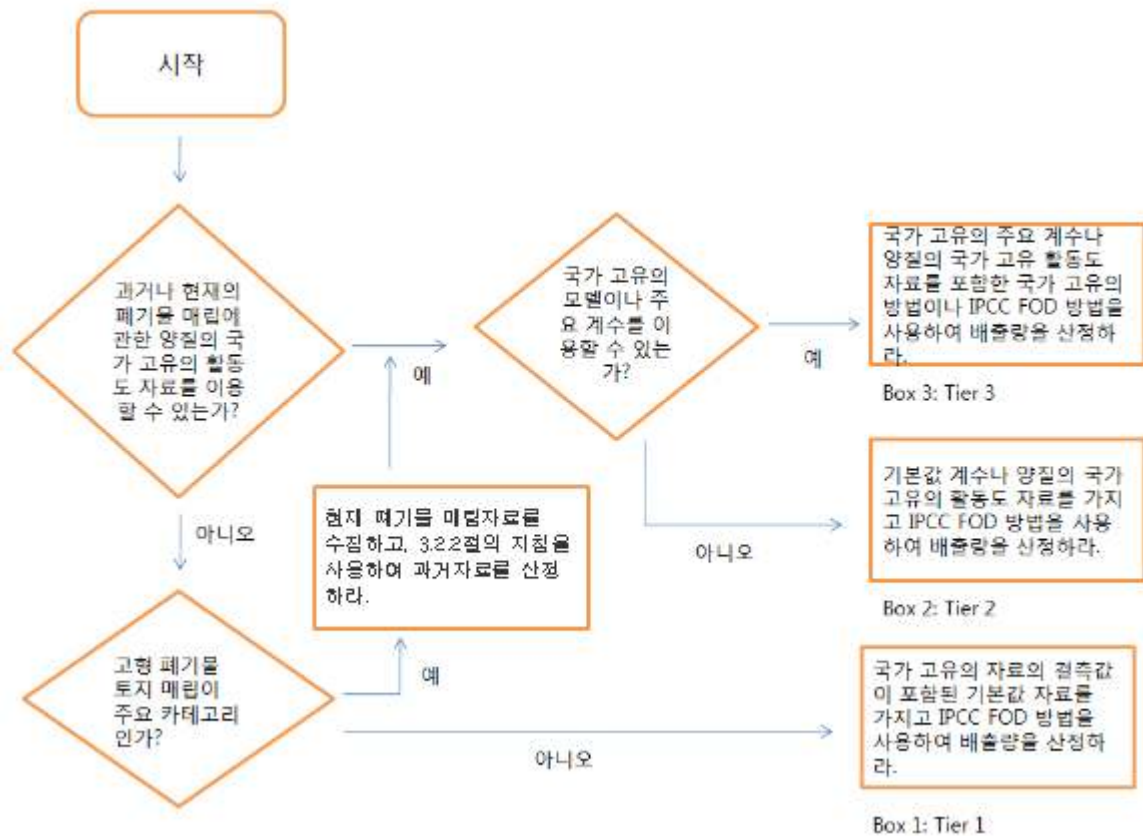
가장 적절한 방법을 선택하는 의사 결정도가 그림 3.1에 나타나 있다. 시간에 따른 배출량을 설명하기 위해, 모든 국가가 FOD 방법이나 입증된 국가 고유의 방법을 사용하는 것이 *좋다*(good practice).

FOD 방법은 3.2.1.1절에 간단히 서술되어 있고, 보다 자세한 내용은 첨부 3.1에 나타나 있다. 스프레드시트 모델은 IPCC가 FOD를 실행하는 국가들을 돕기 위하여 개발되었다; *고형 폐기물 매립지에서 발생하는 메탄 산정을 위한 IPCC 스프레드시트 모델 (IPCC Waste Model)*¹. IPCC 폐기물 모

¹ 엑셀의 첨부된 스프레드시트 참조 <IPCC_Waste_Model.xls>.

텔은 아래에 구체적으로 설명되어 있으며, 수정할 수 있고 모든 tier에 대해서 사용할 수 있다.

그림 3.1 고형 폐기물 매립지로부터의 CH₄ 배출에 대한 의사 결정도



주:

1. 양질의 국가 고유의 활동도 자료는 SWDS로 매립된 폐기물에 대한 국가 10년 이상의 고유 자료를 의미한다.
2. 주요 변수란 DOC/L_0 , DOC_t , 그리고 반감기를 의미한다.
3. 주 카테고리라 의사결정도 사용에 대해서는, 1권 4장의 “방법론 선택과 주 카테고리 확인”을 참조한다(제한된 자료에 대해서는 4.1.2절을 참조).

3.2.1.1 일차분해반응(FOD)

메탄 배출

1년 동안 고형 폐기물 매립으로부터의 CH₄ 배출량은 식 3.1을 사용하여 산정할 수 있다. CH₄은 유기 물질이 혐기성 조건하에서 분해됨으로써 생성된다. 발생한 CH₄의 일부는 SWDS의 표면에서 산화되거나, 에너지나 열로 회수될 수 있다. 따라서 실제로 SWDS로부터 배출된 CH₄는 발생한 양보다 적다.

식 3.1

SWDS로부터의 CH₄ 배출량

$$CH_4 \text{ 배출량} = \left[\sum_x CH_4 \text{ 발생량}_{x, T} - R_T \right] \cdot (1 - OX_T)$$

여기서:

CH₄ 배출량 = T년도에 배출된 CH₄, Gg

T = 인벤토리 연도

x = 폐기물 카테고리나 성상/물질

R_T = T년도에 회수된 CH₄, Gg

OX_T = T년도의 산화율(분율)

회수된 CH₄는 발생된 CH₄의 양에서 빼야 하는데, 이는 회수되지 않은 CH₄만이 SWDS의 표층에서 산화되기 때문이다.

메탄 발생

특정 연도에 매립된 폐기물에서의 CH₄ 발생 잠재량은 향후 수십 년 동안 점차적으로 감소될 것이다. 즉, 이 과정에서 특정량의 폐기물에서 발생된 CH₄는 점차 감소된다. FOD 모델은 매년 CH₄와 CO₂로 분해되는 분해가능한 물질의 비율을 설명하는 지수인자(exponential factor)에 근거하여 만들어진다.

이 모델에서 한 가지 주요 입력 자료는 SWDS에 매립된 폐기물에 있는 분해 가능한 유기물(DOCm)의 양이다. 이는, 여러 가지 폐기물 카테고리(도시 고형 폐기물(MSW), 슬러지, 산업 및 기타 폐기물)와 이들 카테고리에 포함된 여러 폐기물 성상/물질(음식, 종이, 나무, 직물 등)의 매립 정보에 근거하여 산정되거나, 혹은 이에 대한 대안으로 매립된 전체 폐기물(bulk waste)에서의 평균 DOC 자료를 사용하여 산정된다. 그뿐 아니라 국가별 SWDS의 유형과 3.2.3절에서 소개될 변수에 대한 정보도 있어야 한다. Tier 1에서는 지역별 기본값 활동도 자료와 IPCC 기본값 변수 사용할 수 있으며, 이들 기본값은 스프레드시트 모델에 나타나있다. Tier 2와 3에서는 국가 고유의 활동도 자료와 변수를 사용해야 한다.

CH₄ 발생량을 산정하기 위한 식은 다음에 제시되어 있다. 모든 폐기물 카테고리/폐기물 성상/물질에 대해 CH₄ 배출량을 산정하는 계산 방법은 동일하기 때문에, 아래 식에서는 폐기물에 대한 인덱스를 사용하지 않았다.

수년에 걸쳐 발생되는 CH₄ 잠재량은, SWDS에 매립된 폐기물의 양과 조성, 그리고 매립지 관리 활동(practice)에 근거하여 산정될 수 있다. 이 계산의 기본은 식 3.2에서 정의된, 혐기적으로 분해 가능한 유기 탄소량(decomposable degradable organic carbon; DDOCm)의 산정이다. DDOCm은 SWDS의 혐기성 조건하에서 분해될 유기 탄소량이며, 수식과 스프레드시트 모델에서 DDOCm으로 표시된다. 인덱스 m은 질량을 나타낸다. DDOCm은 폐기물 발생량(W), 폐기물 내 분해 가능한 유기 탄소의 분율(DOC), 혐기성 조건 하에서 분해되는 분해 가능한 유기 탄소의 분율(DOC_f), 그

리고 SWDS에서 호기성 조건(혐기성 조건 형성 전에)하에서 분해될 폐기물의 부분- 즉, 메탄보정 계수(MCF)-을 곱한 값이다.

식 3.2

폐기물 매립 자료 중 분해가능한 DOC

$$DDOCm = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$$

여기서:

$DDOCm$ = 혐기적으로 분해 가능한 매립된 DOC의 총량, Gg

W = 매립된 폐기물의 총량, Gg

DOC = 매립된 해의 분해 가능한 유기탄소, Gg-C/Gg-폐기물

DOC_f = 분해 가능한 DOC의 비율(비율)

MCF = 매립 년도의 호기성 분해에 대한 메탄 보정 계수 (비율)

이 지침에서 메탄 발생 잠재량(L_0)²이 명시적으로 사용되지는 않았지만, 이는 $DDOCm$, 배출 가스 속의 CH_4 농도(F), CH_4 과 (C)의 분자량 비(16/12)를 곱한 값과 같다.

식 3.3

$DDOCm$ 으로부터 L_0 로의 변형

$$L_0 = DDOCm \cdot F \cdot 16/12$$

여기서:

L_0 = 메탄 발생 잠재량, Gg CH_4

$DDOCm$ = 혐기적으로 분해 가능한 DOC의 총량, Gg

F = 발생된 매립지 가스 내 메탄의 비율 (부피 비율)

16/12 = CH_4 /C의 분자량 비(비율)

위의 식에서는 스프레드시트로부터 $DDOCm$ (SWDS에 축적된 $DDOCm$)를 활용하여, SWDS에 잔존하는 폐기물의 총 메탄 발생 잠재량을 계산하는 데 사용할 수 있다.

1차 분해 반응 기본식

1차 분해 반응에서 생산물의 양은 항상 반응물의 양에 비례한다. 이것은 폐기물이 SWDS에서 매립된 연도와 매년 발생하는 CH_4 의 양이 서로 관련이 없다는 것을 의미한다. 중요한 것은 매립지에서 현재 분해되고 있는 물질의 총량이다.

이는 또한, 연초에 SWDS에서 분해되는 물질의 양을 알면, 산정법에서 매 해가 '연도 1(year 1)'로 간주될 수 있음을 의미한다. 그리고 기본 1차 반응 계산은, 매립한 다음 연도 1월 1일에 시작하는 분해 반응을 가지고 아래의 2가지 단순 방정식을 활용하여 계산할 수 있다.

² 2006 지침에서 L_0 (발생된 Gg CH_4)는 SWDS에서 분해가능한 DOC의 양으로부터 산정된다. GPG 2000의 방정식에서 L_0 는 매립된 Gg 폐기물당 Gg CH_4 로써 산정되며, 배출량은 매립된 총량을 곱하여 계산된다.

식 3.4

T년도까지 SWDS에 축적된 DDOCm

$$DDOC_{ma\ T} = DDOC_{md\ T} + (DDOC_{ma\ T-1} \cdot e^{-k})$$

식 3.5

T년도까지 분해된 DDOCm

$$DDOC_{m, decomp\ T} = DDOC_{ma\ T-1} \cdot (1 - e^{-k})$$

여기서,

T= 인벤토리 연도

$DDOC_{ma\ T}$ = T 연도까지 SWDS에 축적된 DDOCm, Gg

$DDOC_{ma\ T-1}$ = (T-1)연도까지 SWDS에 축적된 DDOCm, Gg

$DDOC_{md\ T}$ = T 연도에 SWDS로 매립된 DDOCm, Gg

$DDOC_{m, decomp\ T}$ = T 연도에 SWDS에서 혐기적으로 분해된 DDOCm, Gg

k = 반응 상수, $k = \ln(2)/t_{1/2}$ (y^{-1})

$t_{1/2}$ = 반감기 (y)

반응 시작일자가 매립한 다음 해의 1월 1일보다 더 이른 경우에는 이 식이 조정될 수 있다. 조정된 식과 이에 대한 설명은 첨부 3A.1을 참고하라.

혐기적으로 분해 가능한 DDOCm으로부터 발생된 CH₄

분해 가능한 물질로부터 형성된 CH₄의 양은 발생된 매립지 가스 내 CH₄ 비율과 CH₄/C 분자량비를 곱해서 계산된다.

식 3.6

분해된 DDOCm로부터 발생된 CH₄

$$CH_4\ generated_T = DDOCm\ decomp_T \cdot F \cdot 16/12$$

여기서:

$CH_4\ generated_T$ = 혐기적으로 분해 가능한 물질로부터 발생되는 CH₄의 양

$DDOCm\ decomp_T$ = T 연도에 분해된 DDOCm, Gg

F = 발생된 매립지 가스 내 CH₄의 부피비 (비율)

16/12 = CH₄/C의 분자량비 (비율)

첨부 3A.1에는 FOD에 대한 보다 상세한 내용과 이전 지침서(IPCC, 1997; IPCC, 2000)에서 제시된 접근법과의 차이점에 대해 설명되어 있다.

단순 FOD 스프레드시트 모델

단순 FOD 스프레드시트 모델(IPCC 폐기물 모델)은 위에서 설명한 식 3.4와 식 3.5를 기본으로 하여 개발되었다. 스프레드시트는 매년 매립된 양과 지난 해의 잔여량을 고려하여, 현재 매립지에서 분해 가능한 DOC의 총량을 계산한다. 이것은 매년 CH_4 와 CO_2 로 분해되는 DOC량을 계산하는데 활용된다.

또한 스프레드시트를 활용하면, 폐기물 매립과 CH_4 발생 시작 시간 간의 시간차를 알 수 있다. 이것은 매립된 폐기물로부터 상당량의 CH_4 가 발생하는 데 걸리는 시간을 보여준다(3.2.3절과 첨부 3A.1 참고).

이 모델은 DDOCm로부터 발생된 CH_4 의 양을 계산하고 그 값에서 회수된 CH_4 의 양과 표층에서 산화된 CH_4 의 양(식에 대해 첨부 3A.1을 참조)을 감해주어, 배출된 CH_4 의 양을 구한다.

IPCC 폐기물 모델은 MSW로부터의 배출량 산정을 위한 2가지 방법을 제시하고 있으며, 유효 활동도 자료를 참고하여 이 둘 중 하나를 선택할 수 있다. 첫 번째 방법은 **폐기물 조성 자료(waste composition data)**에 근거한 다층 구조(multi-phase) 모델이다. MSW에서 각 유형별 분해 가능한 폐기물(음식, 정원³ 및 공원 폐기물, 종이, 판지, 목재, 직물 등)의 양은 각각 투입된다. 두 번째 방법은 **전체 폐기물**(폐기물 조성자료가 아닌, bulk waste)(MSW)에 근거한 단층 구조(single-phase) 모델이다. 산업 폐기물과 슬러지로부터 배출된 양은 총 MSW량과 유사한 방법으로 산정된다. 스프레드시트 모델을 사용하는 국가는 사용 가능한 자료의 수준을 고려하여, 폐기물 조성 옵션이나 전체 폐기물(bulk waste) 옵션, 둘 중 하나를 선택해서 사용할 수 있다. 폐기물 조성이 상대적으로 별 변화가 없을 경우에는 두 가지 방법이 유사한 결과를 보여준다. 그러나 폐기물 조성이 급속도로 변화되면, 이들 방법은 서로 다른 결과가 나타난다. 예를 들면, 음식 쓰레기나 분해 가능한 유기 물질 처리 금지 등 폐기물 관리 방법이 변화하면, 결과적으로는 SWDS에 매립된 폐기물 조성에 빠른 변화가 일어난다.

위의 두 가지 방법은 SWDS에 장기간 축적되는 수확된 목재품(harvested wood products; HWP)의 탄소량을 산정하는 데에도 사용될 수 있다(제4권 12장, 가공된 목재 생산물 참고). 만약 전체 폐기물(bulk waste)에 대한 국가 자료가 없다면, 폐기물 조성에 대한 IPCC 기본값 자료를 활용하여 스프레드시트에 있는 폐기물 조성 자료에 근거한 방법을 사용하는 것이 **우수실행**이다.

스프레드시트 모델에서, DOC와 분해 반감기에 대한 개별 값은 각 폐기물 카테고리나 폐기물 조성 자료에 근거한 방법에서의 각 폐기물 성상/ 물질에 대해서 입력될 수 있다. 혹은 분해 반감기가 모든 폐기물 카테고리나 폐기물 성상에 있어서 동일하게 추정될 수도 있다. 첫 번째 접근법은 SWDS에서 서로 다른 폐기물 성상/물질의 분해는 완전하게 서로 독립적인 것임을 가정한다. 두 번째 접근법은 모든 유형의 폐기물 분해는 서로 완전하게 의존적인 것임을 가정한다. 그러나 이 지침서를 작성하는 지금 시점에서는, 이들 중 한 가지 접근법이 다른 것보다 더 낫다는 증거가 없다(3.2.3절 반감기 참고).

스프레드시트는 각기 다른 워크시트상의 각 폐기물 구성으로부터 발생된 CH_4 의 양을 계산한다.

³ 미국 영어에서는 '정원 폐기물(garden waste)'이 '마당 폐기물(yard waste)'로도 표현된다.

메탄보정계수(MCF- 3.2.3절 참고)는 해당 국가의 모든 매립지에 대한 가중 평균값으로 입력된다. 이 때 매립지 내 폐기물 관리가 어떤 식이냐에 따라(예를 들어, 더 잘 관리되는 SWDS로 개선시키거나, 더 깊이 매립한다거나), MCF 값은 시기에 따라 달라질 수 있다. 마지막으로, 각 폐기물 카테고리(예를 들어, 음식물 쓰레기)와 성상/물질로부터 발생된 CH_4 의 양을 더하고, 회수되고 표층에서 산화된 CH_4 의 양을 빼면, 총 CH_4 배출량을 구할 수 있다. 전체 폐기물(bulk waste)을 이용한 옵션에 대해서는, DOC를 MSW에 대한 가중 평균값으로 구할 수 있다.

스프레드시트 모델은 Tier 1 방법에 가장 유용하지만, 모든 tier에 대해서 적용할 수 있다. Tier 1에 대해서, 스프레드시트는 인구 자료, 1인당 매립 자료(MSW용), 그리고 GDP(산업 폐기물)로부터의 활동도 자료를 산정할 수 있으며, 이에 대한 부가적인 안내는 3.2.2절을 참고하면 된다. Tier 2와 3의 접근법이 사용될 때, 각 국가에서는 자국의 필요사항을 충족시키기 위하여 스프레드시트 모델을 확장하거나 자국의 모델을 만들어 낼 수 있다. 스프레드시트 모델은 필요할 경우, CH_4 의 배출량을 산정하기 위해 시트의 수를 확장할 수 있다. 전체 폐기물(bulk waste)에 대한 MCF, OX, 그리고 DOC는 시간에 따라 다양할 수 있다. DOC_t와 같은 기타 변수들도 이와 마찬가지로이다. 새로운 반감기 값이 존재할 때는 새로운 CH_4 계산 시트를 필요로 한다. 산업 폐기물에 대한 양질의 자료를 가지고 있는 국가에서는 새로운 CH_4 계산 시트를 추가할 수 있고, 각기 다른 성상의 산업 폐기물에 대해 개별적인 CH_4 의 배출량을 계산할 수 있다. 스프레드시트 모델이 수정되거나 국가 고유의 모델이 사용될 때, 주요 가정(assumptions)과 변수는 문서에 투명하게 기록되어야 한다. 스프레드시트 모델을 사용하는 상세한 방법은 설명서 스프레드시트(Instructions spreadsheet)에 나타내었다.

이 모델은 2006 가이드라인 CDROM에서 복사할 수 있고, 혹은 IPCC NGGIP의 웹사이트 <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>>에서 다운로드 할 수 있다.

상이한 지리적, 기후적 특징을 지닌 지역을 모델링하기

한 국가의 서로 다른 지리적 특징을 지닌 지역에서 발생하는 CH_4 의 양을 산정하는 것은 가능하다. 예를 들면, 만약 그 국가에 열대습윤 지역과 열대건조 지역이 존재한다면, 분해율은 각 지역에서 다르게 나타날 것이다.

다른 폐기물 카테고리의 취급

일부 사용자는 그들의 국가 폐기물 통계가 이 모델에서 사용한 카테고리(음식, 정원 및 공원 폐기물, 종이, 판지, 직물, 산업 폐기물 등 기타 물질)와 일치하지 않는다는 것을 발견할 수도 있다. 이 경우, 스프레드시트 모델을 해당 국가가 사용하는 카테고리 분류와 일치하도록 수정하거나 국가 고유의 폐기물 성상을 IPCC 카테고리에 맞도록 재분류할 필요가 있다. 예를 들면, 의류, 커튼, 담요는 직물에 포함되고, 주방 폐기물은 음식물 쓰레기와 유사하며, 짚이나 대나무는 목재와 같다. 국가 통계가 거리 쓰레기(street sweepings)라 불리는 카테고리를 포함할 수도 있다. 이 때 사용자는 이 폐기물의 조성을 추론해야만 한다. 예를 들면, 이것은 50%의 비분해성(inert) 물질, 10%의 음식, 30%의 종이, 그리고 10%의 정원 및 공원 폐기물일 수 있다. 따라서 이 거리 쓰레기 카테고리는 IPCC 카테고리 내로 나뉘어서, 기존의 카테고리에 있는 폐기물에 더해질 수 있다. 이와 유사

한 방법으로, 가구는 목재, 플라스틱, 혹은 금속 폐기물로, 그리고 전자제품은 금속, 플라스틱, 그리고 유리 폐기물로 나눌 수 있다. 이러한 모든 작업은 인벤토리 작성자가 각각의 워크시트를 활용하여 수행할 수 있다.

폐기물 발생시의 조성을 SWDS의 폐기물 조성으로 조정하기

사용자는 국가 폐기물 조성 통계가 폐기물 발생 지점의 조성을 일컫는지, 아니면 SWDS에 투하될 때의 조성을 일컫는지를 밝혀야 한다. 여기에 제시된 폐기물 조성 통계 기본값은 SWDS에 투하될 때가 아닌 폐기물 발생 시의 조성을 의미한다. 따라서 재활용이나 퇴비화가 SWDS에 투하될 때의 폐기물 조성에 영향을 미친다면, 폐기물 조성은 조정되어야 한다. 발생한 각 폐기물 성상의 양을 산정하는 것은, 인벤토리 작성자에 의해 만들어진 개별적인 스프레드시트를 활용하는 것이 가장 효과적이다. 그 후 재활용, 소각, 또는 퇴비화 된 각 폐기물의 양을 빼면, SWDS에 투하된 잔여 폐기물의 새로운 조성값을 계산할 수 있다.

SWDS에서의 폐기물 노천 소각

SWDS에서의 노천 소각은 많은 개발도상국가에서 흔히 일어난다. SWDS에서의 혐기적으로 분해 가능한 폐기물(그리고 DDOCm)의 양은 소각된 양에 의해 조정되어야 한다. 5장에서는 소각된 폐기물의 양을 산정하는 방법을 소개한다. SWDS로부터의 배출량 산정은 매립지에서의 폐기물 노천 소각에 대한 산정과 일관성을 유지해야 한다.

3.2.2 활동도 자료의 선택

활동도 자료는 전체 폐기물(bulk waste) 혹은 폐기물 조성에 의한 폐기물 발생량과 SWDS에 매립된 폐기물 비율로 구성된다. 폐기물 발생량은 각 폐기물 조성에 대한 1인당 폐기물 발생률(톤/인/년)과 인구수(capita)를 곱하여 산정된다. 2장은 폐기물 관리뿐만 아니라 폐기물 발생과 폐기물 조성에 대한 자료를 수집하는 데 필요한 지침을 제공한다. MSW에 대한 지역 기본값은 표 2.1 폐기물 발생률과 SWDS로의 매립 비율, 표 2.3 폐기물 조성에 제시되어 있다. 산업 폐기물에 대해서는 표 2.2에 기본값이 제시되어 있다. 국가 인벤토리에서 배출량을 정확하게 산정하기 위해서는, 일반적으로 SWDS에 매립된 폐기물의 3-5 반감기(3.2.3절 참고)의 고형 폐기물 매립 자료(양, 조성)를 포함하고, 각각의 폐기물 조성이나 SWDS 유형에 따른 전체 폐기물(bulk waste)에 대한 각각의 다양한 반감기를 제시해야 한다(IPCC, 2000). 과거 자료를 작성할 때, 폐기물 관리에 있어서의 변화된 점들(예컨대, 매립지 복토, 침출수 배수 장치의 개선, 조약(compacting), 그리고 유해 폐기물과 MSW의 공동 매립 금지)을 고려해야 한다.

FOD 방법은, 50년 동안 수집된 고형 폐기물 매립에 관한 자료(양 및 조성)를 필요로 한다. 과거의 통계 자료나 그에 상응하는 50년 이상에 대한 고형 폐기물 매립 자료를 가지고 있지 않은 국가들은, 대안적 방법(인구수, 경제 지표, 혹은 기타 요인들을 활용한 외삽법)을 사용하여 이러한 자료들을 추론해야 한다. 방법론의 선택은 각 국가의 이용가능한 자료에 따라 달라진다.

MSW 매립에 관한 기본값을 사용하는 국가들이나 과거 50년 동안의 자료가 없는 국가들의 경우,

과거의 결측 자료는 도시 인구 수⁴(도시 인구수에 관한 과거의 자료를 활용할 수 없거나 전체 인구에 대해 폐기물이 수집된 경우에는, 총 인구수를 이용)에 비례하여 산정될 수 있다. MSW 발생에 관한 국가별 자료가 있는 국가들은, 수년에 걸친 폐기물 관리 및 조성(Tier 2 FOD)과 고형 폐기물 매립에 기여하는 요인들의 분석을 장려한다. 과거의 자료는 경제 지표나, 인구수와 경제 지표의 조합에 비례할 수 있다. 또한 추세 외삽법(trend extrapolation)도 좋은 결과를 도출할 수 있다. 분석 시에는, 폐기물 발생량을 감축하고 고형 폐기물 매립을 대체할 수 있는 방법을 촉진하는 폐기물 관리 정책에 대해서도 고려해야 한다. 산업폐기물 매립량 산정을 위한 대체값으로 산업 생산성(생산량이나 생산도: 자료의 이용가능성에 따라 되도록이면 각 산업 유형별로 나누어서)을 대신 활용할 수도 있다(Tier 2). 생산량 자료가 없을 때에는, 과거의 산업 폐기물 매립량은 GDP나 다른 경제 지표에 따라 비례하여 산정될 수 있다. GDP는 Tier 1 방법에서 추정인자(driver)로 사용된다.

도시 인구수(혹은 총 인구수), GDP(혹은 다른 경제 지표), 그리고 산업 생산 통계에 대한 과거 자료는 국가별 통계로부터 얻을 수 있다. 국가별 자료를 이용할 수 없을 때는 국제 데이터베이스를 참고할 수 있다. 예를 들면, 다음과 같다.

- 인구 수 자료(1950년 이후 5년 간격)는 UN 통계를 이용할 수 있다. (참고: <http://esa.un.org/unpp/>)
- GDP 자료(1970년 이후, 국가 통화에서 현재 물가에 근거한 연간 자료)는 UN 통계를 이용할 수 있다. (참고: <http://unstats.un.org/unsd/snaama/selectionbasicFast.asp>)

이들 기간 동안의 자료를 이용할 수 없다면, 내삽법과 외삽법을 활용할 수 있다.

위에 언급된 기본적 방법에 비해 이전의 다른 논문에서 제안했던 대안적 방법들이 더 정확한 산정을 할 수 있다고 판단되면 그 방법을 사용할 수도 있다.

방법론 및 대체값의 선택과 그것을 선택한 근거에 대해서는 인벤토리 보고서에 투명하게 기록해 두어야 한다. 대안적 방법을 사용하거나, 결측 자료를 추정하기 위한 수단으로 내삽법과 외삽법을 사용하는 경우에 대해서는 제1권 제6장 시계열적 지속성에서 보다 구체적으로 논의될 것이다.

3.2.3 배출계수와 변수의 선택

분해 가능한 유기 탄소(DOC)

분해가능한 유기 탄소(DOC)는 생화학적 분해가 가능한 폐기물 내 유기 탄소를 뜻하며, 폐기물 Gg 당 C Gg으로 표현된다. 전체 폐기물 내 DOC양은 폐기물 조성에 근거하여 산정되며, 다양한 폐기물 조성(폐기물 성상/물질)에서의 분해 가능한 탄소 함량의 가중 평균값을 활용하여 계산된다. 다음 식에서는 탄소 함량 기본값을 사용하여 DOC량을 산정한다.

⁴ 도시 인구수와 총 인구수 중에서 무엇을 선택하는가는 폐기물 수집의 범위에 따라 달라져야 한다. 폐기물 수집 범위에 관한 자료를 이용할 수 없을 때에는, 추정인자(driver)로서 도시 인구수를 활용하는 것을 추천한다.

식 3.7

탄소 함량 기본값을 이용한 DOC 산정

$$DOC = \sum_i (DOC_i \cdot W_i)$$

여기서,

DOC = 전체 폐기물(bulk waste) 내 분해가능한 유기탄소의 비율, Gg-탄소/Gg-폐기물 (Gg-C/Gg-waste)

DOC_i = 폐기물 성상 i에 대한 분해가능한 유기 탄소의 비율,

예를 들어, 종이에 대한 기본값은 0.4(습중량 기준)

W_i = 폐기물 카테고리에 의한 폐기물 성상 i의 비율, 예를 들어, 동아시아의 MSW내 종이에 대한 기본값은 0.188(습중량 기준)

MSW에 대한 이러한 비율의 DOC 기본값은 표 2.4에 나타나 있고, 산업 폐기물에 대한 DOC 기본값은 이 권의 제2장 표2.5에 기술되어 있다. 이와 유사한 접근법을 사용하여, 해당 국가에서 매립된 전체 폐기물량의 DOC 함량을 산정할 수도 있다. 스프레드시트 모델에서, MSW 내의 DOC량을 산정하는 것은 *전체 폐기물 옵션(bulk waste option)*에서만 필요하고, MSW 내의 DOC 양은 비활성 물질을 포함하여 SWDS에 매립된 MSW에 대한 평균 DOC 값이다.

MSW 내 DOC 총량을 산정할 때에는, 폐기물 중 비활성 물질(inert part)(유리, 플라스틱, 금속, 기타 분해 불가능한 폐기물, 제2장 표 2.3 참고)이 중요하다. 그러므로 이 비분해성 물질이 IPCC 기본 자료 내 비분해성 물질과 유사한지를 확인하지 않은 채, 국가 고유의 MSW 매립 자료와 함께 IPCC 폐기물 조성 기본값 자료를 사용하지 않을 것을 권고한다.

자료를 이용할 수만 있다면 국가 고유의 값을 사용하는 것을 장려한다. 국가 고유값은 분해 가능한 탄소 함량에 관한 분석과 더불어 SWDS에서 채취된 시료와 폐기물 발생 연구를 수행함으로써 얻을 수 있다. 국가 고유값을 활용할 때에는 조사 자료나 시료 채취 결과가 보고서에 문서화되어야 한다(활동도 자료에 대해서는 제3.2.2절, 보고서 작성에 대해서는 제3.8절을 참고).

혐기적으로 분해 가능한 유기 탄소의 비율(DOC_f)

혐기적으로 분해가능한 유기탄소 비율(DOC_f)이란 궁극적으로 분해되어 SWDS로부터 배출되는 탄소 분율의 산정값이며, 이는 SWDS의 혐기성 조건 하에서 일부 분해가능한 유기탄소는 실제로 분해되지 않거나 혹은 매우 느리게 분해된다는 사실을 반영한다. DOC_f 기본값으로는 0.5를 사용하는 것을 권장한다(SWDS가 혐기성 환경이고, DOC 값이 리그닌(lignin)을 포함한다는 가정 하에서. DOC 기본값에 대해서는 제2장 표2.4 참고)(Oonk and Boom, 1995; Bogner and Matthews, 2003). DOC_f 값은 온도, 수분, pH, 폐기물 조성 등에 따라 달라진다. 국가별 DOC_f 값이나 조건이 유사한 국가의 DOC_f 값을 사용할 수 있으나, 이를 위해서는 문서에 의해 충분히 입증된 연구에 근거해야 한다.

SWDS에서 침출된 DOC량은 DOC_f의 산정값으로 고려되지 않는다. 일반적으로 침출수와 함께 손실된 DOC 값은 1%에도 미치지 않으며 계산 시 무시할 수 있다.

또한 좀 더 상위 tier 방법론(Tier 2 혹은 3)에서는 특정 폐기물 유형에 따른 개별 DOC_f 값을 이용할 수 있다. 일부 연구 논문에서는 폐기물 종류에 대한 혐기성 분해 가능성(DOC_f)에 관한 정보가 제시되어 있다(Barlaz, 2004; Micales & Skog, 1997; US EPA, 2002; Gardner *et al.*, 2002). 그러나 제시된 분해가능성은, 특히 목재에 대해 광범위하게 달라지고 확정적인 것도 아니다. 또한 목재의 분해가능성은 수종에 따라 다르다. 특정 폐기물 유형에 대한 개별 DOC_f 값이 존재한다는 것은, 여러 가지 유형의 폐기물 분해가 서로에 대해 독립적이라는 가정을 의미한다. 이 점에 있어서, 아래 반감기 부분에서 더 논의되는 것과 같이, 지금 이 가이드라인을 작성하는 시점에는 과학적 지식이 아직 결론이 나지 않았다.

그러므로 폐기물 조성에 대한 자료를 기본값(default)으로 사용하거나, 모델링 혹은 전문가 판단에 따른 추론에 근거한 경우, 폐기물 유형에 따른 특정 DOC_f 값을 사용하는 것은 추가적인 불확도를 수반한다. 따라서 대표성을 지닌 시료 채취와 분석에 근거하여 폐기물 조성 자료를 얻었을 때만 이, 각 폐기물 유형에 따른 DOC_f 값을 이용하는 것이 **우수실행**이 된다.

메탄보정계수(MCF)⁶

폐기물 매립 활동(waste disposal practice)은 매립지의 관리, 폐기물의 배치, 그리고 여러 조절에 따라 다양하다. CH_4 보정계수(MCF)는, 같은 양의 폐기물이 존재할 때 혐기성 조건으로 관리된 SWDS보다 관리되지 않은 SWDS에서 발생하는 메탄량이 더 적다는 사실을 보여준다. 매립지 깊이가 깊고 (혹은) 지하 수면이 높으며 관리되지 않은 SWDS에서는, 깊이가 얇은 SWDS보다 호기성 상태에서 분해되는 폐기물의 비율이 더 적다. 준호기성(semi-aerobic)으로 관리되는 SWDS는, 공기가 폐기물 층으로 유입되어 SWDS 내부가 준호기성 상태로 된, 수동적으로 관리되는 SWDS이다. 고형폐기물 관리와 관련있는 이 MCF 값은 지역에 따라 다르며, 관리 측면을 반영하는 폐기물 관리 보정 계수로서 해석되어야 한다.

MCF는 표 3.1에 나타난 바와 같이 각각 4개의 카테고리로 분류된다. 각 SWDS에 매립된 폐기물의 양을 알 수 없는 국가들의 경우에 기본값을 활용할 수 있다. 국가의 폐기물 관리 정책이 새롭게 적용될 때마다, 관리되는 매립지/관리되지 않은 매립지로의 분류가 시기에 따라 변화할 수 있다.

고형 폐기물 매립지에 매립되는 고형 폐기물의 비율(SW_f)과 MCF는, 폐기물이 관리되는 방법과 매립지의 구조 및 CH_4 발생에 대한 관리 정도의 영향을 반영한다. 이러한 방법론을 활용하기 위해서는, 해당 국가에서 고형 폐기물 매립지의 각 4가지 카테고리(표 3.1)에 매립된 폐기물의 양에 대한 자료나 추정값을 제공해야 한다. 국가가 SWDS를 관리되거나 관리되지 않은 SWDS의 4가지 카테고리로 분류할 수 없는 경우에만, '분류되지 않은 SWDS(uncategorized SWDS)'에 대한 MCF 값을 사용할 수 있다.

⁵ 강우량이 많은 국가에서는 침출 과정을 통해 손실되는 DOC 량이 더 크다. 강우량이 많은 일본에서는, SWDS의 투과율이 높고 많은 양의 DOC 가 침출된다(때때로 SWDS 내 탄소의 10% 이상이 침출되기도 함)(Matsufuji *et al.*, 1996).

⁶ 여기서 메탄보정계수(methane correction factor; MCF)는 농업, 임업, 기타 가축 비료 관리 배출량과 관련된 토지이용 부분에서 사용되는 메탄전환계수(methane conversion factor; MCF)와는 다른 용어이다.

표 3.1 SWDS 분류와 메탄보정계수(MCF)	
매립지 유형	메탄보정계수(MCF) 기본값
관리된 - 혐기성 ¹	1.0
관리된 - 준호기성(semi-aerobic) ²	0.5
관리되지 않는 ³ - 매립의 깊이가 깊고(5 m 이상 폐기물), (혹은) 지하수면이 높은	0.8
관리되지 않는 ⁴ - 매립의 깊이가 얕은(5 m 이하 폐기물)	0.4
분류되지 않은 SWDS ⁵	0.6

¹ 혐기성으로 관리되는 고형 폐기물 매립지: 이것은 폐기물의 배치를 통제해야만 하고(예를 들면, 특정 위치에 투하된 폐기물, 썩김(scavenging) 조절의 정도 및 화력(fires)(조절 수준), 최소한 다음 사항 중 하나를 포함한다. I i) 매립지 복토 재료; (ii) 기계적 압축; 혹은 (iii) 폐기물의 수평화

² 준호기성으로 관리되는 고형 폐기물 매립지: 이것은 폐기물의 배치를 통제해야만 하고, 폐기물 층에 공기가 유입되는 다음의 모든 구조를 포함한다. (i)투과성의 매립지 표면 재료; (ii) 침출수 배수 시스템; (iii) 저수량 규제; (iv) 가스 환기 시스템

³ 관리되지 않는 고형 폐기물 매립지 - 매립의 깊이가 깊고/깊거나 높은 지하수면이 있는 경우: 이는 관리된 SWDS의 요건을 충족시키지 않고, 매립고가 5m 이상이며(이거나), 지표면 근처에 높은 지하수면이 있는 모든 SWDS이다. 높은 지하수면을 가진 SWDS는 폐기물에 의해 형성된 연못, 강, 습지와 같은 육수(inland water)가 있는 SWDS에 해당한다.

⁴ 관리되지 않는 얕은 고형 폐기물 매립지: 관리된 SDWS 영역에 부합되지 않고, 매립고 5 m 이하의 모든 SWDS

⁵ 분류되지 않은 고형 폐기물 매립지: 해당 국가에서 관리되거나/관리되지 않은 SWDS의 4가지 카테고리로 분류할 수 없는 경우에는, 이 카테고리의 MCF가 활용될 수 있다.

출처: IPCC(2000); Matsufuji *et al.*(1996)

발생된 매립가스의 CH₄ 비율 (F)

SWDS의 대부분의 폐기물은 약 50%의 CH₄를 수반한 가스를 발생시킨다. 다량의 지방이나 기름을 포함한 물질만이 50% 이상의 CH₄를 수반한 가스를 배출한다. 따라서 매립지 가스 내의 CH₄ 비율에 대한 IPCC 기본값(0.5)의 사용이 장려된다.

발생된 매립가스 내 CH₄ 비율은 SWDS로부터 배출된 가스 내 측정된 CH₄의 값과 혼동해서는 안 된다. SWDS에서 CO₂는 침출수에 흡수되고, SWDS의 중성 상태는 흡수된 다량의 CO₂를 중탄산염(bicarbonate)으로 변환시킨다. 그러므로 SWDS로부터 배출된 매립가스에서 측정된 CH₄ 농도에 근거하여 매립가스의 CH₄ 비율을 산정할 경우에는, 침출수로의 CO₂ 흡수량에 대해 조정하는 것이 우수실행(good practice)이 된다(Bergman, 1995; Kampfer and Weissenfels, 2001; IPCC, 1997).

산화계수(Oxidation factor: OX)

계수(OX)은 토양이나 폐기물을 덮는 물질에서 산화되는 SWDS의 CH₄양을 반영한다.

CH₄ 산화는 표층 토양에서 메탄 친화성(methanotrophic) 미생물에 의해 이루어지며, 무시할 수 있는 수준에서부터 내부적으로 발생된 CH₄의 100% 산화까지, 다양한 범위를 가진다. 복토 토양의 두께, 물리적 특성 및 수분 함량은 직접적으로 CH₄의 산화에 영향을 미친다(Bogner and Matthews, 2003).

연구에 따르면, 위생적으로 잘 관리된 SWDS에서는 관리되지 않은 웅덩이 매립지에 비해 더 높은 산화율이 나타나는 경향을 보인다. 두껍고 공기 투과성이 좋은 물질로 복토되어있는 매립지의 산화계수는, 복토가 없거나 혹은 복토의 틈으로 다량의 CH₄가 빠져나가는 매립지와는 많이 다를 수 있다.

현장과 실험실에서 측정한 CH₄과 CO₂의 배출 농도와 플럭스는 균일하고 균질한 토양에서 얻어지는 것이기 때문에, 산화율을 결정하는데 직접적으로 이용되어서는 안 된다. 왜냐하면 실제로는 발생된 CH₄의 소량만이 이러한 균질한 토양층을 통해 확산될 것이기 때문이다. 나머지 양은 산화되지 않은 채 틈이나 측면 확산을 통해 빠져나갈 것이다. 그러므로 측정할 때 넓은 공간을 대상으로 하지 않고 틈에 대해 분명하게 포함하고 있지 않다면, 현장과 실험실 연구로부터의 결과는 SWDS 복토 토양의 산화율의 과대평가를 야기할 수 있다.

산화율 기본값은 0이다. 표 3.2를 참고하라. 최종복토층(cover)과 갈라진 틈으로 빠져나가는 것을 모두 산정하기 위해, 복토가 이루어지고, 잘 관리된 SWDS에 대해서 산화율 0.1을 사용할 수 있다. 0.1보다 높은 산화율 값을 사용하는 경우에는 분명하게 문서화하고, 참고문헌을 첨부하며, 국가 상황과 관련된 자료를 근거로 제시해야 한다. 산화계수를 적용하기 전에, 발생된 양에서 회수된 CH₄를 빼야 한다는 것을 기억해 두자.

표 3.2 SWDS에 대한 산화계수(OX)	
매립지 유형	산화계수(OX) 기본값
관리되는 ¹ , 관리되지 않은, 분류되지 않은 SWDS	0
CH ₄ 를 산화시키는 재질로 복토되어 관리되는 ²	0.1
¹ 관리되는, 그러나 공기 투과성 재질로 덮여있지 않은 ² 예: 토양, 퇴비	

반감기

반감기인 $t_{1/2}$ 는 폐기물의 DOCm을 초기질량의 절반까지 분해시키는 데 걸리는 시간이다. 이 권의 FOD 모델과 식에서는 반응상수, k 가 사용되는데, k 와 $t_{1/2}$ 의 관계는 다음과 같다: $k = \ln(2)/t_{1/2}$. 반감기는 폐기물 조성, SWDS가 위치한 지역의 기후적 환경, SWDS의 특징, 폐기물 매립 실태와 기타 요인과 관련된 수많은 변수의 영향을 받는다(Pelt *et al.*, 1998; Environment Canada, 2003).

