WMO

기후변화에 관한 정부간 협의체

UNEP

국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

제3권



환경부 환경관리공단

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

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

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

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

WMO NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES PROGRAMME UNEP

Ref: CR/2006/1

10 October 2007

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

Dear Byong-Bok Jin

Request for use of Copyright Material – IPCC 2006 Guidelines

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

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

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

Yours sincerely

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

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

기후변화에 관한 정부간 협의체

국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인

제3권

산업공정 및 제품 사용

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



IPCC 국가 온실가스 인벤토리 프로그램

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

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

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

이 가이드라인 원문을 인용할 경우 다음과 같이 출처를 밝혀야 한다.

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

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

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

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

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

[1] 가이드라인 원문의 출판 국가.

[2] 가이드라인 원문에 대한 ISBN 번호

제3권

산업공정 및 제품 사용

총괄 주저자
Jochen Harnisch (독일) and William Kojo Agyeman-Bonsu (가나)

감수 편집자
Jamidu H. Y. Katima (탄자니아) and Audun Rosland (노르웨이)

제3권은 정장표 교수(경성대학교), 한영지 교수(강원대학교) 책임 하에 번역된 후 환경관리공단 온실가스관리팀에서 보완・정리하였습니다.

목 차

제 3권 산업공정 및 제품 사용

제 1장 서론

제 2장 광물산업 배출

제 3장 화학산업 배출

제 4장 금속산업 배출

제 5장 연료로 인한 비에너지 제품 및 용매 사용

제 6장 전자산업 배출

제 7장 오존층 파괴물질의 불소화 대체물질의 배출

제 8장 기타 제품 제조 및 사용

첨부 2 잠재적 배출

첨부 3 1996년 이후의 개선

첨부 4 산업공정 및 제품 사용 부문 용어집

제1장

서 론

저자

1.1절 및 1.2절
Jochen Harnisch (독일) and William Kojo Agyeman-Bonsu (가나)

1.3절 및 1.4절
Timothy Simmons (영국), Jos G. J. Olivier (네델란드), Domenico Gaudioso (이탈리아), Michael Gillenwater(미국), Chia Ha (캐나다), Leif Hockstad (미국), Thomas Martinsen (노르웨이), Maarten Neelis (네델란드), and Hi-chun Park (한국)

1.5절
Deborah Ottinger Schaefer (미국)

부저자

1.2절
Maarten Neelis (네델란드), Jos G. J. Olivier (Netherlands), and Timothy Simmons (영국)

1.3절 및 1.4절
Martin Patel (네델란드)

목 차

1 서론 ····· 1.5
1.1 서론 ····· 1.5
1.2 일반적 및 전반적 이슈 ····· 1.8
1.2.1 산업공정 및 연료 연소 배출의 정의 ····· 1.8
1.2.2 포집 및 감축 ····· 1.8
1.2.3 전구물질(Precursors) ····· 1.10
1.2.4 간접적인 N_2O ····· 1.11
1.2.5 국제적인 자료원 ····· 1.11
1.3 화석연료의 비-에너지 사용의 특성 ····· 1.14
1.3.1 사용의 유형 ····· 1.14
1.3.2 화석연료의 원료(feedstock) 및 환원제 사용과 그들의 CO_2 배출에 대한 설명 ····· 1.17
1.3.3 정유공장 공정에서 발생하는 배출 ····· 1.19
1.4 비-에너지 사용에서 발생하는 CO_2의 완전성 및 할당에 관한 QC ····· 1.19
1.4.1 서론 ····· 1.19
1.4.2 방법의 범위 ····· 1.20
1.4.3 완전성에 관한 품질관리 ····· 1.21
1.4.3.1 CO_2 완전성 검사 ····· 1.21
1.4.3.2 원료(feedstock) 수지 검사 ····· 1.24
1.4.4 할당 및 완전성에 관한 QC의 보고 및 기록 ····· 1.29
1.4.4.1 비-에너지 사용에서 발생하는 CO_2의 할당 ····· 1.29
1.4.4.2 비-에너지 사용에서 발생하는 CO_2의 완전성 ····· 1.30
1.5 물질수지 접근법과 배출계수 접근법 간의 선택 ····· 1.32
1.5.1 서론 ····· 1.32
1.5.2 물질수지 접근법의 강점과 약점 ····· 1.32
1.5.3 배출계수 접근법의 강점과 약점 ····· 1.35

식

식 1.1 총 원료(feedstock) 소요량 ····· 1.25

그 림

그림 1.1 산업공정 및 제품 사용 카테고리 ·····1.7
그림 1.2 탄화수소 원료(feedstock)를 사용하여 제품이 만들어지는 산업공정의 일반적인 물질수지 (흐름의 크기는 임의로 선택됨). (Adapted Neelis et al. 2005에서 수정) ·····1.18
그림 1.3 연료의 비에너지 사용에 대한 고려의 완전성에 관한 검증을 위한 순서도 ·····1.28
그림 1.4 외견상 누출 대 실제 누출; 장비의 연간 매출은 무성장 (10년 서비스, 30년 수명) ···1.33
그림 1.5 외견상 누출 대 실제 누출; 장비의 연간 매출은 5% 성장 (10년 서비스, 20년 수명) ···1.34

표

표 1.1 산업공정과 제품사용 카테고리 및 이들의 배출 가능성 ·····1.12
표 1.2 비-에너지 용도에 대한 연료 사용 형태 및 사용 예 ·····1.16
표 1.3 비에너지용 화석연료의 사용으로 보고되는 CO_2의 완전성 검증 ·····1.23
표 1.4 화학적 원료(feedstock) 내지 환원제로 사용될 수 있는 화석연료의 리스트 ·····1.24
표 1.5a원료공급과 제품생산 요구량과의 비교 ·····1.26
표 1.5b원료/환원제에 대한 특정 원료의 소비(TJ/Gg) ·····1.27
표 1.6 화석연료의 비-에너지 사용에 의한 CO_2의 할당 : IPPU와 다른 영역 ·····1.31
표 1.7 물질수지와 배출계수 방법에 대한 선택 ·····1.36

박 스

박스 1.1 CO_2 배출을 연료 연소 배출 또는 산업공정 배출에 할당 ·····1.9

1 서론

1.1 서론

이 권, 산업공정 및 제품 사용 (IPPU)은 산업공정, 제품에 있는 온실가스의 사용, 및 화석연료 탄소의 비-에너지 사용에서 발생하는 온실가스 배출을 다루고 있다. *국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 1996 IPCC 가이드라인*의 이전 절 '용제 및 기타 제품 사용'은 이 권에 통합되었다.

온실가스 배출은 다양한 산업활동에서 생성된다. 주요 배출원은 화학적 내지 물리적으로 물질을 변환하는 산업공정에서 발생하는 배출이다 (예를 들어, 철강 산업의 고로, 화학적 원료(feedstock)로 사용된 화석연료에서 제조된 암모니아 및 기타 화학제품 그리고 시멘트 산업은 대량의 CO_2 를 배출하는 산업공정의 대표적인 예이다). 이러한 공정 동안, 이산화탄소 (CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소 (N_2O), 수소불화탄소(HFCs) 및 과불화탄소 (PFCs)를 포함한 여러 가지 많은 온실가스가 생성될 수 있다.

추가적으로, 온실가스는 냉장고, 발포체(foams) 내지 에어로졸 캔과 같은 제품에 종종 사용된다. 예를 들어, HFCs는 다양한 유형의 적용에서 오존파괴물질 (ODS)의 대체물질로 사용된다. 비슷하게, 육불화황 (SF_6)과 N_2O는 산업에 사용되는 다수의 제품에 사용되거나 (예를 들어, 전기장비에 사용되는 SF_6, 주로 식품 산업에서 에어로졸 제품의 추진제(propellant)로 사용되는 N_2O), 최종 소비자에 의해 사용된다 (예를 들어, 운동화에 사용되는 SF_6, 마취에 사용되는 N_2O). 이러한 제품 사용의 중요한 특징은, 대부분의 경우에, 제품의 제조와 온실가스의 배출 간에 상당한 시간이 경과될 수 있다는 것이다. 지연시간은 (예를 들어, 에어로졸 캔에 대해) 수 주에서 (단단한 발포체의 경우에) 수 십년까지 다를 수 있다. 일부 적용 (예를 들어, 냉장고)에서 제품에 사용된 온실가스의 일부는 제품 수명의 말기에 재생되어 재활용 내지 파괴될 수 있다. 추가적으로 여러 가지 다른 플루오르화(fluorinated) 온실가스는 특수한 공정, 예를 들어 반도체 제조에 사용될 것이다:

- 삼불화질소 (NF_3)
- trifluoromethyl sulphur pentafluoride (SF_5CF_3)
- 할로겐화 에테르 (예를 들어, $C_4F_9OC_2H_5$, $CHF_2OCF_2OC_2F_4OCHF_2$, $CHF_2OCF_2OCHF_2$)

그리고 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)에서 다루지 않은 기타 할로겐화 탄소(halocarbons)로 CF_3I, CH_2Br_2, $CHCl_3$, CH_3Cl, CH_2Cl_2이 포함된다.

*국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 가이드라인(2006 IPCC 가이드라인)*의 이 권에서는 몬트리올 의정서에서 다루지 않으며, GWP 값을 IPCC 3차 평가 보고서 (TAR)에서 사용할 수 없는 할로겐화(halogenated) 온실가스의 산정 방법을 또한 제공한다, 그 중에서:

- $C_3F_7C(O)C_2F_5$[1]
- C_7F_{16}

1 이 가스는 3M에 의해 생산되는 플루오르화 케톤인 Novec™612로 거래된다 (Milbrath, 2002).

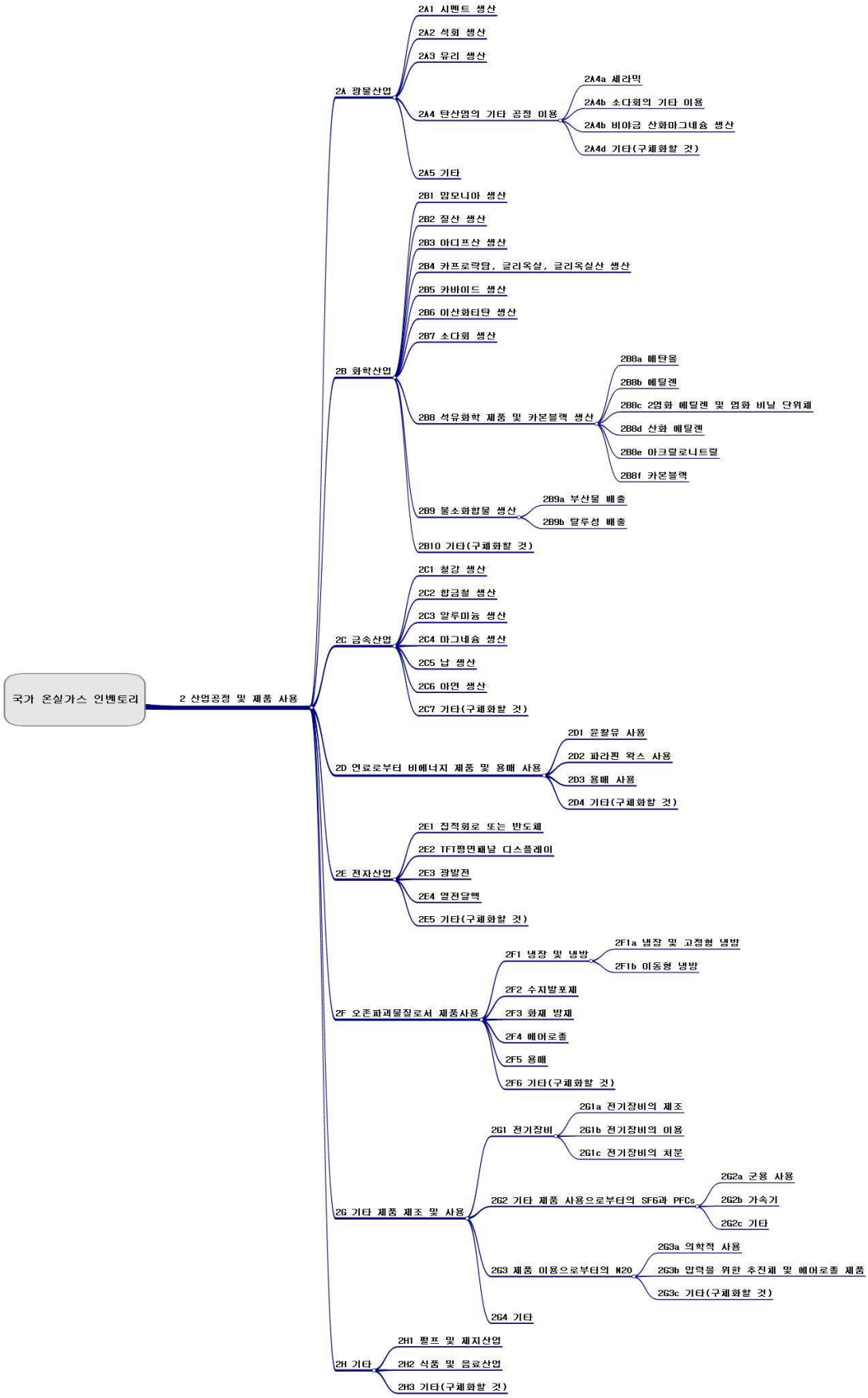
- C_4F_6
- C_5F_8
- c-C_4F_8O.

일부 방법은 (예를 들어, Fluorinert™ 및 Galden® 제품군의 상표로 거래되는 여러 가지 유체 및 혼합물을 포함한)[2] 몬트리올 의정서에서 통제되지 않는 기타 할로겐화 탄소에 대해 사용될 수 있다.

많은 경우에 제품에서의 배출을 산정하기 위해 생산 및 수입/수출 자료가 요구되고, 제품 사용이 비-산업 부문 (소매상, 서비스, 가계) 이외에, 산업 활동의 일부도 발생하기 때문에, 제품 사용은 산업공정 지침과 조합된다. 그러므로 생산과 제품 사용에 관련된 배출의 산정을 연결하는 것은 바람직하다. 화석연료의 비-에너지 사용은 원료(feedstock), 환원제 및 에너지 목적을 위해 연소되는 대신에 물리적 성질이 직접 사용되는 비-에너지 제품으로서의 사용을 포함한다.

2 Fluorinert™ 은 원하는 속성을 얻기 위해 fully fluorinated alkanes, ethers, tertiary amines 및 aminoethers 그리고 그것의 혼합물에서 선택된다. Galden® 유체는 perfluoropolyethers (PFPEs)로 불리는 다양한 범위의 fully fluorinated polyethers를 포함한다.

그림 1.1 산업공정 및 제품 사용 카테고리



이 장은 다음을 제시한다.:

- 산업공정 및 제품 사용의 처리에 관한 정의 및 구조 (1.1)
- 산업공정 및 연료 연소의 정의 (1.2.1)와 국제적인 자료원 (1.2.5)이 포함된 다수의 일반적 내지 전반적 이슈
- 화석연료의 비-에너지 사용의 특성 (1.3)
- 연료의 비-에너지 사용에 관한 완전성 및 할당 (1.4)
- 이 권의 7장과 8장에서 다루는 특히 플로오르화 가스에 관련된 물질수지 접근법(mass-balance approach)과 배출계수 접근법(emission-factor approach) 간의 선택 (1.5)

부문 분류 및 구조

그림 1.1은 IPPU 부문의 각 카테고리 및 부 카테고리에 대한 구조 및 분류 코드를 제시한다.

1.2 일반적 및 전반적 이슈

1.2.1 산업공정 및 연료 연소 배출의 정의

화석연료의 사용에서 발생하는 배출을 에너지 부문과 IPPU 부문 간에 할당하는 것은 복잡할 것이다. 연료를 원료(feedstock) 및 환원제로 사용하는 것은 공정에 에너지를 제공하기 위해 연소 될지 모르는 가스를 자주 생산한다. 동일하게 일부 원료(feedstock)는 가열을 위해 직접 연소 될지 모른다. 이는 보고에서 불확도와 모호성을 초래할 수 있다. 이러한 문제를 극복하는데 도움을 주기 위해, 가이드라인은 연료의 연소에서 배출되는 CO_2 배출을 에너지 배출원 카테고리의 연료 연소 하위카테고리에 언제 할당하고, 산업공정 배출원 카테고리에 언제 할당하는지에 대한 실용적인 지침을 소개한다. 이 규칙은 박스 1.1에서 제공된다.

CO_2 배출을 연료 연소 내지 산업공정에 할당할 때 직면하는 문제는 부생연료(by-product fuels) 내지 폐가스가 제조 현장에서 이전되어 매우 다른 활동을 하는 다른 곳에서 연소될 때 특히 현저하다. 이러한 사실은 연료 연소에 대한 정의와, 부생연료에서 발생하는 배출이 IPPU 부문 내지 에너지 부문 배출원 카테고리에 보고되어야 하는지 여부를 결정하는 기준을 제공하는, 박스 1.1에서 제시된 지침을 위한 원칙을 형성했다. 1.3절은 화석연료의 원료(feedstock) 및 환원제 사용을 설명하는, 화석연료의 비-에너지 사용에 관한 특성과 에너지 부문에서의 화석연료 사용에 관한 연결에 대한 배경 정보를 제공한다.