하나의 SWDS에 적용할 수 있는 반감기 값은 폐기물 조성, 매립지의 조건과 관련된 수많은 변수들에 의해 결정된다. 최근의 연구에서는 반감기에 대한 더 많은 자료(실험적이거나 모델을 수단으로 하는)를 제공하고 있지만, 이 결과들은 온대기후의 선진국 특성을 근거로 하여 도출되었다. 그

러나, 개발도상국 및 열대기후 특성을 반영하는 결과는 거의 없다. 아르헨티나, 뉴질랜드, 미국, 영국, 네덜란드에서 SWDS로부터 얻은 측정값은 약 3~35년의 범위에서 $t_{1/2}$ 의 값을 뒷받침한다(Oonk and Boom, 1995; USEPA, 2005; Scharff *et al.*, 2003; Canada, 2004; and Argentina, 2004).

가장 빠른 속도($k=0.2$ 혹은 약 3년의 반감기)은 높은 습도 조건과 음식 폐기물과 같이 급속하게 분해 가능한 물질일 경우이다. 더 느린 분해속도($k=0.02$, 혹은 약 35년의 반감기)은 건조한 매립지 조건, 목재나 종이와 같은 느리게 분해되는 폐기물일 경우이다. 70년이나 그 이상의 긴 반감기는 온대 건조 기후의 목재 폐기물이나 온대 기후의 얇고 건조한 SWDS에 해당한다. 3년 미만의 반감기는 습윤 온대기후의 SWDS 또는 습윤 열대기후의 빠르게 분해되는 폐기물에 적합하다. 인벤토리 작성자는 국가고유 반감기 값을 수립하도록 권고한다. 현재의 지식이나 자료에는 한계가 있으므로, SWDS의 현장 자료로부터의 반감기를 산정을 위한 기본 방법론 개발이 필요하다.

배출량 계산을 위한 반감기(혹은 k 값)를 선택하는 데에는 2가지 대안적 접근법이 있다. (a) 혼합된 MSW에 대한 $t_{1/2}$ 의 가중 평균값을 계산하라(Jensen and Pipatti, 2002). (b) 폐기물 흐름(waste stream)를 분해 속도에 따른 폐기물 카테고리 분류하라.(Brown *et al.*, 1999) 첫 번째 접근법은 다른 유형의 폐기물분해가 서로 완전히 의존적이라고 가정한 경우이다. 예를 들어, 목재는 음식 폐기물의 존재로 인해 더 빨리 분해되고, 음식 폐기물은 목재로 인해 더 늦게 분해된다. 두 번째 접근법은 다른 유형의 폐기물이 서로 독립적으로 분해된다고 가정한다. 목재는 목재로서 분해될 뿐, SWDS가 거의 비분해성인 폐기물로 이루어져있거나 분해 속도가 더 빠른 폐기물을 많건 상관 없다. 실제로는 아마 이 2가지 경우의 중간 정도일 것이다. 그러나 2가지 접근법 중 더 나은 것을 판별하기 위해 수행되는 연구들은 거의 없었고(Oonk and Boom, 1995; Scharff *et al.*, 2003), 이와 관련된 연구는 확정적인 결과를 보여주지 못했다. 따라서, IPCC 스프레드시트 모델의 2가지 옵션은 반감기를 선택하기 위해 위의 접근법을 모두 적용할 수 있으며, 내용은 다음과 같다.

전체 폐기물 옵션(bulk waste option): 전체 폐기물 옵션은 위의 대안 (a)가 필요하며, 이 방법은 폐기물 구성에 관한 자료가 없거나 혹은 제한된 자료가 있는 국가이지만, SWDS에 매립된 전체 폐기물에 관한 좋은 정보를 가지고 있는 국가에 적합하다. 기본값은 해당 기후대의 종류별(function)로 산정되었다.

폐기물 조성 옵션(waste composition option): 폐기물 조성 옵션은 위의 대안 (b)가 필요하며, 이 방법은 폐기물 구성에 관한 자료를 가지고 있는 국가에 적합하다. 수용할 수 있는 정확한 결과를 얻기 위해서는 폐기물 흐름 내 각 구성요소의 반감기($t_{1/2}$)를 분류하는 것(IPCC, 2000)이 필요하다.

두 가지 방법에서, 반감기의 기본값은 기후대의 종류별(function)로 산정된다. 주된 가정 및 고려사항은 다음과 같다.

- 폐기물 조성(특히 유기물)은 메탄 발생의 양과 시기에 영향을 주는 주된 변수 중 하나이다.
- SWDS의 수분함량은 혐기성 분해와 CH_4 발생의 필수적인 요소이다. 단순한 방법 하에서는, SWDS 지역의 연평균 강수량(mean annual precipitation; MAP)이나 잠재적 증발산량(potential evapotranspiration; PET)과 비례한다고 가정한다(Pelt *et al.*, 1998; U.S. EPA, 1998; Environment Canada, 2003).
- 기온이 SWDS의 온도와 가스 발생률에 영향을 주는 정도는, 주로 폐기물 관리 정도와 SWDS의

깊이에 따라 달라진다.

- 얇게 묻히거나 노천 중의 폐기물은 호기성 분해가 일어나고 CH_4 을 거의 발생시키지 않으며 배출량이 혐기성 분해에 비해 더 짧은 시간 내에 감소한다. 관리되는(또한 관리되지 않지만 깊이가 깊은) SWDS는 혐기성 조건을 만든다.

각 국가들은 자국의 환경과 특성에 적합한 고유의 반감기 값(k 값)을 개발할 수 있다. 자국만의 반감기 값을 개발한 국가들이 그 값을 도출하는 데 사용된 실험 과정을 문서화하는 것은 우수실행이다.

k 기본값과 이에 상응하는 반감기는 아래 표 3.3과 3.4에 제시되어 있다.

표 3.3

Tier 1 에서 메탄발생속도(k) 기본값 권고치

(실험 측정을 통해 얻어지거나, 모델에 의해 계산되거나, 온실가스 인벤토리나 기타 연구에서 사용된 k 값에서 도출)

폐기물 성상		기후대*							
		아한대, 온대 (MAT $\leq$ 20°C)				열대 ¹ (MAT > 20°C)			
		건조 (MAP/PET<1)		습윤 (MAP/PET>1)		건조 (MAP<1000mm)		moist, 습윤 (MAP $\geq$ 1000mm)	
		기본값	범위 ²	기본값	범위 ²	기본값	범위 ²	기본값	범위 ²
느리게 분해되는 폐기물	종이/직물 폐기물	0.04	0.03 ^{3,5} - 0.05 ^{3,4}	0.06	0.05-0.0 7 ^{3,5}	0.045	0.04-0.06	0.07	0.06- 0.085
	목재/짚 폐 기물	0.02	0.01 ^{3,4} - 0.03 ^{6,7}	0.03	0.02-0.0 4	0.025	0.02-0.04	0.035	0.03-0.05
보통 속도로 분해되는 폐기물	기타(음식 물 아닌) 유기적으 로 부패하기 쉬운/ 정원 및 공원 폐기물	0.05	0.04-0.06	0.1	0.06-0.1 8	0.065	0.05-0.08	0.17	0.15-0.2
급속도로 분해되는 폐기물	음식 폐기물/하 수 슬러지	0.06	0.05-0.08	0.185 ⁴	0.1 ^{3,4} -0. 2 ⁹	0.085	0.07-0.1	0.4	0.17-0.7 ¹⁰
전체 폐기물(bulk waste)		0.05	0.04-0.06	0.09	0.08 ⁸ -0. 1	0.065	0.05-0.08	0.17	0.15 ¹¹ -0.2

¹ 열대 지역의 k 와 반감기를 결정하는 데 이용할 수 있는 정보는 꽤 제한적이다. 표에 포함된 값은 직설적으로(indicative), 주로 본문에서 서술된 가정과 온대 조건에서 구해진 값에서 도출되었다.

² 범위는 논문에서 보고되었거나 이장의 저자들에 의해 산정된 최소값과 최대값 자료를 말한다. 기본적으로 이 값은 기본값과 연계된 불확도를 기술하는 것을 포함한다.

³ Oonk and Boom(1995)

⁴ IPCC(2000)

⁵ Brown *et al.* (1999). GasSim 모델 검증(Attenborough *et al.*, 2002)에서는 느린 분해가능성의 경우, 근사값(16년)이 사용되었다.

⁶ Environment Canada(2003)

⁷ 이 범위에서는 보다 긴 반감기 값(231년까지)이 보고되었는데, 이는 평균 일일 온도 < 0°C인 매립지에서 사용된 매우 낮은 k 값으로부터 도출되었기 때문이며 이 표에서는 포함시키지 않았다.

⁸ RIVM(2004)로부터 산정

⁹ GasSim 모델 검증에서 빠른 분해가능성을 가진 경우에 사용된 값(Attenborough *et al.*, 2002);

¹⁰ Jensen and Pipatti(2003)로부터 산정된

¹¹ 열대기후에 있는 대부분의 개발도상국에 대해서는 $t_{1/2}$ =4-7년을 특징적 반감기 값으로 고려하였다. 높은 수분 조건과 높은 분해가능성을 지닌 폐기물.

* GPG-LULUCF(IPCC, 2003)에서 제3장의 자료를 적용하였다.

MAT - 연평균 기온(mean annual temperature); MAP- 연평균 강수량(mean annual precipitation); PET= 잠재적 증발산량(potential evapostranspiration)

MAP/PET는 PET에 대한 MAP의 비율이다. 시계열에 따른 평균 연간 MAT, MAP, PET는 배출량을 산정하는 데 필요하고, 최근의 대표적인 기상 상태로 나타내어야 한다.

표 3.4

Tier 1 에서 반감기($t_{1/2}$) 기본값(yr) 권고치

(실험 측정을 통해 얻어지거나, 모델에 의해 계산되거나, 온실가스 인벤토리나 기타 연구에서 사용된 k 값에서 도출)

폐기물 성상		기후대*							
		아한대, 온대 (MAT ≤ 20°C)				열대 ¹ (MAT > 20°C)			
		건조 (MAP/PET < 1)		습윤 (MAP/PET > 1)		건조 (MAP < 1000mm)		moist, 습윤 (MAP ≥ 1000mm)	
		기본값	범위 ²	기본값	범위 ²	기본값	범위 ²	기본값	범위 ²
느리게 분해되는 폐기물	종이/직물 폐기물	17	14 ^{3,5} -23 ^{3,4}	12	10-14 ^{3,5}	15	12-17	10	8-12
	목재/짚 폐기물	35	23 ^{3,4} -69 ^{6,7}	23	17-35	28	17-35	20	14-23
보통 속도로 분해되는 폐기물	기타(음식물 아닌) 유기적으로 부패하기 쉬운/정원 및 공원 폐기물	14	12-17	7	6-9 ⁸	11	9-14	4	3-5
급속도로 분해되는 폐기물	음식 폐기물/하수 슬러지	12	9-14	4 ⁴	3 ^{3,4} -6 ⁹	8	6-10	2	1 ¹⁰ -4
전체 폐기물(bulk waste)		14	12-17	7	6-9 ⁸	11	9-14	4	3-5 ¹¹

¹ 열대 지역에서 k 와 반감기를 결정하는 데 이용할 수 있는 정보는 꽤 제한적이다. 표에 포함된 값은 직설적으로(indicative), 주로 본문에서 서술된 가정과 기후 조건에서 구해진 값에서 도출되었다.

² 범위는 논문에서 보고되었거나 이장의 저자들에 의해 산정된 최소값과 최대값 자료를 말한다. 기본적으로 이 값은 기본값과 연계된 불확도를 기술하는 것을 포함한다.

³ Oonk and Boom(1995)

⁴ IPCC(2000)

⁵ Brown *et al.* (1999). GasSim 모델 검증(Attenborough *et al.*, 2002)에서는 느린 분해가능성의 경우 근사값(16년)이 사용되었다(Attenborough *et al.*, 2002).

⁶ Environment Canada(2003)

⁷ 이 범위에서는 보다 긴 반감기 값(231년까지)이 보고되었는데, 이는 평균 일일 온도 < 0°C인 매립지에서 사용된 매우 낮은 k 값으로부터 도출되었기 때문이며 이 표에서는 포함시키지 않았다(Levelton, 1991).

⁸ RIVM(2004)로부터 산정

⁹ GasSim 모델 검증에서 빠른 분해가능성을 가진 경우에 사용된 값(Attenborough *et al.*, 2002);

¹⁰ Jensen and Pipatti(2003)로부터 산정된

¹¹ 열대기후에 있는 대부분의 개발도상국에 대해서는 $t_{1/2}$ =4-7년을 특징적 반감기 값으로 고려하였다. 높은 수분 조건과 높은 분해가능성을 지닌 폐기물.

* GPG-LULUCF(IPCC, 2003)에서 제3장의 자료를 적용하였다.

MAT - 연평균 기온(mean annual temperature); MAP- 연평균 강수량(mean annual precipitation); PET= 잠재적 증발산량(potential evapostranspiration)

MAP/PET는 PET에 대한 MAP의 비율이다. 시계열에 따른 평균 연간 MAT, MAP, PET는 배출량을 산정하는 데 필요하고, 최근의 대표적인 기상 상태로 나타내어야 한다.

메탄 회수(R)

SWDS에서 발생한 CH_4 은 회수되어 연소(flare) 장치나 에너지 재생 장치에서 연소될 수 있다. 회수된 CH_4 의 양은 식 3.1에서 R로 표현된다. 회수된 가스가 에너지로 사용된다면, 그에 따른 온실가스 배출량은 에너지 부문에서 보고되어야 한다. 연소 장치로부터 배출되는 경우 CH_4 과 N_2O 의 배출량이 매우 적고 배출되는 CO_2 는 생물 기원이기 때문에, 폐기물 부문의 우수실행에서는 이들의 산정을 요구하지 않는다. 그러나 만약 산정한다면 반드시 폐기물 부문에서 보고되어야 한다. 연소로부터의 배출량에 관한 논의와 보다 구체적인 정보는 제2권 에너지의 4.2장에서 이루어진다. 연소로부터의 배출량은 Tier 1에서는 다루지 않는다.

CH_4 회수의 기본값은 0이다. CH_4 회수는 CH_4 회수량이 기록된 문헌이 있는 경우에만 보고되어야 한다. 에너지 재생이나 연소에 의해 회수된 모든 가스를 측량함으로써 작성된 보고서나, 가스로부터 생산된 전기량을 측정한 것에 기반한 가스 회수 보고서를 작성(부하율, 발열량(heating value) 및 그에 상응하는 열전비(heat rat), 측정된 전기량을 생산하는 데 사용된 가스량에 영향을 주는 다른 변수의 이용가능성을 고려하여)하는 것은 우수실행이 된다.

보다 간접적인 방법을 사용하여 CH_4 회수량을 산정할 때에는 많은 주의가 필요하며, 입증된 가설을 이용하여 산정되어야 한다. 간접적인 방법은 CH_4 포집, 이용 기기의 전체 용량 또는 판매된 연소 용량이 있는 SWDS의 개수에 기반한다.

매립가스를 회수하는 SWDS의 개수에 근거하여 CH_4 회수량이 산정될 때 회수율의 기본값은 20%인데, 이는 이러한 방법론을 사용함에 있어 불확도가 크기 때문이다. 일부 가스 회수 프로젝트에서 회수율을 직접 측정하였는데, 측정값은 10-85%로 매우 다양하였다. Oonk and Boom(1995)에 의해 차수막이 없는(unlined) 매립 완료된 SWDS에서 측정된 회수율은 10-80%이며, 11개의 SWDS의 평균은 37%이다. 또한 최근에 Scharff *et al.* (2003)은 4개의 SWDS에서 9%, 50%, 55%, 33%의 회수율을 측정하였다. Spokas *et al.* (2006)과 Diot *et al.* (2001)은 최근에 90%를 상회하는 효율을 측정하였다. 일반적으로 디자인이 좋고 효율적으로 회수가 이루어지는 곳, 그리고 두껍고 침투하기 어려운 복토층을 지니며 낮은 가스 플럭스를 갖는 완료된 SWDS에서 회수율이 높게 나타난다. 반면, 아직 진행되고 있는 SWDS(예를 들어 일시적으로 모래 복토가 있는 SWDS)에서는 효율이 낮게 나타난다.

국가 고유의 값을 사용하기 위해서는 다음의 변수가 회수에 미치는 영향을 파악하기 위한 연구가 이루어져야 한다. 이는 복토의 유형, 회수 설비가 운영되는 SWDS의 비율, 차수막(liner)의 존재 여부, 매립중 혹은 매립종료 여부, 그리고 기타 요소들이 해당된다.

메탄 회수량을 이용 장비의 용량이나 판매된 연소량에 근거하여 산정할 때는, 이 장비의 어떤 부분이 운영 중인지를 확인해야 한다. 운영 중인 이용 장비와 연소의 최소 용량 인벤토리에 근거해서, 발생한 메탄량을 보수적으로 산정할 수 있다. 또 다른 보수적인 접근법은 설치된 용량의 35%로 총 회수량을 산정하는 것이다. 네덜란드와 미국의 연구에 따르면(Oonk, 1993; Scheehle, 2006), 회수된 양은 용량의 35%~70%까지 다양한데, 이러한 범위가 나타나는 이유는 다음과 같다. 첫째, (i) 유지나 기술적인 문제로 인해, 95%에서 80%로 줄어드는 작동시간; 둘째 (ii) 과대평가된 가스 생산량과 그 결과로 과대평가된 장치(oversized equipment); 그리고 셋째 (iii) 대부분 작동되지 않

는 비상(back-up) 연소장치이다. 용량을 산정할 때 이러한 사항들이 고려되어 더 높은 비율로 산정되었다. 만약 한 국가에서 연소에 대해 이 방법을 사용한다면, 가스-에너지화 프로젝트에서 사용된 연소가 비상 연소장치가 아니라는 점을 확실히 하는 주의가 필요하다. 이중 계산이 일어나지 않도록 가능하면 어느 매립지건 연소는 반드시 해당하는 SWDS와 일치시켜야 한다.

모든 경우에 회수량은 매립가스가 아닌 CH_4 로 보고되어야 하는데, 이는 매립가스가 메탄의 일부만을 포함하고 있기 때문이다. 보고서 작성의 기본은 분명하게 기록하는 것이다. 매립지 가스 회수 장치와 이용 장비의 총 용량을 지닌 SWDS의 숫자에 근거하여 보고서를 작성할 경우에는, 회수량 산정에서 사용된 모든 가정이 분명하게 기술되고 국가 고유의 자료나 참고문헌로 뒷받침되어야 한다.

지연 시간(Delay Time)

대부분의 고형 폐기물 매립지에서, 폐기물은 수년에 걸쳐 지속적으로 매립되고 보통은 매일 매립이 이루어진다. 그러나 폐기물 매립 직후에 CH_4 이 발생하는 것은 아니다.

먼저, 이용가능한 산소가 전부 소모될 때까지, 호기성 분해가 몇 주 동안 지속된다. 이는 수소를 발생시키는 산성화 단계로 넘어가게 되는데, 산성화 단계는 종종 몇 달에 걸쳐 이루어진다. 산성이 중성 조건으로 변화하는 기간 후에, 비로소 CH_4 발생이 시작된다.

폐기물 매립과 메탄의 생성 사이의 기간은 화학적으로 복잡하고 연속적인 미생물 반응을 포함한다. 지연 시간에 대한 시간 산정은 불확실하고, 폐기물 조성이나 기후 조건에 따라 달라진다. 1년 까지의 메탄 발생 산정은 여러 논문들에서 이루어져 왔다(Gregory *et al.*, 2003; Bergman, 1995; Kampfer and Weissenfels, 2001; Barlaz, 2004). IPCC는 지연 시간에 대해 6개월의 기본값을 제시하였다(IPCC, 1997). 이것은 SWDS 폐기물의 평균 체류시간을 6개월로 보았을 때, 매립 후 다음 해의 1월 1일을 반응 시작 시간으로 하였다. 그러나 이 가정의 불확도는 최소 2개월이다.

IPCC 폐기물 모델은 사용자가 6개월의 지연 시간 기본값을 다른 값으로 바꿀 수 있도록 하는데, 0개월부터 6개월 사이의 지연 시간을 선택하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이 범위 밖의 값은 증거에 의해 뒷받침되어야 한다.

3.3 SWDS로부터의 메탄 배출량 산정을 위한 측정치의 사용

SWDS에서의 메탄 발생량을 산정하기 위한 FOD 모델 및 기타 방법들은, SWDS 내 혐기성조건 하에서의 미생물의 신진대사에 관한 가정과 과학적 지식을 이용하여 설정되었다. 모든 모델에 대하여, 일부 직접적 측정을 이용하여 실제 측정치와 모델 예측치를 비교하는 검증은 모델에 대한 사용자의 확신을 증가시키고 모델 결과 값을 수정하고 향상시킬 수 있다. 또한 이 측정치는 측정값으로부터 도출된 CH_4 발생율을 모델 결과값과 비교함으로써 모델을 검증하고, 준비된 국가별 인벤토리의 모델에서 사용되는 국가 고유의 변수값의 선택을 문서화하는 데 활용할 수 있다.

측정값은, 가스 포집 시스템(gas collection system)에서 회수된 가스량을 측정하거나(회수효율의 산정값을 활용하여), 대기로 휘발되는 CH_4 배출량을 측정하거나, 혹은 이 두 방법을 혼합해서 구

할 수 있다.

일부 연구에서는 특정 SWDS, 특정 지역의 SWDS 종류, 국가 전체 매립지에의 적용을 위한 FOC 모델에서 필요한 변수(예를 들면, 분해속도상수, CH₄ 발생 잠재량)의 산정방법을 개발하기 위해 가스 포집 시스템에서 나온 측정자료를 사용하였다(Oonk and Boom, 1995; Huitric *et al.*, 1997; SWANA, 1998; SCS Engineers, 2003; U.S.EPA, 1998; U.S.EPA, 2005). 여기에서는, 모델 변수로 가장 적합한 값을 개발하기 위하여 비선형 회귀(nonlinear regression)와 같은 통계적 절차를 사용한다. 비선형 회귀법은 오차 제곱의 합을 최소화 하는 모델 변수의 가장 적합한 산정값을 찾기 위하여, 반복적인 작업을 통해 모델 변수를 평가하는 것이다. 특정 매립지에 대한 자세한 사항들과 SWDS에 대해 적당히 큰 데이터베이스가 존재한다면, 통계 분석을 통해 폐기물 조성, 지리학적 위치, 강우량, 및 기타 요인이 모델 변수의 적정치에 미치는 영향을 나타낼 수 있다. 예컨대, 일부 연구에서는 분해속도상수가 강우량과 함께 증가됨이 밝혀졌다(U.S.EPA, 2005).

배출된 가스량을 직접 측정하여 FOD 모델 변수를 산정하는 것은, 국가 고유의 값을 개발하는 데 우수실행(*good practice*)이 된다. 이 기술은 표 3.4에서 나타난 반감기 기본값의 일부를 개발하는 데 사용되었다. 국가가 매립 폐기물의 양, 구성, 연령 분포가 잘 파악되어 있는 대표적인 SWDS의 매립가스 포집 시스템으로부터 정확한 측정 자료를 가지고 있는 경우에, 이 기술을 적용할 수 있다. 국가별 인벤토리를 위한 FOD 모델의 변수를 산정하기 위해 특정 매립지에서의 CH₄ 포집 자료가 사용된다면, 변수와 CH₄ 배출량에 영향을 주는 주요 요인에 대해서 그 특정 매립지가 그 국가의 모든 SWDS를 대표할 수 있는 지 보증하는 것이 좋다. 이 기술은 박스 3.1에서 좀더 구체적으로 논의된다.

박스 3.1

FOD 모델 변수 산정을 위한 가스 포집 시스템으로부터의 직접적인 측정

FOD 모델 변수의 산정값을 개발하기 위한 중요한 요소는 다음의 특성을 지닌 매립지의 데이터베이스이다.

- (i) 국가 전역에 걸쳐 매립지의 대표적인 폐기물 종류를 포함
- (ii) 다양한 종류의 크기, 폐기물 연령, 지역의 지리학적 위치(특히 강우량의 영향이 평가되어야 하는 경우)를 포함
- (iii) 각 매립지에 대해 매립가스(LFG) 포집비율과 계절적 변이를 포함하는(최소 1년 이상) 가스 내 CH₄의 비율 측정치 보유
- (iv) 연간 폐기물 수용율이나 총 폐기물 양 및 매립이 진행되는 연도에 대해 매립지 고유의 값을 측정(즉, 포집 시스템의 영향 하에서 지역의 폐기물이나 매립지 지역의 평균 연간 수용율)
- (v) 매립지 고유의 회수율(%) 산정치를 포함(디자인과 작동 특성이나 기타 정보에 근거하여).
- (vi) 연간 평균 강우량(강우량의 영향을 평가하는 경우).

LFG 유량, CH₄의 비율, 연간 폐기물 매립율을 직접적으로 측정한 값의 정확도는 $\pm 10\%$ 이상일 수 있다. CH₄ 발생률을 산정하기 위해 CH₄ 포집비율을 직접 측정할 때 발생하는 가장 중요한 오차는, LFG의 포집효율에서 기인한다. 그러나 잘 파악되어 있는 매립지거나 효율적이고 잘

관리되고 있는 포집장치와 복토 재질을 지닌 매립지에 한해서 이러한 채취율 자료가 사용된다면, 이 오차는 감소되고 또한 통제될 수 있다. 채취 효율은 신뢰도를 높이기 위해 연구되고 검증되어야 한다. 이를 위해서는, 마지막 복토층의 유형, 낮은 수치의 CH_4 나 CH_4 가 전혀 측정되지 않음을 보여주는 주기적인 표면 모니터링의 수행, CH_4 이 발견될 경우의 보정 작용 프로그램(예를 들면, 복토 완전성을 증가시키기 위한 유지보수 수행 또는 포집관의 진공률(vacuum) 향상)과 같은 몇 가지 요인이 고려되어야 한다. 포집효율을 산정할 때에는 매립지 고유의 측면에 근거하여, 이들 요인을 고려한 후에 상위나 하위 범위까지 조정해야 한다. 중간 범위의 산정값을 사용할 때 오차가 상쇄되는 경향이 있기 때문에, 최종 결과에 대한 전반적인 오차와 효과는 매립지의 대규모 데이터베이스에 걸친 평균값일 경우 더 낮아지는 경향이 있다.

앞에서 기술한 대로 CH_4 을 탐지하기 위해 표면 측정치를 사용할 수 있다 하더라도, 포집효율을 직접적으로 측정하기 위하여 매립지에서 표면 측정치를 사용하는 것은 방법의 한계가 충분히 고려될 때에만 권장된다. 이러한 측정의 어려움과 부정확성에 대한 기술은 다음 절에서 보다 구체적으로 논의될 것이다. 포집효율을 측정할 때 고려되어야 할 영향은 (i) 메탄 배출량의 비율을 감소시키는 CH_4 산화, (ii) CH_4 과 CO_2 의 배출량과 회수율 사이의 비율을 비교할 때 필요한, 폐기물의 액상이나 상부층에 존재하는 CO_2 용액이다.

일단 대표적인 데이터베이스가 만들어지면, 국가나 지역 고유의 변수들을 결정하기 위해 측정값과 포집효율을 산정하고 측정 자료를 분석할 수 있다. 국가가 매립지에 대해 좋은 폐기물 조성 자료를 가지고 있다면, 이 정보를 측정값 및 모델링을 함께 사용함으로써 DDOC와 같은 계수를 추론할 수 있어야 한다. 신뢰도가 떨어지는 폐기물 조성 자료를 가지고 있는 국가에서는, 폐기물 성상에 따른 고유의 계수 대신 L_0 와 k 를 고려하여 보다 광범위한 수준에서 변수를 산정해야 한다. 측정값으로부터 직접 국가 배출량을 산정하는 것은 권고하지 않는다. 분석된 매립지 특성에 근거한 국가 수준 변수를 추론하기 위해 측정값을 사용하는 것이, 포집시스템으로부터의 측정 데이터를 통합(incorporating)하는 것보다 권장되는 접근 방법이다.

특정 SWDS의 표면에서 CH_4 배출량을 직접적으로 측정하는 것은(CH_4 포집량이나 CH_4 발생량을 측정하기 보다는) 원칙적으로 FOD 모델의 변수를 검증하거나 국가 인벤토리 산정값을 개발하는데 사용될 수 있다. 그러나 다음과 같은 몇 가지 이유로 인해 실질적 한계가 존재한다.

- (i) SWDS의 CH_4 배출량을 모니터링하고 측정하는 것은 필요한 작업이지만, 주기적이거나 장기간의 모니터링에 활용할 수 있는 표준화된 방법은 거의 없다. 왜냐하면 메탄 배출이 광범위한 넓이에서 일어나고 수년에 걸쳐 다양하게 변하기 때문이다.
- (ii) 개별 SWDS에서 CH_4 배출량을 직접 측정하여 얻은 대표 자료는 거의 존재하지 않기 때문에 국가별 배출 인벤토리에 이용할 수 있는 적합한 산정값은 더욱 얻기가 힘들다. 따라서 모니터링의 대표성이 입증되는 경우에 한해서만, 개별 매립지로부터의 모니터링과 측정에 근거한 배출량 산정값을 사용하는 것을 권고한다(*good practice*). 매립지 고유의 배출량 자료가 국가 배출량을 산정하는 데 사용된다면, 해당 국가에서 모든 SWDS를 특성에 따라 그룹화하고, 각 그룹의 대표적인 배출 거동에 근거하여 국가별 산정값을 구하는 것이 좋다(*good practice*).

대기 배출량 측정 기술, 이를 수행하는 있어서의 어려움, 그리고 기타 유의사항은 박스 3.2에서 보다 구체적으로 논의된다.

박스 3.2

SWDS의 표면으로부터 메탄 발생의 직접적 측정

표면 매립가스(LFG) 배출은 공간 및 시간적 변이가 매우 크다. 배출량은 기압의 변화에 따라, 또 상층의 투과성에 영향을 미치는 강수량에 따라 매일 달라진다. 그 중에서도 겨울철 산화율의 감소에 따른 배출량의 계절적 변이성이 가장 크다. 또한 배출량은 폐기물의 양, 연령 및 조성의 차이로 인해 SWDS의 영역(section)에 따라 달라진다. 수직적 투과성과 비교하여 상대적으로 큰 수평적 투과성 때문에, SWDS의 경사면은 대체로 상위층 표면보다 더 높은 배출량이 나타난다. 보다 국부적인 규모에서, 투과성이 감소된 지역과 표면의 틈으로 인해 배출량이 꽤 달라질 수 있다. 결과적으로, 불과 몇 미터 떨어진 지역에서의 배출량도 1000배 이상 차이가 나기도 한다.

CH₄ 배출량의 측정값이 전체 SWDS의 연평균 배출량을 나타내어야 한다. 그러므로 매립지 고유의 자료를 평가할 때 일시적이고 계절적인 가스 배출량의 변동(Maurice and Lagerkvist, 1997; Park and Shin, 2001)을 평가의 일부분으로 고려해야 한다. 자료 수집 기간은 매립지의 일시적 변동을 설명할 수 있을 만큼 충분히 길어야 한다. 또한 계절적 변이는 상대적으로 쉽게 고려될 수 있다.

확산 배출량을 측정할 때에는, 산화 작용 이후의 플럭스를 측정해야 하며 이것은 회수되지 않은 CH₄ 발생률의 상당한 양일 수 있다.

표면에서의, 그리고/혹은 표면 아래 혹은 표면 위에서의 직접적인 측정을 위한 몇 가지 방법이 제안되어 왔다. 가장 중요한 방법은 다음과 같다.

- (i) 정적(static) 또는 동적(forced) 플럭스 챔버 측정
- (ii) 물질수지법 (Mass balance methods)
- (iii) 미기상학적 측정 (Micrometeorological measurements)
- (iv) 플룸 측정 (Plume measurement)

플럭스 챔버 방법은 SWDS 표면의 CH₄ 플럭스를 측정하기 위하여 많이 사용된다(예를 들면, Park and Shin, 2001; Mosher *et al.*, 1999; UK Environment Agency, 2004). 이 방법의 단점은 신뢰할 만한 총 배출량의 산정값을 얻기 위해서는 많은 수의 측정 지점이 필요하고, 노동력이 많이 소모되며 따라서 비용도 많이 든다는 점이다. 정확도를 향상시키면서 필요한 측정값의 숫자를 줄이기 위해서는 여러 가지 방법들이 있다. 예를 들면 (a) 지리통계적 방법을 통해 작은 부분에서 전체 SWDS까지 산정값을 확장시키거나(Borjesson *et al.*, 2000; Spokas *et al.*, 2003), (b) 틈, 압박된 식물(stressed vegetation), 복토된 지역간의 경계면, 모서리, 경사 조건 등을 활용하여 주요 배출 지대를 구체화하거나(UK Environment Agency, 2004), (c) 이동 가능한 가스 계량기 혹은 후각이나 표면 온도를 첫 번째 지표로 활용하는 것이다(Yamada *et al.*, 2005).

물질수지법에서는, SWDS 표면 위의 다른 두 높이에서의 풍속과 CH₄ 농도를 추정함으로써 SWDS의 가상 수직층을 통과하는 플럭스를 측정하여 배출량을 산정한다. 이 수직면은 1차원 또는(Oonk and Boom, 1995; Scharff *et al.*, 2003) 2차원 모두 가능하다. 이 방법의 장점은 쉽

게 자동화되고, 넓은 표면(대체로 SWDS 전역에서)으로부터 장기간 동안(몇 주에서 수개월까지)의 배출량을 측정할 수 있다는 것이다. 또 다른 장점은 CH_4 과 CO_2 의 배출량을 모두 구할 수 있어, CH_4 산화와 포집효율에 관한 정보를 얻을 수 있다는 점이다. 이 방법의 단점은 범위가 제한(250 m)되어 있다는 것인데, 이는 가장 큰 SWDS로부터의 배출량 측정을 어렵게 만든다.

미기상학적 방법에서의 배출량은, 가상 수평면(horizontal plane)으로부터 플럭스를 측정하고 이를 수직적 플럭스로 재계산함으로써 구해진다. 이 방법에서는, 수 m^3 규모에서의 공기이동 및 혼합에 대한 정보와 더불어 SWDS 상층의 CH_4 농도가 사용된다(그래서 미기상학이다. Fowler and Duyzer, 1989). Laurila et al.(2005)는 매립지 가스 배출량 산정에 적합한 방법으로, 미기상학적 난류(Eddy)-공분산(covariance) 방법을 제안한다. 이 방법은 자동화가 가능하기 때문에, CH_4 과 CO_2 배출량을 동시에 모니터링하고 장기간의 측정을 가능하게 하는 장점이 있다. 이 방법의 단점은 측정 범위가 제한(약 25m)되어 있다는 것인데, 이는 전체 SWDS로부터의 배출량을 대표하기 어렵다.

플룸 측정은 전체 SWDS의 배출량을 측정하기 위하여, SWDS 횡단면의 풍하 지역(downwind)과 풍상지역(upwind)의 CH_4 플럭스 차이를 측정한다. CH_4 의 농도 증가와 추적자(tracer) 농도(예를 들어, SWDS에 배출된 N_2O 나 SF_6 의 알려진 양으로부터)를 비교하거나, 확산 모델을 사용함으로써 배출량을 산정한다. 이 방법은 Czepiel et al.(1996), Savanne et al.(1997), Galle et al.(1999), Hensen and Scharff(2001)에 의해 전 세계에서 다양한 형태로 사용된다. 이 방법의 장점은 공간적 변이성을 설명할 수 있어 전체 SWDS로부터의 배출량을 측정하는 것이 가능하며, 비교적 정확하다는 데 있다. 그러나 이 방법은 매우 비싸고 보통 하루나 단기간의 특징일에만 적용된다. 그러므로 결과 값이 매립지의 연간 평균 배출량을 대표할 수 없다(Scharff et al., 2003). 이러한 이유로 인해, Scharff et al.(2003)은 SWDS에서의 장기간 플룸 측정을 가능하게 하는 이동식 플룸 측정 고정판(SPM; stationary version of them mobile plume measurement)을 개발하였다.

2006년 현재, 전체 SWDS로부터의 연간 평균 배출량을 구하는 데 어떠한 방법론이 더 적합한 것인지에 대해 과학적으로 동의된 바는 없다. Savanne et al.(1995), Scharff et al.(2003)은 이들 방법을 상호 비교하였는데, 공간적 시간적인 다양성을 다룰 수 있는 유일한 방법은 없다고 말한다. Scharff et al.(2003)에 따르면, 물질수지법과 고정식 플룸 방법이 앞으로의 개발과 검증 차원에서 볼 때 가장 좋은 방법이다. 그러나 이 가이드라인이 쓰여지는 현 시점에서는, 이러한 결론에 대한 과학적 논의가 거의 이루어지지 않은 상태이다.

3.4 SWDS에 저장된 탄소

일부 탄소는 SWDS에 장기간 동안 저장될 수 있다. 목재, 종이는 SWDS (장기 저장소)에서 매우 느리게 분해되고 축적된다. 다른 폐기물 유형에서의 탄소 비율은 시간에 따라 다르게 분해된다(3.2.3절의 반감기 참고).

SWDS에 저장된 탄소의 양은 FOD 모델을 사용할 때 산정될 수 있다(첨부 3A.1). AFOLU권에서 보고되는(제12장, 수확된 목제품; Harvested Wood Products; HWP) 수확된 목재 생산물에서 기인한 폐기물 내 탄소 축적량이 변화한다는 점에서, 종이와 판지, 목재, 정원 및 공원 폐기물의 탄소 장기저장은 특별한 관심의 대상이다. 이 권의 FOD 모델은 부산물로서 이들 산정값을 도출한다. 폐기물 조성 옵션(waste composition option)은 SWDS 내 목재, 종이, 판지, 정원 및 공원 폐기물로부터 장기간 보관된 탄소량을 계산한다. 이것은 분해반응을 통해 손실되지 않은, DOC의 단순 비율이다(이 양을 산정하는 식은 첨부 3A.1에 소개되어 있다). 전체 폐기물 옵션(bulk waste option)을 사용할 때에는, 장기 저장된 탄소의 양을 알아내기 전에 폐기물의 DOC 총량에서 수확된 목재 생산물로부터 기인한 DOC의 적정 비율을 산정해야 한다. 국가 고유의 산정값을 이용할 수 없는 경우에는, 목재, 판지, 나무, 정원 및 공원 폐기물의 IPCC 기본값을 사용할 수 있다.

SWDS에 장기 저장된 탄소는 폐기물 부문에서 정보 항목(information item)으로 보고된다. 수확된 목재 생산물(종이, 판지, 목재, 정원 및 공원 폐기물)로부터 나온 폐기물의 보고된 값은 변수 $1B$ 과 $\Delta C_{HWP\ SWDS\ DC}$ (예를 들어, 12장의 보고서를 작성하는 국가(reporting country)의 SWDS로 매립된 국내 소비 HWP의 탄소 축적 변화량)와 동일하다. 이 변수는 해당 국가에서 HWP의 매립으로 인한 연간 메탄 배출량과 함께 FOD 모델에서 산정될 수 있다(스프레드시트에서 HWP 시트를 참고하라).

3.5 완전성

IPCC 지침서의 이전 판에서는 인벤토리 작성자가 다른 폐기물 유형으로부터의 배출량에 대해 고려하는 것을 권장하고 있기는 하지만, MSW 매립지로부터의 배출량에 중점을 두어 왔다. 그러나 지금은 다른 폐기물 유형으로부터의 배출량이 꽤 중요하다고 인식된다. 따라서 2006 지침서에서는 다음의 폐기물 유형의 발생과 DOC 함량을 산정하기 위하여 기본값 자료와 방법론을 제공하고 있다.

- 도시 고형 폐기물(MSW) - 기본값 정의와 구성은 제2장에서 제공된다.
- 하수 슬러지(도시와 산업 하수 처리 두 측면으로부터)
- 산업 고형 폐기물(목재 및 제지 산업으로 인한 폐기물, 건축 및 폐자재 폐기물을 포함. 이 폐기물들은 대부분 비분해성이나, DDOCm의 유입원인 목재도 포함한다)
- 기계-생물학적 처리 공장(mechanical-biological treatment plants)으로부터의 잔여물(제4장 고형 폐기물의 생물학적 처리)

국가에서는 폐기물 유형별로 SWDS로의 매립, 소각, 또는 재활용되는 비율의 고유 산정값을 제공해야 한다.

폐기물 유형은 2006 가이드라인에서 쉽게 참조할 수 있다.

- 퇴비 관리로부터의 배출량(AFOLU 영역에 포함된)

다음은 포함한 폐기물 관리 유형:

- 관리되는 SWDS,
- 관리되지 않는 SWDS(노천 쓰레기, 지면위에 쌓인 것, 구덩이, 계곡과 같은 자연 매체에 투기함)

것)

폐기물 관리 유형은 2006 가이드라인에서 쉽게 참조할 수 있다.

- 소각으로 인한 배출량(이 권 제5장)
- SWDS에서 노천 소각으로 인한 배출량(이 권 제5장)
- 중앙 퇴비 처리 시설 및 가정(home) 퇴비화를 포함한, 고형 폐기물의 생물학적 처리로 인한 배출량(이 권 제4장)

매립이 완료된 SWDS는 지속적으로 메탄을 배출한다. 이것은 FOD 방법이 과거로부터의 폐기물 매립 자료를 사용하기 때문에, FOD 방법에서 설명된다.

위에서 언급한 모든 관리 유형은 이들이 중요하게 다루어지는 본 부문에 포함되어야 한다.

3.6 일관된 시계열 개발

1996 가이드라인에서의 2가지 주요 변화가 2006 가이드라인에 소개되었다. 이는 다음과 같다.

- 예전의 기본값 방법(질량 수지)을 1차 분해 반응(FOD) 방법으로 대체
- 모든 국가에 대해서 산업 폐기물과 기타 비(non) MSW 카테고리의 포함

이러한 변화는 국가에서 이전 년도의 결과를 재계산하도록 하며, 그 결과 시계열적인 내용의 일관성이 확립된다. IPCC FOD 방법에서 제공된 새로운 스프레드시트는 자동적으로 과거 동안의 모든 배출량을 계산한다. 그러나 모델의 입력 자료가 일관된 시계열을 형성해야 한다는 것이 중요하다. FOD 모델은 1950년과 같이 오래된 과거의 자료를 필요로 하기 때문에, 이는 매우 중요한 일이다.

국가에서 도시 인구, GDP, 기타 지표에 근거하여 과거의 MSW 및 산업 폐기물 매립량을 산정하기 위해 필요한 지침은 3.2.2절에 소개되어 있다.

일반적으로 폐기물에 관한 통계치는 시간이 지나면서 개선되기 때문에, 각 국가에서는 전체 시계열적인 국가 고유의 자료가 아닌, 최근에 이용 가능한 자료를 찾는 것이 좋다. 가능한 곳에서 국가 고유의 자료를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 기본값과 국가 고유 자료가 시계열적으로 혼합되어 있는 곳에서는, 반드시 일관성에 대해 확인해야 한다. 또한 역외삽법이나 2개의 자료군을 일치시키기 위한 접합 기술을 사용할 필요가 있다. 이러한 기술에 대한 일반적인 지침은 제1권 제6장(시계열 일관성)에서 기술된다.

3.7 불확도 평가

SWDS으로부터의 CH₄ 배출량 산정값에서의 불확도에는 2가지 영역이 있다. (i) 방법에 기인한 불확도, (ii) 자료에 기인한 불확도(활동도 자료와 계수)

3.7.1 방법에 기인한 불확도

FOD 모델은 SWDS가 운영된 전체 기간에 걸쳐 발생하는 CH_4 의 양을 표현하는 예비 지수항과 이러한 CH_4 이 시간에 따라서 어떻게 발생하는 지를 묘사하는 지수 항으로 구성된다. 그러므로 FOD 모델을 사용하는 경우의 불확도는, SWDS의 전 기간에 걸친 총 CH_4 생성량의 불확도와 이 생성량을 수년에 걸쳐 분배하는 데 있어서의 불확도로 나누어 볼 수 있다.

SWDS의 전체 기간 동안 형성된 CH_4 총량에서의 불확도는 SWDS에 매립된 폐기물의 양과 조성(W와 DOC), 분해(DOC_t), 메탄 보정 계수(MCF)의 불확도에서 기인한다. 이 불확도는 이후에 논의될 것이다.

수년에 걸친 CH_4 발생량을 분배하는 데 있어서의 불확도는 개별적 상황에 따라 꽤 많이 달라진다. 매립된 폐기물의 양과 폐기물 관리 실태의 변화가 수년에 걸쳐 느리게 진행된다면, 모델에 기인한 불확도는 낮아질 것이다. 예를 들면, 분해 속도가 기대치보다 더 느려질 때, 1990년에 매립된 폐기물로부터 2005년에 생성된 CH_4 의 양을 과소평가한 것은, 예컨대 2000년에 매립된 폐기물로부터 생성된 CH_4 의 양을 과다하게 산정함으로써 그 차이가 상쇄될 수 있다. 그러나 연간 폐기물의 양과 폐기물 조성이 상당히 많이 변화할 경우에는, 모델에서의 오차가 중요한 의미를 갖게 된다.

특정한 경우에 모델에 근거하여 오차를 평가하는 가장 좋은 방법은, 모델을 통해 민감성 분석을 수행하고, 가정된 오차 범위 내에서는 해당 모델을 사용하는 Monte Carlo 분석에서 k값을 다양화하며(불확도 기본값에 대해서는 표 3.5를 참고), 모든 상관 변수를 다양화함으로써 얻을 수 있다.

이전 IPCC 지침서에서 기본 방법(Tier 1)으로 제시된 질량 수지법은, 시간이 지남에 따라 SWDS로의 폐기물 매립량이 증가하는 경우에 배출량의 과대 평가를 가져올 수 있다. 이 방법은 모든 CH_4 이 폐기물이 매립된 해에 배출된다고 가정한다. FOD 방법의 사용은 이러한 오차를 제거하고 이 방법에 관련된 불확도를 감소시킨다. 그러나 FOD 방법이 매우 복잡하고 쉽게 이해되지 않는 시스템을 단순화시킨 모델임을 기억해야 한다. 불확도는 다음의 원인으로부터 발생된다.

- 탄소 화합물이 CH_4 로 분해되는 과정은 일련의 복잡한 화학 반응을 수반하며, 항상 1차 분해 반응을 따르는 것은 아니다. 더 높은 순차 반응이 수반되기도 하고, 반응률은 특정 SWDS의 조건에 따라 달라진다. 물의 접근성과 박테리아 개체 수의 지역 변이성에 의해 반응이 제한될 수 있다.
- SWDS는 불균질하다. 온도, 수분, 폐기물 조성, 압축과 같은 조건은 하나의 매립지 안에서도 매우 다양하게 나타나고, 심지어 한 국가 내의 다른 매립지 간에는 더욱 그러하다. 국가 전체의 전형적인 '평균' 변수 값을 선정하는 것은 어려운 일이다.
- FOD 방법의 사용은 분해 속도(반감기)와 과거의 폐기물 매립량과 연관된 불확도를 추가적으로 수반한다. 이 2가지 불확도에 대해서는 모르는 부분이 많고 자세하게 연구되지도 않았다.

그러나 불확도의 주요 원인은 모델 방법론 그 자체에 있기보다는 모델 변수 값을 선정하는 데에서 기인한다.

3.7.2 자료에 기인한 불확도

이 불확도의 원인은 입력된 각 변수에 기인한 것이다. 자료에 기인한 불확도는 활동도 자료와 변수에 기인한 것으로 분류될 수 있다.

3.7.2.1 활동도 자료에 관련된 불확도

CH₄ 배출량 산정값의 품질(quality)은 이 산정값을 도출하는 데 사용된 폐기물 발생, 조성, 관리 자료의 질과 이용가능성에 직접적으로 관련된다. 폐기물 영역의 활동도 자료는 고형 폐기물 매립지에 보내진 도시 고형 폐기물 총량, 산업 폐기물 총량, 폐기물 구성, 고형 폐기물의 비율을 포함한다.

폐기물 매립 자료의 불확도는 자료를 수집한 방법에 의존한다. SWDS의 폐기물 질량이 측정되면 이 불확도는 감소될 수 있다. 산정값이 폐기물 운반 차량의 용량이나 눈에 보이는 평가에 근거한 것이라면 불확도는 더 높아질 것이다. 활동도 자료의 기본값(default)에 근거한 산정값은 가장 높은 불확도를 가지게 될 것이다.

SWDS에서 폐기물 제거(scavenging)가 일어난다면 폐기물 매립 자료와 함께 이를 고려하여야 하고, 한편 폐기물 매립 자료에서의 불확도는 증가할 것이다. 또한 제거는 SWDS에 매립된 폐기물 조성에 있어서의 불확도를 증가시키고, 따라서 폐기물 내의 DOC 총량의 불확도도 증가시킬 것이다. 기본값 모델 계수에 대한 불확도 산정값은 표 3.5에 제시되어 있다. 산정값은 전문가의 판단에 근거한다.

폐기물 발생은 인구수(혹은 도시 인구수)와 1인당 폐기물 발생률로부터 산정될 수 있다. 이 때의 인구수가 폐기물이 수합된 인구의 수와 일치하지 않는다면, 불확도가 수반될 수 있다. 많은 국가에서 폐기물은 전형적으로 도시 인구 수에만 근거하여 수합된다. 그런데 도시 인구 수는 작업장이 이동됨에 따라 매일 혹은 계절적으로 변동될 수 있다.

3.7.2.2 변수와 연관된 불확도

메탄보정계수(MCF)

MCF에서의 불확도에는 2가지 원인이 있다.

- 각 매립지 유형의 MCF 값의 불확도(관리되는-혐기성의, 관리되는-준호기성의, 관리되지 않는, 깊이 매립되는 그리고/혹은 높은 지하수면을 가지고 있는, 관리되지 않는, 얇게 매립되는): 이 MCF값은 측정된 자료에 기인한 것이 아니라, 하나의 실험 연구와 전문가 판단에 근거한 것이다.
- 다른 매립지 유형으로 분류된 매립지 분류의 불확도: 예를 들면, 깊고 얇은 매립지 간의 구별(폐기물의 5m 깊이)은 전문가의 의견에 기인한다. 분명 거의 없지만 만약 있다면, 국가들은 측정된 자료에 근거하여 그들의 관리되지 않는 폐기물 매립지를 깊고 얇은 것으로 분류할 수 있다. 또한 관리되는 매립지 중 IPCC 조건을 충족시키는 매립지를 결정하는 것은 어려울

것이다.

분해가능한 유기탄소(DOC)

DOC 값의 불확도에는 2가지 원인이 있다.

- 다른 유형의 폐기물 성상/ 물질(종이, 음식 등)에 대해 DOC 값을 정할 경우의 불확도: DOC에 대한 연구는 거의 없으며, 종이, 음식, 목재, 직물의 각기 다른 성상은 매우 다른 DOC 값을 가질 수 있다. 또한 폐기물의 수분 함량도 영향을 미친다. 산업 폐기물의 DOC 값은 거의 알려진 바가 없다.
- 폐기물 조성의 불확도는 SWDS 내 DOC 총량의 산정값에 영향을 준다: 폐기물 조성은 국가 간뿐만 아니라, 국가 내에서도 매우 다르게 나타난다(예를 들면 도시와 시골의 인구 수 간에, 수입이 다른 가족 간에, 계절에 따라).

협기적으로 분해가능한 유기탄소 비율(DOC_f)

DOC_f의 불확도는 매우 높다. 이에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았고, 실험실 연구에서 실제 SWDS 조건을 그대로 옮기기가 어렵기 때문이다.

매립지 가스 내 CH₄ 비율(F)

매립지 가스의 CH₄ 분율, 즉, F값은 보통 0.5로 받아들여지지만, 몇 가지 요인에 따라 0.5~0.55 사이에 다양하게 나타날 수 있다(3.2.3절 참고). 여기에서의 불확도는 상대적으로 낮은데, 그것은 F값이 CH₄를 생산하는 화학 반응의 화학량론에 따라 대체로 달라지기 때문이다. 회수된 매립지 가스 내 CH₄의 농도는 대기에 의한 잠재적 희석작용으로 인해 실제의 값보다 더 낮을 수 있고, 따라서 이 방법으로 산정된 F값은 반드시 대표값이 되지는 않는다.

CH₄ 회수(R)

CH₄ 회수량은 연소(flare)나 에너지 재생 장치에서 회수되고 소각되는, SWDS에서 발생한 CH₄의 양이다. 회수된 CH₄의 양을 산정할 때 사용된 방법에 따라 불확도가 달라진다. 계량기를 사용한 경우에는 이 불확도가 다른 불확도에 비해 상대적으로 작을 것이다. 만약 다른 방법이 사용되었다면, 예를 들면 CH₄ 회수 장치의 효율을 측정하였다면, 불확도가 더 커질 것이다(3.2.3절 참고).

산화율(OX)

산화율은 측정하기가 어렵기 때문에 매우 불확실하고, 복토 재질의 두께와 특징, 대기 조건과 기후, CH₄의 플럭스, 복토 물질의 틈으로 방출된 CH₄의 양에 따라 상당히 달라진다. 현장 연구와 실험실 연구는 일정하고 균질한 토양층을 통해서만 CH₄의 산화량을 결정하기 때문에, 실제 매립지 표층 토양의 산화량에 대해서는 과대 평가를 하게 된다.

반감기

반감기의 산정값은 실제 SWDS와 같은 조건 하에서 반응 속도를 측정하는 것이 어렵기 때문에 높은 불확도를 갖게 된다. 또한 폐기물 조성, 기후와 매립지 유형에 따라 반감기 값이 많이 달라지기 때문에, 국가 전체의 대표값을 선정하기가 어렵다.

MSW_T (발생된 MSW 총량)의 불확도 산정값과 MSW_F (SWDS에 매립된 MSW_T 의 비율), 모델 변수의 기본값이 표 3.5에 제시되어 있다. 이 산정값은 전문가의 판단에 근거한 것이다.

표 3.5 SWDS로부터의 CH_4 배출량에 대한 FOD 방법의 활용에 있어, 활동도 자료의 기본값과 변수에 연관된 불확도 산정	
활동도 자료와 배출계수	불확도 범위
총 도시 고형 폐기물(MSW_T)	국가 고유의 값: 30%는 주기적 조사에 근거하여 폐기물 발생 자료를 수합한 국가의 전형적인 값 $\pm 10\%$는 질이 높은 자료를 가진 국가의 값(예를 들면, 모든 SWDS나 다른 처리 시설에 가중치는 두는). 질이 낮은 자료를 가진 국가: 두배 이상
SWDS에 보내진 MSW_T 의 비율(MSW_F)	$\pm 10\%$는 질이 높은 자료를 가진 국가(예컨대 모든 SWDS에 가중치를 두는) $\pm 30\%$는 SWDS의 매립량에 관한 자료를 수합한 국가 질이 낮은 자료를 가진 국가: 2개보다 많은 계수
폐기물 조성의 총 불확도	$\pm 10\%$는 질이 높은 자료를 가진 국가(대표적인 SWDS에서의 정규적인 시료 채취) $\pm 30\%$는 일정 기간의 시료 채취를 포함하는 연구에 근거한 국가 고유의 자료를 가진 국가 질이 낮은 자료를 가진 국가: 2개보다 많은 계수
분해가능한 유기 탄소(DOC) ⁷	IPCC 기본값: $\pm 20\%$ 국가 고유값 대표적인 시료 채취와 분석에 기인한 경우: $\pm 10\%$
변질된 분해가능한 유기 탄소 비율(DOC_f)	IPCC 기본값: $\pm 20\%$ 국가 고유값: $\pm 10\%$는 장기간에 걸친 실험 자료에 근거한 국가

메탄 보정 계수(MCF) = 1.0 = 0.8 = 0.5 = 0.4 = 0.6	IPCC 기본값: -10%, +0% ±20% ±20% ±30% -50%, +60%
발생된 매립지 가스 내 CH ₄ 의 분율(F) = 0.5	IPCC 기본값: ±5%
CH ₄ 회수(R)	불확도 범위는 회수되고 연소되거나 이용된 CH ₄ 의 양이 어떻게 산정되었는지에 따라 달라질 것이다.: ±10%는 계량기가 있는 경우 ±50%는 계량기가 없는 경우
산화율(OX)	0이 아닌 값이 OX 자체로 사용된다면, 불확도 분석에 OX를 포함하라. 이 경우 불확도에 관해 고려해야만 0이 아닌 값을 정당화할 수 있다.
반감기(t1/2)	IPCC 기본값의 범위는 표 3.4에 제시된다. 국가 고유값은 불확도를 고려한 값을 포함해야 한다.
출처: 해당 장의 주 저자에 의한 전문가 판단	

3.8 품질보증/품질관리(QA/QC) 및 보고와 문서화

제1권 <일반적 지침과 보고>의 제 6장 <품질보장과 품질관리 및 검증>에서 서술한 것과 같이, 국가별 배출량 인벤토리 산정값을 만들어내는 데 필요한 모든 정보를 문서화하고 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 자원 분류에 관련된 특정한 문서화와 보고에 대한 일부 사례들은 아래에 제시된 바와 같다.

- IPCC FOD 모델을 사용하는 국가들은 모델을 포함하여 보고해야 한다. 다른 방법이나 모델을 사용하는 국가들은 유사한 자료(방법, 주요 가정, 계수의 기술)를 제공해야 한다.
- 국가 고유의 자료가 일부 시계열적인 부분에서 사용된다면, 그것은 문서화되어야 한다.
- 또한 MCF의 목적으로 관리되거나 관리되지 않은 매립지에 폐기물을 배분하는 것은 이를 뒷받침하는 정보와 함께 문서화되어야 한다.
- CH₄ 회수가 보고된다면, 파악된 회수 시설의 인벤토리는 충분히 가치가 있다. 연소와 에너지 회수는 서로 분리되어 문서화되어야 한다.
- 해(year)에 따라 달라지는 변수의 변화는 명백하게 서술되고 참조되어야 한다.

⁷ 제시된 불확도의 범위는 폐기물 총량에서 DOC 함량을 적용한 것이다. 표 2.4에 제시된 MSW 내 폐기물 구성요소에 대한 DOC 범위는 이들 구성 요소의 불확도를 산정하는 데 사용될 수 있다.

국가 인벤토리 보고서에 모든 사항을 문서화하는 것은 실용적이지 못하다. 그러나 이 인벤토리에는 보고된 배출량 산정값이 투명하고 계산 과정이 다시 실행될 수 있도록, 사용한 방법의 요약본과 참조된 출처 자료를 포함시켜야 한다.

제1권 제6장 <품질보장과 품질관리(QA/QC) 및 검증>에서 개관한 것처럼, 배출량 산정값에 대한 품질 관리 점검과 전문가 검토를 실시하는 것이 좋다.

인벤토리 작성자는 사용된 국가 고유 변수가 IPCC 기본값에 비하여 합리적으로 고려되었는지 판단하기 위하여, IPCC 기본값에 대하여 MSW 발생량, 산업 폐기물 발생량, 폐기물 조성값에 대한 국가 고유값을 교차 확인하여야 한다.

조사 자료와 시료 채취 자료가 고형 폐기물 활동도 자료의 국가별 값을 수집하는 데 사용된 곳에서, 품질관리 절차는 다음을 포함해야 한다. :

- (i) 활동도 자료가 정확하게 수집되었는지를 확인하기 위하여, 조사 자료 수집 방법을 검토하고 자료를 확인하는 것
- (ii) 2차 자료 출처를 평가하는 것과 2차 자료 준비에 따른 품질보장/품질관리를 참조하는 것. 이러한 자료의 대부분이 처음부터 온실가스 인벤토리와는 다른 목적으로 준비되기 때문에 특히 고형 폐기물 자료에서 중요하다.

인벤토리 작성자는 전문가가 입력 변수를 검토할 기회를 제공해야 한다.

인벤토리 작성자는 각 국가 배출량을, 이 국가와 비교할 만한 인구통계학적이고 경제적인 특징이 비슷한 국가의 배출량과 비교해야 한다. 크게 차이점을 보일 경우, 인벤토리 작성자는 이 차이가 계산상의 오차인지, 혹은 실질적으로 차이가 나는지를 파악해야 한다.

참고문헌

- Facultad de Ingenieria de la Universidad Nacional Del Centro De La Provincia De Buenos Aires (2004). Olavarria Landfill Gas Recovery Project, Buenos Aires, Argentina. August 2004.
- http://www.dnv.is/certification/climatechange/Upload/PDD_Olavarria_2004-05-21.pdf#search=%22olavarria%20landfill%20gas%20recovery%20project%22
- Attenborough, G. M., Hall, D. H., Gregory, R. G. and McGoochan, L. (2002). GasSim: Landfill Gas Risk Assessment Model. In: Conference Proceedings SITA Environmental Trust-Sponsored by SITA Environmental Trust and Organics Limited. ISBN 0-9539301.
- Barlaz, M. (2004). Critical Review of Forest Products Decomposition in Municipal Solid Waste Landfills. NCASI Technical Bulletin, no 872, March 2004.
- Bergman, H. (1995). Metanoxidation i tacksikt pa avfallsupplag. (Methane oxidation in waste deposition covers). Licentiate thesis 1995:14L, Tekniska Hogskolan i Lulea ISSN 0280-8242. (In Swedish)
- Bogner, J. and Matthews, E. (2003). 'Global methane emissions from landfills: New methodology and annual estimates 1980 - 1996', Global Biogeochemical Cycles, Vol. 17, No. 2.
- Brown, K. A., Smith, A., Burnley, S. J., Campbell, D.J.V., King, K. and Milton, M.J.T. (1999). Methane Emissions from UK Landfills, AEA Technology, AEAT-5217, Culham.
- Borjesson, G., Danielsson, A. and Svensson, B.H. (2000). 'Methane fluxes from a Swedish landfill determined by geostatistical treatment of static chamber measurements', Environ Sci Technol 34: 4044-4050.
- Czepiel, P.M., Mosher, B., Harriss, R., Shorter, J.H., McManus, J.B., Kolb, C.E., Allwine, E. and Lamb, B. (1996). 'Landfill methane emissions measured by enclosure and atmospheric tracer methods', J Geophys Res D101: 16711-16719.
- Diot M., Bogner, J., Chanton, J., Guerbois, M., Hebe I., Moreau le Golvan, Y., Spokas, K. and Tregoures, A. (2001). LFG mass balance: a key to optimize LFG recovery, in Proceedings of the Eighth International Waste Management and Landfill Symposium Sardinia 2001, S. Margherita di Pula (Cagliari, Italia), October 1-5, 2001.
- Environment Canada (2003). Canada's Greenhouse Gas Inventory 1990-2001. 8. Waste. Greenhouse Gas Division August 2003. The Green line Environment Canada's Worldwide Web Site.
- Environment Canada (2004). Landfill Gas Capture and Combustion Quantification Protocol. Available at: www.ec.gc.ca/pdb/ghg/lfg_protocol_e.cfm.
- Fowler, D. and Duyzer, J.H. (1989). Micrometeorological techniques for the measurement of trace gas exchange, Exchange between terrestrial ecosystems and the atmosphere, Andreae, M.O., Schimel, D.S. Eds., John Wiley & Sons, pp. 189-207.
- Galle B., Samuelsson, J., Borjesson, G. and Svensson, H. (1999). Measurement of methane emissions from landfills using FTIR spectroscopy. Sardinia 1999, Seventh International Waste Management and Landfill Symposium. Vol. IV, 47-54.

- Gardner, W.D., Ximenes, F., Cowie, A., Marchant, J.F., Mann, S. and Dods, K. (2002). Decomposition of wood products in the Lucas Heights landfill facility. Presented at the Third Australian Conference on 'Life Cycle Assessment - "Life Cycle Decision-making for Sustainability". Queensland, Australia, 17 - 19 July, 2002. State Forests of New South Wales, Sydney, Australia.
URL:<http://www.greenhouse.crc.org.au/crc/ecarbon/enews/gardner.pdf>
- Gregory, R.G., Gillet, A.G. and Bradley, D. (2003). 'Methane emissions from landfill sites in the UK', LQM Report 443/1, January 2003.
- Hensen, A. and Scharff, H. (2001). Methane emission estimates from landfills obtained with dynamic plume measurements, *Water, Air and Soil Pollution, Focus*, 1(5-6): 455-464.
- Hoeks, J. (1983). Significance of biogas reduction in waste tips, *Waste management and research*, 1, pp. 323-325
- Huitric, R. and Soni, R. (1997). Making the most of LFG projection models, *Proceedings from SWANA's 20th annual LFG symposium*, Monterey California, USA
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Treanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Enmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K. and Tanabe K. (Eds), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC (2001). Summary for Policymakers and Technical Summary of Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Bert Metz et al. eds. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom
- IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, land-Use Change and Forestry. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. and Wagner, F. (Eds), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.
- Jensen, J. E. and Pipatti, R. (2002). 'CH₄ Emissions from Solid Waste Disposal', Background Papers. IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories,), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)-National Greenhouse Gas Inventories Programme (NGGIP), IGES, Hayama, Japan, pp 419-465.
- Kampfer, P. and Weissenfels, W. (2001). *Biologische Behandlung organischer Abfälle*, Springer, Berlin.
- Laurila, T., Tuovinen, J.P., Lohila, A., Hatakka, J., Aurela, M., Thum, T., Pihlatie, M., Rinne, J. and Vesala, T. (2005). 'Measuring methane emissions from a landfill using a cost-effective micrometeorological method', *Geoph. Res. Let.*, Vol. 32, L19808,
- Levelton, B.H. (1991). Inventory of Methane Emissions from Landfills in Canada. Levelton &

- Associates. Prepared for Environment Canada, June 1991.
- Matsufuji, Y., Kobayashi, H., Tanaka, A., Ando, S., Kawabata, T. and Hanashima, M. (1996). 'Generation of greenhouse gas effect gases by different landfill types and methane gas control', Proceedings of 7th ISWA International Congress and Exhibition, 1996:10, No. 1, p. 253-254.
- Maurice, C. and Lagerkvist, A. (1997). 'Seasonal variation of landfill gas emissions', Sardinia 1997 Sixth International Waste Management and Landfill Symposium, Vol IV, pp. 87-93.
- Micales, J.A. and Skog, K.E. (1997). 'The decomposition of forest products in landfills', International Biodeterioration and Biodegradation 39(2-3): pp. 145-158
- Mosher, B., Czepiel, P., Harriss, R., Shorter, J.H., Kolb, C.E., McManus, J.B., Allwine, E. and Lamb, B. (1999). 'Methane emission at nine landfill sites in the northeastern United States', Environ Sci Technol 33: 2088-2094.
- Oonk, H. (1993). Overzicht van stortgasprojecten in Nederland (Overview of Dutch Landfill gas projects), March 1993. TNO, Apeldoorn, The Netherlands.
- Oonk, H. and Boom, T. (1995). 'Landfill gas formation, recovery and emissions', TNO-report R95-203, TNO. Apeldoorn, The Netherlands.
- Park J.W. and Shin H.C. (2001). 'Surface methane emission of landfill gas from solid waste landfill', Atmospheric Environment 35, 3445-3451
- Pelt, R., Bass, R.L., Heaton, R. E., White, Ch., Blackard, A., Burklin, C. and Reisdorph, A. (1998). User's Manual Landfill Gas Emissions Model Version 2.0. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. February 1998, 94 pp.
- RIVM. (2004). Netherlands's National GHG Inventory Report. 8. Waste. RIVM Report 773201008, 8 pp.
- Savanne, D., Arnaud, A., Beneito, A., Berne, P., Burkhalter, R., Cellier, P., Gonze, M.A., Laville, P., Levy, F., Milward, R., Pokryszka, Z., Sabroux, J.C., Tauziede, C. and Tregoures, A. (1997). 'Comparison of different methods for measuring landfill methane emissions', Sardinia 1997 Sixth International Waste Management and Landfill Symposium, Vol IV, pp. 81-86.
- Scheehle, E. (2006). Personal Communication.
- SCS Wetherill Environmental (2003). New Zealand's Greenhouse Gas Inventory 1990-2002. Chapter 8: Waste. New Zealand Climate Change Office.
- Scharff, H., Martha, A., van Rijn, D.M.M., Hensen, A., v.d. Bulk, W.C.M., Flechard, C., Oonk H., Vroon, R., de Visscher, A. and Boeckx, P. (2003). A comparison of measurement methods to determine landfill methane emissions, report by Afvalzorg Deponie B.V., Haarlem, the Netherlands.
- Spokas, K., Graff, C., Morcet, M. and Aran, C. (2003). Implications of the spatial variability of landfill emission rates on geospatial analyses. Waste Management. 23: 599-607.
- Spokas, K., Bogner, J., Chanton, J., Morcet, M., Aran, C., Graff, C., Moreau-le-Golvan, Y. and Hebe, I. (2006). 'Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems?' Waste Management, 26: 516-525.
- SWANA (1998). Comparison of Models for Predicting Landfill Methane Recovery, Publication No. GRLG0075, March, Solid Waste Association of North America (SWANA).

- UK Environment Agency (2004). Guidance on monitoring landfill gas surface emissions. URL: http://www.environment-agency.gov.uk/subjects/waste/?lang=_e
- U.S. EPA (2005). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2004. Annex 3.14. Methodology for Estimating CH₄ Emissions from Landfills. April 2005, U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA).
- U.S. EPA (2002). Solid Waste Management and Greenhouse Gases, 2nd Ed, EPA530-R-02-006, U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA).
- U.S. EPA (1998). Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42, Fifth Edition, Volume1: Stationary Point and Area Sources. Chapter 2: Solid waste Disposal. Section 2.4.4.1. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA), November1998.
- U.S. EPA (1995). Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, AP-42, Edition 5. U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA).URL: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>
- Yamada, M., Ishigaki, T., Endo, K., Inoue, Y., Nagamori, M., Ono Y. and Ono Y. (2005). Distribution of temperature and methane flux on landfill surface. Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, Cagliari, Italy

첨부 3A.1 1차 분해 반응 모델

3A1.1 서론

제3장에서 소개된 1차 분해 반응(FOD) 모델은 CH₄ 고형 폐기물 매립지(SWDS)로부터의 배출량을 계산하기 위하여 사용된 기본 방법이다. 이 첨부은 이 모델에 대한 추가적인 정보를 제공한다.

- FOD 모델에 대한 수학적 기초(3A1. 2절 참고)
- 이 모델에서의 주요 이슈, 예컨대 SWDS에서 혐기성 분해가 가능한 분해 가능 유기 탄소 총량(DDOC_m)의 산정(3A1.2절)과 SWDS의 폐기물이 매립되어 분해가 시작될 때까지의 지연 시간(3A1.3절)
- FOD 방법의 편리한 사용을 위해 개발된 스프레드시트 모델의 개요(3A1.4)
- SWDS에서 장기간 탄소 저장량을 산정하는 방법(3A1.5절)
- 현 IPCC 방법과 이전의 IPCC 방법 간의 차이를 설명하는 것을 포함하여, FOD 모델에의 여러 가지 다른 접근법(3A1.6절)

3A1.2 1차 분해 반응(FOD) 모델 - 기본 이론

1차 분해 반응의 기본은, 혐기성 조건 하에 분해되는 분해 가능한 유기 탄소량(DDOC_m)의 경우, 반응속도는 남아있는 반응물의 양에 비례한다는 것이다(Barrow and Gordon, 1996). 일정 시간에 걸쳐(dt) 반응된 DDOC_m은 미분식 3A.1.1에 의해 나타내어진다.

식 3A1.1 1차 분해 반응에 대한 미분식 $d(DDOC_m) = -k \cdot DDOC_m \cdot dt$

여기서:

DDOC_m = t 시간에 매립지 내의 분해 가능한 유기탄소(DOC)의 양

k = y⁻¹의 분해 반응 속도 상수

이 식의 해는 기본 FOD 식이다.

식 3A1.2 1차 분해 반응식 $DDOC_m = DDOC_{m_0} \cdot e^{-kt}$

여기서:

DDOC_m = 시간 t에서, 매립지 내 혐기성 조건 하에서 분해되는 분해 가능 유기 탄소의 양

DDOC_{m₀} = 반응이 시작되는 순간, 즉 시간 0에서, 매립지 내 DDOC의 양

k = 시간(year)

식 3A1.2에 $t=1$ 을 대입하면 1년이 지난 후(매립 후 1년) 매립지 내 남아있는 DDOC_m의 양은, 다음과 같다.

식 3A1.3 1년 후 잔존하는 DDOC_m $At \ t=1, DDOC_m = DDOC_{m_0} \cdot e^{-k}$

1년 후에 CH₄와 CO₂로 분해된 DDOC_m(DDOC_{m,decomp})은 다음과 같을 것이다.

식 3A1.4 1년 동안 분해된 DDOC_m $At \ t=1, DDOC_{m,decomp_T} = DDOC_{m_0}(1 - e^{-k})$

시간 $(t-1)$ 과 t 사이의 기간 T⁸동안에 분해된 DDOC_m에 대한 일반적인 경우의 식은 다음과 같다.

식 3A1.5 T년도에 분해된 DDOC_m $DDOC_{m,decomp_T} = DDOC_{m_0} \cdot [e^{-k(t-1)} \cdot e^{-kt}]$
--

식 3A1.4와 3A1.5는 시간(year)에 따른 질량 수지에 기반한 것이다.

3.2.3절에서, 분해 반감기 변수가 논의된다. 반감기는 반응물의 양이 50%까지 감소되는 데에 걸리는 시간이다. 반감기와 반응 속도 상수 k 사이의 관계는 식 3A1.2에서 DDOC_m 대신 $1/2DDOC_{m_0}$ 을, t 대신 $t_{1/2}$ 를 대입함으로써 알 수 있다.

식 3A1.6 반감기와 반응 속도 상수 사이의 관계 $k = \ln(2) / t_{1/2}$

3A1.3 FOD 식에서 지연 시간의 변화

대부분의 SWDS에서 폐기물은 1년 내내 계속적으로, 보통은 매일 매립된다. 그러나 CH₄ 생성이 폐기물의 매립 직후에 즉시 시작되지 않는다는 증거가 있다(제3장 3.2.3절 참고).

식 3A1.3과 3A1.4는 분해 반응이 매립 후 연도의 1월 1일에 시작한다는 것, 예를 들면 평균 6개월 이후에 분해 반응이 시작된다는 것을 가정한다.

⁸ T는 매립 연도와 관련하여 산정하는 연도를 의미한다.

식은 분해 반응이 일찍 시작하는, 즉, 매립 연도에 분해 반응이 시작되는 모형으로 쉽게 변형될 수 있다. 이는, 시간 축을 따라 e^{-kt} 곡선을 역으로 이동시킴으로써 이루어진다. 예를 들면, 매립 당해연도의 10월 1일에 시작되는 분해 반응을 모형화하기 위해서는(예컨대 6개월이 아니라, 평균 3개월 후에 분해 반응이 시작된 경우), 식 3A1.2가 다음과 같이 변형될 수 있다.

$$\begin{aligned} &\text{식 3A1.7} \\ &\text{3개월 후에 분해가 시작된 FOD 수식} \\ &DDOC_m = DDOC_{m_0} \cdot e^{-k(t + 0.25)} \end{aligned}$$

여기에는 2가지 해가 있는데, 하나는 매립 연도에 대한 것이고 다른 하나는 그 나머지 연도에 대한 것이다.

$$\begin{aligned} &\text{식 3A1.8} \\ &\text{매립 해당 연도에 분해된 DDOCm (3개월 지연)} \\ &DDOC_{m, decomp_Y} = DDOC_{m_0} \cdot (1 - e^{-0.25k}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{식 3A1.9} \\ &\text{(T)연도에 동화된 DDOCm (3개월 지연)} \\ &DDOC_{m, decomp_T} = DDOC_{m_0} \cdot [e^{-k(T - 0.75)} - e^{-k(T + 0.25)}] \end{aligned}$$

여기서:

$DDOC_{m, decomp_Y}$ = 매립 해당연도에 분해된 DDOCm

$DDOC_{m, decomp_T}$ = T 연도에 분해된 DDOCm (시간 축(axis)위의 지점 t-1에서 지점 t까지)

T= 매립 후 연도가 '연도 1(year 1)'일 때, 시간 축(axis)위의 지점 t-1에서부터 t까지의 해(year)

Y= 매립 해당 연도

매립 1년 내 시작된 반응에 대한 수식 역시 같은 방법으로 적용될 수 있다.

3A1.3.1 매립 이력

여기에 제시된 방법은 첫 해(Year Y)동안 분해된 모든 폐기물로부터의 CH_4 생성이, 매립 다음 연도의 1월 1일에 시작된다는 것을 가정한다. Year 1은 매립 다음 연도로 정의된다.

그러나 실제로는, 연초에 매립된 폐기물은 CH_4 을 더 빨리 생성시키고, 연말에 매립된 폐기물은 CH_4 를 더 늦게 생성시킬 것이기 때문에, 얼마간의 부정확성이 발생할 것이다. 여기서 제시하는 단순 FOD 모델과, 3A1.6.3에서 소개되는 정확한 매일 매일의 계산 방법으로 계산한 결과를 비교하면 이 오차를 평가할 수 있다. 반감기 10년에 대해 CH_4 의 배출량을 정확한 방법(매일 매일의 계산 방법)으로 평가하면, 단순 방법과 1일 정도의 차이밖에 나지 않는다. 3년의 반감기에 대해서는, 단순 방법은 정확한 방법과 3.5일의 차이가 난다. 심지어 1년의 반감기에 대해서도, 정확한 방법과 단순 방법 간의 차이는 단지 10일에 불과하다. 이러한 단순 방법의 가정에 의해 발생한 오차는, 변수들의 기타 불확도에 비해 매우 작다(특히 지연 시간에 대한 불확도가 최소 2개월이라는

점을 감안하면).

3A1.4 스프레드시트 FOD 모델

국가의 모든 고형 폐기물 매립지에 대한 CH₄의 배출량을 산정하기 위한 한 가지 방법은, 스프레드시트의 개별 행에 매년 매립된 폐기물로부터의 배출량을 모델화하는 것이다. IPCC 폐기물 모델에서, CH₄ 생성은 각 매립년도에 대해서 개별적으로 계산되고, 발생한 CH₄의 총량은 마지막에 합산을 함으로써 얻을 수 있다. 매립 다음 연도에 CH₄ 발생이 일어나고 분해반응 상수가 0.1일 때 (반감기가 6.9년일 때), 6년간 매년 100단위의 DDOCm를 매립한 경우의 전형적인 예를 다음 표에 나타내었다. 이 표 안의 숫자는 CH₄ 배출량이 계산되는, 각 연도에 해당하는, 폐기물로부터의 분해된 DDOCm을 나타낸다.

FOD 방법을 사용할 때 50년 이상의 기간이 필요하다는 것을 고려해보면, 이것은 다소 규모가 큰 계산 행렬을 필요로 한다. 스프레드시트는 이 계산에 대해 더 압축적이고 명쾌한 접근법을 사용한다. 이는, 1년 동안 매립지에 매립된 DDOCm를, 그 전 해로부터 남겨진 DDOCm에 추가함으로써 가능해진다. 따라서 그 다음 해에 대한 CH₄ 배출량은, 매립지에 남아있는 DDOCm의 '진행 총량'을 이용하여 계산하면 된다. 이 방법을 통해, 매년 1개의 열을 사용하는 대신, 단 3개의 열만으로도 1년 동안에 대한 완전한 계산이 이루어질 수 있다(표 3A1.1 참고).

이 접근법의 기본은 1차 분해 반응에 있다. 1차 반응에서는, 생성물의 양(여기서는, 분해되는 DDOCm)과 반응물의 양(여기서는, DDOCm)은 항상 비례한다. 이는 DDOCm의 매립 시기가, 매년 발생하는 CH₄의 양과 관련이 없다는 것을 의미한다 - 매립지에 남아있는 총 DDOCm의 잔여량이 중요하다.

또한 해당 연도 시작 시점에 SWDS 내 DDOCm의 양을 알고 있다면, 산정 방법에서 매 해를 '연도 1(year number 1)'로 간주할 수 있고, 모든 계산이 다음의 2가지 단순한 식에 의해 이루어질 수 있다는 것을 의미한다.

식 3A1.10

T 연도까지 축적된 분해가능한 유기탄소의 양

$$DDOC_{ma\ T} = DDOC_{md\ T} + (DDOC_{ma\ T-1} \cdot e^{-k})$$

식 3A1.11

T 연도에 혐기성으로 분해된, 분해가능 유기탄소의 양

$$DDOC_{m, \text{decomp}\ T} = DDOC_{ma\ T-1} \cdot (1 - e^{-k})$$

여기서:

분해 반응은 매립 다음 해의 1월 1일부터 시작된다.

$DDOC_{ma\ T}$ = T 연도까지 SWDS에 축적된 DDOCm

$DDOC_{md\ T}$ = T 연도에 SWDS에서 매립된 DDOC의 양

$DDOC_{ma\ T-1}$ = T-1 연도까지 SWDS에 축적된 DDOCm

$DDOC_{m, decomp_T}$ = T 연도에 분해된 DDOCm

표 3A1.1 새로운 FOD 계산 방법			
년	매립된 DDOCm	축적된 DDOCm	분해된 DDOCm
0	100	100	0
1	100	190.5	9.5
2	100	272.4	18.1
3	100	346.4	25.9
4	100	413.5	33.0
5	100	474.1	39.3
6	100	529.0	45.1

3A1.4.1 스프레드시트 모델에서, 상이한 지연시간의 사용

위에 제시된 표와 식은, DDOCm의 CH₄으로의 혐기성 분해가 매립 다음 해 1월 1일에 시작된다는 것을 가정한다(분해 반응은 평균적으로 매립 6개월 후에 시작된다.).

혐기성 분해가 이보다 더 빨리, 즉, 매립 연도에 시작된다면, 매립 연도에 대해 개별 계산이 이루어져야 한다. 모든 폐기물 분류나 폐기물 성장/분율의 수학적 계산은 동일하고 단지 변수들만이 다르기 때문에, 다른 폐기물 분류와 유형/분율을 항목화하는 것은 식 3A1.12-17과 3A1.19에서 제외하였다.

식 3A1.12

매립 해당연도의 마지막 날까지 잔존하는 DDOCm

$$DDOC_{m, rem_T} = DDOC_{md_T} \cdot e^{-k(13/M)/12}$$

(스프레드시트 모델에서 메탄 계산 시트의 F열)

식 3A1.13

매립 해당연도 동안 분해된 DDOCm

$$DDOC_{m, dec_T} = DDOC_{md_T} \cdot e^{-k(13/M)/12}$$

(스프레드시트 모델에서 메탄 계산 시트의 G열)

여기서:

$DDOC_{m, rem_T}$ = T 연도 마지막 날까지 여전히 잔존할, T 연도에 매립된 DDOCm (Gg)

$DDOC_{md_T}$ = T 연도에 매립된 DDOCm (Gg)

$DDOC_{m, dec_T}$ = T 연도의 마지막 날까지 분해되는, T 연도에 매립된 DDOCm

T = T 연도 (인벤토리 연도)

M= 반응이 시작되는 달, 평균 지연시간+7(달)

k = 반응 속도 상수 (y^{-1})

따라서 식 3A1.10과 3A1.11은 다음과 같이 될 것이다.

식 3A1.14 T연도까지 축적된 DDOCm $DDOC_{ma\ T} = DDOC_{m, rem\ T} + (DDOC_{ma\ T-1} \cdot e^{-k})$ (스프레드시트 모델에서 메탄 계산 시트의 H열)
--

식 3A1.15 T연도에 분해된 DDOCm $DDOC_{m, decomp\ T} = DDOC_{m, dec\ T} + DDOC_{ma\ T-1} \cdot (1 - e^{-k})$ (스프레드시트 모델에서 메탄 계산 시트의 I열)
--

여기서:

$DDOC_{ma\ T}$ = T 연도까지 SWDS에 축적된 DDOCm, Gg

$DDOC_{ma\ T-1}$ = (T-1)연도까지 SWDS에 축적된 DDOCm, Gg

$DDOC_{m, decomp\ T}$ = T 연도에 분해된 DDOCm, Gg

스프레드시트는 식 3A1.12에서 3A1.15까지에 근거한다. 분해 반응의 시작이 매립 다음 해의 1월 1일에 맞춰져 있다면, 이것은 6개월의 평균적인 지연 시간(month 13)에 해당한다. 이런 경우에는, 식 3A1.13 및 3A1.15는 식 3A1.10 및 3A1.11과 같게 된다.

3A1.4.2 매립된 폐기물의 양으로부터 DDOCm의 계산

폐기물 매립에 관한 자료는 스프레드시트에 입력된다. 이 자료는 폐기물 성상(폐기물 조성 옵션) 별로, 혹은 전체 폐기물(bulk waste)로서 주어진다. 폐기물 조성 옵션에서, 폐기물은 폐기물 성상/물질(종이, 판지, 음식, 정원 및 공원 폐기물, 목재, 직물, 기타 폐기물)별로 나누어진다. 반면 전체 폐기물(bulk waste) 옵션에서는, 폐기물은 주요 폐기물 카테고리(MSW와 산업 폐기물)에 의해서만 분류된다. SWDS의 혐기성 조건하에서 매립지에 있는 모든 DOCm이 분해되는 것은 아니다. 변수, DOCf는 SWDS에서 실제로 분해될 DOCm의 비율이다(제3장 3.2.3절 참고). SWDS에 있는 분해 가능한 DOCm(DDOCm)은 다음과 같이 계산된다.

식 3A1.16 폐기물 매립 자료로부터 분해 가능한 DOCm의 계산 $DDOC_{md\ T} = W_T \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF$ (스프레드시트 모델에서 메탄 계산 시트의 D열)
--

여기서:

$DDOC_{m, T}$ = T 연도에 매립된 DDOCm, Gg

W_T = T 연도에 매립된 폐기물의 양, Gg

DOC = 매립 연도에 분해가능한 유기탄소(분율), Gg-탄소/Gg-폐기물

DOC_f = SWDS의 혐기성 조건 하에서 분해될 수 있는 DOC의 분율

MCF = 매립 연도에 대한 CH_4 보정계수 (3.2.3절을 참고)

3A1.4.3 분해되는 DDOCm으로부터의 CH_4 발생량 계산

분해되는 DDOCm으로부터 발생되는 CH_4 의 양은 다음과 같이 계산된다.