1.2.2 포집 및 감축

어떤 IPPU 부문, 특히 대규모 점 배출원, 에서는 재생 및 사용, 내지 파괴를 위한 배출의 포집이 존재할 것이다. 상세한 국가고유 자료 내지 보다 적절한 공장 수준의 자료를 사용하여 배출의 포집을 설명하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 결론적으로 이 권에서 제공되는 Tier 1 방법은 이러한 유형의 감축(abatement)을 추적하기 위해 적절하지 않다. 포집의 측정된 양, 또는 년도 전체에 걸친 감축 시스템의 가동률과 조합된 감축 시스템의 효율성을 표현하는 추가 항목을 통해 포집을 식에 통합해야 한다. 수정된 배출계수를 사용하여 포집을 설명하지 않는 것이 권고되는데,

왜냐하면 이는 투명성을 감소시키고 시계열의 비일관성을 초래하기 때문이다.[3]

공장에서 CO_2 포집 기술이 설치 및 사용된다면, 보다 높은 tier의 배출 계산에서 포집된 CO_2를 차감하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이후의 사용 및 단기적인 저장을 위한 CO_2 양은 CO_2 배출이 인벤토리의 다른 곳에서 설명[4]될 때를 제외하고는 CO_2 배출에서 차감되지 말아야 한다. 기본적인 가정은 이산화탄소 포집 및 저장 (CCS)이 발생하지 않는다는 것이다.[5] CO_2 포집을 고려하는 방법론은 공정에서 포집된 CO_2 배출이 연소 및 공정 모두에 관련될 것이라는 것을 고려해야 한다. 연소 및 공정 배출이 별도로 보고되는 경우에 인벤토리 작성자는 동일한 양의 CO_2가 이중 계산되지 않는지 확인해야 한다. 이러한 경우에 포집된 CO_2의 총량은 이들 배출원 카테고리에서 생성된 CO_2 양에 비례하여 해당하는 연료 연소 배출원 카테고리와 IPPU 배출원 카테고리에 가급적이면 보고되어야 한다. CO_2 포집 및 저장에 대한 추가 정보에 대해 2권, 2.3.4절을 참고한다.

CO_2가 아닌 가스에 대해, 그들이 발생하는 경우에 포집된 가스에 관한 이후의 배출이 설명되는지 확인하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 예는 HCFC-22 생산에서 부산물로 생산되는 HFC-23에 대해서이다. 여기서 해당 물질이 오프 가스(off gas)에서 추출되고 제품 내지 공정에서 사용된다. 충분한 정보가 현재 존재하는 경우에, 이러한 포집 효율성을 적절히 다루는 방법을 이 권에서 발견할 수 있다.

종종 공정에서 발생하는 온실가스 배출의 부분적 내지 전체적 감축은 오프-가스의 처리 (예를 들어, 연소 후 처리(post-combustion)에 의한 온실가스의 파괴)를 통해 발생할 것이다. 이러한 접근법은 반도체 산업의 PFCs 내지 화학 산업의 HFC-23과 같이, 높은 지구온난화지수를 가진 물질에 종종 적용된다. 파괴 효율성은 운영 관행과 적용된 기술에 동일하게 좌우된다.

박스 1.1
CO_2 배출을 연료 연소 배출 또는 산업공정 배출에 할당

연료 연소는 아래와 같이 기능적 방식으로 정의된다:

공정에 열 내지 기계적 일(mechanical work)을 제공하기 위해, 또는 장치 밖에서 사용하기 위해 설계된 장치 내에서의 물질의 의도적인 산화.

이 정의의 목적은 독특하고 생산적인 에너지 사용을 위한 연료 연소와 산업공정을 정의하는 화학반응에서 탄화수소의 사용으로부터 배출되는 열을 구별하는 것이다.

천연가스가 원료(feedstock)와 연료 모두를 제공하는 암모니아 제조의 사례와 같이 공정 연료를 원료(feedstock)에서 직접 구할 지 모른다. 대신에, 원료(feedstock) 처리의 부산물 사용 내지 환원제 사용을 통해 공정 연료를 간접적으로 구할지 모른다. 이러한 예에는 에틸렌

3 질산 및 아디프산 생산과 같은 산업에서, 종종 NOx 배출을 다룰 필요에 대응하여 내장된 파괴 기술을 가진 현대적 공장을 설계하는 것은 표준적인 공학 관행이다. 해당 기술이 실행 중이고 활용되었다는 것을 인벤토리 작성자가 기록할 수 있다면, 이러한 특수한 경우에, 이러한 파괴 기술을 반영하는 배출계수를 사용하는 것이 가능하다.

4 최종 제품으로 인한 CO_2를 설명하는 경우에, 예에는 요소 생산 (3.2절) 및 메탄올 생산에서 CO_2의 사용이 포함된다.

5 국가가 CO_2의 포집을 보고한다면, 2권, 에너지의 5장, CO_2 수송, 주입 및 지질적 저장의 지침에 따라 감시되는 장기적인 지질적 저장 현장에 저장된다는 것을 확인하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

제조를 위한 나프타 원료(feedstock)의 증기 분해(steam cracking)에서 얻은 오프 가스와 고로에서 얻은 고로 가스가 있다.

이러한 활동 동안 연료 연소 및 산업공정 단계 모두에서 배출이 발생할 것이다. 그렇지만, 두 가지 유형의 배출을 별도로 보고하는 것은 종종 비실용적이거나 불가능하다 (아래의 1.3.2절을 참고). 따라서 보고를 단순화하기 위해 아래의 규칙을 체계화하였다:

IPPU 공정를 위한 원료(feedstock)로부터 직접적 내지 간접적으로 얻은 연료에서 발생하는 연소 배출은 공정이 발생한 배출원 카테고리의 부분에 일반적으로 할당될 것이다. 이들 배출원 카테고리은 일반적으로 2B 및 2C이다. 그렇지만, 부생연료(derived fuels)가 다른 배출원 카테고리에서의 연소를 위해 이전된다면, 배출은 에너지 부문 배출원 카테고리의 적절한 부분 (일반적으로1A1 내지 1A2)에서 보고되어야 한다.

아래의 두 가지 예는 정의를 설명하는데 도움이 될 것이다.

1. 고로 가스가 철강 산업 내에서 완전히 연소된다면, 관련된 배출은 IPPU 배출원 하위카테고리 2C1에 보고된다. 가스의 일부가 열 생산을 위해 근처의 벽돌 공장으로 전달되거나 주요 전기 생산자(main electricity producer)에게 전달된다면, 배출은 배출원 하위카테고리 (1A2f 내지 1A1a)에서 보고된다.

2. 나프타의 증기 분해에서 발생한 잉여 메탄 내지 수소가 다른 공정을 위해 석유화학 현장 내에서 연소된다면, 배출은 IPPU, 2B8에서 배출로 보고된다. 대신에, 연료로 사용되기 위해 근처의 정유공장으로 가스가 이전된다면, 관련된 배출은 1A1b, 석유 정제에서 보고될 것이다.

1.2.3 전구물질(Precursors)

전구물질 (NO_x, NMVOC, CO, SO_2 및 NH_3)의 배출 산정을 위한 방법론은 가이드라인에서 제공되지 않는다. 이들 가스의 배출은 잘 설정된 다른 지침을 사용하여 산정될 수 있다. 한 가지 예는 EMEP/CORINAIR 인벤토리 가이드북 (EEA, 2005)[6]이다. 이 가이드북은 UNECE의 대기오염물질의 장거리 이동에 관한 협약(CLRTAP)하에서 규제되는 물질의 인벤토리를 위해 개발되었으며 (1권, 일반 지침 및 보고의 7장, 전구물질 및 간접 배출에서 박스 7.1을 참고), 모든 배출원 부문을 포함하고 있으므로, 이들 배출의 산정을 위한 주된 정보 자료원으로 고려되어야 한다.

1권의 표 7.1은 IPCC 배출원 카테고리와 EMEP/CORINAIR 인벤토리 가이드북의 해당하는 방법론 장 간의 연결을 제공한다. 이 표는 NO_x, CO, NMVOC, SO_2 및 NH_3에 대한 방법론적 지침을 발견할 수 있는 특정한 EMEP/CORINAIR 장에 대한 정보를 제공한다. 이는 또한 방법의 가용성 및 특정한 배출원 카테고리에서 발생한 전구물질 배출의 중요성에 대한 정보를 포함한다.

EMEP/CORINAIR 인벤토리 가이드북에 있는 일부 방법론과 배출계수는 선진국과 개도국 모두의 상황 및 배출원 카테고리와 관련된다. 그렇지만, 용제와 같은 일부 부문에 대해 선진국과 개도국 간의 차이는 크며, EMEP/CORINAIR 인벤토리 가이드북은 매우 신중히 사용되어야 한다.

6 EMEP/CORINAIR 보고용 명명법 (NFR) 배출원 카테고리는 IPCC 보고 카테고리와 호환이 되도록 개발되었다 (EEA, 2005).

1.2.4 간접적인 N_2O

화합물을 포함하는 질소의 토양 퇴적(Deposition)은 N_2O의 배출을 발생시킨다. 이는 질산화(nitrification)와 탈질화(denitrification) 과정을 통해 발생한다 (4권, 농업, 임업 및 기타 토지 사용을 참고). 이는 '간접적인 N_2O' 배출로 불린다. 인벤토리 전체에 걸쳐 일관성을 보장하기 위해 IPPU 부문에서 배출되는 화합물을 포함하는 질소의 퇴적에서 발생하는 간접적인 N_2O 배출을 산정하는 것은 중요하다. 방법론은 단순하며 N_2O의 모든 간접적 배출을 질소의 원래 배출원에 귀속시킨다.
질소 배출원은 NO_x (NO와 NO_2) 및 NH_3이다. 이들 가스의 중대한 산업공정 배출이 존재할 수 있지만, NO_x는 연료 연소에서 주로 배출되며, 반면에 NH_3는 농업에서 주로 배출된다. NO_x와 NH_3의 배출을 산정하기 위한 정보를 다른 곳에서 발견할 수 있다. 한 가지 예는 EMEP/CORINAIR 인벤토리 가이드북 (EEA, 2005)이다.

NO_x 및/내지 NH_3 배출에서 발생하는 간접적인 N_2O 배출의 산정에 대한 포괄적인 지침은 1권, 일반 지침 및 보고의 7장, 전구물질 및 간접 배출에서 제공된다. 국가들이 기존의 NO_x 및/내지 NH_3 인벤토리를 가지고 있는 경우에 간접적인 N_2O를 산정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

1.2.5 국제적인 자료원

사용할 수 있다면 좋은 국가 자료가 선호되며 사용될 것이다. 자료 가용성이 문제인 경우에 인벤토리 작성자는 IPPU 산정치의 대용 자료로 국제적인 자료원을 참고해야 한다. 자료원에는 다음이 포함된다.:

- 1991년 이후 부터 'Industrial Commodity Statistics Yearbook' (UN, 2004)의 인쇄본과 1950년 이후의 통계를 포함하는 CD-ROM으로 이용할 수 있는 유엔 (UN) 산업 생산 통계; 모든 연도에 대해 상품 및 국가별로 그리고 배출 인벤토리에 적합한 거의 모든 상품별로 자료가 (물리적 단위로) 제공된다.
- OECD는 OECD 국가들에 대해 화폐 단위 (생산가)로 생산 자료를 출판한다 (http://www.oecd.org/statsportal/0,2639,en_2825_293564_1_1_1_1_1,00.html), 그러나 가장 최근 연도의 자료는 이용할 수 없다. OECD는 추가 자료와 함께 출판물을 또한 판매한다 (http://www.oecd.org/document/63/0,2340,en_2825_499554_1935935_1_1_1_1,00.html), 그러나 웹 사이트에 따르면 가장 최근의 자료는 2001년에 대한 것이다. 2002년까지의 연도에 대해, 유료로, 국가 계정 자료에 또한 접근할 수 있다. OECD의 STAN (산업구조분석) 데이터베이스가 가장 유용할 것이며 (http://hermia.sourceoecd.org/vl=4126925/cl=58/nw=1/rpsv/cw/vhosts/oecdstats/16081307/v265n1/contp1-1.htm에서 구독을 통해 가용), 이는 주요 산업에 대해 2002년까지의 연도에 대해 화폐적 생산자료를 포함한다. 그렇지만, 화폐 가치가 생산량뿐만 아니라 제품 가격 - 이는 매년 변동할 것이다 - 도 반영하므로 신중하게 자료를 사용해야 한다는 것을 주목한다.
- Eurostat은 많은 유럽 국가에 대한 PRODCOM 자료 (Eurostat, 2005)를 출판한다.
- 다수의 상품 생산 및 개별 공장의 생산능력에 대한 통계가 상품 및 국가별로 미국 지질조사국 (U.S. Geological Survey; USGS)에 의해, 국제 광물 통계 및 정보의 일부로 제공된다 (USGS, 2005).

표 1.1
산업공정과 제품사용 카테고리 및 이들의 배출 가능성

2 산업공정 및 제품 사용 (Note 1, 2)	CO_2	CH_4	N_2O	HFCs	PFCs	SF_6	Other halo- genated Gases (Note3)
2A 광물산업							
2A1: 시멘트 생산	X	*					
2A2: 석회 생산	X	*					
2A3: 유리 생산	X	*					
2A4: 탄산염의 기타 공정 사용							
2A4a: 세라믹	X	*					
2A4b: 소다회의 기타 사용	X	*					
2A4c: 비야금 산화마그네슘 생산	X	*					
2A4d: 기타	X	*					
2A5: 기타	X	*	*				
2B 화학산업							
2B1: 암모니아 생산	X	*	*				
2B2: 질산 생산	*	*	X				
2B3: 아디프산 생산	*	*	X				
2B4: 카프로락탐, 글리옥살, 글리옥실산 생산	*	*	X				
2B5: 카바이드 생산	X	X	*				
2B6: 아산화티탄 생산	X	*	*				
2B7: 소다회 생산	X	*	*				
2B8: 석유화학제품 및 카본블랙 생산							
2B8a: 메탄올	X	X	*				
2B8b: 에틸렌	X	X	*				
2B8c: 2염화 에틸렌 및 염화비닐 단위체(VCM)	X	X	*				
2B8d: 산화 에틸렌	X	X	*				
2B8e: 아크릴로니트릴	X	X	*				
2B8f: 카본 블랙	X	X	*				
2B9: 불소화합물 생산(Note 4)							
2B9a: 부산물 배출(Note 5)				X	X	X	X
2B9b: 탈루성 배출(Note 5)				X	X	X	X
2B10: 기타	*	*	*	*	*	*	*
2C 금속 산업							
2C1: 철강 생산	X	X	*				
2C2: 합금철 생산	X	X	*				
2C3: 알루미늄 생산	X	*			X		
2C4: 마그네슘 생산(Note 6)	X			X	X	X	X
2C5: 납 생산	X						
2C6: 아연 생산	X						
2C7: 기타	*	*	*	*	*	*	*
2D 연료로 인한 비에너지 제품 및 용매 사용 (Note 7)							
2D1: 윤활유 사용	X						
2D2: 파라핀 왁스 사용	X	*	*				
2D3: 용매 사용 (Note 8)							
2D4: 기타r(Note 9)	*	*	*				
2E 전자 산업							
2E1: 직접회로 또는 반도체(Note 10)	*		*	X	X	X	X
2E2: TFT 평면패널 디스플레이(Note 10)				X	X	X	X
2E3: 광전지(Note 10)				X	X	X	X
2E4: 열전달유체(Heat Transfer Fluid)(Note 11)							X
2E5: 기타	*	*	*	*	*	*	*

표 1.1(계속)
산업공정과 제품사용 카테고리 및 이들의 배출 가능성

2 산업공정 및 제품 사용 (Note 1, 2)	CO_2	CH_4	N_2O	HFCs	PFCs	SF_6	Other halo- genated Gases (Note3)
2F 오존파괴물질의 대체물질로써 제품 사용							
2F1: 냉장 및 냉방							
2F1a: 냉장 및 고정형 냉방	*			X	X		*
2F1b: 이동형 냉방	*			X	X		*
2F2: 수지발포제	*			X	*		*
2F3: 화재방재	*			X	X		*
2F4: 에어로졸				X	X		*
2F5: 용매 (Note 12)				X	X		*
2F6: 기타 용도	*	*	*	X	X		*
2G 기타 제품 제조업과 사용							
2G1: 전기 장비							
2G1a: 전기장비의 제조 (Note 13)					X	X	*
2G1b: 전기장비의 사용 (Note 13)					X	X	*
2G1c: 전기장비의 처분t (Note 13)					X	X	*
2G2: 기타 제품 사용으로부터의 SF_6 및 PFCs							
2G2a: 군용 사용					*	X	*
2G2b: 가속기 (Note 14)					*	X	*
2G2c: 기타					X	X	*
2G3: 제품사용으로부터의 N_2O							
2G3a: 의학적 사용			X				
2G3b: 압력을 위한 추진제 및 에어로졸 제품			X				
2G3c: 기타			X				
2G4: 기타	*	*		*			*
2H 기타							
2H1: 펄프 및 종이산업(Note 15)	*	*					
2H2: 식품 및 음료산업 (Note 15)	*	*					
2H3: 기타	*	*	*				