식 3A1.17

분해되는 DDOCm으로부터 발생된 CH_4

$$CH_{4, \geq rated_T} = DDOC_{m, decomp_T} \cdot F \cdot 16/12$$

(스프레드시트 모델에서 메탄 계산 시트의 J열)

여기서:

$CH_{4, \geq rated_T}$ = 분해되는 DDOCm으로부터 발생되는 CH_4 의 양

$DDOC_{m, decomp_T}$ = T 연도에 분해되는 DDOCm, Gg

F = 발생되는 매립 가스 중 CH_4 의 비율(부피 비율)

16/12 = CH_4 /C의 분자량 비

매립된 각 폐기물 카테고리에 따라 발생된 CH_4 는 매년 발생된 CH_4 의 총량을 구하기 위해 더해진다. 최종적으로 CH_4 의 배출량은, 우선 매립지로부터 회수된 CH_4 가스량을 빼고, 다음으로 표층에서 이산화탄소로 산화된 CH_4 의 양을 뺀으로써 계산된다.

식 3A1.18

SWDS로부터 배출된 CH_4

$$CH_{4, emitted_T} = [\sum_x CH_{4, \geq rated_{x, T}} - R_T] \cdot (1 - OX_T)$$

(Result 시트에서 최종 결과를 계산하는 열)

여기서:

$CH_{4, emitted_T}$ = T 연도에 배출된 CH_4 , Gg

x = 폐기물 성상/물질 혹은 폐기물 카테고리

R_T = T 연도에 회수된 CH_4 , Gg

OX_T = T 연도의 산화율, (비율)

3A1.5 SWDS에 저장된 탄소

SWDS에 매립된 폐기물 내 DOCm의 일부만이 CH_4 와 CO_2 로 분해될 수 있다. MCF값은 1보다 낮은 것은, DOCm의 일부가 호기성 세균에 의해 CH_4 가 아닌 CO_2 로 분해된다는 것을 의미한다. 혐

기성 분해가 가능한 DOCm도 완전하게 분해되지는 않는다. DOCm(DDOCmd)의 분해되는 양은 식 3A1.16과 같다. 분해되지 않는 일부 DOCm은 SWDS에 장기 저장될 것이며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

식 3A1.19

폐기물 매립 자료로부터 장기간 저장되는 DOCm의 계산

$$DOC_{m, long-term\ stored\ T} = W_T \cdot DOC \cdot (1 - DOC_f) \cdot MCF$$

DOC_f = 0.5라는 기본값을 사용하면, 매립된 DOCm의 50%가 장기간 동안 남게 된다. 식 19는 SWDS에 장기 저장된 탄소 축적량의 연간 증가량을 설명한다. 이 식을 사용하여 SWDS에 매립된 목재 생산물(harvested wood product: HWP)에 장기 저장된 탄소량을 산정할 수 있다(AFOLU권의 제12장 참고). 폐기물 조성 옵션을 선택했을 때는, SWDS에 매립된 HWP 폐기물에 장기 저장된 DOCm의 양을 활동도 시트의 물질 정보로부터 직접적으로 계산할 수 있다. 전체 폐기물 옵션(bulk waste option)을 사용하는 경우에는, HWP로부터 기인하는 폐기물의 분율을 먼저 산정하여야 한다. 이 값을 모른다면, 지역이나 국가 고유의 종이, 판지, 정원 및 공원, 목재 폐기물의 기본 분율을 활용할 수 있다(2.3절 참고). 이 계산은 스프레드시트 모델의 '저장된 C(Stored C)'와 'HWP'로 불리는 시트에서 수행된다.

3A1.6 다른 FOD 접근법

또다른 FOD 접근법이 SWDS로부터의 CH₄ 배출량을 산정하기 위하여 사용되어 왔다. 이 가이드라인의 접근법, 이전 IPCC 접근법, 그리고 소위 정확한 FOD 방법 간의 차이점이 아래에서 논의될 것이다. 다음의 이유를 근거로, 본 권에서 사용되는 접근법이 선택되었다.

이전 IPCC 접근법에 비해 이 방법이 FOD 반응을 수학적으로 더 정확하게 설명한다.

이해하기가 쉽다.

스프레드시트 모델에서 사용하기가 쉽다.

그 결과로, SWDS에 저장된 탄소의 변화량을 산정한다(이 접근법은 SWDS에서 탄소가 CH₄와 CO₂로 전환되는 질량 수지가 이 접근법에 의해 유지되는 것처럼, 장기 및 단기 저장에 대해서 탄소 축적량의 연간 변화량을 산정한다.)

3A1.6.1 1996 가이드라인 - 반응 속도 접근법

개정된 1996 IPCC 지침서에서(1996 지침서, (IPCC, 1997)), SWDS로부터의 CH₄ 배출량 산정값은 반응식 속도에 근거하였다. 이는 화학적 반응에서 질량 변환을 바라보는 일반적인 방법이며, 식 3A1.2를 시간에 대해서 미분하여 구해진다.

식 3A1.20

반응식의 1차 반응 속도

$$DDOCm \text{ 반응 속도} = -d(DDOCm)/dt = k \cdot DDOCm_0 \cdot e^{-kt}$$

반응식의 속도는 특정 시간에서의 반응 속도를 보여주고, 이 반응 속도는 곡선을 따라 이동한다. 그러므로 일정 시간에 걸쳐 반응한 DDOCm의 양을 구하기 위해서 적분해야 한다.

우리는 연도 당 CH₄와 CO₂로 분해된 DDOCm의 양을 구하기를 원한다. 시작 지점은 시간 축(axis) 위의 0에서 1까지 포함하는 '연도 1(year number 1)'이다. '연도 1'은 시간 축 위에서 지점 1에 해당한다. 그러므로 t-1에서 t까지 적분이 수행되어야 하고, 이는 식 3A1.5와 동일한 식을 이끌어낸다.

그러나 1996 지침서에서 제시된 식(제 6장, 식 4)은 다음과 같다.

식 3A1.21

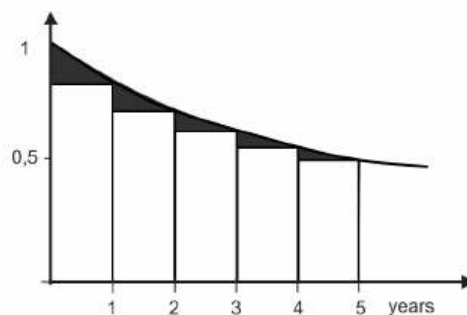
IPCC 1996 지침서에서 제시된, T연도의 DOC 반응에 대한 수식

$$DDOCm, \text{ decomp}_T = k \cdot DDOCm_0 \cdot e^{-kt}$$

사실 이 식은 반응식의 속도를 나타낸다. 실제로 이 식은, 연간 CH₄ 발생량이 해당 연도 마지막 날에서의 반응 속도로부터 계산된다는 것을 의미한다. 이것은 곡선 이하의 전체 영역을 정확하게 적분하는 대신, 반응 속도 곡선 하에서 일련의 직사각형들을 더한 값을 포함한 근사치이다. 오차는 '근사'에 의해 유발된다; 그림 3A1.1의 맨 위의 열에서 보여지는 작은 삼각형은 무시하고, 시간에 대한 질량 수지를 구하지 않는다. 10년의 반감기를 가정하고 1996 지침서의 식을 사용하면, 본 지침서의 완전한 질량 수지 계산 결과에 비해 3.5% 낮은 결과를 나타낸다(식 3A.1.4-5 참고).

그러나 1996 지침서의 방법은, 이 방법을 위해 특수하게 개발된 반감기 값을 가지고 사용하면 정확하게 계산될 수 있다.

그림 3A1.1 반응 속도 곡선을 완전히 적분하지 않음으로써 유발되는 오차



3A1.6.2 IPCC 2000 우수실행지침

국가 온실가스 인벤토리에서의 우수실행지침과 불확도 관리(*Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories: GPG2000, IPCC, 2000*)에서, 식 5.1,

정규화 요인(normalisation factor) A는 반응식 속도에 도입된다. 이 '정규화 요인'을 식 5.1에 곱하면 적분값을 얻게 된다.

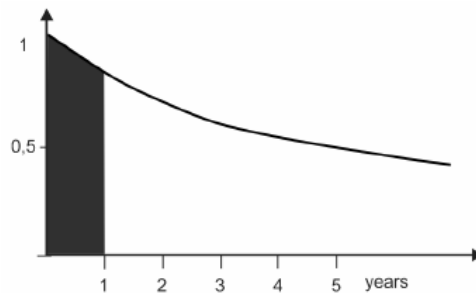
식 3A1.22

IPCC 2000 GPG에서 제시된, T 연도의 DDOCm 반응에 대한 FOD 수식

$$DDOCm_{decomp_T} = DDOCm_0 \cdot [e^{kt} - e^{k(t+1)}]$$

분해 곡선을 적분하기 때문에, 이 식은 올바른 식(식 3A1.5)과 동일하다. 그러나 year 1의 경우, 시간 축 위의 1부터 2까지 적분하게 되어, 반응 첫 해에 생성된 CH₄의 양은 계산되지 않는다(그림 3A1.2 참고). 따라서 10년의 반감기를 가정할 때, 완전한 질량 수지를 고려한 접근법으로 계산된 값보다 GPG 2000의 식이 7% 더 낮은 결과를 보인다.

그림 3A1.2 GPG 2000 수식에서 오차의 영향



정규화 요인의 목적은 명백하게 그림 3A1.1의 맨 위 열에 있는 작은 삼각형을 채우는 것이다. 그러나 여기서 사용된 정규화 요인은 시간축 상의 t점으로부터 (t+1)점까지에 이르는 적분값과 동일하기 때문에, 그 목적을 달성할 수 없다. 기본적으로 연도 수를 사용하는 적분이 t-1부터 1까지 포함해야 하기 때문에, 반응식 곡선 하의 전체 영역을 채우는 정규화 요인은 $A=((1/e^k)-1)/k$ 일 것이다.

3A1.6.3 수학적으로 정확한 1차 분해 반응 모델

앞서 설명되었던 1차 분해 반응(FOD) 모델은, DOC 총량이 각 매립 연도의 특정 시간(예컨대 단 하루)에 매립된 것으로 가정하는 모델과 수학적으로 동일한 것처럼 보인다. 만약 분해 과정을 진행할 때 시간 지연이 없다면, 이 날짜는 해당 연도의 중간일 수 있다; 예를 들어, 12월 31일/1월 1일에 폐기물을 매립하고 6개월의 지연시간을 가정하면 7월 1일에 반응이 시작된다. 이 가정은, 직관에 반하기는 하지만, 화학 공정, 활동도 자료, 배출계수 및 배출량 계산의 기타 변수의 이해에서 기인하는 불확도에 비해서, 작은 오차를 갖는다.

완비성을 위하여 FOD 방법의 대안 공식이 여기에서 제시된다. 분해 과정 초기의 지연을 나타낼 수 있고, 단순 회귀식이 주어질 수 있다.

식 3A1.23은 매립율(t)과 함께 FOD 공식을 나타낸다. 괄호 속 첫 번째 항은 SWDS의 탄소 풀(pool)로의 유입(매립)을 나타내고, 두 번째 항은 매립지로부터의 유출을 나타낸다(CH₄ 형태의 탄소); 두 항의 합은 SWDS에서의 탄소 축적량의 전체 변화량을 나타낸다.

식 3A1.23

매립 속도 D(t)를 지닌 FOD

$$dDOC_m(t) = [D(t) - k \cdot DDOC_m(t)]dt$$

여기서:

$dDDOC_m(t)$ = 시간 t에서의 DDOC_m의 변화

$D(t)$ = 시간 t에서의 DDOC_m 매립률

$DDOC_m(t)$ = 분해에 대한, 시간 t에서의 이용 가능한 DDOC_m

DDOC_m이 매립된 후 분해 과정의 시작에 년의 지연이 있다면, 식 3A1.23이 적용되는 분해가 가능한 축적량과, 반응을 하지 않는 축적량을 구분할 필요가 있다. 각 매립 연도 동안에 일정하게 유지되는 매립률 $D(t)$ 에 대해서(그리고 당해 연도 동안에 매립된 DDOC의 양을 1년으로 나눈 것과 동일한), i 연도의 마지막 날에 저장된 탄소를, i-1 연도의 마지막 날의 탄소 저장량과 i 연도 및 i-1 연도에 매립된 양으로 나타낼 수 있다(Pingoud and Wagner, 2006).

식 3A1.24

한 해 동안 축적된 분해 가능한 유기 탄소

$$DDOC_{ma}(i+1) = a \cdot DDOC_{ma}(i) + b \cdot DDOC_{md}(i-1) + c \cdot DDOC_{md}(i)$$

여기서:

$DDOC_{ma}(i)$ = i 연도의 시작점에서 SWDS의 DDOC_m 저장량 Gg-C

$DDOC_{md}(i)$ = i 연도동안 매립된 DDOC_m, Gg-G

$a = e^{-k}$ (상수)

$b = 1/k \cdot (e^{-k(1-\Delta)} - e^{-k}) - \Delta \cdot e^{-k}$ (상수)

$c = 1/k \cdot (1 - e^{-k(1-\Delta)}) + \Delta$ (상수)

= 년(year)으로 표시되는 지연 상수 (0부터 1년 사이)

바로 시작된 분해 반응(=0)은 상수 b가 0이며, 그 결과 식 3A1.24는 주어진 연도 i의 탄소 풀을, 이전 연도인 i-1년의 탄소 풀 및 i년 동안에 축적되는 DOC의 양과 연관시키는 식으로 된다. 뿐만 아니라 이 식은 주어진 연도에 생성된 해당 CH₄를 회귀적으로 계산하는 데 사용될 수 있다는 것을 보여준다(Pingoud and Wagener, 2006).

식 3A1.25

한 해 동안 발생된 CH₄

$$CH_4 \geq n(i) = q \cdot [a' \cdot DDOC_{ma}(i) - b' \cdot DDOC_{md}(i-1) + c' \cdot DDOC_{md}(i)]$$

여기서:

CH₄ gen(i) = i년동안 발생된 CH₄, Gg-C

DDOCma(i) = i년 시작 시점에 SWDS의 DDOC 저장량, Gg-C

DDOCmd(i) = i년 동안에 매립된 DDOC, Gg-C

$q = MCF \cdot F \cdot 16/12$

$a' = 1 - e^{-k} = 1 - a$ (상수)

$b' = 1/k \cdot (e^{-k(1-\Delta)} - e^{-k}) - \Delta \cdot e^{-k} = b$ (상수)

$c' = 1 - \Delta - 1/k \cdot (1 - e^{-k(1-\Delta)}) = 1 - c$ (상수)

참고문헌

- Pingoud, K. and Wagner, F. (2006). Methane emissions from landfills and decay of harvested wood products: the first order decay revisited. IIASA Interim Report IR-06-004.
- Barrow, Gordon M. (1996). Physical Chemistry, Mc Graw Hill, NewYork, 6th ed.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Penman, J., Kruger D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Enmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. and Tanabe, K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Trnpton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.

제4장

고형 폐기물의 생물학적 처리

저자

Riitta Pipatti (핀란드)

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

목 차

4. 고형 폐기물의 생물학적 처리.....	4.4
4.1 방법론적 이슈들.....	4.4
4.1.1 방법론의 선택.....	4.5
4.1.2 활동도 자료의 선택.....	4.7
4.1.3 배출계수의 선택.....	4.7
4.2 완전성.....	4.8
4.3 일관된 시계열 개발.....	4.8
4.4 불확도 평가.....	4.8
4.5 QA/QC.....	4.8
4.6 보고 및 문서화.....	4.9
참고문헌.....	4.10

식

식 4.1 생물학적 처리로 인한 CH_4 배출량.....	4.6
식 4.2 생물학적 처리로 인한 N_2O 배출량.....	4.6

표

표 4.1 생물학적 처리로 인한 CH_4 와 N_2O 의 배출량에 대한 배출계수 기본값.....	4.7
--	-----

4. 고형 폐기물의 생물학적 처리

4.1 방법론적 이슈들

음식물 쓰레기, 정원(뜰)과 공원 폐기물, 슬러지와 같은 유기 폐기물의 분해와 혐기성 소화는 선진국이나 개발도상국에서 모두 일반적인 현상이다. 생물학적 처리의 장점은 폐기물의 부피 감소, 폐기물의 안정화, 폐기물에 있는 병원균의 파괴, 에너지로 이용하기 위한 바이오 가스의 생산에 있다. 생물학적 처리의 최종 산출물은 그 품질에 따라 다르기는 하지만, 비료나 토양 개량제로 재사용되거나 SWDS에 매립된다.

혐기성 처리는 보통 메탄(CH_4) 회수나 에너지 연소로 이어지므로, 그 과정으로 인한 온실가스 배출은 에너지 부문에서 보고되어야 한다. 폐수 처리 시설에서 혐기성 슬러지의 처리는 ‘제6장 폐수 처리 및 방출’에서 설명되며, 배출은 폐수 카테고리 하에서 보고되어야 한다. 그러나 폐수 처리로 인한 슬러지가 고형도시폐기물이나 기타 폐기물과 함께 공동 소화되는 슬러지가 있는 혐기성 시설로 운반되었을 때, 관련된 CH_4 나 N_2O 배출량은 모두 이 카테고리, 즉, 고형 폐기물의 생물학적 처리 하에서 보고되어야 한다. 이들 가스가 에너지로 사용되는 경우에, 이들과 관련된 배출량은 에너지 부문에서 보고되어야 한다.

퇴비화(composting)는 혐기성 과정이며, 폐기물 내 분해 가능한 유기 탄소 비율의 상당량이 이산화탄소(CO_2)로 변환되는 것을 뜻한다. CH_4 는 퇴비화의 혐기성 영역에서 생성되지만, 퇴비화의 호기성 영역에서는 대부분 산화된다. 대기 중으로 배출된 CH_4 의 산정값은 물질 내 초기 탄소 함량의 1% 미만부터 수 %까지에 해당한다(Beck-Friis, 2001; Detzel *et al.*, 2003; Arnold, 2005).

또한 퇴비화 과정은 N_2O 를 배출시킨다. 산정된 배출량의 범위는 물질의 초기 질소 함량의 0.5% 미만부터 5%에 이르기까지 다양하다(Petersen *et al.*, 1998; Hellebrand 1998; Vesterinen, 1996; Beck-Friis, 2001; Detzel *et al.*, 2003). 불완전한 분해 작용은 CH_4 와 N_2O 를 모두 더 많이 발생시킬 수 있다.

유기 폐기물의 혐기성 소화(anaerobic digestion of organic waste)는 온도, 수분 함량, pH를 최적값에 가깝게 유지함으로써 산소가 없는 상태에서 유기 물질의 자연적인 분해를 촉진시킨다. 발생한 CH_4 는 열이나 전기를 생산하는 데 사용될 수 있으므로, 이 과정에서의 배출량은 보통 에너지 부문에서 보고된다. CO_2 배출량은 유기물에 의해 생긴 것이며, 에너지 부문에서 정보 항목(information item)으로써만 보고되어야 한다. 이러한 시설에서 과정상의 장애이나 다른 예기치 못한 사건 동안의 비의도적인 누출로 인한 CH_4 배출량은, 일반적으로 발생한 CH_4 양의 0%~10% 사이에 있다. 정보가 부족한 경우에는, CH_4 배출량에 대한 기본값으로써 5%를 사용하면 된다. 바이오 가스 공장에 대한 기술적 표준을 활용하여 비의도적인 CH_4 배출량이 연소된다는 것을 입증하는 경우에는, CH_4 배출량은 0에 가까울 것이다. 이 과정으로 인한 N_2O 배출량은 무시할 만한 것으로 가정되기는 하나, 이들 배출량에 대한 자료가 매우 부족하다.

폐기물의 기계-생물학적(MB) 처리(mechanical-biological treatment)는 유럽에서 대중화되고 있다. MB 처리 과정에서, 폐기 물질은 최종적인 매립으로 인한 배출량을 줄이기 위해 폐기물을 안

정화하고 그 부피를 감소시키기 위한 목적으로 수행되는, 일련의 기계적이고 생물학적인 작용을 거친다. 이러한 과정은 적용 방법에 따라 달라진다. 전형적으로, 기계적인 작용은 폐기 물질을 그 이상의 처리(퇴비화, 혐기성 소화, 연소, 회수)를 시행하는 비율로 분리시킨다. 이 과정은 물질의 분리(separation), 파편화(shredding), 압착(crushing)을 포함한다. 생물학적인 과정은 퇴비화와 혐기성 소화를 포함한다. 퇴비화는, 발생된 가스를 여과할 뿐만 아니라 이 과정에서의 최적화된 조건을 가진 퇴비화 시설, 또는 쓰레기 더미(in heaps)에서 일어날 수 있다. 매립지에 매립된 유기 물질의 양을 감소시킬 수 있는 가능성은 크며, 40~60%에 달한다(Kaartinen, 2004). 물질, 유기물 함량, 생물학적 활동의 감소량으로 인해, MB 처리된 폐기물은 SWDS에 매립되어 처리되지 않은 폐기물에 비해 CH_4 를 95%까지 적게 발생시킬 것이다. 실제적인 감소량은 더 적으며, 문제의 MB 처리 유형과 지속 기간에 따라 달라진다(Binner, 2002 참조). MB 처리의 다른 단계 동안의 CH_4 와 N_2O 배출량은 특정 작동 방식과 생물학적 처리의 지속 기간에 따라 달라진다.

전체적으로, 폐기물의 생물학적 처리는 SWDS에 매립될 폐기물의 양과 조성에 영향을 미친다. 폐기물 흐름도 분석(Box 3.1의 예 참조)은 SWDS로부터의 배출량에 관한 생물학적 처리 효과를 산정하기 위해 추천되는 방법이다.

고형 폐기물의 생물학적 처리로 인한 CH_4 와 N_2O 배출량을 산정할 때에는 다음의 단계를 거친다.

1단계: 생물학적으로 취급되는 고형 폐기물의 양과 성상에 관한 자료를 수집하라. 퇴비화와 혐기성 처리에 관한 자료는 가능한 영역에서는 분리해서 수집되어야 한다. 퇴비화에 대한 지역적인 기본값 자료는 제2장 표 2.1에 제시되어 있으며, 일부 국가의 국가별 자료는 이 책의 첨부 2A.1에 나타나 있다. 자료를 이용할 수 없는 곳에서, 고형 폐기물의 혐기성 소화는 0으로 가정될 수 있다. 이 기본값 자료는 국가별 자료를 이용할 수 없는 경우에 한하여 사용되어야 한다(4.1.2절 참조).

2단계: 식 4.1과 4.2를 이용하여, 고형 폐기물의 생물학적 처리로 인한 CH_4 와 N_2O 배출량을 산정하라. 4.1.1절, 4.1.2절, 4.1.3절에서 제시된 지침에 따라 기본값이나 국가별 배출계수를 사용하라.

3단계: 연간 순수 CH_4 배출량을 산정하기 위해, 혐기성 소화로부터의 CH_4 배출량이 회수되었을 경우에는 발생된 CH_4 의 양에서 회수된 가스의 양을 빼라.

퇴비화나 슬러지의 혐기성 처리로 인한 CH_4 와 N_2O 의 배출량 간의 일관성과, ‘폐수 처리와 방출’ 카테고리에서 보고된 슬러지의 처리로 인한 배출량은 확인되어야 한다. 또한 혐기성 소화로 인한 배출량이 ‘고형 폐기물의 생물학적 처리’ 하에서 보고된다면, 인벤토리 작성자는 이러한 배출량이 ‘에너지 부문’에서 다루어지지 않았는지 확인해야 한다.

활동도 자료 수집에 대한 관련 정보, 배출량을 산정하는 데 사용된 배출계수와 방법에 대한 선택은 4.6절의 지침에 따라 문서화되어야 한다.

4.1.1 방법론의 선택

생물학적 처리의 CH_4 와 N_2O 배출량은 아래의 식 4.1과 4.2에 주어진 기본값 방법을 사용하여 산정될 수 있다.

식 4.1

생물학적 처리로 인한 CH₄ 배출량

$$CH_4 \text{ 배출량} = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3} - R$$

여기서,

CH₄ 배출량 = 해당 해의 총 CH₄ 배출량, Gg CH₄

M_i = 생물학적 처리 유형 *i* 에 의해 처리된 유기 폐기물의 총량, Gg

EF = 처리 *i* 에 대한 배출계수, g CH₄/kg 처리된 폐기물

i = 퇴비화 또는 혐기성 소화

R = 인벤토리 연도에 회수된 CH₄의 총량, Gg CH₄

혐기성 소화로 인한 CH₄ 배출량이 보고될 때에는, 회수된 가스의 양을 CH₄ 발생량에서 빼주어야 한다. 회수된 가스는 연소(flare)나 에너지 장치에서 연소될 수 있다. 회수된 CH₄의 양은 식 4.1에서 R로 표현된다. 만약 회수된 가스가 에너지로 사용된다면, 결과적으로 그 가스의 연소로 인한 온실가스 배출량은 '에너지 부문'에서 보고되어야 한다. 그러나 CO₂ 배출량이 유기물에 의한 것이고 CH₄와 N₂O 배출량이 매우 작기 때문에 회수된 가스의 연소로 인한 배출량이 중요하지 않다면, '에너지 부문'에서는 이들 배출량을 산정할 필요가 없다. 그러나 만일 이 배출량을 산정하기를 원한다면, 빗으로부터의 배출량은 '폐기물 부문' 하에서 보고되어야 한다. 연소로부터의 배출량에 대한 논의나 보다 구체적인 정보는 '제2권 에너지'의 4.2절에서 설명된다. 연소로부터의 배출량은 Tier 1에서는 다루지 않는다.

식 4.2

생물학적 처리로 인한 N₂O 배출량

$$N_2O \text{ 배출량} = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3}$$

여기서,

N₂O 배출량 = 인벤토리 연도의 총 N₂O 배출량, Gg-N₂O

M_i = 생물학적 처리 유형 *i* 에 의해 처리된 유기 폐기물의 총량, Gg

EF = 처리 *i* 에 대한 배출계수, g-N₂O/kg-처리된 폐기물

i = 퇴비화 또는 혐기성 소화

이 카테고리에서 3가지 tier는 아래와 같이 요약된다.

Tier 1: Tier 1은 IPCC 배출계수 기본값을 사용한다.

Tier 2: Tier 2에서는 대표적인 측정값에 근거한 국가별 배출계수가 사용된다.

Tier 3: Tier 3 방법은 시설이나 매립지 고유의 측정값에 근거한다(온라인이나 주기적으로).

4.1.2 활동도 자료의 선택

생물학적 처리에 대한 활동도 자료는 국가의 통계에 근거할 수 있다. 생물학적 처리에 대한 자료는 폐기물 관리를 담당하는 도시나 지방 당국, 폐기물 관리 회사로부터 수집할 수 있다. '제2장 폐기물 발생, 조성, 관리 자료'의 표 2.1은 생물학적 처리에 대한 지역 기본값을 제공한다. 일부 국가에서 국가별 기본값은 이 책의 첨부 2A.1에 나타나 있다. 이러한 자료들은 출발점으로 사용할 수 있다. 해당 국가에서 자국의 자료나 매년, 혹은 주기적으로 수집된 자료를 이용할 수 있는 경우에는, 이를 활용하는 것이 우수실행(*good practice*)이다.

4.1.3 배출계수의 선택

4.1.3.1 Tier 1

바이오 가스 시설에서 퇴비화 및 혐기성 소화로 인한 배출량은, 퇴비화되는 폐기물의 성상, 사용된 물질(나무 조각이나 토탄과 같은)의 양과 유형, 공정 중의 온도, 수분 함량, 포기(aeration) 등의 변수(factor)에 따라 달라진다.

표 4.1은 Tier 1 방법에서 생물학적 처리로 인한 CH₄와 N₂O 배출량의 계수 기본값을 제공한다.

표 4.1 폐기물의 생물학적 처리로 인한 CH ₄ 와 N ₂ O 배출량에 대한 배출계수 기본값					
생물학적 처리 유형	CH ₄ 배출계수 (g-CH ₄ /kg-처리된 폐기물)		N ₂ O 배출계수 (g-N ₂ O/kg-처리된 폐기물)		비고
	건량 기준	습량 기준	건량 기준	습량 기준	
퇴비화	10 (0.08-20)	4 (0.03-8)	0.6 (0.2-1.6)	0.3 (0.06-0.6)	처리된 폐기물에 대한 가정: 건조 물질에서의 DOC는 25-50%, 건조물질에서의 N은 2%, 수분 함량 60%. 건조 폐기물의 배출계수는 수분함량 60%를 가정한 젖은 폐기물의 배출계수로부터 산정된다.
바이오가 스 시설에서 의 혐기성 소화	2 (0-20)	1 (0-8)	무시할 수 있다고 가정	무시할 수 있다고 가정	

출처: Arnold, M.(2005) Personal communication; Beck-Friis (2002); Detzel *et al.* (2003); Petersen *et al.* 1998; Hellebrand 1998; Hogg, D. (2002); Vesterinen (1996).

MB 처리로부터의 배출량은 생물학적 처리에 대한 표 4.1의 기본값을 사용하여 산정될 수 있다. 기계적 처리 과정에서의 배출량은 무시할 만한 것으로 가정할 수 있다.

4.1.3.2 Tier 2와 Tier 3

Tier 2에서, 배출계수는 해당 국가에서 적용한 관련된 생물학적 처리 방법을 포괄하는 대표성 있는 측정값에 근거해야 한다. Tier 3에서는, 배출계수가 시설별/매립지별 측정값에 근거한다(온라인 상이나 주기적으로).

4.2 완전성

생물학적 처리가 이루어지는 곳에서 이로 인한 CH_4 와 N_2O 배출량을 보고하는 것은, SWDS로부터의 배출량과 폐기물 소각량을 보고한 내용을 보완할 것이며, 폐기물 부문에 존재하는 모든 배출원을 완벽하게 포함할 것이다. 이러한 보고는 생물학적 처리가 많이 이루어지거나 그러할 예정인 국가에서 특히 중요하다.

4.3 일관된 시계열 개발

기존의 IPCC 가이드라인에는 생물학적 처리로 인한 배출량을 산정하고 보고하는 데 필요한 방법론적 지침을 기술하지 않았으므로, 동일한 방법을 사용하여 전체 시계열을 산정하는 것을 권고한다. 이전 연도에 대한 활동도 자료는 모든 국가에서 이용 가능하지 않을 수 없다. 또한 생물학적 처리에 대한 현재의 자료는 매년 수집된 것이 아닐 수 있다. 결측 자료를 구하는 방법은 '제1권 제5장 시계열의 일관성'에서 서술된다.

배출계수 기본값은 한정된 수의 연구물에 근거한다. 향후, 자료의 이용도가 개선될 것으로 기대된다. 배출계수를 개선하기 위해서는, 가능한 한 최신의 과학적 정보를 이용해야 한다. 그 후, 전체 시계열에 대한 산정값이 재계산되어야 한다.

4.4 불확도 평가

활동도 자료의 불확도는 자료가 어떻게 수집되었는가에 따라 달라질 것이다. 폐기물 발생량과 생물학적으로 처리된 폐기물의 분율에 대한 불확도 산정값은, SWDS에 매립된 MSW에 대한 방법과 동일하게 산정될 수 있다(표 3.5 참조). 불확도는 해당 국가의 자료 수집의 질에 따라 달라진다.

배출계수 기본값의 불확도는 표 4.1에 주어진 범위를 사용하여 산정될 수 있다. 국가별 배출계수의 불확도는 배출계수를 결정하기 위해 사용되는 시료 채취 디자인 및 측정 기술에 따라 달라질 것이다.

4.5 QA/QC

'제3장 고형 폐기물 매립'의 3.8절에서 기술된 QA/QC 조건은 폐기물의 생물학적 처리에 대해서도 적용할 수 있다.

4.6 보고 및 문서화

이 가이드라인의 제1권의 6장 'QA/QC와 증명'의 6.11절에 개관된 바처럼, 국가의 온실가스 인벤토리를 작성하는 데 필요한 모든 정보를 문서화하고 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 아래 문단에서는, 이 카테고리에 관련된 특정한 문서화와 보고의 몇 가지 예를 설명하고 있다.

- 활동도 자료의 출처를 기술하고 참조하여야 한다. 수집 빈도와 범위에 대한 정보(예: 가정에서의 퇴비화가 포함되는지의 여부)를 제공해야 한다.
- 가능하다면, 퇴비화되거나 혐기적으로 처리된 폐기물 유형에 관한 정보(예: 음식 쓰레기, 정원 및 공원 폐기물)를 제공해야 한다.
- 국가별 배출계수에 대해 입증하고 참조하여야 한다.
- 생물학적 처리의 보고가 몇 가지 부문나 카테고리로 나누어져 행해지는 경우에는, 이중산정 또는 누락을 방지하기 위하여, 보고는 모든 관련된 부문/카테고리 하에서 명백하게 설명되어야 한다.

생물학적 처리로 인한 온실가스 배출량의 산정값에 대해 개발된 워크시트는 본 권의 마지막에 포함되어 있다. 이들 워크시트는 산정값을 계산하기 위해 사용되는 활동도 자료와 배출계수에 대한 정보를 포함한다.

참고문헌

- Arnold, M. (2005). Espoo: VTT Processes: Unpublished material from measurements from biowaste composts. (Personal communication).
- Beck-Friis, B.G. (2001). *Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane during composting of organic household waste*. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. 331 p. (Doctoral Thesis).
- Binner, E. (2002). *The impact of Mechanical-Biological Pretreatment on the Landfill Behaviour of Solid Wastes*. Workshop Biowaste. Brussels, 8-10.04.2002. 16 p.
- Detzel, A., Vogt, R., Fehrenbach, H., Knappe, F. and Gromke, U. (2003). *Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung und internationale Richtlinien: Teilbericht Abfall/Abwasser*. IFEU Institut - Öko-Institut e.V. 77 p.
- Hellebrand, H.J. (1998). "Emissions of nitrous oxide and other trace gases during composting of grass and green waste", *J. agric, Engng Res.*, 69:365-375.
- Hogg, D., Favoino, E., Nielsen, N., Thompson, J., Wood, K., Penschke, A., Economides, D. and Papageorgiou, S., (2002). *Economic analysis of options for managing biodegradable municipal waste*, Final Report to the European Commission, Eunomia Research & Consulting, Bristol, UK.
- Kaartinen, T. (2004). *Sustainable disposal of residual fractions of MSW to future landfills*. Espoo: Technical University of Helsinki. (Master of Science Thesis). In Finnish.
- Petersen, S.O., Lind, A.M. and Sommer, S.G. (1998). "Nitrogen and organic matter losses during storage of cattle and pig manure", *J. Agric. Sci.*, 130: 69-79.
- Vesterinen, R. (1996): *Impact of waste management alternatives on greenhouse gas emissions: Greenhouse gas emissions from composting*. Jyväskylä: VTT Energy. Research report ENE38/T0018/96. (In Finnish). 30p.

제5장

폐기물의 소각 및 노천 소각

저자

G. H. Sabin Guendehou (베닌), Matthias Koch (독일)

Lief Hockstad (미국), Riitta Pipatti (핀란드), Masato Yamada (일본)

목 차

5. 폐기물의 소각 및 노천 소각.....	5.5
5.1 서론.....	5.5
5.2 방법론적 이슈들.....	5.6
5.2.1 CO ₂ 배출량 산정을 위한 방법론의 선택.....	5.7
5.2.2 CH ₄ 배출량 산정을 위한 방법론의 선택.....	5.13
5.2.3 N ₂ O 배출량 산정을 위한 방법론의 선택.....	5.15
5.3 활동도 자료의 선택.....	5.17
5.3.1 소각되는 폐기물 양.....	5.18
5.3.2 노천 소각되는 폐기물 양.....	5.18
5.3.3 건조물질 함량.....	5.20
5.4 배출계수의 선택.....	5.21
5.4.1 CO ₂ 배출계수.....	5.21
5.4.2 CH ₄ 배출계수.....	5.24
5.4.3 N ₂ O 배출계수.....	5.25
5.5 완전성.....	5.27
5.6 일관된 시계열의 개발.....	5.28
5.7 불확도 평가.....	5.28
5.7.1 배출계수의 불확도.....	5.29
5.7.2 활동도 자료의 불확도.....	5.29
5.8 QA/QC, 보고 및 문서화.....	5.30
5.8.1 인벤토리 품질보증/품질관리(QA/QC).....	5.30
5.8.2 보고 및 문서화.....	5.30
참고문헌.....	5.32

식

식 5.1 소각되는 폐기물 총량에 근거한 CO ₂ 배출량 산정.....	5.8
식 5.2 도시 고형폐기물(MSW) 조성에 근거한 CO ₂ 배출량 산정.....	5.8
식 5.3 화석 액체 폐기물의 소각으로부터의 CO ₂ 배출량.....	5.12
식 5.4 소각되는 폐기물 총량에 근거한 CH ₄ 배출량 산정.....	5.14
식 5.5 소각장에 투입되는 폐기물에 근거한 N ₂ O 배출량 산정.....	5.16
식 5.6 영향 변수들에 근거한 N ₂ O 배출량 산정.....	5.17
식 5.7 노천 소각되는 도시 고형폐기물의 총량.....	5.19
식 5.8 MSW 중 건조물질 함량.....	5.21
식 5.9 MSW 중 총 탄소함량.....	5.22
식 5.10 MSW 중 화석탄소비율(FCF).....	5.23

그림

그림 5.1 폐기물 소각과 노천소각으로부터의 CO ₂ 배출량 산정을 위한 의사결정도.....	5.11
그림 5.2 폐기물의 소각과 노천소각으로부터의 CH ₄ 와 N ₂ O 배출량 산정을 위한 의사결정도.....	5.14

표

표 5.1 다른 Tier 수준의 자료 출처 개요.....	5.11
표 5.2 폐기물의 소각 및 노천소각에 대한 CO ₂ 배출계수에 대한 기본값 자료.....	5.21
표 5.3 MSW의 소각에 대한 CH ₄ 배출계수.....	5.24
표 5.4 MSW의 소각에 대한 N ₂ O 배출계수.....	5.25
표 5.5 슬러지 및 산업폐기물의 소각에 대한 N ₂ O 배출계수.....	5.26
표 5.6 다양한 폐기물 유형 및 관리 실태에 대한 N ₂ O 배출계수 기본값.....	5.27

박스

Box 5.1 MSW _B 산정의 예.....	5.20
-------------------------------------	------

5. 폐기물의 소각 및 노천소각

5.1 서론

폐기물 소각은 통제되는 소각 시설에서 고형 및 액상 폐기물의 연소로 정의된다. 현대의 폐기물 소각장은 큰 굴뚝과 특별히 설계된 소각 챔버가 있다. 이 특별히 설계된 소각 챔버는 보다 완벽한 연소를 위해 공기를 주입하는 동안 높은 연소온도, 긴 체류시간, 효율적인 폐기물 교반이 이루어진다. 소각되는 폐기물 유형은 도시고형폐기물(MSW), 산업폐기물, 유해폐기물, 병원 폐기물, 하수 슬러지를 포함한다. MSW의 소각은 현재 선진국에서 더 보편적이고, 병원 폐기물의 소각은 선진국과 개발도상국 모두 보편적으로 행해진다.

에너지 회수가 없는 폐기물 소각으로부터의 배출량은 '폐기물 부문'에서 보고되고, 반면 에너지를 회수하는 폐기물 소각으로부터의 배출량은 '에너지 부문'에서 화석 및 생물발생적 이산화탄소(CO_2) 배출량 사이의 구분과 함께 다루어진다. 5장에서 설명되는 방법론은 에너지 회수의 유무와 상관없이 일반적으로 응용될 수 있다. 기타 연료로 특정 폐기물의 일부를 소각하는 것은 이 장에서는 언급되지 않고 '제 2권 에너지'에서 서술된다. 농업 잔여물의 소각 배출량은 '제4권 제5장 AFOLU 부문'에서 논의된다.

폐기물의 노천소각은 연기 및 기타 배출물질이 굴뚝을 통과하지 않고 직접 대기로 빠져나가는, 오픈된 곳이나 오픈된 쓰레기 투하장에서 일어나는 종이, 목재, 플라스틱, 섬유, 고무 및 기타 쓰레기와 같은 불필요한 연소성 물질의 연소로 정의될 수 있다. 또한 노천 소각은, 적당한 온도를 유지하기 위해 연소 공기를 조절하지 않고 완전 연소를 위한 충분한 체류시간을 제공하지 않는 소각 장치를 포함하기도 한다. 이러한 폐기물 관리 방법은 많은 개발도상국에서 사용되고 있는 반면에, 선진국에서는 노천소각이 엄격히 규제되거나 그렇지 않을 경우에는 도시보다 농촌지역에서 더 빈번하게 일어난다.

폐기물 소각과 노천소각은 다른 유형의 연소와 마찬가지로 온실가스 배출의 배출원이다. 배출되는 관련 가스는 CO_2 , CH_4 , N_2O 를 포함한다. 일반적으로 폐기물 소각 시 CO_2 의 배출량은 CH_4 와 N_2O 보다 더 많다.

1996 가이드라인(IPCC, 1997)에 따르면, 화석연료로 인한 폐기물(예: 플라스틱, 특정 섬유, 고무, 액체 용매, 폐유) 내 탄소의 소각 및 노천 소각시 산화로 인해 배출되는 CO_2 의 양은 순 배출량으로 고려되어야 하고, 국가별 CO_2 배출량 산정값에 포함되어야 한다. 폐기물에 포함되는 바이오매스 물질(예: 종이, 음식, 목재)의 연소 시 배출되는 CO_2 는, 생물발생적 배출량이고, 국가별 총배출량 산정값에 포함되어서는 안 된다. 그러나 폐기물 소각이 에너지 목적으로 사용된다면, 화석 및 생물발생적 CO_2 의 배출량을 산정하여야 한다. 에너지 부문에서는 화석 CO_2 만이 국가 배출량에 포함되어야 하는 반면, 생물발생적 CO_2 는 에너지 부문에서 정보 항목(information item)으로써 다루어져야 한다. 뿐만 아니라 연소나 어떤 다른 요인이 살아있는 바이오매스(예: 삼림)에 존재하는 총 탄소량의 장기적인 저감을 유발한다면, 이러한 탄소의 순 배출량은 2006 가이드라인의 '농업, 임업과 기타 토지 이용(AFOLU)'권에서 서술된 CO_2 배출량의 계산에서 분명히 나타나야 한다.

본 장은 모든 형태의 연소 가능한 폐기물이 소각되거나 노천 소각될 때 배출되는 CO₂, CH₄, N₂O의 양을 산정하고 보고하기 위한 방법론을 선택하는 데 필요한 지침을 제공한다. 가능한 경우에는, 활동도 자료, 배출계수, 다른 변수의 기본값도 제시한다.

비메탄 휘발성 유기화합물(NMVOCs), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x), 황산화물(SO_x) 등의 연소 시 배출되는 전형적인 대기 오염물질은 기존의 배출 인벤토리 시스템에 의해 다루어진다. 그러므로 IPCC는 여기에 이러한 대기물질에 대한 새로운 방법론을 제시하지는 않으나, 국가별 전문가나 인벤토리 작성자가 국제적 협의 하에 기존에 발표된 방법들을 사용할 것을 권고한다. 최근의 논문에서 제안하는 몇 가지 주요 방법들은 EMEP/CORINAIR 가이드북(EMEP 2004), US EPA의 대기오염물질 배출요인 편집, AP-42, 5판(US EPA's Compilation of Air Pollutant Emissions Factors)(USEPA, 1995), EPA 배출 인벤토리 향상 프로그램 기술 리포트 시리즈, Vol.III 16장: 노천 소각(EPA Emission Inventory Improvement Program Technical Report Series)(USEPA, 2001)이다.