1) 'X'는 이 권에서 방법론적 지침이 제공되는 가스를 표시한다.
2) '*'는 배출이 발생하지만 이 권에서 방법론적 지침이 제공되지 않는 가스를 표시한다.
3) 전구체 (NOx, CO, NMVOC, SO_2 및 NH_3)에 대해 1권 7장의 표 7.1을 참고한다.
4) Tiers 2 및 3 방법론은 IPCC 3차 평가보고서(Third Assessment Report of the IPCC)에 대한 작업그룹 I의 기고(Contribution of Working Group I)의 표 6.7 및 6.8에 나열된 플루오르화 온실가스에 적용될 수 있으며 (IPCC, 2001), HFCs, PFCs, SF_6, 플루오르화 알콜, 플루오르화 에테르, NF3, SF_5CF_3로 구성된다. 이들 tier에서 모든 산정치는 측정, 공정에서의 측정된 손실 내지 측정된 배출, 에 기초하며 공정에 고유한 배출을 수용한다. Tier 1 방법론에 대해, HCFC-22 제조에서의 HFC-23 배출과 HFCs, PFCs 및 SF_6의 공정 배출에 대해 default 값이 제공된다. 기타 물질에 대해 일반적인 default 값의 사용을 허용하기에는, 각자 개별적인 기술을 가진, 너무 적은 수의 제조업체가 존재한다.
5) '기타 할로겐화 가스'는 플루오르화 알콜, 플루오르화 에테르, NF3, SF_5CF_3이다.
6) SF_6에 대한 희석제로 사용되고 마그네슘 처리 동안 배출되는 소량의 CO_2 는 사소한 것으로 간주되며 일반적으로 다른 곳에서 집계된다. 여기서의 '기타 할로겐화 가스'는 주로 플루오르화 케톤으로 구성된다.
7) 석유화학 산업의 원료(feedstock) 사용에서 발생하는 배출은 2B8 (석유화학 및 카본블랙 생산)에서 다루어져야 한다. 일부 제품 사용에서 발생하는 배출은 각각의 산업 배출원 카테고리에 할당되어야 한다 (예를 들어, 탄소 양극 및 전극에서 발생하는 CO_2 → 2C (금속 산업)).
8) NMVOC 배출과 간접적인 온실가스만이 이 카테고리에 적절하다. 그러므로 이 권에서는 방법론적 지침이 제공되지 않는다. NMVOC에 대한 지침에 대해, 1권의 7장을 참고한다.
9) 아스팔트 생산, 도로 포장 및 지붕 공사에서 발생하는 배출이 여기에 포함된다. 상세한 내용에 대해 이 권의 5.4절을 참고한다.
10) '기타 할로겐화 가스'는 NF_3, c-C_4F_8O 등이다.
11) 여기서 '기타 할로겐화 가스'에는 $C_4F_9OC_2H_5$ (HFE-7200), $CHF_2OCF_2OC_2F_4OCHF_2$ (H-Galden 1040x), $CHF_2OCF_2OCHF_2$ (HG-10) 등이 포함된다.
12) 용제(solvent)로서의 플루오르화 가스의 사용에서 발생하는 배출이 여기에 보고되어야 한다. 용제를 포함한 에어로졸에서 발생하는 배출은 이 카테고리가 아니라 카테고리 2F4에서 보고되어야 한다. 다른 용제의 사용에서 발생하는 배출은 2D3에서 보고되어야 한다.

13) 이 가이드라인의 작성 시점에, '기타 할로겐화 가스'의 배출은 확인되지 않았지만, 미래에 이들 가스가 사용 및 배출되는 것이 가능할 지 모른다.
14) 이 가이드라인의 작성 시점에, PFCs 내지 '기타 할로겐화 가스'의 배출은 확인되지 않았지만, 미래에 이들 가스가 사용 및 배출되는 것이 가능할 지 모른다.
15) 이 권에서 이들 카테고리에 대한 특정한 절은 제공되지는 않지만, 이들 산업의 탄산염 사용에서 발생하는 CO_2 배출에 대한 방법론적 지침은 이 권의 2장, 2.5절에서 제공된다.

1.3 화석연료의 비-에너지 사용의 특성

1.1절에서 설명된 것처럼 화석연료에서 발생하는 일부 CO_2 배출은 에너지 목적이 아닌 사용에서 발생하며, 이 절에서는 그들의 산정 및 보고를 안내하는 원칙들이 기술된다. 배출을 산정하는데 사용되는 방법은 특정한 IPPU 배출원 카테고리 장들 (3, 4, 5장)에서 기술된다. 이 절은 비-에너지 사용과 관련된 자료의 사용에 대한 중요하고 추가적인 배경 정보, 그리고 이들 자료와 화석연료 사용 간의 연결을 제공한다.

비-에너지 사용은 광범위하고 다양하며, 배출량의 정확한 보고는 개념적으로 어렵다. 비-에너지 목적을 위해 공급된 모든 화석연료가 인벤토리가 다루는 용도와 연결될 수 있는지, 그리고 보고된 배출이 공급된 탄소와 일치하는지 확인하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 따라서, 1.4절은 (a) 인벤토리에 포함된 공정의 원료(feedstock) 요구가 국가 에너지 통계에 기록된 원료(feedstock) 공급과 균형을 이루는지 검사하고, (b) 여러 하위카테고리 수준들에서 원료(feedstock) 배출원에서 발생하여 상향식으로 계산 및 보고된 총 CO_2 배출량이 완전하고 일관적인지 검사하고, (c) 이들 배출이 어떻게 인벤토리에서 할당되는지 기록하고 보고함으로써, 연료의 원료(feedstock) 사용에서 발생하는 탄소 배출의 일관성과 완전성을 평가하기 위한 지침을 제공한다.

1.3.1 사용의 유형

일부 1차 연료(석탄, 천연가스)와 석탄 및 원유에서 파생된 2차 연료가 비-연료 목적을 위해 사용될 것이다. 이러한 사용은 가열을 위한 일부 탄화수소 함유량의 연소를 포함하지만 이들은 일반적으로 연료의 비-에너지 사용으로 불린다.

비-에너지 사용의 세 가지 카테고리는 그 용도에 따라 구별될 수 있다:

1. 원료(feedstock): 원료(feedstock)는 주로 유기 화학물질 및 약간의 무기 화학물질 (특히 암모니아)과 부산물을 생산하기 위해 화학적 전환 공정에 원재료로서 사용되는 화석연료이다 (OECD/IEA/Eurostat, 2004). 대부분의 경우에, 탄소의 일부는 제조된 제품에 포함되어 있다. 화학적 전환 공정에서 탄화수소 원료(feedstock)의 사용은 거의 전적으로 화학 및 석유화학 산업에 한정된다.
2. *환원제*: 탄소는 다양한 금속 (4장)과 무기물 제품 (3.6 3.8절)의 생산을 위해 환원제로 사용된다. 이는 환원제로 직접 사용되거나 전기분해를 위해 사용되는 전극의 중간 생산을 통해 간접적으로 사용된다. 대부분의 경우에, 단지 매우 작은 양의 탄소가 제조된 제품에 포함되며, 반면에 대부분은 환원 과정 동안 산화된다.
3. *비-에너지 제품* : 연료와는 별도로, 정유공장과 코크스로(coke ovens)는 물리적 내지 희석(diluent) 성질 때문에 (화학적 전환 없이) 직접 사용되거나 화학적 중간물로 화학 산업에 판매되는 일부 비-에너지 제품을 생산한다. 윤활유 및 그리스는 윤활 속성 때문에 엔진에 사용된다;

파라핀 왁스(paraffin waxes)는 양초, 종이 코팅 등을 위해 사용된다. 역청은 방수 및 내구성 특성 때문에 지붕 및 도로 위에서 사용된다. 정유공장은 용제 속성 때문에 사용되는 용제(white spirits)를 또한 생산한다.

이 장은 이들 세 가지 카테고리에 속하는 탄화수소의 첫 번째 용도에서 발생하는 배출을 논의한다. 표1.2는 세 가지 카테고리에서 사용되는 탄화수소의 유형과 주요 용도를 보여준다. 정유공장 내지 코크스로(coke oven) 제품의 더욱 작은 일부 사용이 생략되기 때문에, 연료 유형 및 공정의 리스트를 설명은 하지만 총망라하지는 않는다. 예를 들어, 중간 제품의 제조를 위해 사용되는 올레핀의 단지 작은 부분이 정유공장에서 생산되기 때문에, 정유공장 올레핀은 보이지 않는다.

이 절은 원료(feedstock) 및 환원제 (표 1.2의 첫 번째 및 두 번째 카테고리)로서 화석연료의 사용에서 발생하는 산업공정 및 연료 연소 배출의 보고를 둘러싼 주제에 초점을 둔다. 비-에너지 제품(표 1.2의 세 번째 카테고리)의 1차적 사용에서 발생한 배출의 산정에 영향을 미치는 상대적으로 단순한 문제는 5장에서 방법과 함께 제시된다.