폐기물 소각과 노천 소각 시 배출되는 NO_x로 인해 토양으로의 질소 침착 변환율에 기인하는 간접적인 N₂O 배출량을 산정하는 것은 이 장의 5.4.3절에서 논의된다. 간접적인 N₂O 배출량을 보고할 때 활용되는 일반적인 배경과 정보는 제1권 제7장에서 서술된다.

5.2 방법론적 이슈들

방법의 선택은 폐기물 소각과 노천소각이 국가의 주 카테고리(key categories)인지의 여부와 국가 고유 및 시설 고유의 정보를 어느 정도까지 이용할 수 있거나 수집할 수 있는지에 따라 달라진다.

폐기물 소각의 경우, 가장 정확한 배출량 산정은 시설 대 시설을 기반으로 하거나, 각각의 폐기물 카테고리(예: MSW, 하수슬러지, 산업폐기물, 병원 폐기물과 유해폐기물을 포함한 기타 폐기물)별로 배출량을 결정함으로써 개발될 수 있다. 배출수준에 영향을 주는 요인에 따라, 소각과 노천소각시 CO₂, CH₄, N₂O의 양을 산정하는 방법은 달라진다. 소각되는 폐기물에서 화석 탄소량의 산정값은 CO₂ 배출량을 결정하는 가장 중요한 인자이다. non-CO₂의 배출량은 소각 과정 중의 기술과 조건에 따라 더 많이 달라진다.

때때로 일부 국가에서는 고형 폐기물 매립지에서 폐기물을 고의적으로 소각하는 방법이 사용한다. 이러한 과정을 통한 배출량과 비교의적 화재(고형폐기물처분장에 대한 우연한 화재)로 인한 배출량은, 폐기물의 노천소각에 관한 방법론과 가이드라인에 따라 산정되고 보고되어야 한다.

소각과 노천 소각을 통해 배출된 온실가스를 계산하기 위한 일반적인 접근방법은 소각 또는 노천 소각되는 폐기물의 건조 중량(가급적 폐기물 유형별로 구별된)을 얻고, 관련된 온실가스 배출계수를 조사하는 것이다(가급적 탄소 함량과 화석 탄소 비율에 관한 국가 고유의 정보로부터). 소각과 노천 소각을 통해 배출되는 CO₂의 경우, 연속적인 접근의 한 예로써 여기에서 설명된다.

- 소각/노천 소각되는 폐기물의 유형을 확인하라. : 소각 및 노천 소각되는 MSW, 하수 슬러지, 산업 고형폐기물, 기타 폐기물(특히 유해폐기물과 병원 폐기물)
- 사용된 방법에 대한 문서화와 자료 출처(예: 폐기물 통계량, 조사, 전문가 판단)를 포함하여, 소각 및 노천 소각되는 폐기물의 양에 대한 자료를 수집하라. : 또한 지역 기본값 자료는 '제2장

표 2.1의 폐기물발생, 조성, 관리 자료'와 첨부 2A.1의 제한된 수의 국가에 대한 국가 고유의 자료에 실려 있다. 기본값 자료는 국가 고유의 자료를 이용할 수 없을 때에 한하여 사용되어야 한다. 노천 소각의 경우, 폐기물의 양은 인구자료에 근거하여 산정될 수 있다. 이것은 5.3.2절에서 서술된다.

- 다른 유형의 폐기물에 대해 건조 물질 함량, 총 탄소 함량, 화석 탄소 비율과 산화 계수(5.4.1.3 절 참조)에 대해 제시된 기본값을 이용하라: MSW의 경우, 가급적 폐기물 조성을 확인하고, 본 권의 2.3절, '폐기물 조성'에 있는 각 MSW 조성 성분(플라스틱, 종이 등)에 대해 제시된 기본값 자료를 사용하여 각각의 건조 물질 함량, 총 탄소 함량, 화석 탄소 비율을 계산하라.
- 고형폐기물의 소각과 노천소각에 의해 배출된 CO₂의 양을 계산하라.
- 이 권의 첨부 1에 제시된 워크시트에 있는 자료를 제공하라.

기타 폐기물 유형과 기타 온실가스의 경우, 이 방법은 폐기물 조성 관점에서 볼 때 도시 고형폐기물과 크게 다르지 않다. 관련 폐기물 소각과 노천 소각의 배출량 산정을 위해 모든 주요 폐기물 유형에 대한 방법과 활동도 자료, 배출계수를 선택하는 것에 대한 자세한 지침은 다음 절에서 개관한다.

5.2.1 CO₂ 배출량 산정을 위한 방법론의 선택

소각과 노천 소각으로 인한 CO₂ 배출량을 산정하기 위해 사용되는 일반적인 방법은 연소된 폐기물 중의 화석 탄소 함량의 산정값에 근거하고, 여기에 산화계수를 곱하고, 나온 값(산화된 화석 탄소의 양)을 CO₂로 변환시켜 주는 것이다. 활동도 자료는 소각로에 투입한 폐기물의 양이나 노천 소각되는 폐기물의 양이고, 배출계수는 화석연료에 기인한 폐기물 중 산화된 탄소함량에 근거한다. 관련 자료는 폐기물의 조성, 폐기물의 양, 건조물질 함량, 총 탄소 함량, 화석 탄소 비율 및 산화계수를 포함한다.

다음 절에서는 폐기물의 소각과 노천 소각으로부터의 CO₂배출량 산정에 적용될 수 있는 tiers를 설명한다. Tiers는 사용되는 폐기물 총량, 배출계수, 변수가 기본값(Tier 1), 국가 고유값(Tier 2a, Tier 2b), 시설 고유값(Tier 3)에 따라 어느 정도로 달라지는지에 따라 구별된다.

5.2.1.1 Tier 1

Tier 1 방법은 소각/노천소각에 의한 CO₂ 배출량이 주 카테고리가 아닐 때 사용되는 간단한 방법이다. 이 방법을 사용하려면 소각/노천 소각된 폐기물 양에 대한 자료가 필요하다¹. 유형별 폐기물(MSW, 하수슬러지, 산업폐기물, 유해·병원성 폐기물과 같은 기타 폐기물)에 대한 특정 변수(건조물질함량, 탄소함량, 화석연료로 인한 탄소 비율과 같은)의 기본값 자료는 이 장의 표 5.2와 제2장 폐기물 조성 2.3절의 표 2.3~2.6에 제시된다. CO₂ 배출량은 건조물질 함량, 총 탄소 함량, 화석 탄소 비율, 산화계수를 고려하여, 소각 또는 노천 소각되는 폐기물 양(습량 기준)의 산정값에 근거하여 계산된다. 연소되는 폐기물 총량에 근거한 방법은 식 5.1에 주어져 있고, MSW 조성에 근거하는 방법은 식 5.2에 제시되어 있다. MSW에 대해서는 식 5.2를 적용하는 것이 더 바람직하지만, 필요한 MSW 자료를 이용할 수 없는 경우에는 대신 식 5.1을 활용해야 한다.

1 이 방법론은 '5.3절 활동도 자료의 선택', '제2장 폐기물 발생, 조성, 관리'에서 설명된다.

식 5.1

소각되는 폐기물 총량에 근거한 CO₂ 배출량 산정

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum (SW_i \cdot dm_i \cdot CF_i \cdot FCF_i \cdot OF_i) \cdot 44/12$$

여기서,

CO₂ 배출량 = 인벤토리 연도의 CO₂배출량, Gg/yrSW_i = 소각되거나 노천 소각되는 i 유형 고형 폐기물의 총량(습량기준), Gg/yrdm_i = 소각되거나 노천 소각되는 폐기물(습량기준) 중 건조 물질 함량, (비율)CF_i = 건조물질 중 탄소 비율(총 탄소 함량), (비율)FCF_i = 총 탄소량 중 화석탄소 비율, (비율)OF_i = 산화계수, (비율)

44/12 = 탄소에 대한 이산화탄소 변환 계수

i = 다음과 같은, 소각/노천 소각되는 폐기물유형:

MSW : 도시 고형폐기물(식 5.2를 사용하여 산정하지 않는다면), ISW : 산업 고형폐기물,

SS : 하수 슬러지, HW : 유해 폐기물, CW : 병원 폐기물, 기타(구분되어야 함)

폐기물의 활동도 자료가 건조 물질 기준으로 이용할 수 있다면(더 바람직함), 건조물질 함량과 습량을 분리해서 구별하지 않고 같은 방정식을 사용할 수 있다. 또한 한 국가가 건조물질 중의 화석탄소 분율 자료를 갖고 있다면, CF_i와 FCF_i를 분리해서 제시할 필요가 없으나, 대신 그것들을 하나의 구성요소로 합해야 한다.

MSW의 경우, 식 5.2에서 알 수 있듯이 소각되거나 노천 소각되는 폐기물 중 폐기물 유형/물질(종이, 나무, 플라스틱과 같은)에 따라 CO₂ 배출량을 계산하는 것이 우수실행(*good practice*)이다.

식 5.2

MSW 조성에 근거한 CO₂ 배출량 산정

$$CO_2 \text{ 배출량} = MSW \cdot \sum (WF_j \cdot dm_j \cdot CF_j \cdot FCF_j \cdot OF_j) \cdot 44/12$$

여기서,

CO₂ 배출량 = 인벤토리 연도의 CO₂ 배출량, Gg/yr

MSW = 소각되거나 노천 소각되는 습량 기준의 도시 고형폐기물 총량, Gg/yr

WF_j = MSW 내 구성 성분 j의 폐기물 유형/물질의 비율($\sum WF_j=1$)dm_j = 소각되거나 노천 소각되는 MSW의 구성 성분 j 중 건조 물질 함량, (비율)CF_j = 구성 성분 j의 건조 물질(예: 탄소 함량) 내 탄소 분율FCF_j = 구성 성분 j의 탄소 총량 중 화석 탄소 분율OF_j = 산화계수, (비율)

44/12 = 탄소에 대한 이산화탄소 변환 계수

그리고 $\sum_j WF_j = 1$

j = MSW의 구성 성분(조성) : 종이/판지, 섬유, 음식물쓰레기, 목재, 정원 및 공원 폐기물, 일회용 기저귀, 고무와 가죽, 플라스틱, 금속, 유리, 기타 비활성 폐기물

폐기물 유형/물질에 의한 자료를 이용할 수 없다면, '2.3절 폐기물 조성'에서 주어진 폐기물 조성 기본값을 사용할 수 있다.

만약 소각과 노천소각에 의한 CO₂ 배출량이 주 카테고리라면, 더 높은 단계의 tier를 적용하는 것은 우수실행(good practice)이다.

5.2.1.2 Tier 2

tier 2 방법은 폐기물 생성, 조성, 관리 실태와 관련된 국가 고유의 자료에 기반한다. 여기서는 tier 1 방법에서 서술한 것처럼 식 5.1과 5.2가 적용된다. 폐기물 소각과 노천소각에 의한 CO₂ 배출량이 주 카테고리이거나 보다 상세한 자료가 이용될 수 있거나 수집될 수 있을 때, Tier 2 방법을 사용하는 것이 우수실행(good practice)이다.

Tier 2a에서는 폐기물 조성에 대한 국가 고유의 활동도 자료와 MSW에 대한 기타 변수들에 대한 기본값의 사용을 요구한다(식 5.2). 다른 카테고리의 폐기물의 경우, 양과 관련된 국가 고유의 자료가 필요하다(식 5.1). 다른 변수에 대해서는 기본값 자료를 이용한다 하더라도, 국가 고유의 MSW 조성의 이용은 전체 MSW의 통계량을 이용하는 것에 비해 불확도를 감소시킬 것이다.

Tier 2b는 국가 고유의 폐기물 조성자료와 더불어, 폐기물 유형에 따른 소각/노천 소각되는 폐기물의 양(식 5.1)이나 MSW 조성, 건조 물질함량, 탄소함량, 화석연료로 인한 탄소 분율, 산화계수에 대한 국가 고유의 자료를 필요로 한다(식 5.1). 만약 이들 자료를 이용할 수 있다면, Tier 2b에 따른 산정값은 Tier 2a보다 더 낮은 불확도를 가질 것이다.

폐기물의 노천소각에 대한 Tier 2b 방법은, 국가의 노천 소각 실태에 관련된 배출계수에 대한 연계 측정 프로그램과 함께, Tier 2a에서 언급된 폐기물 관리 책임이 있는 가정, 당국 및 회사에 의해 소각되는 폐기물의 양과 조성에 대하여 매해 상세한 조사가 수반된다.

배출계수가 연소 조건에 따라 달라지기 때문에, 모든 계절을 고려하기 위해서는 그 해의 다른 기간 중에 있는 측정 프로그램을 적용하는 것이 우수실행(good practice)이다. 예를 들어, 우기가 있고 노천 소각을 시행하는 일부 국가에서는 건기가 보다 좋은 소각조건을 갖고 있기 때문에 더 많은 폐기물을 건기에 소각시킨다. 이러한 환경 하에서 배출계수는 계절에 따라 달라질 수 있다.

어떠한 경우이든, 활용된 모든 국가 고유의 방법, 활동도 자료, 변수들이 설명되어야 하고 투명한 방법으로 증명되어야 한다. 문서화는 노천소각의 경우 온도, 바람, 강수량과 같은 대기 변수에 대한 정보뿐만 아니라, 행해진 실험절차, 측정과 분석에 관한 설명을 포함해야 한다.

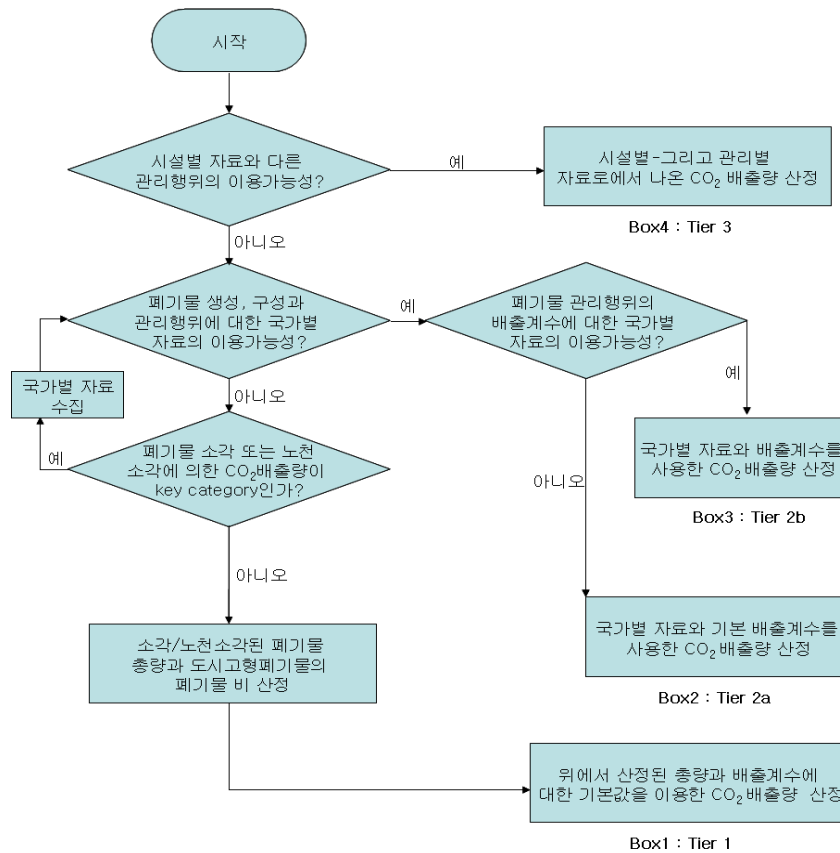
5.2.1.3 Tier 3

Tier 3 방법은 폐기물 소각에 의한 CO₂ 배출량을 산정하기 위해 시설 고유(plant-specific)의 자료를 이용한다. Tier 3에서는 화석연료탄소 함량과 산화계수에 영향을 주는 변수를 고려하는 것이 우수실행(*good practice*)이다. 산화계수에 영향을 주는 변수는 다음과 같다.

- 설치/기술 유형 : 고정상, 스토커, 유동상, 회전로
- 운영모드 : 연속식, 준연속식, 배치형
- 설치 크기
- 소각재 중 탄소함량과 같은 변수들

폐기물 소각에 의한 화석 CO₂의 총 배출량은 모든 시설별 화석 CO₂ 배출량의 합으로 계산된다. 인벤토리에서 모든 유형의 소각로뿐만 아니라 소각된 전량과 모든 폐기물 유형을 포함하는 것이 우수실행(*good practice*)이다. 산정값 계산은 Tier 1과 Tier 2방법이 유사하고, 마지막에는 모든 시설, 설비, 기타 하부 카테고리에서 나온 CO₂ 배출량이 해당 국가에서 폐기물 소각에 의한 총 배출량을 산정하는데 더해진다.

그림 5.1에 있는 의사결정도는 방법을 선택하는 것에 대해 안내해 준다. 선택은 국가 상황과 이용 가능한 자료에 따라 달라질 것이다. 의사결정도의 관리 실체는 소각 및 노천소각에 관련되어 있다.

그림 5.1 폐기물 소각 및 노천소각에 의한 CO₂ 배출량 산정을 위한 의사결정도

* 주 카테고리에 대한 논의와 의사결정도의 사용에 대해서는 제1권 제4장 “주 카테고리의 방법론적 선택과 동일화”(제한된 자원에 대해서는 4.1.2절 참고)을 참고하라.

다음의 표 5.1은 CO₂ 배출량을 계산할 때 기본값이나 국가 고유의 자료를 적용하는 tier 수준에 대해 개관한다.

표 5.1 다른 Tier level의 자료 출처 총람						
자료 출처 Tiers	총 폐기물 질량 (W)	폐기물분율(WF): 주로 MSW에 대한 각 구성요소의 %	건조물질함량 (dm)	탄소분율 (CF)	화석탄소분율 (FCF)	산화계수 (OF)
Tier 3	시설별-/ 관리별	시설별-/ 관리별	시설별-/ 관리별	시설별-/ 관리별	시설별-/ 관리별	시설별-/ 관리별
Tier 2b	국가별	국가별	국가별	국가별	기본값/ 국가별	기본값/ 국가별
Tier 2a	국가별	국가별	기본값	기본값	기본값	기본값
Tier 1	기본값/ 국가별	기본값	기본값	기본값	기본값	기본값

5.2.1.4 화석 액체 폐기물의 소각으로부터의 CO₂ 배출량

화석 액체 폐기물은 광유(mineral oil), 천연가스, 기타 화석연료를 바탕으로 한 산업과 도시 잔류물로 정의된다. 이전에 용매와 윤활유로 사용된 폐기물도 포함된다. 폐수가 소각되지 않는다면 포함하지 않는다(예: 높은 용매 함량 때문에). 생물 발생적(biogenic) 기름과 화석연료 기름은 섞이지 않고 그 탄소의 상당량이 화석연료에서 비롯되지 않았다면, 생물 발생적 액체 폐기물(식품제조과정에서 나온 폐유)은 포함될 필요가 없다.

화석 액체 폐기물은 연소가 일반적인 관리방법으로 취급되는 특정 폐기물 유형으로 고려된다. 일부 국가에서는 고형폐기물(예: 유해폐기물)과 같이 소각되지 않으나 분리해서 처리한다. 많은 경우에 화석연료(액체상) 폐기물은 폐기물 통계에서 고려되지 않는데, 그것은 일부 국가에서 이 폐기물이 5.2.1.1절에서 거론된 주요 폐기물 흐름의 일부에 포함되지 않기 때문이다.

앞선 방정식이 이런 폐기물 유형에 적용될 수 없기 때문에 화석 폐기물은 5.2.1.1절에서 5.2.1.3절까지 고려되지 않는다. 화석 액체 폐기물이 다른 유형의 폐기물(예, 산업폐기물, 유해폐기물)에 포함되지 않는다면, 배출량은 분리해서 계산되어야 한다. 보고 가이드라인에 따르면, 에너지 목적으로 사용되는 경우의 화석 액체 폐기물의 소각에 의한 배출량은 '에너지 권(Energy Volume)'에서 보고된다.

화석연료(액체상)폐기물의 소각에 의한 CO₂ 배출량은 식 5.3을 사용하여 산정될 수 있다.

식 5.3

화석 액체 폐기물의 소각으로부터의 CO₂ 배출량

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum (AL_i \cdot CL_i \cdot OF_i) \cdot 44/12$$

여기서,

CO₂ 배출량 = 화석연료(액체상)폐기물의 소각에 의한 CO₂ 배출량, Gg

AL_i = i 유형의 소각된 화석연료(액체상)폐기물의 양, Gg

CL_i = i 유형의 화석연료(액체상)폐기물의 탄소 함량, 비율

OF_i = i 유형의 화석연료(액체상)폐기물에 대한 산화 계수, 비율

44/12 = 탄소에 대한 이산화탄소 변환계수

화석 액체 폐기물 양이 부피로 나타나 있으면, 밀도를 이용하여 질량으로 변환시켜줘야 한다. 해당 국가에 화석 액체 폐기물의 밀도에 대한 정보를 이용할 수 없다면, 제시된 밀도 기본값을 사용할 수 있다.

화석 액체 폐기물에서 배출되는 CO₂양을 산정하기 위한 3가지 tiers는 다음과 같다.

Tier 1 : 기본값이 표 5.2에 제시되었다.

Tier 2 : 이 tier에서는 각 유형의 화석 액체 폐기물에 대해 소각된 화석 액체 폐기물의 양, 탄소 함량, 국가별 산화계수에 관한 국가별 자료가 필요하다.

Tier 3 : 시설별 자료를 이용할 수 있다면 활용해야 한다. 필요한 자료는 Tier 1과 Tier 2의 경우와 같다. 소각된 화석 액체 폐기물의 총량뿐만 아니라, 화석 액체 폐기물을 소각하는 모든 시설을 고려하여 산정해야 한다.

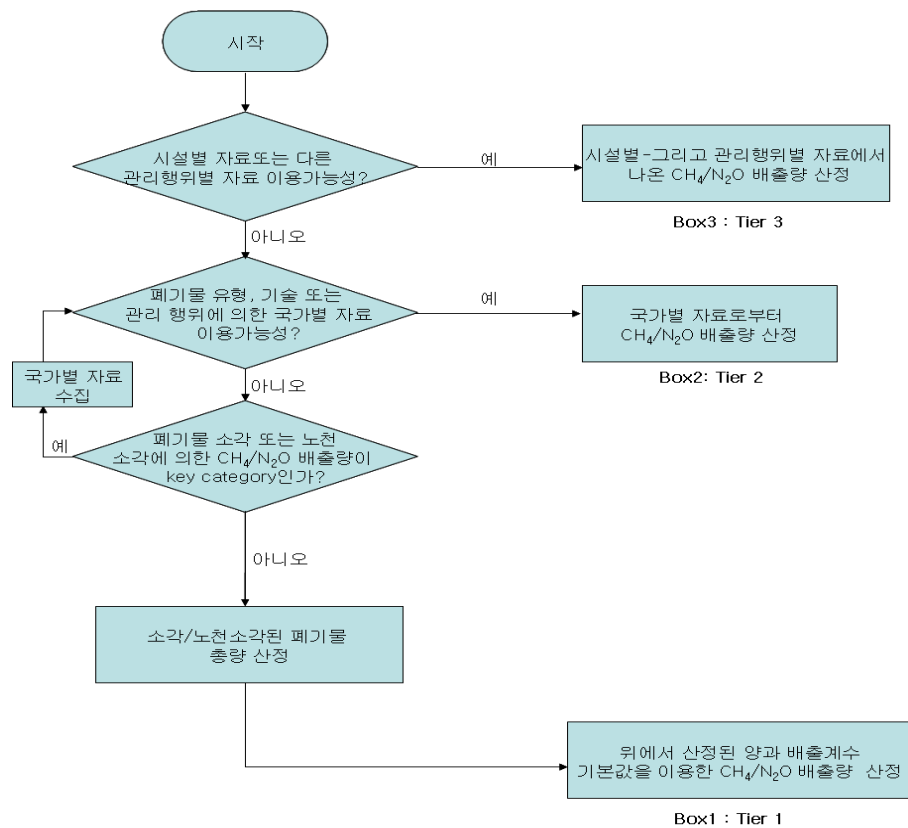
5.2.2 CH₄ 배출량 산정을 위한 방법론의 선택

폐기물의 소각과 노천소각에 의한 CH₄ 배출량은 불완전 연소의 결과이다. 배출량에 영향을 미치는 중요한 인자는 온도, 체류시간, 그리고 공기비(예: 폐기물량과 관련한 공기 부피)이다. CH₄ 배출량은 노천소각과 특히 관계가 있고, 노천소각의 경우 폐기물에 있는 탄소 중 많은 부분이 산화되지 않는다. 폐기물은 매우 불균질하고 열을 발생시키는 수치의 변동이 잦은 저질 연료이기 때문에, 이 조건은 매우 다양할 수 있다.

규모가 크고 잘 작용하는 소각로에서는, CH₄ 배출량이 일반적으로 매우 작다. 제2권의 제2장 고정 연소에서 제시된 CH₄ 배출계수를 적용하는 것이 우수실행(*good practice*)이다.

만약 폐기물 병커에 낮은 산소 수치와 그에 따르는 혐기성 과정이 일어난다면 소각로의 폐기물병커에서 메탄이 생성될 수 있다. 이것은 폐기물이 습하고 장기간 저장되며 잘 교반되지 않은 경우에 국한된다. 저장구역의 가스는 소각실에 공기공급이 되어서, 가스는 소각되고 배출량은 하찮은 수준으로 줄어든다(BREF, 2005).

그림 5.2는 소각과 노천소각에 의한 CH₄와 N₂O 배출량 산정을 위한 의사결정도를 보여준다.

그림 5.2 소각과 노천소각에 의한 CH₄와 N₂O 배출량 산정을 위한 의사결정도

* 주 카테고리에 대한 논의와 의사결정도의 사용에 대해서는 제1권 제4장 “방법론적 선택과 주 카테고리의 구체화”를 참고하라.(제한된 자원에 대해서는 4.1.2절 참고)

* Tier 1과 Tier 2 방법은 동일한 접근법을 따르지만, 국가별 자료가 적용되는 정도가 다르다.

5.2.2.1 Tier 1

CH₄ 배출량 계산은 식 5.4에서 나타난 것처럼, 소각/노천소각된 폐기물의 양과 관련 배출계수에 근거한다.

식 5.4 연소된 총 폐기물 총량을 바탕으로 한 CH₄ 배출량 산정 $CH_4 \text{ 배출량} = \sum (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^6$

여기서,

CH₄ 배출량 = 인벤토리 연도의 CH₄ 배출량, Gg/yr

IW_i = i 유형 고형폐기물의 소각되거나 노천소각된 양, Gg/yr

EF_i = 총 CH₄ 배출계수, 폐기물의 kgCH₄/Gg

10⁶ = 킬로그램을 기가그램으로 변환시키는 계수

i = 소각/노천소각된 폐기물의 카테고리나 유형, 구체적으로는 다음과 같다.

MSW : 도시고형폐기물, ISW : 산업고형폐기물, HW : 유해폐기물

CW : 병원성 폐기물, SS : 하수슬러지, 기타(구분되어야 함.)

폐기물 양과 조성은 소각/노천소각에 의한 CO₂ 배출량을 산정할 때 사용한 활동도 자료와 일치해야 한다.

배출계수 기본값은 폐기물 소각과 노천소각에 대한 '5.4.2절의 CH₄ 배출계수' 하에서 설명된다.

폐기물의 소각 또는 노천소각에 의한 CH₄ 배출량이 주 카테고리라면, 더 높은 단계의 Tier를 사용하는 것이 우수실행(*good practice*)이다.

5.2.2.2 Tier 2

Tier 2는 Tier 1과 비슷하지만 국가별 자료를 고려한다. 또한 Tier 2는 Tier 1과 같이 식 5.4를 따른다. 인벤토리 편집자는 활동도 자료, 폐기물에 의한 배출계수, 기술이나 관리 실태를 포함한 국가별 자료를 이용해야 한다.

노천소각이나 배치형(batch-type)/반연속식(semi-continuous) 소각로의 비율이 높은 국가에서는 더욱더 CH₄ 배출계수 고려해야 한다.

5.2.2.3 Tier 3

시설별 자료를 이용할 수 있을 때는 Tier 3 방법을 사용하는 것이 우수실행(*good practice*)이다. 이 경우, 모든 소각로를 고려해야 하고, 배출량을 모두 합해야 한다.

그림 5.2는 폐기물의 소각과 노천소각에 의한 CH₄ 배출량을 산정하기 위한 일반적인 의사결정도를 제공한다. 만약 국가별 또는 시설별 CH₄ 배출인자를 이용할 수 있다면 가장 좋은 결과가 얻어질 것이다. 폐기물 소각과 노천소각에 의한 CH₄에 대한 정보 중에서 Tier 3의 요구조건을 만족시키기 위한 내용은 현재 빈약한 상태이다.

만약 연소 과정시 유출량 중 온실가스 농도가 연소 과정시 대기흡입공기 중의 가스의 농도와 같거나 더 적다면 배출량은 0으로 보고될 수 있다. '(-) 배출량'으로 이 배출량을 보고하는 것은 공기 흡입과 대기 배출량 두 가지 모두에 대하여 지속적인 고질의 모니터링을 필요로 한다.

5.2.3 N₂O 배출량 산정을 위한 방법론의 선택

아산화질소는 500~950℃사이의 상대적으로 낮은 연소 온도에서 일어나는 연소 과정 중에 방출된다. 배출량에 영향을 미치는 다른 중요한 인자는 대기 오염제어장치 유형, 폐기물의 유형과 질소 함량, 과잉 공기 분율이다(BREF, 2005; Korhonen et al., 2001; Löffler et al., 2002; Kilpinen, 2002; Tsupari et al., 2005). 국가별 자료가 화석 액체 폐기물의 연소에 의한 N₂O 배출량을 표시하지 않는다면, 이 배출량은 무시될 수 있다.

그림 5.2는 폐기물의 소각과 노천소각에 의한 N₂O 배출량의 산정을 위한 일반적인 의사결정도를 제공한다. 만약 시설별 모니터링 자료를 기초로 각 시설에 대해 N₂O 배출량을 결정할 수 있고 이를 합할 수만 있다면, 가장 정확한 결과가 얻어질 것이다.

5.2.3.1 Tier 1

N₂O 배출량 계산은 소각로에 투입된 폐기물이나 노천 소각된 폐기물의 양, 그리고 배출계수 기본값을 근거로 한다. 이러한 관계는 다음의 식 5.5에 요약된다.

식 5.5

소각로에 폐기물 투입을 기반으로 한 N₂O 배출량 산정

$$N_2O \text{ 배출량} = \sum(IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^6$$

여기서,

N₂O 배출량 = 인벤토리 연도의 N₂O 배출량, Gg/yr

IW_i = i 유형 폐기물의 소각/노천 소각되는 양, Gg/yr

EF_i = i 유형 폐기물의 N₂O 배출계수, 폐기물의 kg N₂O/Gg

10⁶ = 킬로그램에서 기가그램으로 변환시키는 인자

i = 소각/노천 소각되는 폐기물 카테고리 또는 유형, 구체적으로는 다음과 같다.

MSW : 도시고형폐기물, ISW : 산업고형폐기물, HW : 유해폐기물

CW : 병원성폐기물, SS : 하수슬러지, 기타(구분되어야 함)

폐기물의 양과 조성은 CO₂와 CH₄의 배출량을 계산할 때 사용한 활동도 자료와 일치해야 한다.

배출계수 기본값은 5.4.3절에 제공된다. 그러나 인벤토리 작성자는 소각/노천소각에 의한 N₂O 배출량에 대한 배출계수 기본값은 상대적으로 더 높은 수준의 불확도를 가진다는 것을 인식해야 한다. 만약 국가별 자료가 5.8절과 제1권 제6장 'QA/QC와 검증'에서 제시된 QA/QC 기준을 충족한다면 국가별 자료를 이용하는 것이 더 바람직하다. 만약 폐기물의 소각 또는 노천소각에 의한 N₂O 배출량이 주 카테고리라면, 더 높은 단계의 Tier를 이용하는 것이 우수실행(*good practice*)이다.

5.2.3.2 Tier 2

Tier2는 Tier1과 같은 방법을 이용하나, 배출계수를 얻기 위해서는 국가별 자료를 이용한다. 실제로는 N₂O 배출계수는 배출량 측정에 의해 얻어져야 한다. 측정된 자료가 이용될 수 없을 때, 다른 믿을만한 방법이 배출계수를 개발하는 데 이용될 수 있다.

N₂O 배출계수는 시설 유형과 폐기물 유형에 따라 달라진다. 유동상 시설에 대한 배출계수는 화력자(*grate furnaces*) 시설보다 더 높다. MSW의 배출계수는 일반적으로 하수 슬러지보다 낮다. N₂O 배출계수의 범위는 소각로에서 N₂O배출량, 온도, 폐기물의 체류시간을 증가시킬 수도 있는 일부 NO_x 저감기술에서 사용된 암모니아 또는 요소 분사와 같은 저감 기술을 반영한다.

Tier 2은 국가별 배출인자를 이용할 수 있을 때 적용할 수 있으나, 시설별 상세한 정보 또는 관리 실태에 따라 더 달라질 수 있는 정보는 이용할 수 없다.

5.2.3.3 Tier 3

Tier 3 방법은 굴뚝 가스농도에 대한 현장별 자료를 근거로 한다. 식 5.6은 관련된 영향인자를 표시하고, N₂O 배출량을 산정할 수 있다.

식 5.6

영향인자에 근거한 N₂O 배출량 산정

$$N_2O \text{ 배출량} = \sum (IW_i \cdot EC_i \cdot FGV_i) \cdot 10^{-9}$$

여기서,

N₂O 배출량 = 인벤토리 연도의 N₂O 배출량, Gg/yr

IW_i = i 유형의 소각된 폐기물 양

EC_i = i 유형 폐기물 소각시 배출되는 굴뚝 가스중의 N₂O 배출농도, mgN₂O/m³

FGV_i = i 유형 폐기물의 소각된 양에 의한 굴뚝가스 부피, m³/Mg

10⁻⁹ = 기가그램으로의 변환인자

i = 소각되는/노천 소각되는 폐기물의 카테고리나 유형. 구체적으로는 다음과 같다.

MSW : 도시고형폐기물, ISW : 산업고형폐기물, HW : 유해폐기물

CW : 병원성 폐기물, SS : 하수 슬러지, 기타(구분되어야 함)

Tier 3는 시설별 또는 다양한 관리 실태에 대한 자료를 이용할 수 있을 때 가장 상세하고 정확한 접근방법을 제시한다. 굴뚝 가스에서 N₂O 배출량의 농도와 굴뚝가스 부피에 대한 자료를 필요로 한다. 연속적인 배출 모니터링은 기술적으로 가능하나 비용-효율 측면에서는 필요가 없다. 주기적인 측정은 다양한 N₂O 생성(즉, 폐기물중의 질소함량 때문)과 소각로의 서로 다른 유형의 운영조건(예, 연소온도, 하루 중 정지유무)을 설명할 수 있을 만큼 충분히 수행되어야 한다.

5.3 활동도 자료의 선택

폐기물 생성, 관리 실태와 폐기물 조성에 대한 기본값, 그리고 고형 폐기물 처리와 매립에 대한 활동도 자료 수집을 위한 일반적인 지침사항은 제2장 '폐기물 생성, 조성과 관리'에 제시된다. 폐기물 소각과 노천소각에 관련된 배경을 설명하기 위해서는 소각/노천 소각되는 폐기물의 양, 관련된 폐기물 비율(조성)과 건조 물질 함량 등의 활동도 자료가 필요하다.

연소된 폐기물의 성상과 적용된 관리 방법이 CO₂, CH₄와 N₂O 배출량과 관련이 있을 때, 활동도 자료의 선택은 활동도 자료와 관련된 공통 변수에 따라 서술되고, 배출되는 각각의 가스에 대해 독립적으로 서술되지는 않는다. 게다가, 폐기물 조성은 특히 CO₂ 배출량과 관계가 있다. N₂O 배출량은 주로 기술(technology), 연소 온도와 폐기물 조성에 의해 결정된다. 연소의 완전성(온도, 산소, 체류시간)은 특히 CH₄ 배출량과 관련이 있다. 질소 함량과 기술별 활동도 자료는 더 높은 수준의 Tier와 관계가 있고, 자료(시설 조사, 연구프로젝트 등)를 수집하기 위한 국가별 계획이 수립될 필요가 있다. 관리 실태별 자료를 이용할 수 없을 때에는, 소각되거나 노천 소각되는 MSW에 대한 기본값으로 해당 국가에서 발생된 MSW의 조성을 사용할 수 있다. 만약 소각 되거나 노천

소각되는 폐기물 조성 자료를 이용할 수 있다면(Tier 2), 더 정확하게 배출량을 산정할 수 있다. 자료를 이용할 수 있다면, 소각/노천 소각되는 폐기물의 조성과 폐기물 관리시스템으로 도입된 모든 폐기물의 조성 간에 구별을 하는 것이 좋다. 만약 MSW(예, 폐지)나 산업폐기물 내의 특정 폐기물 성상/물질이 분리되어서 소각된다면, 소각되거나 노천 소각되는 비율에 대한 국가별 자료는 이러한 점을 고려해야 한다.

국가별 자료의 대표성에 대해서는 특히 주의해야 한다. 이상적으로는, 이용한 자료가 소각되고 노천 소각되는 폐기물에 대해 대표성이 있어야 한다. 만약 그런 자료를 활용할 수 없다면, 폐기물 성상이나 사용된 소각기술에 따른 차이가 없는 국가별 자료가 기본값 자료보다 더욱 더 적합하다.

자료 수집에 적용된 시료 채취, 측정, 폐기물 분류 연구의 결과를 분명하게 기록해야 하고, 5.8절에 기술된 QA/QC가 적용하여야 한다.

개발도상국에서는 폐기물 양과 처리 실태에 대한 기본적인 자료를 이용하지 못할 수도 있다. 일부 개발도상국에서는 폐기물 소각이 소량으로 이루어질 수도 있다. 그러므로 폐기물의 노천소각에 의한 배출량은 구체적으로 고려되어야 하고(5.3.2절 참조), 반면에 소각에 의한 배출량은 관련이 있는 경우라면 측정되어야 한다. 만약 소각에 의한 배출량을 무시할 수 있는 것으로 가정한다면, 그렇게 생각하는 이유를 분명하게 기술하고 이에 대해서는 인벤토리 편집자가 문서화하여야 한다.

5.3.1 소각되는 폐기물 양

소각되는 폐기물 양에 대한 자료의 획득은 폐기물 소각에 대한 배출량 인벤토리를 준비하기 위한 필요조건이다. 폐기물 소각을 이용하는 여러 국가에서는 MSW의 양과 소각되는 폐기물의 다른 성상에 대한 시설별 자료를 갖고 있어야 한다. 이 소각시설들 중 일부에서(예, 화학제약산업에 있는 현장 소각로) 소각된 폐기물은 폐기물 통계에 포함되지 않을 수 있기 때문에, 유해폐기물과 병행성 폐기물의 경우 활동도 자료를 얻기 어려울 수도 있다. 이러한 폐기물 성상의 경우, 시설별 자료를 이용할 수 없더라도 폐기물 관리국(waste administration)을 통해 소각되는 폐기물 총량에 대한 전반적인 자료를 얻을 수 있다.

국가별 자료를 이용할 수 없을 때에는, 유사한 조건을 가진 각 지역이나 주변 국가로부터 '제2장 2.2절 폐기물 발생과 관리 자료(특히 표 2.1, 2.3, 2.4 참조)'와 '부록 2A.1 : 폐기물 발생과 관리 자료-국가와 지역별 평균에 따라'에서 주어진 기본값 자료를 사용할 수 있다.

에너지, 폐기물 또는 산업 영역에서 이루어지는 배출량 보고와 구별하기 위해서는, 정확한 바운더리 시스템을 적용하는 것이 좋다. 또한 농업잔류물 소각은 AFOLU 부문에서 기술되어야 한다. '5.8.2절 보고서 작성과 문서화'를 참고하라.

5.3.2 노천 소각되는 폐기물의 양

노천 소각되는 폐기물의 양은, 노천 소각 폐기물에 의한 배출량을 산정하기 위해 필요한 가장 중요한 활동도 자료이다. 폐기물 양에 관한 자료를 이용할 수 없는 곳에서는, 정기 조사, 연구 프로젝트, 전문가 판단에 의한 자료와 같은 대안적 방법을 통해 적절한 설명과 문서화 과정을 거쳐 소

각된 폐기물의 총량을 산정할 수 있다. 외삽법과 내삽법은 자료를 이용할 수 없는 수년 간의 산정 값을 얻는 데 이용할 수 있다. 인구와 경제 관련 자료도 활용할 수 있다.

다음의 식 5.7은 노천 소각되는 MSW의 총량을 산정하는 데 사용할 수 있다.

식 5.7

노천 소각되는 MSW의 총량

$$MSW_B = P \cdot F_{frac} \cdot MSW_P \cdot B_{frac} \cdot 365 \cdot 10^6$$

여기서,

MSW_B = 노천 소각되는 도시고형폐기물 총량, Gg/yr

P = 인구 (수)

F_{frac} = 폐기물을 소각시키는 인구 비율, (비율)

MSW_P = 폐기물 발생 단위당 인구 수, kg waste/capita/day

B_{frac} = 처리된 폐기물 총량에 대해 상대적으로 소각되는 폐기물 양의 비율, (비율)

365 = 1년의 일 수

10^6 = 킬로그램을 기가그램으로 변환시키는 인자

폐기물을 소각시키는 인구 비율(P_{frac})(Fraction on population burning waste)

노천소각은 정규적인 소각과 산발적인 소각을 모두 포함한다. 정규적인 소각은 폐기물을 제거하기 위해 사용되는 유일한 시행 방법임을 의미한다. 산발적인 소각은 다른 시행 방법과 더불어 사용되는 것으로, 폐기물을 제거하기 위해 이용되는 유일한 방법이 아님을 의미한다. 예를 들면, 폐기물이 수집되지 않거나, 비용을 감소시키기 위해서 등의 기타 이유로 소각시키는 경우이다.

적절하게 잘 기능하는 폐기물 수합 시스템을 갖춘 국가의 경우, 화석 탄소가 노천 소각되고 있는지 여부를 조사하는 것이 좋다. 선진국에서, P_{frac} 은 대강의 추정치로 농촌인구라고 가정할 수 있다. 도시인구가 총인구의 80%를 초과하는 지역에서는 폐기물의 노천소각은 일어나지 않는다고 가정할 수 있다.

개발 도상국에서는(주로 도시지역에서) P_{frac} 은, 수합 시스템에 의해 수합되지 않는 폐기물을 배출하는 인구 수와 수합되어 노천 쓰레기장에 처분되고 소각되는 폐기물을 배출하는 인구 수를 합함으로써 대강 산정될 수 있다. 일반적으로, 폐기물 처리수단과 폐기물 흐름에 대한 국가별- 그리고 지역별-자료를 적용하는 것이 좋다.