탄화수소의 1차적 사용에서 발생하는 배출에 추가하여, 원료(feedstock)에서 만들어진 제품 (메탄올, 에틸렌, 카본 블랙(carbon black)) 및 그 파생물은 제조 및 판매 이후에 추가적인 배출을 초래할 것이다. 예를 들어, 에틸렌의 산화에틸렌으로의 전환은 상당한 산업공정 CO_2 배출을 초래할 것이다 (3.9절).

'사용된' 비-에너지 제품(소비후 폐기물(post-consumer waste))의 이후의 사용에서 발생하는 배출은 이 권의 IPPU 부문에 포함되지 않지만, 처리가 에너지 재생과 함께 에너지 회수 없이 발생하는지 또는 폐수 처리의 형태로 발생하는지 여부에 따라 에너지 및 폐기물 부문에서 다루어진다.

표 1.2
비-에너지 용도에 대한 연료 사용 형태 및 사용 예

사용 형태	연료 형태의 예	제품/공정	장
원료(feedstock)	천연가스, 오일, 석탄	암모니아	3.2
	나프타, 천연가스, 에탄, 프로판, 부탄, 가스 기름, 연료 기름	메탄올, 올레핀 (에틸렌, 프로필렌), 카본 블랙	3.9
환원제	석유 코크스	카바이드	3.6
	석탄, 석유 코크스	이산화티타늄	3.7
	야금 코크스, 미분탄, 천연가스	강철 (초기)	4.2
	야금 코크스	페로알로이	4.3
	석유 코크스 , 역청 (전극)	암모늄[1]	4.4
	야금 코크스, 석탄	납	4.6
	야금 코크스, 석탄	아연	4.7
비 에너지 제품	윤활유	윤활유 장비	5.2
	파라핀 왁스	기타. (초, 코팅)	5.3
	역청 (아스팔트)	도로포장과 지붕	5.4
	용제(white spirit)[2], 약간의 방향족	용제 (페인트, 드라이클리닝)	5.5

[1] 2차철 생산에도 사용 (electric arc furnaces) (4.2장 참고).

[2] 광물 테레빈, 석유류, 산업유 ('SBP')로도 알려져 있음

1.3.2 화석연료의 원료(feedstock) 및 환원제 사용과 그들의 CO_2 배출에 대한 설명

이상적으로는 원료(feedstock) 및 환원제로서 연료의 사용에서 발생하는 배출에 관한 산정은 고려되는 공정에 관련된 특정한 공장 자료에 관한 지식에서 비롯할 것이다. 그렇지만, 필요한 모든 자료를 이용할 수 있는 경우는 드물고, 적어도 일부 산정에 대해 연료의 비-에너지 사용에 대한 국가 자료는 필요할 것이다. 원료(feedstock) 내지 환원제로 연료 탄화수소를 사용하는 공정에서 발생하는 CO_2 배출의 산정을 위한 적절한 자료를 확인하기 위해, 탄화수소 흐름과 국가 에너지 자료 간의 관계를 이해하는 것이 필요하다.

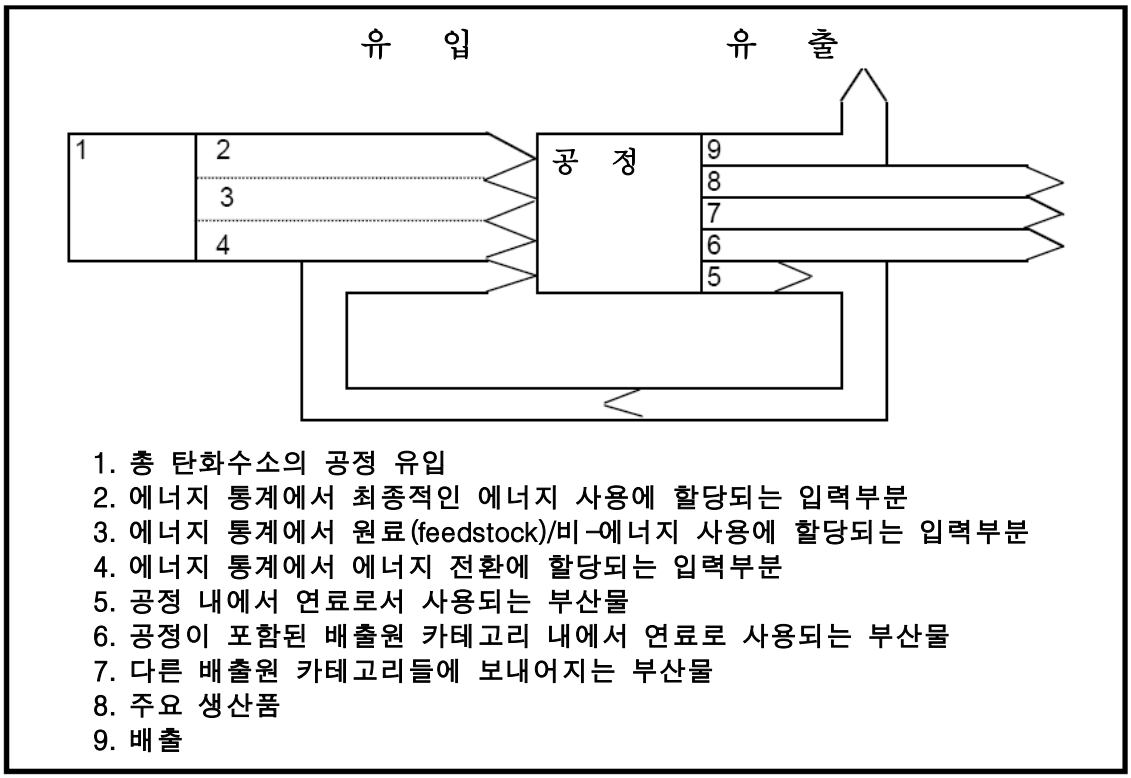
비-에너지 사용이라는 용어의 사용은 국가들과 에너지 통계의 출처들 간에 다르다 (Patel, 1999). 예를 들어, 위에서 주어진 세 가지 카테고리는 에너지 통계에서 비-에너지 사용으로 종종 함께 묶이지 않는다. 대부분의 에너지 통계에서, 고로에 대한 환원제의 연료 투입은 포함되지 않지만 코크스를 변환하는 연료 전환 활동에 대한 투입과 고로 가스에 대한 기타 투입으로 설명된다 (아래를 참고). 국제 에너지 기구 (IEA)는 이러한 접근법을 따른다. 이는 또한 원료(feedstock) 카테고리를 산업의 화학물질 부분(branch) 내의 에너지 사용에서 메모 항목으로 보고하며, 반면에 위에서 정의된 비-에너지 제품의 공급은 '비-에너지 사용'에서 보고된다. 대조적으로, 많은 국가 에너지 통계에서는 (일반적으로 고로가 없는) 세 가지 카테고리의 합계가 비-에너지 사용으로 불리는 하나의 단일한 카테고리로 보고된다.

연료의 원료(feedstock) 및 환원제 사용에 대한 계산 관행은 국가들 및 공정들 간에 상당히 다르다. 원료(feedstock)/환원제를 위해 탄화수소 투입이 사용되는 공정에 대한 일반적인 탄화수소 수지(general hydrocarbon balance)는 그림 1.2에서 묘사되며 국가들간에 에너지 통계에서의 비-에너지 사용에 대한 시스템 경계의 차이를 이해하는데 도움이 될 수 있다.

원재료로 탄화수소를 사용하는 일부 공정에서, 연료 부산물은 주요 제품 다음에 생산된다, 부산물은 동일한 공정에 (흐름 5), 동일한 산업 부문의 다른 공정에 (흐름 6) 또는 다른 산업 부문의 다른 곳에 (흐름 7) 에너지를 공급하기 위해 연소된다.

고로에서의 철 생산에서, 철광석을 환원하기 위해 코크스는 석탄 및 기타 보충 투입물과 함께 사용된다. 코크스는 콜타르와 코크스로 가스(coke oven gas)를 또한 산출하는 코크스로에 있는 석탄으로부터 만들어진다. 고로에서는 고로 가스가 생산된다. 고로에서 생성된 선철(pig iron)은 전로(basic oxygen furnace)에서 강철로 대부분 변환되며, 전로는 선철에 포함된 탄소의 대부분을 포함하는 전로가스(oxygen furnace gas)를 생산한다. 일부 선철은 철 주물공장 및 기타 용도설비에 제공될 것이다. 국가 및 국제 에너지 통계에서, 에너지 수지를 유지하기 위해, 코크스로 및 고로에 대한 투입은 일반적으로 비-에너지 사용 (환원제)으로 보고되지 않고 에너지 전환 부문의 에너지 흐름으로 확인된다. 일부가 공정 자체 내지 전환 부문의 다른 공정에서 소비되지 않는다면 이들 공정의 모든 제품 (코크스, 코스크로 가스, 콜타르, 고로 가스 및 산소 고로 가스)은 전환 부문에서의 산출로 보고된다. 전환 부문의 산출은 (연료가 사용되는 부문에서) 최종 에너지 사용 또는 최종 비-에너지 사용 (콜타르)으로 보고된다.

그림 1.2 탄화수소 원료(feedstock)를 사용하여 제품이 만들어지는 산업공정의 일반적인 물질수지 (흐름의 크기는 임의로 선택됨). (Neelis et al., 2005에서 수정)



에틸렌과 기타 기본적인 화학물질을 생산하기 위한 증기 분해 공정에서, 주요 제품 (흐름 8) 이외에도, 연료 부산물이 생산된다. 연료 부산물은 흡열성의 증기 분해 반응을 유지하기 위해 부분적으로 사용되며 (흐름 5), 기타 화학적 목적을 위한 연료로 부분적으로 사용되며 (흐름 6), 부분적으로 그들은 다른 부문에 사용된다 (흐름 7, 예를 들어, 정유공장 생산에 통합하기 위한 정유공장으로의 환류(backflows)). 일반적으로 연료 부산물의 생산에 대한 자료를 이용할 수 없기 때문에, 철강 산업과 대조적으로, 투입 탄화수소의 연료 부산물로의 전환은 종종 국가 에너지 통계에서 에너지 전환공정으로 다루어지지 않는다. 대신에 (연료 부산물에 나타날 탄화수소를 포함한) 총 탄화수소 투입이 원료(feedstock) 사용에 할당된다. 부산물의 생산이 알려진 국가에서는 연료 부산물의 연소는 국가 에너지 통계의 최종 에너지 소비로서 포함되고 비-에너지 사용에서 제외될 것이다.

암모니아, 메탄올 및 기타 화학물질을 생산하기 위한 합성가스(synthesis gas)의 생산에서, 탄화수소 투입은 증기 개질(steam reforming) 내지 부분적 산화 공정을 통해 합성가스를 생산하기 위해 사용된다. 증기 개질은 흡열성 공정이기 때문에, 탄화수소 투입의 일부는 반응을 유지하기 위해 로(furnace)에서 연소된다. 그러므로, 탄화수소 투입의 일부는 연료 연소에서의 CO_2 배출을 초래하며, 반면에 또 다른 일부는 산업공정 배출을 초래한다. 전통적인 증기 개질에서, 연소 및 개질은 별도의 반응장치에서 발생하며 각각의 탄화수소 소요에 대한 별도의 자료가 존재할 것이다. 보다 진보된 공정 개념 및 부분적 산화에서는 연소 및 공정 배출을 명확히 구별하는 것은 훨씬 더 어렵다. 박스 1.1.에서 주어진 할당 원칙에 따라, 합성가스의 생산에서 발생한 모든 배출은 IPPU 부문에서 보고되어야 한다.

여기서 논의된 것과는 다른 공정에서 다른 탄화수소 투입의 사용은 국가 에너지 통계에서 비-에너지 사용으로 또한 보고될 것이다. 그러므로 위의 모형 그림과 이미 설명된 공정은 예제로 간주되어야 한다.

국가 에너지 통계에서 이들 공정에 대한 비-에너지 사용의 총(gross) 정의가 적용될 것이며, 거기서는 탄화수소 총 투입이 비-에너지 사용에 할당된다. 통계학자는 총 투입에서 공정에서의 최종 에너지 사용에 할당된 부분을 차감함으로써 순(net) 정의를 또한 적용할 것이다. '총(gross)' 정의의 경우에, 그림 1.2에서 흐름 1은 흐름 3과 동일하며 흐름 2와 4는 없다. '순(net)' 정의의 경우에, 투입 (흐름 1)은 비-에너지 사용 (흐름 3)과 최종 에너지 사용 (흐름 2)으로 나누어진다. 순수한 총(gross) 정의와 순수한 순(net) 정의 이외에도, 어떤 공정 및 연료에 대한 자료 가용성에 따라 혼합적 접근법이 종종 적용된다. 이중계산을 방지하고 CO_2 배출이 간과되지 않도록 특정 국가에서 인벤토리를 준비할 때 비-에너지 사용에 관한 정의를 잘 이해하는 것이 필요하다 (1.4절을 참고). 이상적으로는 이용할 수 있는 자료가 그림 1.2에서 확인된 모든 흐름을 포함할 것이다. 대신에 공정에서의 연료 소비 (흐름 5)는 IPPU 부문 배출의 산정을 허용할 것이다. 그렇지만, 이러한 자료집합을 이용할 수 있는 경우는 일반적이지 않으므로 공정 및 자료에 관한 위의 설명은 IPPU 부문 배출을 보고하기 위해 필요한 핵심적인 자료 요소에 대한 탐색을 인도하기 위한 충분한 이해를 제공해야 한다. 이들은 공정에 공급된 연료 탄소 (흐름 1), 제품에 포함된 탄소 (흐름 8) 및 또 다른 배출원 카테고리에서 사용된 부생연료 (흐름 7; 박스 1.1을 추가로 참고)이다. 첫 번째 항목에서 마지막 두 가지 항목을 차감하여 배출 산정이 이루어질 것이다.

1.3.3 정유공장 공정에서 발생하는 배출

정유공장은 연료 및 비-에너지 사용을 위한 석유 제품을 제조하며, 그렇게 할 때 수소 및 기타 가스, 중간 제품 및 기본적 화학물질을 생산한다. 이러한 활동을 위해 정유공장에 의해 소비된 연료에서 발생하는 CO_2 배출은 에너지 부문 배출로서 보고된다. 정유공장에서의 일부 연료 사용이 판매를 위한 화학물질 (예를 들어, 프로필렌 또는 방향족 화합물)의 제조를 지원할 때에도 이 원칙은 가이드라인에서 유지된다. 정유공장에서 기본적 화학물질의 제조는 일반적으로 주요 제품(mainstream) 제조의 부산물 처리를 통해 발생하는 일상적인 일이며, 이는 다른 정유 공정에 사용되거나 인접한 석유화학 공장으로 이전될 것이다. 그렇지만, 일부 환경에서는 기본적인 화학물질에 대한 수요로 인해, 화학물질의 공급을 증가시키고 시장에 직접 판매하기 위해 정유공장은 생산 공정을 수정할 것이다. 이러한 활동에도 불구하고 모든 공정을 지원하기 위한 연료 사용은 여전히 정유공장 연료로 간주되며 배출은 에너지 부문 배출로 간주된다. 정유공장에서 기본적 화학물질의 판매를 위한 생산은 인접하거나 함께 위치한 석유화학 공장의 화학물질 제조와는 다른, 2차적 활동으로 간주된다는 것을 인식하는 것이 중요하다.

1.4 비-에너지 사용에서 발생하는 CO_2의 완전성 및 할당에 관한 QC

1.4.1 서론

인벤토리 작성자는 화석탄소를 함유한 제품에서 발생하는 배출의 누락을 최소화하고 이중계산을 방지하는 과업을 가진다. 모든 배출원이 확인되었고 배출원 카테고리에 정확히 할당되었는지 확인

하는 것도 중요하다.
이러한 과업의 조직화 및 완수를 촉진하기 위한 두 가지 품질관리 (QC) 접근법이 아래에서 기술된다. 아래의 수지 검사(balance checks)가 설명이 필요한 중대한 부족을 보여주는 경우를 제외하고는, 정상적으로 이용할 수 없는 비-에너지 사용에 대한 자료를 인벤토리 작성자가 구한 것으로 예상하지는 않는다.

QC 검사를 사용하기 전에, 1.3절에서 기술된 (원료(feedstock)와 환원제로의 사용을 포함한) 비-에너지 사용에 관한 정의와 카테고리 분류(categorisation)의 원칙을 이해하는 것이 필요하다. 각 카테고리에서 물질에 있는 탄소의 사용으로 인한 배출은 최종적인 파괴뿐만 아니라 1차적 사용 내지 파생제품으로서의 이후의 사용에서 발생할 것이다. 이중계산을 방지하기 위해 화석연료로부터 파생된 제품에서 발생하는 탄소 배출의 일부가 폐기물 내지 에너지 부문에 보고될 것이라는 것을 인식하는 것이 필수적이다.