노천 소각되는 폐기물 양의 비율(B_{frac})

B_{frac} 은 탄소함량이 CO_2 와 다른 가스로 변환되는 폐기물의 비율을 의미한다. 모든 폐기물의 양이 소각될 때, B_{frac} 은 1로 간주된다(후에 연소효율과 관련된 산화계수는 식 5.1 또는 5.2를 이용한 배출량을 산정하는 데 적용된다). 그러나 일부의 경우에는, 주로 노천 쓰레기장에 처분된 폐기물 중 상당한 양이 소각될 때, 상대적으로 폐기물의 많은 부분이 타지 않은 채 남는다(노천 쓰레기장에서는 압축되지 않는 부분(fraction not compacted)이 종종 연소된다). 이런 상황에서, B_{frac} 은 이용

가능한 조사 및 연구 데이터, 또는 전문가 판단을 이용하여 산정되어야 하고, 식 5.7에 적용되어야 한다(여기서 또한 산화계수는 이후 식 5.1 또는 5.2를 사용하여 배출량을 산정할 때 적용된다). 노천소각이 시행되는 경우에, 식 5.7을 이용하여 P_{frac} , B_{frac} , MSW_B 를 추정하기 위해서는 해당 국가들이 조사를 실시해야 한다.

박스 5.1은 MSW_B 를 산정하는 예를 보여 준다.

박스 5.1
 MSW_B 산정의 예

인구 수 P 가 거주하는 나라에서, 인구 중 15%가 뒤뜰(통 또는 땅 위에서)에서 폐기물을 태우고 20%가 폐기물을 노천 소각 쓰레기장에 보낸다. 따라서 $P_{frac} = 35\%$ 이다. 남은 65%가 다른 폐기물 처리시스템을 통해 폐기물을 제거한다. 이 예의 계산은 다음과 같다.

$MSW_P = 0.57 \text{ kg 폐기물/인/일}$

$B_{frac} = 0.6$ (관리되지 않는 얇은 SWDS의 MCF에 대한 기본값으로 0.4가 제시된 사실을 고려하여, 전문가 판단을 기초로 노천 쓰레기장에서의 소각의 경우에 제시된 기본값)

For $P =$ 거주자 1,500,000명, 노천 소각되는 쓰레기 총량은 :

$MSW_B = 65.54 \text{ Gg/연}$

인구 수와 인구 1인당 쓰레기 발생량에 대한 국가 통계는 많은 국가에 존재하고 이용될 수 있다. 인구 수, 인구 1인당 쓰레기 발생량과 쓰레기 구성에 대한 자료는 “고형폐기물처리와 고형폐기물의 생물학적 처리” 카테고리 하에서 보고되는 자료와 일치해야 한다. 인구 자료는 일반적으로 국가통계, 국제 인구통계(UN, 2002)를 제시하는 유엔 자료와 같은 국제 데이터베이스에서 이용할 수 있다. 국제 인구통계(UN, 2002)는 국가 통계를 활용할 수 없는 곳에서 이용할 수 있다(3.2.2절 참조). 연소된 화석 액체 폐기물 양은 소각과 노천소각에 의한 것 둘 다를 포함할 수 있다(5.2.1.4절 참조). 기본값 방법론을 이 두 가지 경우에 모두 적용하는 경우에는, 폐기물 양을 관리 실제의 유형에 따라 차별화할 필요가 없다(제2장 참조).

5.3.3 건조물질 함량

폐기물의 수분함량이 많을 수 있기 때문에, 폐기물의 건중량과 습중량을 구별하는 것은 중요하다. 그러므로, 폐기물의 건조물질 함량이나 폐기물의 건조물질 비율은 결정되어야 할 중요한 변수이다.

만약 관련된 배출계수가 건조중량으로 언급된다면, 소각된 폐기물 중량은 습중량에서 건중량으로 변환되어야 한다. 폐기물의 건조물질함량은 음식물쓰레기 비율이 높은 나라의 50%이하에서부터, 폐지와 화석연료로 인한 탄소를 기본으로 한 폐기물의 비중이 높은 나라의 60%까지 범위를 정할 수 있다. 건조물질함량의 결정을 위한 구체적인 절차는 개발중이며, PrEN(2001) 문서에 수록되고 있다.

2.3절의 표 2.4에서는, MSW 에 있는 건조물질함량을 산정하는데 이용할 수 있는 폐기물 성상/물질별 건조물질함량에 대한 기본값 자료를 제공한다. 이것은 식 5.8을 사용하여 구할 수 있다.

식 5.8

MSW 내 건조 물질 함량

$$dm = \sum(WF_i \cdot dm_i)$$

여기서,

dm = MSW 내의 총 건조물질 함량

WF_i = MSW 내 조성 i 의 비율

dm_i = 조성 i 에서 건조 물질 함량

식 5.8은 식 5.2의 일부라는 점에 유의해야 한다.

5.4 배출계수의 선택

폐기물 소각과 노천 소각의 측면에서, 배출계수는 배출되는 온실가스량과 소각 또는 노천 소각되는 폐기물 중량의 관계를 설명한다. CO₂의 경우에, 이것은 폐기물에서 탄소와 화석연료로 인한 탄소 비율에 대한 자료를 적용한다. CH₄와 N₂O의 경우, 이것은 기본적으로 처리 방법과 연소기술에 따라 달라진다. 폐기물 소각과 노천소각에 의한 CO₂, CH₄와 N₂O 배출량을 산정하기 위해 배출계수를 선택하는 것에 대한 지침은 다음 절에서 제시된다.

5.4.1 CO₂ 배출계수

CO₂ 농도를 측정하는 대신, 폐기물의 탄소함량을 기본으로 한 계산식을 이용하여 소각과 노천소각에 의한 CO₂ 배출량을 산정하는 것이 일반적으로 더 실용적이다.

배출계수와 관련한 변수에 대한 기본값이 표 5.2에 제시되어 있다. 이들 각 계수는 다음 절에서 구체적으로 논의된다².

표. 5.2 소각 및 노천소각에 대한 CO ₂ 배출계수의 기본값 자료						
변수	관리 수단	MSW	산업 폐기물(%)	병위성 폐기물 (%)	하수슬러지(%) Note4	화석 액체 폐기물(%) Note5
습중량의 건조물질 함량(%)		Note1참조	NA	NA	NA	NA
건중량의 총탄소함량(%)		Note1참조	50	60	40~50	80
총탄소함량 중 화석 탄소비율(%)		Note2참조	90	40	0	100
탄소투입량 중 산화계수(%)	소각	100	100	100	100	100
	노천소각 (Note3참조)	58	NO	NO	NO	NO

² 건중량의 % 중 총 탄소 함량 변수와 총 탄소 함량 % 중 화석 연료에 의한 탄소 비율 변수는 '건중량 % 내 화석 탄소 함량' 변수로 통합될 수 있다.

NA : 적용불가, No : 일어나지 않음.

Note 1 : '2.3절 폐기물조성'에 있는 표 2.4와 식 5.8(건조물질 용), 식 5.9(탄소함량용)과 식 5.10(화석탄소 비율 용)으로부터 기본값을 사용할 것.

Note 2 : 산업 유형별 기본 자료는 '2.3절 폐기물 조성'에 있는 표 2.5에 나타나있다. 배출량 산정을 위해 Note1에서 언급된 방정식을 사용할 것.

Note 3 : 노천 소각될 때, 쓰레기 중량은 약 49~67%까지 감소된다(US-EPA, 1997, P.79). 기본값 58%를 제안한다.

Note 4 : 2장에 있는 '2.3.2절 슬러지'를 참조할 것

Note 5 : 화석연료(액체상)폐기물 중 총탄소함량은 습중량 중 %로 제시되고 건중량 중 %로 제시되지 않는다.(GIO, 2005)

출처 : GPG2000(IPCC 2000), Lead Authors of the 2006 Guidelines, Expert judgement

5.4.1.1 총 탄소함량

소각 또는 노천 소각되는 폐기물 중 탄소 비율은 바이오매스 미가공(raw) 물질(예, 종이, 음식물쓰레기)로부터 얻어지는 반면, 총 탄소량 중 일부는 화석 연료로 만들어진 플라스틱이나 다른 제품들이다. 이 절에 있는 표 5.2와 2장의 2.3절은 폐기물 성상과 MSW의 폐기물비율에 대해 각각 탄소 비율의 기본값을 제공한다. 화석연료로 인한 탄소비율에 대한 더 상세한 자료는 다음에 제시된다.

인벤토리 작성자는 MSW 중에 있는 총 탄소함량을 산정하기 위해 2장의 2.3절에 제공된 MSW의 폐기물 성상/물질별 총 탄소 함량에 관한 기본값 자료와 MSW의 조성에 관한 자료를 이용할 수 있다.

식 5.9

MSW 내 총 탄소 함량

$$CF = \sum_i (WF_i \cdot CF_i)$$

여기서,

CF = MSW 중의 총 탄소함량

WF_i = MSW 중 조성 i의 비율

CF_i = MSW 중 폐기물 조성/물질 i에 있는 탄소함량

이러한 사항은 식 5.2에도 반영된다.

5.4.1.2 화석 탄소 비율

폐기물 소각과 노천소각에 의한 배출량을 산정할 때, 폐기물에 있는 탄소를 바이오매스와 화석연료에 기인한 탄소비율로 분리하는 접근법이 바람직하다. 폐기물의 소각과 노천소각에 의한 인위적 CO₂ 배출량을 계산하기 위해서는, 폐기물에 있는 화석 탄소량이 결정되어야 한다. 화석탄소 비율

은 다른 폐기물 카테고리과 폐기물성상에 따라 달라진다. MSW와 병원성 폐기물 중의 탄소는 생물발생적 및 화석 기원에 의해 발생된 것이다. 유해폐기물 중의 탄소는 대부분 화석기원 탄소인 반면, 하수 슬러지에서 화석기원 탄소는 일반적으로 무시될 수 있다. MSW에 포함되는 폐기물 카테고리에 대한 기본값 자료와 다른 폐기물의 성상/물질은 2장 2.3절과 표 5.2에 제시된다.

시설별 자료를 이용할 수 있는 경우에는, 소각되고 있는 폐기물의 정확한 조성은 CO₂ 배출량 계산 시에 수집되고 사용되어야 한다. 그런 자료를 쉽게 이용할 수 없다면, 국가별 자료를 이용할 수 있다. 이러한 유형의 자료는 대부분 국가별 폐기물 흐름에 관한 일반적인 조사 형태에서 구할 수 있을 것이다. 이들 조사는 폐기물 조성뿐만 아니라, 폐기물 흐름도도 포함해야 한다(예: 소각/노천 소각되는 특정 폐기물 성상의 비율).

다른 화석연료 기반 폐기물 제품은 화석탄소 함량 비율이 다를 것이다. 각 폐기물 흐름도에서는 각 폐기물 성상별로 분석이 이루어져야 한다. 일반적으로, 플라스틱은 가장 높은 화석 탄소 비율을 가지고 소각되는 폐기물 성상을 대표할 것이다. 게다가 유독 화학약품, 합성섬유와 합성고무 중 화석탄소 함량은 특히 관련이 있다. 타이어는 합성고무나 검정색 탄소를 구성될 수 있기 때문에, 페타이어의 일부는 화석 탄소원으로 간주된다.

시설별 폐기물 유형이나 국가별 폐기물 흐름도의 정보를 이용할 수 없다면, 2장의 2.3절에서 제공하는 기본값을 활용할 수 있다. 여기서는 특정 유형의 산업폐기물과 다른 폐기물(유해폐기물과 병원성 폐기물 포함) 뿐만 아니라, MSW 중 가장 관련 있는 폐기물 비율에 대한 화석탄소 비율의 기본값을 제공한다.

화석탄소와 생물발생적 탄소의 비율은 일부 국가에서 최근에 채택한 폐기물 법령으로 인해 훗날 상당히 변화할 것으로 생각된다. 이러한 프로그램은 소각/노천 소각되는 폐기물 중 화석탄소 함량 뿐만 아니라 소각되는 총 폐기물 흐름에 영향을 줄 것이다.

Tier 2a에서, 인벤토리 작성자는 식 5.10을 이용한 MSW 중 화석탄소함량(FCF)를 산정하기 위해 2장 2.3절에 제시된 MSW의 조성에 대한 국가별 자료와 기본값을 사용하는 것이 좋다.

식 5.10

MSW 내 화석 탄소 비율(FCF)

$$FCF = \sum (WF \cdot FCF_i)$$

여기서,

FCF = MSW 중 총 화석탄소

WF = MSW 중 폐기물 성상 i의 비율

FCF_i = MSW의 폐기물 성상 i 내 화석탄소 비율

5.4.1.3 산화계수(oxidation factor)

폐기물 흐름이 소각되거나 노천 소각되는 경우, 연소되는 제품 중의 대부분의 탄소는 CO₂로 산화한다. 연소 과정중의 비효율성 때문에 아주 작은 부분이 불완전하게 산화할 수도 있는데, 이는 소

각되지 않거나 검댕(soot) 또는 재(ash)로 부분적으로 산화되는 탄소 일부분을 남긴다. 노천소각의 경우 연소효율은 대체로 낮은 반면, 폐기물 소각로의 경우 연소효율이 100%에 가까운 것으로 가정된다. 폐기물 소각 산화계수가 100% 미만으로 적용된다면, 이러한 내용은 제시된 자료의 출처와 함께 상세하게 문서화되어야 한다. 표 5.2는 관리 실패와 폐기물 성상별 산화계수의 기본값을 제시한다.

CO₂ 배출량이 해당 국가에서 기술-혹은 시설-별 자료에 근거하여 결정된다면, 산화 계수를 결정하는 근거로써 재의 탄소 함량뿐만 아니라 재(바닥의 재와 대기 중 재 2가지)의 양을 사용하는 것이 좋다.

5.4.2 CH₄ 배출계수

폐기물 소각에 의한 CH₄ 배출량은 소각과정, 소각기술, 관리 실재의 연속성에 크게 의존한다. 일본(GIO, 2004)에서는 가장 상세하게 관찰이 이루어졌는데, 기술과 운영모드에 근거한 다음의 CH₄ 배출계수를 얻었다.

연속식 소각은 하루에 끊임없이 작동하는 소각로를 포함한다. 배치형과 준연속식 소각은 소각로가 항상 적어도 하루에 한번은 작동을 정지하는 것을 의미한다. 이러한 운영상의 차이는 배출계수의 차이를 가져온다. 때때로 노(furnace)의 배출 가스 내 CH₄ 농도는 소각로 유입 가스 중의 CH₄ 농도보다 낮은 것으로 관찰된다. 낮은 농도와 높은 불확도 때문에, 여기서는 배출계수를 “0”으로 적용하는 것이 좋다(5.2.2.3절 참조).

MSW와 산업폐기물의 연속식 소각의 경우, ‘2권 2장 고정연소’에서 제시된 CH₄ 배출계수를 적용하는 것이 좋다. 다른 MSW 소각로(준연속식과 배치형)의 경우에는, 표 5.3에 일본의 GIO에 의해 보고된 CH₄ 배출계수를 제시하였다. 다른 산업 폐기물 소각로의 CH₄ 배출계수는 기술보다는 폐기물 성상에 따라 달라진다(GIO,2005). 일본에서는 폐유와 슬러지의 CH₄ 배출계수는 습량기준으로 각각 0.56 gCH₄/t와 9.7 gCH₄/t이다.

표 5.3 MSW의 소각에 대한 CH ₄ 배출계수		
소각/기술 유형		CH ₄ 배출계수 (습량기준으로 소각된 폐기물의 양, kg/Gg)
연속식 소각	스토커	0.2
	유동상 ^{Note 1}	~ 0
준연속식 소각	스토커	6
	유동상	188
배치형 소각	스토커	60
	유동상	237
Note 1 : 이 배출계수를 인용한 논문에서는, 측정된 배출가스 중 CH ₄ 농도는 대기 중 농도보다 더 낮다. 출처 : 일본 온실가스인벤토리 사무국(Greenhouse Gas Inventory Office of Japan), GIO 2004		

노천소각의 경우, CH₄ 배출계수는 MSW 습량기준으로 6,500 g/t로 보고되어 왔다(EIIP, 2001). 이 계수에 비해 더 적절한 다른 CH₄ 배출계수가 없다면, 이 계수를 기본값으로 적용해야 한다.

국가별 자료를 이용할 수 있다면 이 자료를 적용해야 하며, 자료의 출처뿐만 아니라 이들을 도출하는데 사용한 방법을 구체적으로 기록하여야 한다.

5.4.3 N₂O 배출계수

폐기물 소각에 의한 N₂O 배출량은 폐기물 흐름의 함량뿐만 아니라 NO_x 저감기술, 기술유형과 연소조건의 함수에 의해 결정된다. 결과적으로 배출계수는 시설마다 다를 수 있다.

일부 국가에서는 국가 인벤토리 보고서에 폐기물 소각에 의한 N₂O 배출량을 보고해 왔다. 표 5.4는 MSW 소각 시 사용된 배출계수의 예를 보여준다.

배출계수는 주로 다양한 NO_x 제거 기술에 따라 달라진다.

표 5.4 MSW의 소각에 대한 N ₂ O 배출계수				
국가	소각/기술 유형		MSW에 대한 배출계수 (g N ₂ O/t, 소각된 MSW)	중량 기준
일본 ¹	연속식 소각	스토커	47	습량
		유동상	67	습량
	준연속식 소각	스토커	41	습량
		유동상	68	습량
	배치형 소각	스토커	56	습량
		유동상	221	습량
독일 ²			8	습량
네덜란드 ³			20	습량
오스트리아 ⁴			12	습량
¹ GIO, 2005 ² Johnke 2003. ³ Spakman 2003. ⁴ Anderl et al. 2004				

표 5.5는 슬러지와 산업폐기물 소각에 의한 배출량 산정에 사용된 N₂O 배출계수의 예를 보여준다.

표 5.5 슬러지 및 산업폐기물의 소각에 대한 N ₂ O 배출계수				
국가	폐기물 성상	소각/기술 유형	산업폐기물의 배출계수 (gN ₂ O/t 폐기물)	중량 기준
일본 ¹	폐지, 폐목재		10	습량
	폐유		9.8	습량
	폐플라스틱		170	습량
	슬러지(하수슬러지 제외)		450	습량
	건조된 하수슬러지		900	습량
	고농도 응집제	유동상소각로 (정상온도)	1508	습량
	고농도 응집제	유동상소각로 (고온)	645	습량
	고농도 응집제	다단로	882	습량
	기타 응집제		882	습량
	석회 슬러지		294	습량
독일 ²	하수슬러지		990	건량
	산업폐기물		420	습량
¹ GIO 2005				
² Johnke 2003				

국가별 정보를 이용할 수 없다면, 이를 적용하는 것이 우수실행(*good practice*)이다.

노천소각의 경우, 농업 잔류물을 태울 때 나오는 배출량에 대한 정보만을 이용할 수 있다. 농업잔류물에 대한 접근법은 '제4권 제2장 Non CO₂ 배출'의 2.4절과 제11장에 있는 11.2절(관리된 토양에 의한 N₂O 배출)에서 서술된다. N/C 비를 0.01로 가정할 때(Crutzen and Andrea, 1990), 농업잔류물에 대한 N₂O 배출계수는 건조 물질 기준으로 0.15 gN₂O/kg까지 얻어진다. 가정폐기물의 질소 함량은 농업폐기물의 질소 함량보다 더 높다고 기대되기 때문에, 여기서는 농업폐기물에 대한 배출계수를 폐기물의 노천소각에 의한 N₂O 배출량의 기본값으로 사용할 것을 제안한다.

이용 가능한 현재의 정보를 바탕으로 하여, 표 5.4와 표 5.5, 표 5.6에 제시된 배출계수는 폐기물 성상과 관리 실태별 N₂O 배출계수의 기본값을 제공한다.

표 5.6
다양한 폐기물 유형 및 관리 실태에 대한 N₂O 배출계수 기본값

폐기물 성상	기술/관리실태	배출계수 (gN ₂ O/t 폐기물)	중량 기준
MSW	연속식/반연속식 소각로	50	습량
MSW	배치형 소각로	60	습량
MSW	노천소각	150	건량
산업폐기물	모든 유형의 소각	100	습량
슬러지 (하수슬러지 제외)	모든 유형의 소각	450	습량
하수슬러지	소각	990	건량
		990	습량

출처 : Expert judgement by lead authors of this chapter of 2006 Guidelines

국가별 정보를 이용할 수 없을 경우, 이들 자료를 적용하는 것이 좋다.

NO_x는 대기 중에서 N₂O로 변환될 수 있다. 폐기물의 소각과 노천소각에 의한 NO_x 배출량은 간접적인 N₂O 배출량과 연관된 원인이라고 볼 수 있다. 국가가 NO_x 배출량에 대한 정보를 갖고 있을 때, 제1권 제7장 '오존의 전구물질, SO₂ 및 간접 배출'에 있는 지침을 이용하여 간접적인 N₂O 배출량을 산정하는 것이 우수실행(*good practice*)이다.

5.5 완전성

완전성은 소각되거나 노천 소각되는 폐기물의 성상과 양을 보고하는 것에 따라 달라진다. 산정 방법이 시설 수준(*facility-level*)에서 적용된 후 모든 시설에 대해서 합계를 낸다면, 모든 폐기물 소각장에 대해서 적용되는 것이 우수실행(*good practice*)이다.

인벤토리 작성자는 관련된 관리 실태뿐만 아니라 그 나라에서 발생한 모든 폐기물 성상을 보고하도록 노력해야 한다. 다른 유형의 폐기물들이 함께 소각될 때, 각 폐기물을 분리해서 배출량을 산정하고 이 장에서 제시된 다음의 지침에 따라 보고하는 것이 좋다.

폐기물은 에너지 회수능력을 가진 시설에서 종종 소각되기 때문에 CO₂ 배출량을 이중 산정할 가능성이 있음을 명심해야 한다. 또한 폐기물은 폐기물 소각시설(예: 시멘트와 벽돌 가마, 용광로)과 달리 산업 공장에서는 대체연료로써 사용될 수 있다. 이중 산정 또는 잘못 할당되는 것을 피하기 위해서는, 이 장에서 제공된 지침에 따라 폐기물과 에너지 부문 간의 소각 배출량을 산정하고 보고해야 한다.

폐기물 노천 소각의 경우, 종종 신뢰성 있는 통계 자료를 이용할 수 없기 때문에 소각되는 폐기물 총량을 결정하는 것이 어려울 수 있다. 인벤토리 작성자는 배출량의 과소평가를 피하기 위해, 공식 통계의 범위 밖에 있는 자료를 고려해야 한다. 만일 가정 폐기물이 농촌지역(마을 등)에서 노천 소각된다면, 이를 참작해야 한다.

고형폐기물 매립장의 노천 소각은 분해 가능한 유기탄소(DOC)를 저감시키는 효과가 있다. 분해

가능한 DOC 양의 감소와 향후 CH₄ 배출량에서의 감소는, 매립지에서 소각되는 폐기물의 양과 그에 상응하는 평균 DOC를 곱함으로써 Tier 1에서 대략적으로 산정될 수 있다. 실제로, 매립지에서의 노천 소각은 어느 정도까지는 습도, 영양물질의 이용가능성, 미생물(물질대사 중에 태워지거나 변화에 의해 죽음을 당할 것 같은)의 이용가능성 같은 중요 변수에 영향을 미칠 수 있기 때문에 더 복잡한 문제이며, 이는 적어도 주어진 기간 동안 매립지에서 수반되는 CH₄ 배출량에 영향을 미친다. 더 수준 높은 Tiers(예: Tier 2)에서, 국가에서는 DOC에 대한 노천 소각의 영향뿐만 아니라 노천 소각의 시행으로 인해 발생하는 배출량 산정 방법을 향상시키기 위해 노력해야 한다.

완전성이 성취되었는지를 검증하기 위해, 관리 실태별 폐기물흐름과 분포를 보이는 도식도를 그릴 수 있다. 이것은 QA/QC의 과정에서 이용할 수 있다.

5.6 일관된 시계열의 개발

폐기물의 소각과 노천소각에 의한 온실가스 배출량은 같은 분해수준에서, 시계열로 매년 일관되도록 동일한 방법과 자료 세트를 이용하여 계산되어야 한다. 국가별 자료가 이용되는 곳에서는, 시계열 중 모든 지점에서 같은 값을 계산하기 위해 동일한 계수 및 방법을 사용하는 것이 좋다. 시계열의 모든 연도에 대해 같은 방법에 대한 일관성 있는 자료를 이용할 수 없는 곳에서는, '제1권 제5장 시계열일관성, 5.3절 자료 차이 해결'에서 제시된 지침에 따라 이러한 차이를 극복해야 한다.

활동도 자료는 단지 매 수년 동안에 한하여 이용될 수도 있다. 시계열 일관성을 달성하기 위해서는, 장기간의 시계열 또는 경향으로부터 내삽법 및 외삽법 같은 다양한 방법을 사용해야 한다(제1권 제5장 참조).

5.7 불확도 평가

제2장의 2.3절, 표 2.4는 폐기물의 소각과 노천소각에 의한 CO₂ 배출량의 계산과 관련된 변수를 위한 단일값뿐만 아니라 일반적인 범위까지 제공한다. 일부국가의 CH₄와 N₂O 배출계수의 예는 5.4.2절과 5.4.3절에 각각 제시되었다. 인벤토리 작성자는 국가에 한정된 변수에 대해 95% 신뢰구간으로 불확도를 계산하는 것이 좋다. 또한 전문가 판단이나 불확도 산정의 기본값에 기반한 불확도 산정을 이용할 수 있다. 보다 최근의 정보는 변화하고 있는 실태, 기술 발달이나 소각폐기물 비율의 변화(유기물과 화석연료)를 반영하기 때문에, 더 낮은 불확도를 가질 수 있다. 이것이 인벤토리 불확도 산정의 기본이 되어야 한다.

'제1권 제3장 불확도'는 실행시 불확도를 정량하는 것에 대한 조언을 제공한다. 전체 불확도 산정 시에는 경험적 자료와 함께 전문가 판단이 제공되는데, 여기서 제공하는 조언에는 전문가 판단을 도출하고 이용하는 것이 포함된다. 노천소각에 의한 배출량 산정은 개발도상국에서는 주로 빈약한 정보로 인해 높은 불확도를 가질 수 있다.

국가별 자료를 이용할 때에는 다음과 같은 추가적인 불확도가 나타날 수 있다.

- 폐기물 구성에 관한 조사를 이용한다면, 신뢰도와 정확도를 달리하는 다양한 출처로 인해 고정

폐기물의 정의에 대한 해석과 조사가 달라질 수 있다.

- 고형폐기물 연소 시설에 대한 N_2O 와 CH_4 의 배출계수는 시설별 공정에서 나타나는 상당히 많은 변화가능성을 반영하여, 크고 작게 나타날 수 있다. 또한 NO_x 를 저감시키는 곳에서의 조절로 인해 조절/제거 효율성이 불확실할 수도 있다.

5.7.1 배출계수의 불확도

폐기물에 있는 생물발생적 탄소 및 화석탄소 비율의 분리와 관련된 불확도는 높은 수준에 있다. 이 불확도는 주로 폐기물 조성의 불확도와 관계가 있다. CO_2 배출량 산정과 연관된 주요 불확도는 화석탄소 비율의 산정과 관련이 있다(이 책 제3장 불확도 평가에 대한 3.7절 참조).

노천소각의 CO_2 배출계수와 관련한 불확도는 노천 소각되는 건조물질량의 비율, 건조물질 중 탄소비율, 총 탄소 중 화석탄소 비율, 연소 효율, CO_2 로 산화되고 배출된 탄소 비율과 관련한 불확도에 따라 달라진다. 배출계수를 계산할 때 폐기물 조성기본값에 따르는 국가에는 $\pm 40\%$ 의 기본값을 제안한다.

N_2O 와 CH_4 의 배출량의 직접적인 측정이나 모니터링은 불확도가 낮다. 연속적이고 주기적인 배출량 모니터링의 경우, 불확도는 사용된 측정기구와 방법의 정확도에 따라 달라진다. 이것은 $\pm 10\%$ 수준일 것이다. 주기적인 측정의 경우, 불확도는 샘플링 방법과 빈도 수에 따라 달라지며 불확도는 훨씬 커질 것이다. N_2O 와 CH_4 배출계수에 대한 기본값을 사용한다면, 불확도 범위는 $\pm 100\%$ 이상일 것으로 산정되어 왔다.

5.7.2 활동도 자료의 불확도

폐기물 통계나 시설별 자료를 근거로 소각된 폐기물이 양을 구하는 대부분의 선진국에서는, 소각된 폐기물의 양에 대한 불확도는 습량기준으로 $\pm 5\%$ 정도로 산정된다. 병원성 폐기물 같은 일부 폐기물 유형의 경우 불확도는 더 높아질 수 있다.

습량기준의 폐기물 양을 건량 기준으로 변환하는 것은 불확도를 높인다. 이 불확도는 대체로 건량 결정의 빈도와 정확도에 따라 달라진다. 그러므로 건조 물질함량의 불확도는 $\pm 10\% \sim \pm 50\%$ 사이에, 그리고 보다 더 높은 불확도까지 분포할 수 있다.

폐기물 통계가 불충분할 때, 인구 수, 인구 1인당 폐기물 발생량, 소각된 폐기물 비율은 노천소각된 폐기물의 양을 산정하기 위해 고려해야 할 변수이다. 불확도는 특히 인구 1인당 폐기물 발생량과 소각된 폐기물 비율에 대해 높아질 수 있다. 제2장 2.2절에 제시된 폐기물 발생과 관리 자료에 대한 기본값을 사용하는 국가의 경우, 제3장의 표 3.5에 제시된 활동도 자료의 불확도 값을 소각의 경우에도 활용할 수 있다. 총탄소함량과 화석탄소비율에 대한 산정은 제2장 2.3절의 표 2.4에 주어진 범위를 이용할 수 있다.

5.8 QA/QC, 보고 및 문서화

5.8.1 인벤토리 품질보증/품질관리(QA/QC)

제1권 제6장에 기술된 대로 품질보증과 품질관리 확인은 폐기물의 소각과 노천소각에 의한 배출량을 산정할 때에 활용되어야 한다. 투명성은 다음에 제시된 대로 명확하게 문서화하고 착수된 작업에 대해 설명하는 과정을 통해 향상될 수 있다.

활동도 자료의 검토

- 인벤토리 작성자는 자료 수집방법을 재검토해야 하고, 자료를 확인하고 이것을 다른 자료 출처와 비교해야 한다. 자료는 이전 해의 자료와 비교해서 일관성을 확보해야 한다. 이것은 주로 소각/노천 소각되는 폐기물의 양과 건조물질함량을 포함한다.
- 관리실태에 따른 폐기물 분포에 대한 도식도는 발생한 폐기물의 총량이 다른 관리 실태 하에서 재생되고 취급되는 폐기물의 합과 같다는 것을 확인할 수 있도록 개발되어야 한다.

배출계수의 검토

- 인벤토리 작성자는 폐기물 탄소함량, 화석탄소비율, 소각로 연소효율의 국가별 혹은 시설별 값을 제시된 기본값과 비교해야 한다. 이 두 값이 다를 경우에는, 타당한 설명이 제시되었는지 확인해야 한다.

직접적인 배출량 측정의 검토

- 직접적인 측정 자료를 이용할 수 있는 곳에서, 인벤토리 작성자는 국제적으로 인정된 표준방법을 측정 시에 사용하였는지를 확인해야 한다. 실제 사용된 측정 방법이 이러한 기준을 충족시키지 못한다면, 이러한 배출량 자료를 사용하는 것에 대해 주의 깊게 검토해야 한다.
- 배출량이 직접적으로 측정되는 곳에서, 인벤토리 작성자는 시설 간 시설 수준의 변수뿐만 아니라 IPCC 기본값과도 비교해야 한다. 작성자는 변수 사이의 중요한 차이에 대해 검토해야 한다. 특히 유해 폐기물과 병원성 폐기물의 경우에 차이가 있는데, 이들 폐기물은 시설별로 정량화되지 않고 시설에 따라 상당히 달라질 수 있기 때문이다.

활동도 자료와 배출계수의 일관성

- 활동도 자료, 배출계수 및 관련 변수는 일관된 방법으로 폐기물의 양과 관련될 필요가 있다(예; 습량 또는 건량). 그렇지 않다면, 변환 계수(예: 건조물질 함량)가 적용되어야 한다.
- 적용된 자료와 변수는 가급적 같거나 유사한 시스템 한도 내에서 언급되어야 한다. 예를 들면, 한 방정식에서 하나의 구성요소가 농촌 폐기물과 관계가 있고, 다른 요소가 대도시의 폐기물과 관련이 있다면, 이들은 일관된 방법으로 사용되어야 한다.

5.8.2 보고 및 문서화

제1권 제6장의 6.11절에 기술된 대로 국가 온실가스 인벤토리를 생산하는 데 필요한 모든 정보를

문서화하여 보관하는 것이 좋다. 이 카테고리과 관련한 구체적인 문서화와 보고의 몇 가지 예가 다음 단락에 기술되어 있다.

문서화 작업이 중요하기는 하지만, 온실가스 인벤토리보고서에 모든 문서를 포함하는 것은 실용적 이지도 않고 필수적인 것도 아니다. 그러나 인벤토리는 보고된 산정값이 명확하고 계산에 포함된 단계가 규명되고 증명될 수 있도록, 사용된 방법의 요약 내용과 자료 출처에 대한 참고문헌을 포함해야 한다.

일부 국가에서는 국지적 또는 지역수준에서 폐기물에 대해 다른 분류를 사용한다. 그런 경우에, 인벤토리 작성자는 특별히 IPCC 카테고리과 일치하는 지를 주의 깊게 살펴야 하고, IPCC 카테고리에 적합하도록 자료를 어떻게 조작했는지를 설명해야 한다.

또한 인벤토리 작성자는 건조 물질 함량, 탄소함량, 화석탄소비율과 N_2O 와 CH_4 배출계수 또는 기타 관련 정보를 어떻게 얻었는지에 대한 정보를 포함하여 설명하여야 한다.

일부국가에서, 소각시설은 열과 전기 둘 다를 생산하는 데 이용된다. 그런 경우에, 에너지 목적을 위해 사용되는 폐기물 소각에 의한 배출량은 에너지 부문에서 보고되어야 한다(고정연소에 의한 화석연료의 CO_2 , N_2O 와 CH_4 그리고 정보 아이টে으로서 유기물에 의해 발생하는 CO_2). 배출량 결과는 이중 산정을 피하기 위해 폐기물 부문에서 보고되어서는 안 된다.

가스, 기름 또는 다른 연료가 적정온도를 유지하거나 소각로를 가동하기 위해 지원 연료로 사용되는 경우에, 이러한 연료의 소비는 폐기물 소각부문에서는 보고되어서는 안 되며, 에너지 부문에서 보고되어야 한다(제2권 에너지, 제2장 고정연소 참조). 보통 그러한 연료는 MSW 소각의 총 열량 투입량(calorific input)의 3%이하로 추산되나 유해폐기물의 소각에는 더 중요할 수도 있다.

참고문헌

- Anderl, M., Halper, D., Kurzweil, A., Poupa S., Wappel, D., Weiss, P. and Wieser M. (2004). Austria's National Inventory Report 2004: Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- BREF (2005). European IPPC Bureau. Reference Document on the Best Available Technology for Waste Incineration. Seville, July 2005.
- Chandler, A.J, Eghmy, T.T., Hartlén, J., Jhelmar, O., Kosson, D.S, Sawell, S.E., van der Sloot, H.A. and Vehlow J. (1997). Municipal Solid Waste Incinerator Residues. The International Ash Working Group, Studies in Environmental Science 67, Elsevier Amsterdam.
- Crutzen, P.J. and Andreae, M.O. (1990). 'Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles', Science 250: 1669-1678.
- EMEP. (2004). EMEP/CORINAIR Guidebook, Update September 2004.
http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR4/en/group_09.pdf
- GIO (2004). National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN. Ministry of the Environment/ Japan Greenhouse Gas Inventory Office of Japan (GIO) / Center for Global Environmental Research (CGER) / National Institute for Environmental Studies (NIES). October 2004.
- GIO (2005). National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN. Ministry of the Environment/ Japan Greenhouse Gas Inventory Office of Japan (GIO) / Center for Global Environmental Research (CGER) / National Institute for Environmental Studies (NIES).
- Guendehou, G.H.S. and Ahlonsou E.D. (2002). Contribution to non-CO2 greenhouse gases inventory for Cotonou (Republic of Benin): waste sector, In: Proceedings of the Third International Symposium on Non-CO2 Greenhouse Gases: Scientific Understanding, Control Options and Policy Aspects, Maastricht, The Netherlands, Jan 2002, pp. 79-81.
- Guendehou, G.H.S. (2004). Personal communication. Cotonou 2004
- IPCC (1997a). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories, Volume 3 Reference Manual. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Trénton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (1997b). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories, Volume 2 Workbook. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Trénton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Emmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. and Tanabe, K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.
- IPCC (2003). Good Practice Guidance for Land Use, land-Use Change and Forestry, Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T.,

- Tanabe, K., and Wagner, F. (Eds), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/IGES, Hayama, Japan.
- Johnke, B. (2003). Emissionsberichterstattung / Inventarerstellung für das Jahr 2002 [Emission reporting / preparation of the inventory for the year 2002]. Umweltbundesamt, Berlin 2003 [In German].
- Kilpinen, P. (2002). Formation and decomposition of nitrogen oxides. In: Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M. and Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen. International Flame Research Foundation - Suomen kansallinen osasto. Gummerus Oy, Jyväskylä, Finland. [In Finnish].
- Korhonen, S., Fabritius, M. and Hoffren, H. (2001). Methane and nitrous oxide emissions in the Finnish energy production. Vantaa: Fortum Power and Heat Oy.36 p. (TECH-4615).
- Löfler, G., Vargadalem, V. and Winter, F. (2002). Catalytic effect of biomass ash on CO, CH₄ and HCN oxidation under fluidised bed combustor conditions. Fuel 81, 711-717.
- PrEN. (2001). Characterization of waste: Calculation of dry matter by determination of dry residue and water content. PrEN 14346.
- Spakman, J., van Loon, M.M.J., van der Auweraert, R.J.K., Gielen, D.J., Olivier, J.G.J. and Zonneveld, E.A. (2004). Method for calculating greenhouse gas emissions. Emission Registration Series/Environmental Monitor No. 37b, MinVROM. The Hague 2003.
- Tsupari, E., Monni, S., and Pipatti, R. (2005). Non-CO₂ greenhouse gas emissions from boilers and industrial processes - evaluation and update of emission factors for the Finnish National Greenhouse Gas Inventory. VTT Research Notes 2321. Espoo, Finland. 82 p. + app. 24 p.
- UN (2002). United Nations Population Division: World Population Prospects - The 2002 Revision Population Database. <http://esa.un.org/unpp/index.asp?panel=3>
- USEPA (1995). US EPA's Compilation of Air Pollutant Emissions Factors, AP-42, Edition 5, United States Environmental Protection Agency (USEPA).
<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>
- USEPA (1997). Control Technology Center. Evaluation of Emissions from the Open Burning of Household Waste in Barrels. Volume1. Technical Report. United States Environmental Protection Agency (USEPA).
- USEPA (1998). Paul M. Lemieux. Evaluation of Emissions from the Open Burning of Household Waste in Barrels : Project Summary. United States Environmental Protection Agency (USEPA).
- USEPA (2001). US-EPA Emission Inventory Improvement Program. Volume III Chapter 16 Open Burning. United States Environmental Protection Agency (USEPA).
http://www.epa.gov/ttn/chief/eiip/techreport/volume03/iii16_apr2001.pdf

제6장

폐수처리 및 배출

저자

Michiel R. J. Doorn (네덜란드), Sirintornthep Towprayoon (태국), Sonia Maria Manso Vieira (브라질), William Irving (미국), Craig Palmer (캐나다), Riitta Pipatti (핀란드), and Can Wang (중국)

목 차

6 폐수처리 및 배출.....	6.6
6.1 서론.....	6.6
6.1.1 1996 가이드라인 및 우수실행지침(GPG)과의 차이점.....	6.10
6.2 폐수로부터의 인산 메탄 배출.....	6.10
6.2.1 방법론적 이슈.....	6.10
6.2.2 가정 폐수.....	6.11
6.2.2.1 방법론의 선택.....	6.11
6.2.2.2 배출계수의 선택.....	6.13
6.2.2.3 활동도 자료의 선택.....	6.14
6.2.2.4 시계열 일관성.....	6.18
6.2.2.5 불확도.....	6.18
6.2.2.6 QA/QC, 완전성, 보고 및 문서화.....	6.20
6.2.3 산업 폐수.....	6.21
6.2.3.1 방법론의 선택.....	6.21
6.2.3.2 배출계수의 선택.....	6.24
6.2.3.3 활동도 자료의 선택.....	6.25
6.2.3.4 시계열 일관성.....	6.26
6.2.3.5 불확도.....	6.26
6.2.3.6 QA/QC, 완전성, 보고 및 문서화.....	6.27
6.3 폐수로부터의 아산화질소 배출.....	6.28
6.3.1 방법론적 이슈.....	6.28
6.3.1.1 방법론의 선택.....	6.28
6.3.1.2 배출계수의 선택.....	6.29
6.3.1.3 활동도 자료의 선택.....	6.29
6.3.2 시계열 일관성.....	6.31
6.3.3 불확도.....	6.31
6.3.4 QA/QC, 완전성, 보고 및 문서화.....	6.31
참고문헌.....	6.33

식

식 6.1 가정 폐수로부터의 총 CH_4 배출량.....	6.12
식 6.2 각 가정 폐수의 처리/배출 경로 및 시스템에 대한 CH_4 배출계수.....	6.13
식 6.3 가정 폐수 내 유기적으로 분해 가능한 물질의 총량.....	6.15
식 6.4 산업 폐수로부터의 총 CH_4 배출량.....	6.23
식 6.5 산업 폐수에 대한 CH_4 배출계수.....	6.24
식 6.6 산업 폐수 내 유기적으로 분해 가능한 물질.....	6.25
식 6.7 폐수 배출수로부터의 N_2O 배출량.....	6.29
식 6.8 배출수 중 총 질소 함량.....	6.30
식 6.9 중앙집중화된 폐수 처리 공정으로부터의 N_2O 배출량.....	6.30

그 림

그림 6.1 폐수 처리 시스템과 배출 경로.....	6.7
그림 6.2 가정 폐수로 인한 CH_4 배출에 대한 의사결정도.....	6.11
그림 6.3 산업 폐수 처리로 인한 CH_4 배출에 대한 의사결정도.....	6.22

표

표 6.1 폐수와 슬러지 처리 및 배출 시스템에 대한 CH_4 와 N_2O 배출 잠재량.....	6.9
표 6.2 가정 폐수에 대한 최대 CH_4 생산량(B_0) 기본값.....	6.13
표 6.3 가정 폐수에 대한 MCF 기본값.....	6.14
표 6.4 특정 지역과 국가에 대한 가정 폐수 내 BOD_5 산정값.....	6.16
표 6.5 특정 국가에서의 각 소득 그룹에 따른 도시화에 대한 권고치(U)와 처리, 배출 경로 또는 방법의 이용도(T_{ij}).....	6.17
표 6.6 소득 그룹에 따른 처리 이용도(T)에 대한 기본값의 적용 사례.....	6.18
표 6.7 가정 폐수에 대한 불확도 범위의 기본값.....	6.19
표 6.8 산업 폐수에 대한 MCF의 기본값.....	6.24
표 6.9 산업 폐수 자료의 예.....	6.26
표 6.10 산업 폐수에 대한 불확도 범위의 기본값.....	6.27
표 6.11 N_2O 방법론의 기본값 자료.....	6.31

박 스

Box 6.1 하위 카테고리(subcategory)- 고도의 중앙집중화된 폐수 처리 시설로부터의 배출량	6.30
--	------

6. 폐수 처리와 배출

6.1 서론

폐수는 혐기적으로 처리되고 매립되는 경우에 메탄(CH_4) 발생의 배출원이 될 수 있다. 폐수는 또한 아산화질소(N_2O) 발생의 배출원이 될 수도 있다. 폐수로부터 배출된 이산화탄소(CO_2)는 생물발생적 기원이라서 국가 총 배출량에 포함될 수 없기 때문에, IPCC 가이드라인에서 다루어지지 않는다. 폐수는 가정, 상업, 산업 배출원으로부터 다양하게 기원되며, 현장(uncollected)에서 처리되거나 중앙집중화된 시설(collected)의 하수도를 통해 배수되거나, 근처에서 처리되지 않은 채 배출되거나 혹은 하수구를 거쳐 배출된다. 산업 폐수는 실제 산업으로부터의 배출만을 의미하는 반면, 가정 폐수는 가정의 물 사용에서 비롯된 폐수로 정의된다¹. 처리 및 배출 시스템은 국가마다 첨예하게 다르게 나타날 수 있다. 또한 처리 및 배출 시스템은 교외 및 도시의 사용자 간에 달라질 수 있으며, 도시의 고소득자와 저소득자 간에도 다르게 나타날 수 있다.

하수도는 개방되거나 폐쇄될 수 있다. 개발도상국과 일부 선진국의 도시 지역에서, 개방된 하수도 관, 하수로 및 하수구의 망(network)으로 구성된 하수도 시스템은 개방된 하수도로 설명될 수 있다. 대부분의 선진국과 기타 국가의 고소득 도시 지역에서의 하수도는 보통 폐쇄되거나 지하에 매설되어 있다. 폐쇄적인 지하 하수도의 폐수를 CH_4 발생의 주요 원인으로 보지는 않는다. 반면 개방된 하수도의 폐수는 햇볕에 노출되어 가열되고 하수도는 CH_4 를 방출하는 혐기성 조건 하에 정체되어 있기 때문에, CH_4 발생의 주요 배출원으로 인식된다(Doorn et al., 1997).

선진국의 가장 일반적인 폐수 처리 방법은 중앙집중화된 호기성 폐수 처리 시설과 가정 및 산업 폐수를 처리하기 위한 라군(lagoon)이다. 높은 배출 비용을 줄이고 규제 기준을 충족시키기 위해, 많은 대규모 산업 시설에서는 하수도 시스템에 폐수를 배출시키기 전에 전처리 과정을 거친다. 가정 폐수도 현장의 정화조에서 처리될 수 있다. 이는 하나 또는 몇 가정에서 배출되는 폐수를 처리하는 선진화된 시스템이다. 이 시스템은 혐기성 지하 탱크와 탱크로부터 유출된 폐수를 처리하기 위한 배수 구역으로 구성된다. 일부 선진국에서는 배출구나 파이프라인을 통해 처리되지 않은 가정 폐수를 수체(바다와 같은)로 계속 배출하고 있다.

폐수 처리의 정도는 대부분의 개발도상국에서 다르게 나타난다. 주요 산업 시설이 시설 내 종합 처리 시설을 가지고 있지만, 일부에서는 산업 폐수가 직접 수원(水原)에 배출된다. 가정 폐수는 개방되거나 폐쇄된 하수도를 거친 중앙집중화된 시설, 구덩이 변소, 부패 시스템, 관리되지 않는 라군이나 수로에서 처리된다. 일부 해안 도시에서는 가정 폐수는 직접적으로 바다로 배출된다. 구덩이 변소(pit latrine)는 편리한 화장실에 갖춰진 수 미터 깊이까지 채워지거나 채워지지 않은 구덩이이다. 그림 6.1은 다양한 폐수 처리 및 배출의 경로를 보여준다.

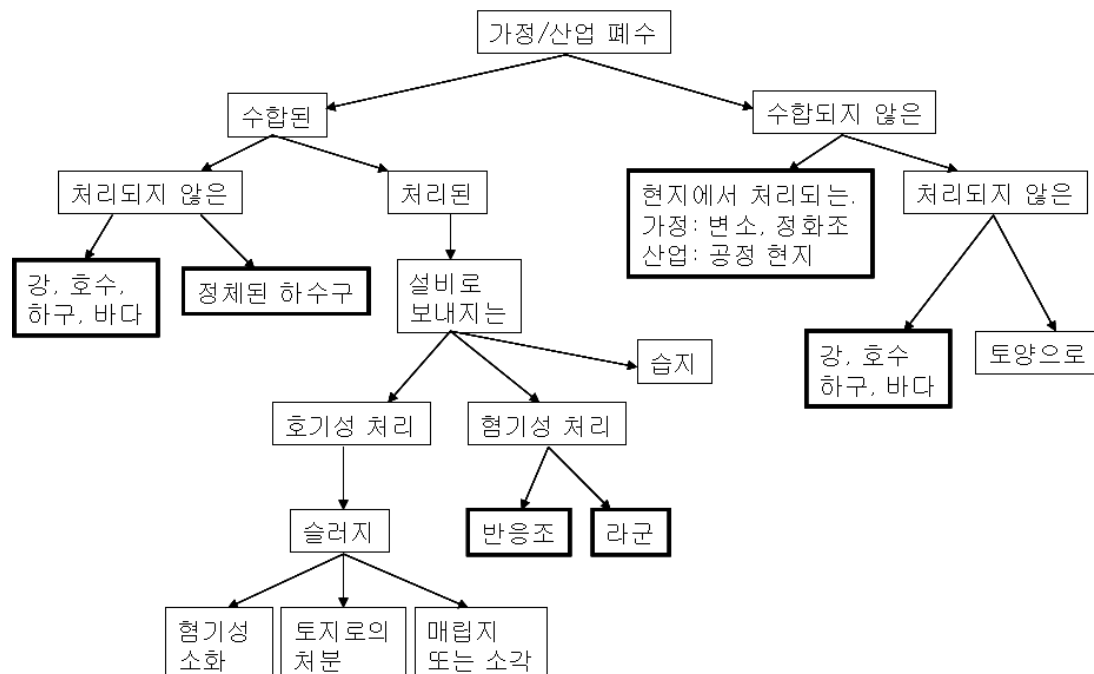
중앙집중화된 폐수 처리 방법은 1차, 2차, 3차적인 처리로 분류될 수 있다. 1차 처리 과정에서는 물리적인 벽(barrier)이 폐수 내의 더 큰 고체 물질을 제거한다. 잔여 미립자는 그 후에 침전된다.

¹ 이 방법론에서는 사람 1명을 기준 단위로 산출하기 때문에, 상업적인 폐수로부터의 배출은 가정 폐수의 일부로 산정된다. 이러한 결론에 도달하지 않으려면, 도시 폐수(municipal wastewater)라는 용어를 이 교재에서 사용하지 않아야 한다. 도시 폐수는 폐수 처리 시설에서 처리된, 가정, 상업, 비유독성 산업 폐수가 혼합된 개념이기 때문이다.

2차 처리 과정은 미생물에 의한 생물 분해 과정을 활성화하는 생물적 과정의 조합으로 구성된다. 이 과정은 혐기성 반응조와 라균뿐만 아니라, 호기성 안정화 반응조, 액체를 소량씩 배출시키는 펄터, 그리고 활성화된 슬러지 공정으로 구성된다. 3차 처리 과정은 폐수에서 병원체, 오염물질, 질소와 인 화합물과 같은 잔여 영양분을 보다 잘 정화시키는 데 이용된다. 이것은 성숙(maturation)/마무리(polishing) 반응조, 생물학적 과정, 고도의 여과, 탄소 흡수, 이온 교환, 소독 등을 포함하는 한 가지 과정이나 이들 과정의 조합을 이용하여 이루어질 수 있다.

슬러지는 1차, 2차, 3차 처리의 모든 단계에서 발생할 수 있다. 1차 처리 과정에서 발생한 슬러지는 폐수로부터 제거된 고체 물질로 구성되며, 이 카테고리에서는 설명하지 않는다. 2차 및 3차 처리 과정에서 발생한 슬러지는 모여진 미세 입자들뿐만 아니라, 바이오매스에서의 생물학적 성장에서 기인하였다. 이 슬러지는 안전하게 매립되기 전에 좀더 많이 처리되어야 한다. 슬러지 처리 방법은 혐기성 및 호기성 안정화(소화), 조절(conditioning), 원심분리(centrifugation), 분해, 건조를 포함한다. 슬러지의 토지 매립, 분해, 소각은 제5권 제2장 2.3.2절 <폐기물 발생, 분해, 관리 자료>와 제3장 3.2절 <고형 폐기물 매립>, 제4장 4.1절 <생물학적 처리와 배출>, 제5장 <폐기물의 소각과 노천 소각>에서 각각 다루어진다. 일부 슬러지는 토지 매립 전에 소각된다. 농업 토지에서 비롯된 슬러지와 폐수로부터의 N_2O 배출은 11.2절에서 설명되며, 관리된 토양으로부터의 N_2O 배출은 제11장 <관리된 토양으로부터의 N_2O 배출>과 <농업, 임업, 기타 토지 사용(AFOLU)> 부분의 제4권 <석회 및 요소 적용에 기인한 CO_2 배출>에서 다루어진다.

그림 6.1 폐수 처리 시스템과 배출 경로



주: 굵은 박스에서의 배출량은 본 장에서 설명된다.

메탄(CH_4)

폐수의 슬러지 구성 성분과 폐수는 혐기적으로 분해되는 경우 CH_4 를 발생시킬 수 있다. CH_4 의 발생 정도는 기본적으로 폐수 내의 분해 가능한 유기 물질의 양, 온도, 처리 시스템의 유형에 따라 다르다. 온도가 상승되면, CH_4 발생률이 증가한다. 이 사실은 특히 통제되지 않는 시스템과 온난 기후에서 중요하다. $15^\circ C$ 이하에서는 메탄생성 미생물이 활동하지 않고 라군(lagoon)이 대체로 침전 탱크로서 기능할 것이기 때문에, 의미있는 CH_4 의 발생이 일어나지 않을 것이다. 그러나 온도가 $15^\circ C$ 이상으로 상승되면, CH_4 가 다시 발생할 것이다.

폐수의 CH_4 발생가능성을 결정짓는 주요인은 폐수 내 분해 가능한 유기 물질의 양이다. 폐수의 유기적 구성요소를 측정하는 데 사용되는 일반적인 매개변수는 생화학적 산소 요구량(BOD)과 화학적 산소 요구량(COD)이다. 동일한 조건 하에서, 높은 COD나 BOD 농도의 폐수는 낮은 COD (혹은 BOD) 농도의 폐수에 비해 일반적으로 더 많은 CH_4 을 발생시킬 것이다.

BOD 농도는 호기적으로 생물분해성이 있는 탄소량만을 지칭한다. BOD 기준 측정치는 5일 테스트이며, BOD₅로 표시된다. 이 장에서 'BOD'라는 용어는 BOD₅를 의미한다. COD는 화학적 산화(생물분해성이 있거나 없는 경우)에 이용할 수 있는 총 물질량을 측정한다². BOD는 호기성 변수이므로, 혐기성 환경에서 유기 구성 성분(organic components)을 결정하는 데 덜 적절할 것이다. 또한 폐수의 유형과 폐수에 존재하는 박테리아의 유형은 폐수의 BOD 농도에 영향을 미친다. COD가 대부분 산업 폐수에서 사용되는 개념인 반면, 일반적으로 BOD는 대체로 가정의 폐수와 관련되어 보고된다.

아산화질소(N_2O)

아산화질소(N_2O)는 폐수 내 질소 성분, 예컨대 요소, 질산염, 단백질의 분해와 관련되어 있다. 가정의 폐수는 다른 가정 폐수와 혼합되어 사람에 의해 배출되는 하수를 의미하는데, 여기에는 샤워, 싱크대, 세탁기 등의 사용으로 인해 배출된 하수가 포함된다. 중앙집중화된 폐수 처리 시스템은 라군화(lagooning)에서부터 질소 혼합물을 제거하는 데 사용되는 고도 3차 처리 기술까지 다양한 과정을 포함한다. 과정을 거친 후, 처리된 배출물은 대체로 유입되었던 수환경(예: 강, 호수, 강어귀 등)으로 배출된다. N_2O 의 직접적인 배출은 존재하는 질소의 질소 화합 작용과 탈질 작용 동안에 발생할 수 있다. 이 두 과정은 폐수가 유입되는 시설과 수체(water body)에서 발생할 수 있다. 질산화(nitrification) 작용은 암모니아나 다른 질소 성분을 질산염(NO_3)으로 전환시키는 호기성 과정이며, 반면에 탈질 작용(denitrification)은 산소가 결핍된 조건(without free oxygen)에서 발생하고 질산염을 질소 가스(N_2)로 전환시키는 생물화학적 전환 과정을 포함한다. 아산화질소는 이 두 과정의 중간 산출물일 수 있으나, 탈질 작용에 보다 많이 관련되어 있다.

처리 및 배출 시스템과 CH_4 와 N_2O 발생 가능성

대체로 호기성 환경을 제공하는 시스템에서는 CH_4 가 거의 또는 전혀 발생되지 않지만, 혐기성 환경을 제공하는 처리 시스템이나 배출 경로에서는 일반적으로 CH_4 를 발생시킨다. 예를 들면, 혼합(mixing)이나 포기(aeration)가 없는 라군에서는 그 깊이가 CH_4 를 발생시키는 주요 요인이 된다.

² 이 가이드라인에서 COD는 중크롬산염 방법을 사용하여 측정된 화학적 산소 요구량을 의미한다(American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 1998).

1m 깊이 이하의 얇은 라군에서는 일반적으로 호기성 조건을 제공하고, CH₄가 거의 발생되지 않거나 전혀 발생되지 않는다. 2-3m 이상의 웅덩이에서는 보통 혐기성 환경을 제공하며 CH₄가 많이 발생될 것이다.

표 6.1에서는 선진국과 개발도상국에서의 주요 폐수 처리 및 배출 시스템, CH₄와 N₂O의 배출 가능성을 보여준다.

표 6.1 폐수와 슬러지 처리 및 배출 시스템에 대한 CH ₄ 와 N ₂ O 배출 잠재량				
처리 및 처분 유형			CH ₄ 와 N ₂ O 배출 잠재량	
수집된 (collected)	비처리 (Untreated)	강 배출(river discharge)		정체된, 산소가 부족한 강 및 호수는 CH ₄ 를 생산하는 혐기성 분해를 허용할 수 있음. 강, 호수 및 하구는 N ₂ O의 가능한 배출원임.
		하수(폐쇄되고 지하의)		CH ₄ /N ₂ O의 배출원이 아님.
		하수(개방된)		정체된, 과부하된 개방된 수합 하수 또는 수로/운하는 CH ₄ 의 가능한 가장 중요한 배출원임.
	처리 (Treated)	호기성 처리	증양집중화된 호기성 폐수 처리 시설	혐기성 고립지대로부터의 제한된 CH ₄ 를 생산할 수 있음. 불완전하게 설계된 또는 관리되는 호기성 처리 시스템은 CH ₄ 를 생산함. 영양염류 제거(질산화 및 탈질화)를 지닌 고도의 시설은 작지만 뚜렷한 N ₂ O의 배출원임.
			증양집중화된 호기성 폐수 처리 시설에서의 슬러지 혐기성 처리	배출된 CH ₄ 가 재생되거나 연소되지 않는다면, 슬러지는 CH ₄ 의 중요한 배출원일 수 있음.
			호기성의 얇은 웅덩이	CH ₄ /N ₂ O의 가능한 배출원이 아님. 불완전하게 설계된 또는 관리되는 호기성 시스템은 CH ₄ 을 생성함.
		혐기성 처리	혐기성 라군	CH ₄ 의 가능한 배출원 N ₂ O의 배출원이 아님.
			혐기성 반응조	배출된 CH ₄ 가 재생되거나 연소되지 않는 경우에, CH ₄ 의 중요한 배출원이 될 수 있음.
수집되지 않음 (Uncollected)	정화조		빈번한 고형물질 제거는 CH ₄ 생성을 감소시킴.	
	개방된 웅덩이/변소		온도와 체류시간이 적당할 때 웅덩이/변소는 CH ₄ 을 생성할 가능성이 높음.	
	강 배출(river discharge)		위를 참조.	

6.1.1 1996 가이드라인 및 우수실행지침(GPG)과의 차이

1996 IPCC 가이드라인(1996 가이드라인, IPCC, 1997)에서는 폐수로부터의 배출량과 폐수로부터 제거된 슬러지로부터의 배출량을 산정하기 위해 각각의 방정식을 제시하였다. 용해된 유기물을 지닌 슬러지 및 폐수에 대한 CH_4 발생 용량은 대체로 동일하기 때문에 분리된 방정식이 필요하지 않으므로, 이러한 구분은 삭제하였다. 2006 가이드라인에서는 수합되지 않은 폐수로부터의 CH_4 배출량을 산정하기 위해 새로운 부문이 포함되어 있다. 또한 고도의 폐수 처리 시설로부터의 N_2O 배출량을 산정하기 위한 지침이 서술되어 있다. 게다가 산업 폐수 부문은 가장 중요한 산업 배출원만이 설명될 필요가 있다는 점을 고려하여, 간단히 기술하였다. 6.2.3절을 참고하라.

6.2 폐수로부터의 메탄 배출

6.2.1 방법론적 이슈

배출량은 발생된 유기 폐기물의 양과 이 폐기물이 CH_4 를 발생시키는 정도를 특징짓는 배출계수 변수 간의 함수이다.

이 카테고리로부터 CH_4 에 대한 세 가지 tier 방법은 아래와 같이 요약된다.

Tier 1 방법은 배출계수와 활동도 변수에 대한 기본값을 적용한다. 이 방법은 제한된 자료를 가진 국가에서 우수실행(*good practice*)으로 고려될 수 있다.

Tier 2 방법은 Tier 1과 같은 방법을 따르지만, 국가별 배출계수와 국가별 활동도 자료의 결합을 고려해야 한다. 예를 들면, 현장 측정에 근거한 주요 처리 시스템에 대한 특정 배출계수는 이 방법 하에서 결합될 수 있다. 소각장, 매립지, 농업용 토지에서 제거된 슬러지의 양이 고려되어야 한다.

좋은 자료와 진보된 방법론을 가지고 있는 국가에서는, Tier 3으로 국가별 방법을 적용할 수 있다. 보다 진보된 국가별 방법에서는 대규모 폐수 처리 시설로부터 얻어진 시설별 자료에 근거를 두어 활용할 수 있다.

폐수 처리 시설은 혐기성 과정 단계를 포함할 수 있다. 그러한 시설에서 발생된 CH_4 는 회수될 수 있고, 연소(*flaring*) 및 에너지 장치에서 연소될 수 있다. 연소되거나 에너지 사용을 위해 회수된 CH_4 의 양은 개별적인 CH_4 회수 변수를 사용하여 총 배출량에서 빼어야 한다. 회수된 CH_4 의 양은 식 6.1에서 R로 표시된다.

몇몇 국가만이 슬러지 제거 자료와 CH_4 회수 자료를 가지고 있다는 것을 생각해보자. 슬러지 제거 기본값은 0이다. CH_4 회수의 기본값도 0이다. 만약 한 국가가 CH_4 회수량을 보고하고자 한다면, 연소와 에너지 발생을 위한 CH_4 회수를 구별하는 것은 우수실행(*good practice*)이며, 에너지 부문에서는 연소 및 사용된 에너지로부터의 배출량을 이중 산정하지 않아야 한다는 점을 고려하여 보고해야 한다.

연소로부터의 배출량은, CO_2 배출량이 생물발생적(*biogenic*) 기원이고 CH_4 과 N_2O 배출량은 매우

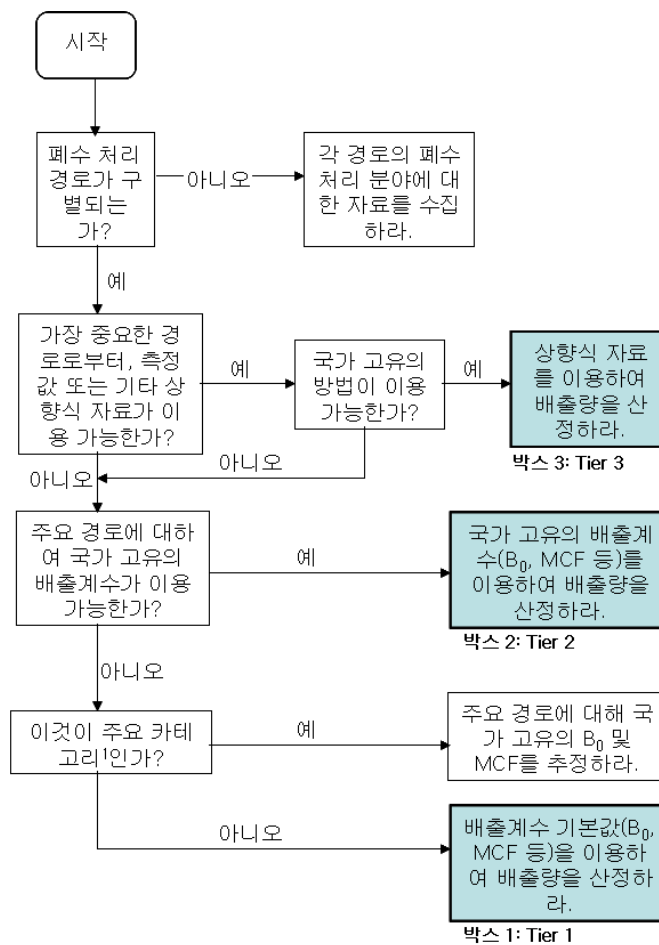
적기 때문에 중요하지 않다. 따라서 폐기물 부문의 *우수실행(good practice)*에서는 이들 배출량을 산정하는 것이 필요하지 않다. 그러나 만약 이들 배출량을 산정하고자 한다면, 이러한 배출량은 폐기물 부문에서 보고되어야 한다. 연소로부터의 배출량에 대한 논의와 보다 구체적인 정보는 제2권 <에너지> 제4.2장에 서술되어 있다. 연소로부터의 배출량은 Tier 1에서는 다루어지지 않는다.

6.2.2 가정 폐수

6.2.2.1 방법론의 선택

가정 폐수의 의사결정도는 그림 6.2에 나타나 있다.

그림 6.2 가정 폐수로부터의 CH₄ 배출에 대한 의사결정도



1. 주요 카테고리의 논의 및 의사 결정도의 사용에 대해서, 1권 4장, "방법론의 선택 및 주요 카테고리의 선정" (제한된 자원에서의 4.1.2절을 참조)

가정 폐수로부터 배출된 CH₄에 대한 인벤토리 준비 과정에서는 다음과 같은 실행 단계를 거치는 것이 좋다.

1단계: 폐수 내에 유기적으로 분해 가능한 탄소량(TOW; total organically degradable carbon in

wastewater)을 산정하기 위하여 식 6.3을 사용하라.

2단계: 국가 활동도 자료에 따른 경로와 시스템을 선택하라(그림 6.1 참고). 식 6.2를 사용하여, 각각의 가정 폐수 처리/배출 경로나 시스템에 대한 배출계수를 구하여라.

3단계: 식 6.1을 사용하여 배출량을 산정하고, 가능한 슬러지 제거량과 CH₄ 회수량을 조정하고, 각 경로/시스템에 대한 결과값을 합하라.

앞서 기술된 바와 같이, 폐수 특성화는 특정 시스템에 의해 처리되거나 처분된 폐수의 분율을 결정지을 것이다. 각 유형의 처리나 배출 시스템의 사용을 결정짓기 위하여, 국가 통계(예: 조사 담당 정부기관에서 나온 통계)를 언급하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 만약 이들 자료를 이용할 수 없다면, 폐수 협회나 세계보건기구(WHO)와 같은 국제 조직에서 보유하고 있는 시스템 사용에 근거한 자료를 활용할 수 있다.

그렇지 않으면 하수도 설비 전문가의 자문을 받는 것이 도움이 될 수 있으며, 전문가의 판단을 적용할 수도 있을 것이다(제1권 제2장 <자료 수집의 접근법> 참고). 도시화 통계는 도시 규모나 소득 분배와 같은 유용한 도구를 제공할 수 있다.

슬러지의 분리가 실행되고 적합한 통계를 이용할 수 있다면, 이 카테고리는 하위 카테고리로 분리되어야 한다. 기본값 계수가 사용된다면, 폐수와 슬러지로부터의 배출량은 함께 산정되어야 한다. 슬러지가 처리된 방법과는 상관없이, 매립지에 보내지거나 소각되거나 농업 활동에 사용된 슬러지로 인한 CH₄ 배출량은 폐수 처리 및 배출 카테고리에 포함되지 않아야 한다. 슬러지 제거 자료를 이용할 수 있다면 그 자료는 부문과 카테고리 전반에 걸쳐 일관되어야 하며, SWDS에 매립된 양, 농업용 토지에 적용된 양, 소각되거나 도처에서 사용된 양은 식 6.1에서 슬러지로 제거된 유기적 요소의 양과 같아야 한다. 농업용지에 적용된 폐수와 슬러지는 AFOLU 부문에 관한 제4권 제11.2 절에서, 관리된 토양으로부터의 N₂O 배출량은 제11장 <관리된 토양으로부터의 N₂O 배출, 석회와 요소 적용으로 인한 CO₂ 배출>에서 다루어져야 한다.

폐수 처리 시스템/경로의 사용은 종종 지방과 도시의 거주자 간에 차이가 나타난다. 또한 개발도상국에서는, 도시 고소득자와 도시 저소득자 간에 차이가 있을 수 있다. 그러므로 계수 U는 소득 그룹별 비율을 나타내기 위하여 도입되었다. 지방 인구, 도시 고소득 인구, 도시 저소득 인구를 각각의 3가지 카테고리로 다루는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 아래의 표 6.5에서 제시된 것처럼, 스프레드 시트를 사용하는 것을 제안한다.

가정 폐수로부터의 CH₄ 배출량을 산정하기 위한 일반적인 식은 다음과 같다.

식 6.1

가정 폐수로부터의 총 CH₄ 배출량

$$CH_4 \text{ 배출량} = \left[\sum_{i,j} (U_i \cdot T_{i,j} \cdot EF_j) \right] (TOW - S) - R$$

여기서:

CH₄ 배출량 = 인벤토리 연도의 CH₄ 배출량, kg CH₄/yr

TOW = 인벤토리 연도의 폐수 내 총 유기물, kg BOD/yr

S = 인벤토리 연도에 슬러지로써 제거되는 유기 성분, kg BOD/yr

U_i = 인벤토리 연도에 소득 그룹 i 의 인구 비율, 표 6.5를 보라.

T_{ij} = 인벤토리 연도에 각 소득 그룹 비율 i 에 대한 처리/배출 경로 또는 시스템, j 의 이용도 (degree of utilisation), 표 6.5를 보라.

i = 소득 그룹: 지방, 도시 고소득자, 도시 저소득자

j = 각 처리/배출 경로 또는 시스템

EF_j = 배출계수, kg CH₄/kg BOD

R = 인벤토리 연도에 회수된 CH₄의 양, kg CH₄/yr

6.2.2.2 배출계수의 선택

폐수 처리와 배출 경로 및 시스템에 대한 배출계수(그림 6.1에서 진하게 처리된 박스에 있는 마지막 블록)는 식 6.2에 나타난 것처럼, 최대 CH₄ 발생 잠재량(B_0)과 폐수 처리 및 배출 시스템에 대한 메탄 보정 계수(MCF) 간의 함수이다. B_0 는 폐수에서 주어진 유기물의 양(BOD나 COD로 표현되는 것과 같은)으로부터 발생할 수 있는 CH₄의 최대량을 뜻한다. MCF는 CH₄ 발생 용량(B_0)이 각 유형의 처리 및 배출 경로와 시스템에서 실현되는 범위를 나타낸다. 그러므로 MCF는 시스템의 혐기성 정도를 나타내는 지표가 된다.

식 6.2

각 가정 폐수 처리/배출 경로 또는 시스템에 대한 CH₄ 배출계수

$$EF_j = B_0 \cdot MCF_j$$

여기서:

EF_j = 배출계수, kg CH₄/kg BOD

j = 각 처리/배출 경로 또는 시스템

B_0 = 최대 CH₄ 발생 잠재량, kg CH₄/kg BOD

MCF_j = 메탄 보정 RP수 (비율), 표 6.3을 보라

B_0 에 대한 국가별 자료를 이용할 수 있는 경우라면, 활동도 자료와의 일관성을 위해 kg-CH₄/kg-제거된 BOD의 향으로 표현된 B_0 값을 활용하는 것이 우수실행(*good practice*)이다. 국가별 자료를 이용할 수 없다면, 기본값 0.6 CH₄/kg BOD를 사용할 수 있다. 가정 폐수에 대해서는, COD에 근거한 B_0 값이 계수 2.4를 곱함으로써 BOD에 근거한 값으로 변환될 수 있다. 표 6.2는 가정 폐수에 대한 최대 CH₄ 발생 수용량 기본값(B_0)을 포함한다.

표 6.2

가정 폐수에 대한 최대 CH₄ 발생 수용량 기본값(B_0)

0.6kg CH ₄ /kg BOD
0.25 CH ₄ /kg COD
주요 저자의 전문가 판단과 Doorn 외(1997)에 근거하였다.

표 6.3은 MCF 기본값을 포함한다.

표 6.3 가정 폐수에 대한 MCF 기본값			
처리 및 배출 경로 또는 시스템 유형	설명	MCF	범위
비처리(untreated) 시스템			
바다, 강 및 호수 배출	높은 유기물 부하를 지닌 강은 혐기성으로 바뀔 수 있다.	0.1	0-0.2
정체된 하수	개방되고 따뜻한	0.5	0.4-0.8
흐르는 하수(개방된 또는 폐쇄된)	빠른 이동, 깨끗 (펌프 등으로부터의 CH ₄ 배출이 중요하지 않다)	0	0
처리(treated) 시스템			
중앙집중화된, 혐기성 처리 시설	관리가 잘 되어야만 한다. 일부 CH ₄ 는 침강조와 다른 폐쇄지역으로부터 배출될 수 있다.	0	0-0.1
중앙집중화된, 혐기성 처리 시설	잘 관리되지 않는. 과부하된.	0.3	0.2-0.4
슬러지에 대한 혐기성 소화조	CH ₄ 회수는 여기서 고려하지 않는다.	0.8	0.8-1.0
혐기성 반응조	CH ₄ 회수는 여기서 고려하지 않는다.	0.8	0.8-1.0
혐기성의 얇은 라군	2 m 이하의 깊이. 전문가 판단을 이용하라.	0.2	0-0.3
혐기성의 깊은 라군	2 m 이상의 깊이	0.8	0.8-1.0
정화조	BOD의 절반이 혐기성 탱크에서 침강한다.	0.5	0.5
변소	건조지역, 지하수면이 변소보다 낮은 곳. 작은 가족(3-5명)	0.1	0.05-0.15
변소	건조지역, 지하수면이 변소보다 낮은 곳, 공용의 (다수의 사용자)	0.5	0.4-0.6
변소	습한 지역/세척수(flush water) 사용, 지하수면이 변소보다 높은.	0.7	0.7-1.0
변소	비료를 위해 정기적인 침전물 제거	0.1	0.1
¹ 이 절의 주저자들에게 의한 전문가 판단에 근거함.			

6.2.2.3 활동도 자료의 선택

이 배출원 카테고리에 대한 활동도 자료는 폐수 내에 유기적으로 분해가능한 물질의 총량(TOW)이다. 이 변수는 인구 수와 인구당 BOD 발생량 간의 함수이다. 이것은 생화학적 산소 요구량의 용어(kg BOD/year)로 표현된다. TOW의 식은 다음과 같다.

식 6.3

가정 폐수 내 유기적으로 분해 가능한 물질의 총량

$$TOW = P \cdot BOD \cdot 0.001 \cdot I \cdot 365$$

여기서:

TOW = 인벤토리 연도에 폐수 내 총 유기물, kg BOD/yr

P = 인벤토리 연도의 국가 인구수, (인)

BOD = 인벤토리 연도의 인구당 국가 고유의 BOD, g/인/일, 표 6.4를 보라.

0.001 = g BOD를 kg BOD로의 환산

I = 하수로의 부가적인 산업 BOD 방류에 대한 보정 계수 (수합되는 하수에 대해서 기본값은 1.25, 수합되지 않는 하수에 대해서 기본값은 1.00)

식 6.3에서의 계수 I 값은 저자의 전문가 판단에 근거한 것이다. 이 값은 가정 폐수와 함께 배출되는 산업과 공공시설(예: 식당, 정육점, 식료품점)에서 발생된 BOD를 나타낸다. 일부 국가에서는 산업 배출 허용량으로부터 얻어진 정보를 이용하여 I 값을 향상시킬 수 있다. 다른 방법으로는 전문가 판단을 추천한다. 총 인구 통계는 국가 통계청이나 국제 기관(예: United Nations Statistics, <http://esa.un.org/unpp/> 참고)을 통해 쉽게 활용할 수 있다. 표 6.4는 해당 국가에 대한 BOD 기본값을 포함한다. 국가별 자료를 이용할 수 없는 경우에는, 비슷한 국가로부터의 BOD 기본값을 선택하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 한 국가에 대한 도시화 정도는 다양한 출처(예: Global Environment Outlook, United Nations Environment Programme and World Development Indicators, World Health Organization)로부터 그 정보를 얻을 수 있다. 도시 고소득자와 도시 저소득자 비율은 통계적인 정보나 다른 비슷한 정보를 이용할 수 없을 경우에 전문가 판단을 근거로 결정될 수 있다. 표 6.5는 해당 국가에 대한 U_i 와 T_{ij} 의 기본값을 포함한다.

표 6.4 특정 지역 및 국가에 대해 가정 폐수 내 추정된 BOD₅ 값

Country/Region	BOD ₅ (g/person/day)	Range	Reference
Africa	37	35 – 45	1
Egypt	34	27 – 41	1
Asia, Middle East, Latin America	40	35 – 45	1
India	34	27 – 41	1
West Bank and Gaza Strip (Palestine)	50	32 – 68	1
Japan	42	40 – 45	1
Brazil	50	45 – 55	2
Canada, Europe, Russia, Oceania	60	50 – 70	1
Denmark	62	55 – 68	1
Germany	62	55 – 68	1
Greece	57	55 – 60	1
Italy	60	49 – 60	3
Sweden	75	68 – 82	1
Turkey	38	27 – 50	1
United States	85	50 – 120	4

주: 이 수치들은 문헌 조사에 근거하였다. 가능하다면 국가 수치를 사용하여라.

참고문헌:

1. Doom and Liles (1999)
2. Feachem et al. (1983)
3. Masotti (1996)
4. Metcalf and Eddy (2003)

표 6.5

특정 국가에 대해 각 소득 그룹에 대한 도시화(U) 및 처리, 배출 경로 또는 방법의 이용도(T_{ij})의 제안된 값들

국가	도시화(U) ¹			각 소득 그룹에 대한 처리, 배출 경로 또는 방법의 이용도 (T _{ij}) ³														
	인구 비율			U= 교외					U= 도시 고소득					U= 도시 저소득				
	교외	도시-고소득 ²	도시-저소득 ²	정화조	변소	기타	하수구 ⁴	없음	정화조	변소	기타	하수구	없음	정화조	변소	기타	하수구 ⁴	없음
아프리카																		
나이지리아	0.52	0.10	0.38	0.02	0.28	0.04	0.10	0.56	0.32	0.31	0.00	0.37	0.00	0.17	0.24	0.05	0.34	0.20
이집트	0.57	0.09	0.34	0.02	0.28	0.04	0.10	0.56	0.15	0.05	0.10	0.70	0.00	0.17	0.24	0.05	0.34	0.20
케냐	0.62	0.08	0.30	0.02	0.28	0.04	0.10	0.56	0.32	0.31	0.00	0.37	0.00	0.17	0.24	0.05	0.34	0.20
남아프리카	0.39	0.12	0.49	0.10	0.28	0.04	0.10	0.48	0.15	0.15	0.00	0.70	0.00	0.17	0.24	0.05	0.34	0.20
아시아																		
중국	0.59	0.12	0.29	0.00	0.47	0.050	0.00	0.3	0.18	0.08	0.07	0.67	0.00	0.14	0.10	0.03	0.68	0.05
인도	0.71	0.06	0.23	0.00	0.47	0.10	0.10	0.33	0.18	0.08	0.07	0.67	0.00	0.14	0.10	0.03	0.53	0.20
인도네시아	0.54	0.12	0.34	0.00	0.47	0.00	0.10	0.43	0.18	0.08	0.00	0.74	0.00	0.14	0.10	0.03	0.53	0.20
파키스탄	0.65	0.07	0.28	0.00	0.47	0.00	0.10	0.43	0.18	0.08	0.00	0.74	0.00	0.14	0.10	0.03	0.53	0.20
방글라데시	0.72	0.06	0.22	0.00	0.47	0.00	0.10	0.43	0.18	0.08	0.00	0.74	0.00	0.14	0.10	0.03	0.53	0.20
일본	0.20	0.80	0.00	0.20	0.00	0.50	0.30	0.00	0.00	0.00	0.10	0.90	0.00	0.00	0	0	0.90	0
유럽																		
러시아	0.27	0.73	0.00	0.30	0.10	0.00	0.60	0.00	0.10	0.00	0.00	0.90	0.00	NA	NA	NA	NA	NA
독일 ⁵	0.06	0.94	0.00	0.20	0.00	0.00	0.80	0.00	0.05	0.00	0.00	0.95	0.00	NA	NA	NA	NA	NA
영국(U.K.)	0.10	0.90	0.00	0.11	0.00	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	NA	NA	NA	NA	NA
프랑스	0.24	0.76	0.00	0.37	0.00	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	NA	NA	NA	NA	NA
이탈리아	0.32	0.68	0.00	0.42	0.00	0.00	0.58	0.00	0.04	0.00	0.00	0.96	0.00	NA	NA	NA	NA	NA
북미																		
미국	0.22	0.78	0.00	0.90	0.02	0.00	0.08	0.00	0.05	0.00	0.00	0.95	0.00	NA	NA	NA	NA	NA
캐나다	0.20	0.80	0.00	0.90	0.02	0.0	0.08	0.00	0.05	0.00	0.00	0.95	0.00	NA	NA	NA	NA	NA
라틴 아메리카 및 캐리비안																		
브라질	0.16	0.25	0.59	0.00	0.45	0.00	0.10	0.45	0.00	0.20	0.00	0.80	0.00	0.00	0.40	0.00	0.40	0.20
멕시코	0.25	0.19	0.56	0.00	0.45	0.00	0.10	0.45	0.00	0.20	0.00	0.80	0.00	0.00	0.40	0.00	0.40	0.20
오세아니아																		
호주/뉴질랜드	0.08	0.92	0.00	0.90	0.02	0.00	0.08	0.00	0.05	0.00	0.00	0.95	0.00	NA	NA	NA	NA	NA

주:

1. 2005년에 대한 도시화 추세(United Nations, 2002)

2 제안된 도시 고소득과 도시 저소득의 구분. 국가는 그들 교외의 자료 또는 최상의 판단을 사용하기를 권장된다.

3. 전문가 판단에 근거한 Tij 값 (Doorn and Liles, 1999)

4. 하수구는 MCF의 선택을 좌우하는, 개방 또는 폐쇄되어 있을 수 있다 (표 3.3 참조)

5. Destatis, 2001

주: 이 값들은 문헌에서 인용되었거나, 전문가 판단에 근거한다. 가능하다면 국가 수치를 사용하여라.

예

표 6.6은 한 가지 예를 보여준다. 이 예에서는, 거의 영향을 미치지 않는 카테고리는 나타내지 않았다. 이 표는 각 카테고리에 대한 MCF 열에 의해 쉽게 확장될 수 있다는 점에 유의하자. 이 국가의 도시화 정도는 65%이다.

표 6.6 소득 그룹에 따른 처리 이용도(T)에 대한 기본값의 적용 사례			
처리, 배출 시스템 또는 경로		T(%)	주(Notes)
도시 고소득	바다	10	No CH ₄
	호기성 설비	20	산업 구성성분을 추가
	정화조 시스템	10	수합되지 않는
도시 저소득	바다	10	수합되는
	채래식 변소	15	수합되지 않는
교외	강, 호수, 바다	15	수합되지 않는
	채래식 변소	15	
	정화조	5	
Total		100%	합이 100%여야 함.
참고문헌: Doorn and Liles (1999)			

6.2.2.4 시계열 일관성

매년 폐수로부터의 CH₄ 배출량을 산정하기 위해서는, 동일한 방법과 자료 세트를 이용하여야 한다. 다른 처리 시스템에 대한 MCF 값은 그 값의 변화가 입증될 수 있거나 문서화되지 않는 경우라면, 해에 따라 달라져서는 안 된다. 만약 다른 처리 시스템에서 처리된 폐수의 일부분(share)이 시간의 흐름에 따라 변화된다면, 이러한 변화의 이유가 문서화되어야만 한다.

슬러지 제거와 CH₄ 회수는 수년에 걸친 시계열 측면에서 일관성 있게 산정되어야 한다. 메탄 회수는 충분한 시설별 자료가 있을 경우에 한하여 포함되어야 한다. 회수된 메탄의 양은 식 6.1에서 보여진 것처럼 발생된 메탄의 양에서 빼어야 한다.

활동도 자료는 모든 국가와 모든 연도에 이용할 수 있는 인구 자료에서 얻어진 것이므로, 국가에서는 수합되지 않은 폐수나 수합된 폐수에 대해 전체 시계열을 구성할 수 있어야 한다. 만약 현장에서 처리된 수합되지 않은 폐수와 처리되지 않고 수합되지도 않은 폐수를 비교한 일부분에 대한 자료가 1년 이상 동안 결측되었다면, 대응 자료와 제1권 <일반적 지침과 보고서 작성> 제5장 <시계열 일관성>에서 설명된 외삽법/내삽법 접합 기술이 배출량을 산정하는 데 활용될 수 있다. 대체로 폐수로부터의 배출량은 해마다 두드러지게 변동되지는 않는다.

6.2.2.5 불확도

제1권 제3장 <불확도>에서는 실제 불확도를 정량하는 방법을 제공한다. 이 방법은 경험적 자료를 조합하여 전체에 걸친 불확도 산정값을 제공할 수 있는 전문가 판단을 도출하고 활용하는 데 필요한 안내 사항을 포함한다. 표 6.7에서는 가정 폐수의 배출계수와 활동도 자료에 대한 불확도 기본값 범위를 나타낸다. 다음의 변수는 매우 불확실하다고 생각되는 것들이다.

- 도시 고소득, 도시 저소득 그룹 및 지방 인구에 대해서, 개발도상국에서 채래식 변소나 정화조에서 폐수가 처리되는 정도 혹은 하수에 의해 제거되는 정도 (T_{ij})
- 개발도상국의 개방형 하수도의 혐기성 정도와 CH_4 배출 예상값, ‘개방형’ 하수도의 비율. 이것은 체류 시간과 온도, 그리고 기능성(facultative) 층의 존재와 혐기성 박테리아에 대한 유해 요소 등(예: 특정 산업 폐수 배출)의 기타 요인에 따라 달라진다.
- 각 국가에 대한 개방형이나 폐쇄형 가정 하수도에 배출된 산업 TOW의 양은 정량하기에 매우 어렵다.

표 6.7
가정 폐수의 불확도 범위의 기본값(default)

변수	불확도 범위
배출계수	
최대 CH_4 발생 용량 (B_0)	$\pm 30\%$
혐기적으로 처리되는 비율 (MCF)	MCF는 기술에 의존한다. 표 6.3을 보아라. 따라서 불확도 범위 또는 기술에 의존한다. 불확도 범위는 MCF가 비율이고 0에서 1 사이에 존재해야 한다는 것을 감안하여, 전문가 판단에 의해 결정되어야만 한다. 제시된 범위는 아래와 같다. 처리되지 않은 시스템 및 변소, $\pm 50\%$ 라군, 허술하게 관리되는 처리 설비, $\pm 30\%$ 중앙집중화된, 잘 관리되는 설비, 소화기, 반응조, $\pm 10\%$
활동도 자료	
인구 수(P)	$\pm 5\%$
1인당 BOD	$\pm 30\%$
소득 그룹의 인구 비율(U)	도시화에 대한 좋은 자료가 이용 가능하다. 그러나, 도시 고소득과 도시 저소득 사이의 뚜렷한 차이는 전문가 판단에 근거해야 할 수도 있다. $\pm 15\%$
각 소득 그룹에 대한 처리/배출 경로 또는 시스템의 이용도 (T_{ij})	좋은 기록 및 단지 하나 또는 두 개의 시스템을 가지고 있는 국가에 대해서는 3% 정도로 낮을 수 있다. 개별적인 방법/경로에 대해서 $\pm 50\%$ 가 될 수 있다. 총 $T_{ij} = 100\%$ 인 것을 검증하여야.
하수로 방류되는 추가적인 산업 BOD에 대한 보정계수	수합되지 않는 경우, 불확도는 0%이다. 수합되는 경우, 불확도는 $\pm 20\%$ 이다.
출처: 전문가 그룹(이 절의 저자들)에 의한 판단	

6.2.2.6 QA/QC, 완전성, 보고 및 문서화

제1권 제6장에서 개관한 것처럼, 품질 관리 확인과 품질 보장 절차를 수행하는 것이 *우수실행* (good practice)이다. 이하에서는 몇 가지 기본적인 QA/QC 절차가 소개되어 있다.

활동도 자료

- 다른 처리 시스템(호기성과 혐기성)에 흘러드는 폐수의 백분율, 처리되지 않은 폐수의 백분율에 따라 모든 폐수를 특성화하라. 폐수의 유출량이 해당 국가에서 발생된 폐수의 100%까지 총계가 되도록 하기 위하여, 모든 폐수를 확실하게 특성화하라.
- 인벤토리 작성자는 가정 폐수 내 BOD에 대한 국가별 자료와 IPCC 기본값을 비교해야 한다. 만약 인벤토리 작성자가 국가별 값을 사용한다면, 그들은 왜 국가별 값이 해당 국가 환경에 보다 적절한 것인지에 대해 문서를 통해 입증해야 한다.

배출계수

- 가정 폐수에 대해, 인벤토리 작성자는 B_0 에 대한 국가별 값과 IPCC 기본값($0.25\text{kg CH}_4/\text{kg COD}$ 혹은 $0.6\text{kg CH}_4/\text{kg BOD}$)을 비교할 수 있어야 한다. 비록 혐기적으로 처리된 폐수의 비율에 대한 IPCC 기본값은 없지만, 인벤토리 작성자는 MCF에 대한 값과 비슷한 폐수 취급 방법을 적용하는 다른 국가들의 값을 대조하는 것이 좋다.
- 인벤토리 작성자는 폐수 내 분해 가능한 탄소(TOW)에 대해 사용된 단위와 B_0 에 대한 단위 간에 합의를 분명히 해야 한다. 두 가지 변수 모두 배출량을 계산하기 위해서는, 동일한 단위(BOD나 COD)에 근거해야 한다. 이와 같은 내용은 배출량을 비교할 때 고려해야 한다.

CH₄ 회수와 슬러지 제거

- 탄소 밸런스 확인은 유입과 유출시에 포함된 탄소(BOD 배출량, 메탄 배출과 메탄 회수)를 비교할 수 있는지 분명히 하기 위하여 사용될 수 있다.
- 슬러지 제거가 폐수 인벤토리에서 보고될 경우에는, 농업용 토양, 소각된 슬러지, 고형 폐기물 매립지에 매립된 슬러지에 적용되는 슬러지 산정값의 일관성에 대해 확인하라.

다른 접근법을 사용하는 배출량 산정의 비교

- 국가별 변수나 Tier 2나 더 수준 높은 방법을 사용하는 국가에서는, 인벤토리 작성자가 IPCC 기본값과 변수를 사용하여 배출량에 대한 국가의 산정값에 대해 교차 확인 작업을 할 수 있다.

완전성

완전성은 처리 및 배출 시스템이나 경로의 사용 정도를 근거로 입증할 수 있다. T의 총계는 100%와 같아야 한다. 해당 국가에서 폐수가 처리된 경우와 처리되지 않은 경우, 폐수가 수합된 경우와 수합되지 않은 경우 등 모든 가능한 혐기성 처리 및 배출 시스템과 경로를 고려한다면, 그림 6.1과 유사한 도식을 그려보는 것이 좋다. 가정 폐수 처리 시설에서 처리된 산업 폐수는 폐수 수합 카테고리에 포함되어야 한다. 만약 슬러지가 소각, 매립지 매립의 목적으로 제거되거나 농업용 토지에 비료로 사용되기 위해 제거된다면, 슬러지로서 제거된 유기 물질의 양은 관련 있는 분야에서

사용된 자료와 일관성이 있어야 한다(6.2.2절 이하의 본문을 참고할 것).

보고 및 문서화

사용된 방법, 활동도 자료, 배출계수에 관한 요약 내용을 문서화하고 보고하는 것이 좋다. 워크시트는 이 권의 마지막에 제시된다. 국가별 방법과 배출계수가 사용된 경우에는, 국가별 자료를 도출한 참고 문헌과 해당 자료를 선택하게 된 이유에 대해 문서화하고 보고서로 작성할 것이다.

슬러지가 소각되거나 매립되거나 농업용 토지에 퍼져 있다면, 슬러지의 양과 슬러지 관련 배출계수는 각각 폐기물 소각, SWDS, 농업 카테고리에서 보고되어야 한다.

CH₄가 에너지로 사용되기 위해 회수된 곳에서는, 그 결과인 온실가스 배출이 에너지 부문에서 보고되어야 한다. 6.2.1절에서 논의된 바와 같이, 폐기물 부문에서는 CH₄ 회수와 flaring으로 인한 CH₄과 N₂O의 배출량을 다루지 않는 것이 좋다. 그러나 이 경우, flaring으로 인한 배출량은 폐기물 부문에서 보고되어야 한다.

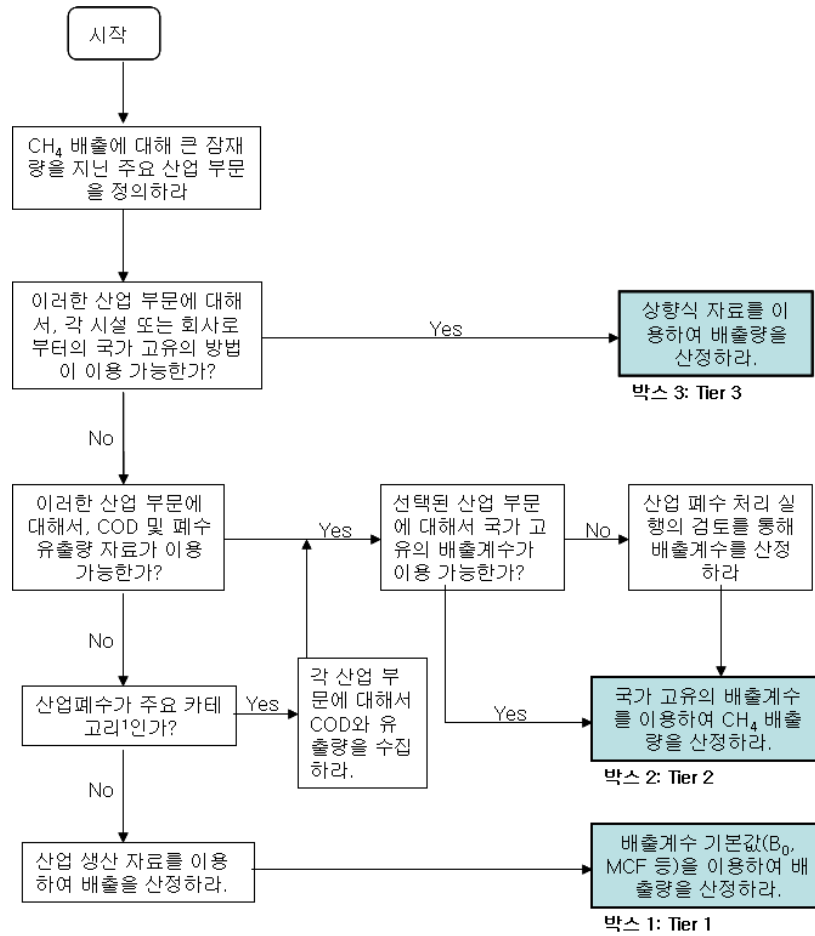
보고서 작성과 문서화에 대해서는 제1권 제6장 6.11절 <문서화, 파일 보관, 보고서 작성>에서 더 많은 정보가 다루어질 것이다.

6.2.3 산업 폐수

산업 폐수는 지역에서 처리되거나 가정 하수도 시스템으로 배출될 수 있다. 만약 산업 폐수가 가정 하수도 시스템으로 배출된다면, 그 배출량은 가정 폐수 배출량에 포함될 것이다. 이 분야에서는 현지의 산업 폐수 처리로 인한 CH₄ 배출량을 산정하는 것에 대해 서술한다. 의도되거나 의도되지 않은 혐기성 조건 하에서 처리된 주요 탄소 부하량을 지닌 산업 폐수만이 CH₄를 생산할 것이다. 산업 폐수 내의 유기화합물은 종종 COD라는 용어로 표현되며, 본문에서도 이 용어를 사용할 것이다.

6.2.3.1 방법론의 선택

산업 폐수에 대한 의사결정도는 그림 6.3에 나타나 있다.

그림 6.3 산업 폐수 처리로부터의 CH₄ 배출량에 대한 의사결정도

1. 주요 카테고리의 논의 및 의사 결정도의 사용에 대해서, 1권 4장, "방법론의 선택 및 주요 카테고리의 선정" (제한된 자원에서의 4.1.2절을 참조)을 보아라.

산업 폐수 흐름으로 인한 CH₄ 발생 잠재량은 폐수에 대한 권과 혐기성 시스템 내의 폐수 처리에 대한 산업 부문을 다루는 내용에서 취급되는, 폐수 내 분해 가능한 유기 물질의 농도에 근거하여 산정된다. 이 준거를 사용하여, 높은 CH₄ 가스 발생 잠재량을 지닌 주요 산업 폐수의 배출원은 다음과 같이 구체화될 수 있다.

- 펄프와 종이 제조
- 육류와 가금류 도축 공정(도축장)
- 주류, 맥주, 전분 생산
- 유기 화합물 생산
- 기타 음식과 음료수 생산 공정(낙농 제품, 야채 오일, 과일, 야채, 통조림, 주스 생산 등)

펄프 및 제지 산업과 육류 및 가금류 도축 산업은 둘 다 높은 수준의 분해 가능한 유기물을 포함한 폐수를 다량으로 발생시킨다. 육류와 가금류 도축 공정 시설은 대체로 폐수를 처리하는 혐기성 라군을 사용하고, 제지 및 펄프 산업 또한 라군과 혐기성 반응조를 사용한다. 비동물성 음식과 음

료 산업은 주요 유기 탄소 수준을 지닌 상당량의 폐수를 발생시키고, 또한 라군과 혐기성 반응조와 같은 혐기성 과정을 사용하는 것으로 알려져 있다. 바이오가스 시설과 함께 산업 배출 폐수를 처리한 혐기성 반응조는 보통 발생된 CH₄를 회수하여 에너지로 사용하는 것과 관련되어 있다. 에너지 생산을 위한 연소 과정으로부터의 배출량은 에너지 부문에서 보고되어야 한다.

산업 폐수로부터의 배출량을 산정하기 위한 방법은 가정 폐수를 위한 사용된 방법과 유사하다. 그림 6.3의 의사결정도를 참고하라. 배출계수와 활동도 자료를 개발하는 것은, 폐수의 유형과 산업 유형이 다양하기 때문에 배출량 산정 방법에 비해 더 복잡한 과정이다. 이 배출원 카테고리에 대한 배출량을 가장 정확하게 산정하는 방법은 점오염원으로부터 측정된 자료에 근거하는 것이다. 측정에는 비용이 많이 들고 가능한 점오염원이 많기 때문에, 종합적인 측정 자료를 수집하는 것은 매우 어렵다. 여기서는 인벤토리 작성자가 다음의 일반적인 단계를 포함하는 하향식 접근법을 사용하는 방법을 추천한다.

1단계: 산업 부문 i에서 폐수 내 유기적으로 분해 가능한 탄소(TOW)를 산정하기 위해서는, 식 6.6을 사용하라.

2단계: 국가의 활동도 자료에 따라 경로와 시스템(그림 6.1)을 선택하라. 배출계수를 구하기 위해서는, 식 6.5를 사용하라. 각 산업별 부문에서는, 최대 메탄 발생 가능량과 평균 산업별 메탄 보정계수를 사용하여 배출계수를 산정하라.

3단계: 배출량을 산정하기 위해 식 6.4를 사용하고, 가능한 슬러지 제거량과 CH₄ 회수량을 조정하고, 그 결과값을 합하라.

산업 폐수로 인한 CH₄ 배출량을 산정하기 위한 일반적인 식은 다음과 같다.

식 6.4
산업 폐수로부터의 총 CH₄ 배출량

$$CH_4 \text{ 배출량} = \sum_i [(TOW_i - S_i)EF_i - R_i]$$

여기서:

CH₄ 배출량 = 인벤토리 연도의 CH₄ 배출량, kg CH₄/yr

TOW_i = 인벤토리 연도의 산업 I로부터의 폐수 내 유기적으로 분해 가능한 물질의 총량, kg COD/yr

i = 산업 부문

S_i = 인벤토리 연도에 슬러지로써 제거되는 유기 성분, kg COD/yr

EF_i = 인벤토리 연도에 사용된 처리/배출 경로 또는 시스템에 대하여 산업 i에 대한 배출계수, kg CH₄/kg COD

산업에서 하나 이상의 처리 방법이 사용된다면, 이 변수는 가중 평균이 될 필요가 있다.

R_i = 인벤토리 연도에 회수된 CH₄의 양, kg CH₄/yr

회수된 CH₄의 양은 식 6.4에서 R로 표현된다. 회수된 가스는 6.2.1절에서 기술된 바와 같이 처리

되어야 한다.

6.2.3.2 배출계수의 선택

다른 유형의 산업 폐수의 CH₄ 배출 잠재량에는 중요한 차이가 있다. 각 산업에서 최대 CH₄ 발생 잠재량(B₀)을 결정짓기 위해서는 가능한 범위까지 자료를 수집하여야 한다. 앞서 언급한 바와 같이, MCF는 CH₄ 발생 잠재량(B₀)이 각 유형의 처리 방법에서 실현되는 범위를 나타낸다. 그러므로 MCF는 해당 시스템의 혐기성 정도를 나타내는 지표이다. 식 6.5를 참고하라.

식 6.5
산업 폐수로에 대한 CH₄ 배출계수

$$EF_j = B_0 \bullet MCF_j$$

여기서:

EF_j = 각 처리/배출 경로 또는 시스템에 대한 배출계수, kg CH₄/kg COD

j = 각 처리/배출 경로 또는 시스템

B₀ = 최대 CH₄ 발생 용량, kg CH₄/kg COD

MCF_j = 메탄 보정 계수 (비율) (표 6.8을 보라)

정부 기관, 산업 조직, 산업 전문가로부터 이용할 수 있는 국가별, 산업별 자료를 구할 수 있다면, 이러한 자료를 사용하는 것이 좋다. 그러나 대부분의 인벤토리 작성자는 세부적인 산업 부문 고유의 자료를 이용할 수 없거나 불완전한 자료만 찾을 수 있을 것이다. 만약 국가별 자료를 이용할 수 없다면, IPCC COD- B₀에 대한 계수 기본값(0.25kg CH₄/kg COD)을 사용하는 것이 좋다.

혐기성 조건하에서 처리되는 폐수의 비율인 메탄 보정 계수(MCF)를 결정하는 경우에는, 전문가의 판단을 수용하는 방법을 권장한다. 산업 폐기물 처리 실체에 대한 동료 평가 조사는 이러한 자료를 산정하는 데 유용한 한 가지 기술이다. 이와 같은 조사 연구는 산업 실체의 주요 경향을 충분히 반영할 수 있도록 자주 수행되어야 한다(예: 3-5년을 주기로). 제1권 제2장 <자료 수합 접근법>에서는 불확도 범위에 대한 전문가 판단을 도출하는 방법을 설명한다. 공개된 자료와 통계를 이용할 수 없는 경우에는, 유형별 자료에 대해 필요한 정보를 얻기 위하여 이와 유사한 전문가 판단 도출 프로토콜을 사용할 수 있다. 표 6.8에는 전문가 판단에 근거한 MCF 기본값이 포함되어 있다.

표 6.8
산업 폐수에 대한 MCF 기본값

처리 및 배출 경로 또는 시스템의 유형	설명	MCF	범위
처리되지 않은			
바다, 강 및 호수 배출	높은 유기물 부하량을 지닌 강은 혐기성으로 바뀔 수 있다. 그러나 여기서 이는 고려되지 않는다.	0.1	0-0.2
처리되는			
호기성 처리 시설	잘 관리되어야만 한다. 침강조 및 기타 장소로부터	0	0-0.1

	일부 CH ₄ 가 배출될 수 있다.		
호기성 처리 시설	잘 관리되지 않는. 과부하된.	0.3	0.2-0.4
슬러지의 혐기성 소화조	여기서는 CH ₄ 회수가 고려되지 않는다.	0.8	0.8-1.0
혐기성 반응조 (예, UASB, 고정막 반응조)	여기서는 CH ₄ 회수가 고려되지 않는다.	0.8	0.8-1.0
혐기성의 얇은 라군	2미터 이하의 깊이. 전문가 판단을 이용하라.	0.2	0-0.3
혐기성의 깊은 라군	2미터 이상의 깊이	0.8	0.8-1.0
¹ 이 절의 주저자들에게 의한 전문가 판단에 근거하였음.			

6.2.3.3 활동도 자료의 선택

이 배출원 카테고리에 대한 활동도 자료는 폐수 내의 유기적으로 분해가능한 물질의 양(TOW)이다. 이 변수는 산업 생산물(product) $P(\text{tons/yr})$ 와 폐수 발생량 $W(\text{m}^3/\text{ton of product})$, 폐수 내 분해 가능한 유기물의 농도 $\text{COD}(\text{kg COD}/\text{m}^3)$ 의 함수이다. 식 6.6을 참고하라. TOW값을 결정짓기 위해서는 다음의 단계를 따라야 한다.

- (i) 총 산업 생산량, 폐수 내 분해 가능한 유기화합물의 양, 발생된 폐수량을 평가함으로써, 다량의 유기 탄소를 지닌 폐수를 발생시키는 산업 부문을 확인하라.
- (ii) 혐기성 처리 방법을 사용하는 산업 부문을 확인하라. 처리 시스템의 과부하 결과로, 의도하지 않은 혐기성 처리 가능성이 있는 산업을 포함하라. 그 동안의 경험으로 미루어 보아, 통상적으로 3개나 4개의 산업 부문이 주요 부문(key)이다.

각 선택된 부문에서 유기적으로 분해 가능한 총 탄소량(TOW)을 산정하라.

식 6.6 산업 폐수 내 유기적으로 분해 가능한 물질

$$TOW_j = P_i \bullet W_i \bullet CDO_j$$

여기서:

TOW_i = 산업 i에 대한 폐수 내 유기적으로 분해 가능한 물질의 총량, kg COD/yr

i = 산업 부문

P_i = 산업 부문 i에 대한 총 산업 생산량, t/yr

W_i = 발생된 폐수, $\text{m}^3/\text{t}_{\text{product}}$

COD_i = 화학적 산소 요구량(폐수 내 산업적 분해 가능한 유기 성분), kg COD/ m^3

산업 생산량 자료와 폐수 흐름도는 국가 수준의 통계, 단속 기관, 폐수 처리 협회, 산업 협회를 통해 얻을 수 있다. 일부 경우에는, 전문가 판단을 통해 폐수 내 COD 부하의 정량화 작업을 수행한

다. 일부 국가에서는, 단속 기관을 통해 COD와 부문별 총 물 사용량 자료를 직접적으로 이용할 수 있다. 그 외 다른 방법으로는 문헌 자료를 통해, 산업 생산량과 생산량 1톤당 발생된 COD량 (tons)에 근거한 자료를 구하는 것이다. 표 6.9에서는 기본값으로 사용될 수 있는 예를 제공한다. 이것은 산업별, 공정별, 국가별 자료이므로, 주의해서 사용해야 한다.

표 6.9 산업 폐수 자료의 예				
산업 유형	폐수 발생량 W (m ³ /ton)	W의 범위 (m ³ /ton)	COD (kg/m ³)	COD 범위 (kg/m ³)
알코올 정제	24	16 - 32	11	5 - 22
맥주 & 맥아	6.3	5.0 - 9.0	2.9	2 - 7
커피	NA	NA-	9	3 - 15
유제품	7	3 - 10	2.7	1.5 - 5.2
생선 가공	NA	8 - 18	2.5	
육류 & 가금	13	8 - 18	4.1	2 - 7
유기 화합물	67	0 - 400	3	0.8 - 5
석유 정제소	0.6	0.3 - 1.2	1.0	0.4 - 1.6
플라스틱 & 합성수지	0.6	0.3 - 1.2	3.7	0.8 - 5
펄프 & 종이 (결합한)	162	85 - 240	9	1 - 15
비누 & 세제	NA	1.0 - 5.0	NA	0.5 - 1.2
녹말 생산	9	4 - 18	10	1.5 - 42
설탕 정제	NA	4 - 18	3.2	1 - 6
야채유	3.1	1.0 - 5.0	NA	0.5 - 1.2
야채, 과일 & 주스	20	7 - 35	5.0	2 - 10
와인 & 식초	23	11 - 46	1.5	0.7 - 3.0
참조: NA = Not Available				
출처: Doom et al. (1997)				

6.2.3.4 시계열 일관성

일단 인벤토리 계산에 한 산업 부문을 포함시키면, 해당 산업 부문은 매 차년도에 대해서도 인벤토리 목록에 포함되어야 한다. 새로운 산업 부문을 계산에 추가할 경우에, 인벤토리 작성자는 그 방법이 해마다 일관성을 갖도록 전체 시계열적으로 재계산하여야 한다. 시계열에 따른 산정값의 재계산에 관한 일반적인 지침은 제1권 제5장 <시계열 일관성>에서 설명된다.

가정 폐수와 마찬가지로, 슬러지 제거와 CH₄ 회수는 시계열 차원에서 해를 거듭하면서 일관성 있게 처리되어야 한다. CH₄ 회수는 시설별 자료가 있는 경우에 한하여 포함되어야 한다. 회수된 CH₄의 양은 식 6.4에서 나타낸 바와 같이, CH₄ 발생량에서 빼어야 한다.

6.2.3.5 불확도

B₀, MCF, P, W, COD에 대한 불확도 산정값은 표 6.10에서 제공된다. 여기에서의 산정값은 전문가 판단에 근거한 것이다.

표 6.10 산업 폐수에 대한 불확도의 기본 범위	
변수	불확도 범위
배출계수	
최대 CH ₄ 생산량 (B ₀)	± 30%
메탄 보정 계수 (MCF)	불확도 범위는 비율이고 불확도는 0-1의 범위의 바깥으로 존재할 수 없다는 것을 고려하면서, 전문가 판단에 의해 결정되어야 한다.
활동도 자료	
산업 생산량 (P)	± 25%. 더 정확한 불확도 범위를 할당하기 위하여 자료 공급원의 품질에 대해서 전문가 판단을 사용하여야.
폐수/단위 생산량 (W)	동일한 부문이라도 다른 국가와 다른 시설에서는 다른 폐수처리 공정을 사용할 수 있기 때문에, 이러한 자료는 매우 불확실 할 수 있다. 변수들의 곱(W COD)은 적은 불확도가 기대된다. 불확도 값은 직접적으로 kg COD/tonne-생산량으로 할당될 수 있다. -50%, +100%가 제시된다 (즉, 2배)
COD/단위 폐수 (CD))	
출처: 전문가 그룹(이 부문의 부의장, 편집자들 그리고 저자들)에 의한 판단	

6.2.3.6 QA/QC, 완전성, 보고 및 문서화

제1권 제6장 <QA/QC와 검증>에서 개관한 것처럼, 품질 관리 점검과 품질 보장 과정을 수행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 일부 기본적인 QA/QC 절차는 다음과 같다.

- 산업 폐수 부문에서 인벤토리 작성자는 이차적 자료 세트를 검토할 수 있으며(예: 국가 통계, 단속 기관, 폐수 처리 협회, 산업 협회), 이 자료는 산업 COD 폐기물 발생량을 산정하고 등급화하는 데 사용된다. 일부 국가에서는 산업 배출에 대해 법규적인 단속이 행해지는데, 이 경우 주요 QA/QC 프로토콜은 산업에 근거한 폐수 특성을 개발하기에 적절한 방법이라고 할 수 있다.
- 산업 폐수에 대해, 인벤토리 작성자는 유사한 폐수 특성을 지닌 다른 국가 인벤토리 목록의 값과 MCF 값을 교차 검토하여야 한다.
- 인벤토리 작성자는 제1권 제2장 <자료 수집에 대한 접근법>에서 개관한 측정 기준에 따라 보고된 것을 확실히 하기 위하여, CH₄ 회수에 대한 시설별 자료를 검토해야 한다.
- CH₄ 회수에 포함된 탄소량이 CH₄ 회수를 보고한 시설에 유입된 BOD에 포함된 탄소량보다 더 적다는 것을 확인하기 위하여, 탄소 밸런스를 점검하라.
- 슬러지 제거가 폐수 인벤토리에서 보고된다면, 농업용 토양에 적용된 슬러지, 소각된 슬러지, 고형 폐기물 매립에서 분해된 슬러지에 대한 산정값의 일관성을 점검하라.
- 국가별 변수가 높은 수준의 tier 방법을 사용한 국가에서는, 인벤토리 작성자가 국가 산정값과 IPCC 기본값 방법과 변수를 사용한 배출량을 교차 검토하여야 한다.

완전성

산업 폐수로부터의 배출량을 산정하는 데 있어서의 완전성은 유기 폐수를 발생시키는 산업 부문

을 얼마나 정확하게 특성화하느냐에 따라 달라진다. 대부분의 국가에서는, 약 3-4개의 산업 부문이 유기 폐수 발생량의 대부분을 차지한다. 인벤토리 작성자는 특히 일부 산업이 급속하게 발전하고 있다면, 산업 배출원에 대해 재조사하여야 한다.

이 카테고리는 현장에서 처리되는 산업 폐수만을 포함해야 한다. 가정 하수도 시스템에 배출되는 산업 폐수로부터의 배출량은 가정 폐수와 함께 설명되고 포함되어야 한다.

산업 폐수로 인한 일부 슬러지는 소각되거나 매립지나 농업용 토지에서 분해될 수 있다. 이것은 이용 가능한 TOW로부터 빼주어야 하는 유기 폐수의 양을 구성한다. 이 값이 각 부문 간에 일관성이 있도록 하는 것이 *우수실행(good practice)*이다: TOW로부터 제거된 슬러지의 양은, 매립지에 매립되고 농업용 토양으로 뿌려지고 도처에서 소각되거나 처리된 슬러지의 총량과 같아야 한다.

보고서 작성과 문서화

사용된 방법, 활동도 자료, 배출계수에 대해 요약한 내용을 문서화하고 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 워크시트는 이 책의 끝에서 제공된다. 국가별 방법과 배출계수가 사용되었을 때에는, 국가별 자료가 도출된 참고 자료(예: 측정값, 논문, 전문가 판단 등)와 그 선택에 대한 근거를 문서화하고 보고서에 포함하여야 한다.

만약 슬러지가 소각되거나 매립되거나 또는 농업용 토지에 뿌려진다면, 슬러지의 양과 이에 연관된 배출량이 각각 폐기물 소각, SWDS, 또는 농업 카테고리에서 보고되어야 한다.

만약 산업 폐수 처리에 대해 CH₄ 회수 자료를 이용할 수 있다면, 이 자료는 연소 및 에너지 회수에 대하여 각각 문서화되어야 한다. 회수된 CH₄의 처리 방법과 연소로부터의 배출량을 보고하는 방법은 6.2.2.6 절의 가정 폐수에 대한 지침과 동일하여야 한다.

보고서 작성과 문서화에 대한 보다 구체적인 정보는 제1권 제6장 6.11절 <문서화, 저장 및 보고>에서 다루어질 것이다.

6.3 폐수로 인한 아산화질소 배출량

6.3.1 방법론적 이슈

6.3.1.1 방법의 선택

아산화질소(N₂O) 배출은 처리 시설로부터의 직접적인 배출로써 일어나거나, 또는 수로, 호수, 바다 유출수의 처리 후 폐수로부터의 간접적인 배출로 인해 발생할 수 있다. 폐수 처리 시설에서 질산화 및 탈질화로부터의 직접적인 배출은 두 번째 원인으로 고려될 수 있으며, 박스 6.1에서는 이러한 배출량을 산정하기 위한 지침을 제공한다. 전형적으로, 이러한 배출량은 유출수로 인한 배출량보다 훨씬 작고, 질소 화합 작용과 탈질화 단계를 가진 고도의 중앙집중화 폐수 처리 시설을 많이 가지고 있는 국가에서만 중요하게 취급된다.

보다 높은 수준의 tier가 주어져 있지 않기 때문에, 여기서 제시하는 방법을 사용하여 가정 폐수

유출수로 인한 N_2O 을 산정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 의사결정도는 제공되지 않는다. 직접적인 배출량은 질산화 및 탈질화 단계를 지닌 고도의 중앙집중화 폐수 처리 시설을 많이 갖춘 국가에서만 산정될 필요가 있다.

따라서 이 분야에서는 수자원 환경에 배출된 폐수 처리 유출수로 인한 간접적인 N_2O 배출량에 대해 설명한다. 유출수로 인한 배출량 계산을 위한 방법론은 제4권, 제11장 <관리되는 토양으로부터의 N_2O 배출량 및 석회와 요소 적용으로부터의 CO_2 배출량>의 11.2.2절에서 설명된 간접적인 N_2O 배출량을 구하는 방법론과 유사하다. 단순화된 일반적인 방정식은 다음과 같다.

식 6.7

폐수 유출수로부터의 N_2O 배출량

$$N_2O \text{ 배출량} = N_{\text{유출수}} \bullet EF_{\text{유출수}} \bullet 44/28$$

여기서:

N_2O 배출량 = 인벤토리 연도의 N_2O 배출량, kg N_2O /yr

$N_{\text{유출수}}$ = 수환경으로 방류된 유출수 내 질소, kg N/yr

$EF_{\text{유출수}}$ = 폐수로 방류된 유출수로부터의 N_2O 배출에 대한 배출계수, kg N_2O -N/kg N

44/28은 kg N_2O -N를 kg N_2O 로의 변환계수이다.

6.3.1.2 배출계수의 선택

가정 폐수 질소 유출수로 인한 N_2O 배출량에 대한 IPCC 배출계수 기본값은 0.005(0.0005-0.25)kg N_2O =N/kg N이다. 이 배출계수는, 한정된 현장의 자료와 강과 하구에서의 질산 및 탈질 작용의 발생과 관련된 특정 가정에 근거한다. 첫 번째 가정은 모든 질소가 유출수와 함께 배출된다는 것이다. 두 번째 가정은 강과 하구에서의 N_2O 발생이 질산화 및 탈질 작용과 직접적으로 관련되는, 즉 강에 배출된 질소에 직접적으로 관련되어 있다는 가정이다.(제4권 제11장 <관리되는 토양으로부터의 N_2O 배출량 및 석회와 요소 작용으로부터의 CO_2 배출량>의 11.2.2절의 표 11.3을 참고하라)

6.3.1.3 활동도 자료의 선택

N_2O 배출량을 산정하는 데 필요한 활동도 자료는 폐수 유출수 내 질소 함량, 국가 인구, 그리고 1인당 평균 연간 단백질 발생량(kg/person/yr)이다. 1인당 단백질 발생량은 <음식 및 농업 조 직>(FAO, 2004)을 통해 구할 수 있는 섭취량(소비량)으로 구성되고, 추가적인 '소비되지 않은(non-consumed)' 단백질 및 하수 시스템으로 방류되는 산업적 단백질에 대해 설명하는 변수들에 의해 곱해진다. 소비되지 않은 음식(폐기물)은 하수구에 씻겨 내려갈 수 있고(예: 일부 선진국에서 쓰레기 매립 방법을 사용한 결과로써), 목욕이나 빨래를 한 후의 물도 질소 부하량에 기여한다고 볼 수 있다. 폐기물 매립 방법을 사용하는 선진국에서, 폐수 경로로 배출되는 소비되지 않은 단백질에 대한 기본값은 1.4이고, 개발도상국에서는 이 비율이 1.1이다. 하수도에 배출된 산업이나 상업 활동으로 인한 폐수는 단백질을 포함할 수 있다(예: 식료품점이나 식육점에서 배출된 폐수). 이 배출에 대한 기본값은 1.25이다. 유출수 내의 총 질소 함량은 다음과 같이 산정된다.

식 6.8
유출수 내 총 질소

$$N_{\text{유출수}} = (P \bullet \text{단백질} \bullet F_{\text{NPR}} \bullet N_{\text{비소비}} \bullet F_{\text{산업-상업}}) - N_{\text{슬러지}}$$

여기서:

$N_{\text{유출수}}$ = 폐수 유출수 내 연간 총 질소량, kg N/yr

P = 인구 수

단백질 = 연간 1인당 단백질 소비량, kg/인/yr

F_{NPR} = 단백질 내 질소 비율, 기본값= 0.16, kg N/kg 단백질

$F_{\text{비소비}}$ = 폐수에 추가되는 비 소비되는 단백질에 대한 변수

$F_{\text{산업-상업}}$ = 하수 시스템으로 동시에 배출되는 산업 및 상업 단백질에 대한 변수

$N_{\text{슬러지}}$ = 슬러지와 같이 제거되는 질소 (기본값= 0), kg N/yr

박스 6.1

하위 카테고리- 고도의 중앙집중화된 폐수 처리 시설로부터의 배출량

고도의 중앙집중화 폐수 처리 시설로 인한 배출량은 대체로 유출수에 의한 배출량보다 훨씬 적고, 통제된 질산 및 탈질 단계를 갖춘 고도의 중앙집중화 폐수 처리 시설을 가진 국가에서만 중요하다. 그러한 시설로부터의 N_2O 배출량을 산정하기 위한 포괄 배출계수는 3.2 g N_2O /person/year이다. 이 배출계수는 미국 북부 지역의 가정 폐수 처리 시설에서의 현장 검증 기간 동안에 결정되었다 (Czepiel et al., 1995). 배출 자료는 가정 폐수만을 수용하는 시설에서 얻어졌다. 이 폐수에는 소비되지 않은 단백질은 포함되었지만, 함께 배출된 산업 및 상업 폐수는 포함되지 않았다. 다른 국가별 배출계수는 이용 가능하지 않다. 중앙집중화된 폐수 처리 과정으로 인한 N_2O 배출량은 다음과 같이 계산된다.

식 6.9

중앙집중화 폐수 처리 공정으로부터의 N_2O 배출량

$$N_{2O\text{시설}} = P \bullet T_{\text{시설}} \bullet F_{\text{산업-상업}} \bullet EF_{\text{시설}}$$

여기서:

$N_{2O\text{시설}}$ = 인벤토리 연도의 시설로부터의 총 N_2O 배출량, kg N_2O /yr

P = 인구 수

$T_{\text{시설}}$ = 현대의 중앙집중화된 WWT 시설의 이용도, %

$F_{\text{산업-상업}}$ = 동시 배출되는 산업 및 상업적 단백질의 비율 (기본값= 1.25, Metcalf & Eddy(2003)의 자료 및 전문가 판단에 근거하여.)

$EF_{\text{시설}}$ = 배출계수, 3.2 g N_2O /인/yr

주의: 한 국가에서 시설로부터의 N_2O 배출량을 포함하는 방법을 선택할 때, 이 배출량과 관련된 질소의 양은 역으로 계산되고 $N_{\text{유출수}}$ 에서 빼주어야 한다. N_{WWT} 는 분자량값을 사용하여 $N_{2O\text{PLANTS}}$ 에 28/44를 곱하는 방법으로 계산할 수 있다.

6.3.2 시계열 일관성

만약 한 국가가 시설 배출량을 산정량에 포함시키고자 한다면, 이러한 변화는 전체 시계열에 대해 이루어져야 한다. 슬러지 제거 잠재량은 시계열 측면에서 전체 해에 걸쳐 일관성있게 처리되어야 한다.

6.3.3 불확도

큰 불확도는 유출수로부터의 N_2O 에 대한 IPCC 배출계수 기본값과 연관되어 있다. 현재로서는 이 계수를 향상시키기 위한 현장의 자료가 불충분하다. 또한 한 가지 현장 검사에 근거하여 N_2O 배출계수를 도출하였기 때문에, 폐수 처리 시설에 대한 N_2O 배출계수는 불확실하다. 아래의 표 6.11은 전문가 판단에 근거한 불확도 범위를 포함한다.

표 6.11 N_2O 방법론 기본값 자료			
	정의	기본값	범위
배출계수			
EF _{유출수}	배출계수, (kg N_2O -N/kg-N)	0.005	0.0005 - 0.25
EF _{설비}	배출계수 (g N_2O /인/yr)	3.2	2 - 8
활동도 자료			
P	국가 내 인구 수	국가 고유의	± 10%
단백질	연간 1인당 단백질 소비량	국가 고유의	± 10%
F _{NPR}	단백질 내 질소 비율 (kg N/kg 단백질)	0.16	0.15 - 0.17
T _{시설}	대형 WWT 시설의 이용도	국가 고유의	± 20%
F _{비소비(NON-CON)}	비 소비되는 단백질에 대해 조정하기 위한 변수	쓰레기 매립이 없는 국가에 대해서는 1.1 쓰레기 매립이 있는 나라에 대해서는 1.4	1.0 - 1.5
F _{산업-상업}	하수로 동시 방류되는 산업적 질소에 대해 허용하기 위한 변수. 주요 생선 가공 설비를 지닌 국가에 대해서, 이 변수는 더 높을 수 있다. 전문가 판단이 권고된다.	1.25	1.0 - 1.5

6.3.4 QA/QC, 완전성, 보고 및 문서화

이 방법은 몇 가지 변수의 기본값을 사용한다. 제안된 변수 기본값의 적절성을 평가하는 데 있어서 전문가의 조언을 구하는 것이 좋다.

완전성

슬러지 제거와 관련된 자료를 이용할 수 없다면, 유출수로 인한 배출량을 산정하기 위한 방법론은 인구 수에 근거하고, 모든 질소가 가정 폐수와 함께 배출된 산업 폐수로부터 발생한 질소뿐만 아

나라 소비나 가정에서의 물 이용과 관련이 있고, 이 질소가 결국에는 수로로 유입될 것이라는 가정에 근거한다. 이러한 산정값은 보수적인 산정량으로 보여질 수 있고, 가정 폐수 사용과 관련된 모든 배출원을 포함한다.

방법론에서는 하수도 시스템에 가정 폐수와 함께 배출된 산업 폐수를 제외하고는, 산업적인 원인으로 인한 N_2O 배출량을 포함하지 않는다. 산업적인 원인으로 인한 N_2O 배출량은 가정 폐수로부터의 배출량에 비해 별로 중요하지 않은 것으로 여겨진다.

폐수 슬러지 관리에 대한 자료를 수집한 나라는 거의 없다. 만약 이 자료가 존재한다면, 적합한 인벤토리 팀에서 그 자료를 이용할 수 있기를 제안한다.

유출수로부터의 N_2O 배출량을 구하기 위해 사용하는 배출계수는, AFOLU 부문에서 간접적인 N_2O 배출량을 구하기 위해 사용하는 배출계수와 동일하다.

보고 및 문서화

사용된 방법, 활동도 자료, 배출계수에 대해 요약한 내용을 문서화하고 보고서를 작성하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 워크시트는 이 책의 끝에서 제공된다. 국가별 방법과 배출계수가 사용되었을 경우에는, 국가별 자료(측정, 문헌, 전문가 판단 등)가 도출된 출처(측정, 문헌, 전문가 판단 등)와 이 자료를 선택한 이유에 대해 문서로 작성하고, 보고서 작성 시에도 그 내용으로 포함해야 한다.

만약 슬러지가 소각되거나 매립되거나 또는 농업용 토지에 뿌려졌다면, 이와 관련된 슬러지의 양이 각각 폐기물 소각, SWDS, EH는 농업 카테고리에서 보고되어야 한다.

보고 및 문서화에 대해서는 제1권 제6장 6.11절 <문서화, 파일 보관, 보고서 작성>에 보다 많은 정보가 제시되어 있다.

참고문헌

- American Public Health Association and American Water Works Association (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th edition, Water Environment Federation, ISBN 0-87553-235-7.
- Czepiel, P., Crill, P. and Harriss, R. (1995). 'Nitrous oxide emissions from domestic wastewater treatment' *Environmental Science and Technology*, vol. 29, no. 9, pp. 2352-2356.
- Destatis (2001). "Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2001, Tabelle 1 "Übersichtstabelle Anschlussgrade" (Statistical Office Germany (<http://www.destatis.de/>))
- Doorn, M.R.J., Strait, R., Barnard, W. and Eklund, B. (1997). *Estimate of Global Greenhouse Gas Emissions from Industrial and Domestic Wastewater Treatment*, Final Report, EPA-600/R-97-091, Prepared for United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, USA.
- Doorn, M.R.J. and Liles, D. (1999). Global Methane, Quantification of Methane Emissions and Discussion of Nitrous Oxide, and Ammonia Emissions from Septic Tanks, Latrines, and Stagnant Open Sewers in the World. EPA-600/R-99-089, Prepared for U.S. EPA, Research Triangle Park, NC, USA.
- FAO (2004). *FAOSTAT Statistical Database*, United Nations Food and Agriculture Organization. Available on the Internet at <<http://faostat.fao.org/>>
- Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. and Mara D.D. (1983). *Sanitation and Disease - Health Aspects of Excreta and Wastewater Management*, World Bank, John Wiley & Sons, USA.
- IPCC (1997). Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Trönton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- Masotti, L. (1996). "Depurazione delle acque. Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto". Eds Calderini. pp. 29-30
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. McGraw-Hill: New York, ISBN 0-07-041878-0.
- United Nations (2002). World Urbanization Prospects, The 2001 Revision Data Tables and Highlights. Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations Secretariat. ESA/P/WP.173. March 2002.

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.