요약하면, 여기서 논의된 모든 연료 및 배출원의 완전성을 검사하고, 그들이 어디서 어떻게 인벤토리에 보고되는지 기록하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 인벤토리 작성자는 비-에너지 목적을 위해 사용된 모든 화석연료가 인벤토리에 의해 다루어진 용도에 연결될 수 있는지 확인하고, 보고된 배출이 사용된 탄소와 일치하는지를 검사해야 한다. 완전성을 검사하기 위해 제안된 두 가지 QC 방법은 다음과 같다:

(a) 여러 하위카테고리 수준들에서 화석연료의 비-에너지 사용에서 발생하여 상향식으로 계산 및 보고된 총 CO_2 배출이 완전하고 일관적인지 검사한다. (1.4.3.1절)
(b) 인벤토리에 포함된 공정의 원료(feedstock) 소요량이 국가 에너지 통계에 기록된 원료(feedstock) 공급량과 균형을 이루는지 검사한다. (1.4.3.2절)

실제로, QC 활동은 인벤토리 개발 과정의 단지 일부이며, 인벤토리 작성자는 적시성 및 비용 효율성에 대한 요구와 품질관리 요구, 정확성 개선 및 불확도 감소 간에 균형을 유지할 필요가 있다. *우수실행(good practice)* 시스템은 그러한 균형을 달성하고 인벤토리 산정치의 지속적인 개선을 가능하게 하려고 노력한다. 1권의 6.2절은 QA/QC 및 검증 노력의 우선순위 부여에 대한 실용적인 고려사항에 대한 보다 많은 정보를 제공한다. 이를 고려하기 위해, 특히 연료의 비-에너지 사용으로 인한 보고된 총 CO_2 배출량이 주 카테고리의 최소 수준보다 크다면, CO_2 배출에 대한 적어도 첫 번째의 완전성 검사를 수행하는 것이 *우수실행(good practice)*으로 고려된다. 추가적으로, 인벤토리 작성자가 수행할 충분한 능력을 가지고 있다면, 원료(feedstock) 공급량과 소요량 간의 균형을 검사하도록 권고를 받는다.

이러한 QC 방법에 추가하여, 이 절은 이들 배출을 인벤토리에 어떻게 할당하고 완전성을 어떻게 검사하는가를 기록 및 보고하는데 대한 지침을 또한 제공한다 (1.4.4절). IPPU 공정에서 발생한 폐가스가 에너지 부문에서 사용 및 보고되는 경우에, 비-에너지 사용에서 발생한 CO_2 배출은 에너지 부문의 배출 (1A)과 함께 포함된다. 완전성에 대한 QC와 관계없이, 투명성 및 국가간 비교가능성의 이유 때문에 이들 배출원이 인벤토리에서 어디에 할당되는지 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. (1.4.4절의 양식 예제를 참고)

1.4.2 방법의 범위

(1.4.3절에 포함된) 완전성에 관한 QC는 1.4.4절에 포함된 할당을 기록하는데 관한 QC와 구별될 수 있다. 계산의 완전성에 대한 검사는 두 가지 하향식 방법을 사용하며, 각 방법은 비-에너지 목적을 위한 연료의 1차적 사용으로 인한 배출로 범위상 제한된다. 할당에 관한 QC는 연료의 비-에너지 사용, 비-에너지 제품의 파괴, 및 연료 제조에서의 탈루성 배출에서 발생하는 모든 배출이 어디에 보고되는지를 검사한다.

CO_2 완전성 검사에 추가하여, 인벤토리 작성자가 수행할 충분한 능력을 가지고 있다면, 원료(feedstock) 공급과 요구 간의 균형을 검사하도록 권고를 받는다. 이는 에너지 통계 및 탄소 함유량으로부터 원료(feedstock) 및 비-에너지 사용에 대해, 에너지 부문에서 연료 연소로 인한 CO_2에 대한 참조 접근법의 제외된 탄소의 계산에서와 동일한 자료를 사용한다 (2권의 6장을 참고).

1.4.3 완전성에 관한 품질관리

CO_2 완전성 검사 (1.4.3.1절)는 에너지 수지(energy balance) 자료에서 시작하며, 화석연료의 1차적 비-에너지 사용으로 인한 CO_2의 모든 중대한 배출이, 이중계산 없이, 인벤토리의 어디에 보고되는지 검사하도록 설계되었다. 그러한 배출은 (a) 화학 산업에서 원료(feedstock)로 사용된 연료, (b) 금속 산업에서 환원제로 사용된 연료, (c) 사용 동안 산화된 연료 제품 (부분적 내지 완전히; 직접적인 배출 내지 대기 중에서 산화되는, 탄소를 포함한 non-CO_2 가스 (NMVOC, CO 및 CH_4)의 배출)으로 인한 CO_2 배출량의 합계이다.

폐유 내지 폐기물 제품이 소각된다면 이후의 CO_2 배출이 폐기물 단계에서 발생할 것이다. 그렇지만, 화석연료를 포함한 제품은 수입 내지 수출이 되거나 폐기되기 전에 수 년간 사용되기 때문에, 연간 폐기물로 처리되는, 화석연료를 포함한 제품의 양은 1차적 사용을 위해 연간 사용된 양과 동일하지 않다. 외부적 거래에서 발생하는 복잡성은 원료(feedstock)와 그 파생물에서 만들어진 제품의 사용에서 발생하는 배출에 동일하게 적용된다. 파생 제품도 수입 내지 수출되기 때문에 그들의 사용 (예를 들어, 산화 에틸렌 내지 아크릴로니트릴(acrylonitrile) 생산)으로 인한 배출은 화석연료의 1차적 비-에너지 사용에 직접 연결될 수 없다. 이러한 이유 때문에 CO_2 완전성 검사는 배출을 초래하는 화석 탄소의 1차적 비-에너지 사용으로 제한되며 폐기물 소각으로 인한 CO_2 배출을 포함하지 않는다. 화석 CO_2의 다른 비-에너지 배출원은 카테고리 1B의 flaring, venting 및 기타 탈루성 배출이고, 이러한 완전성 검사 방법에서도 제외된다.

원료(feedstock) 수지 검사 (1.4.3.2절)는 개념상 보다 단순하며, 원료(feedstock)/환원제 공급에 대한 비-에너지 통계에서 시작하며, 이를 다양한 IPPU 공정의 원료(feedstock)에 대한 보고된 (또는 내재된) 소요량와 비교한다. 이러한 검사는 누락된 공정 또는 연료 연소로 분류된 원료(feedstock) 사용을 나타내는 두 자료집합 간의 불일치를 확인한다.

1.4.3.1 CO_2 완전성 검사

이 방법의 원칙은 비-에너지 사용을 위한 연료에서 발생하는 보고된 CO_2 배출과 잠재적 CO_2 배출의 비교에 기초하며, 3단계로 구성된다:

1. (고로의 코크스 및 기타 고체연료 투입을 포함한) 국가 에너지 통계에 보고된 화석연료의 비-에너지 사용에 대해 CO_2 등가 탄소 함유량이 계산된다.

2. IPPU 하위카테고리별로 보고된 총 CO_2 배출은 비-에너지 목적을 위해 사용된 (주요) 연료와 관련된다. 이는 IPPU 부문에서 이전되어 에너지 부문의 다른 곳에 보고된 부생연료로 인한 배출을 포함해야 한다.
3. 보고된 총 화석 IPPU CO_2 배출량은 사용된 원료(feedstock)의 탄소 함유량에 관한 잠재적 CO_2의 하향식 산정치와 비교된다. 투입 연료의 잠재적 총 CO_2의 비율로, 배출된 실제 CO_2를 계산함으로써 비교가 이루어진다. 이 비율은 서로 다른 산업에서 관찰된 값들과 비교될 것이다 (아래의 '단계 3: 비교에서 발생하는 조치'를 참고). 중대한 불일치가 있는 경우에, 개별적인 연료에 대한 배출원 할당의 정확성을 고려하여, 차이의 가능한 원인을 나열해야 한다.

단계 1: 원료(feedstock) 양과 CO_2 등가 탄소 함유량

표 1.3에 입력된 원료(feedstock) 및 비-에너지 사용의 양은 국가 에너지 통계에 보고된 '비-에너지' 목적을 위한 각 연료의 최종 소비이다. 그 양은 순발열량 (저위발열량)을 사용하여 테라줄 (TJ)로 표현 내지 전환되어야 한다 (IPCC 기본값에 대해 2권의 1장을 참고). 다음으로 국가고유 탄소 함유량 또는 IPCC 탄소 함유량 기본값을 사용하여 탄소 함유량과 관련된 잠재적인 CO_2 등가 배출이 계산될 수 있다 (IPCC 기본값에 대해 2권의 1장을 참고).

국가가 자신의 에너지 통계에서 화학 생산 공정에서의 부생 가스(by-product gases)의 생산을 별도로 고려한다면, CO_2의 원료(feedstock) 배출과 관련된 연료량의 맨 위쪽 줄에서 이들을 합산해야 하며, 국가에 고유한 탄소 함유량 값을 사용하여 CO_2 등가의 해당 양을 계산해야 한다.

단계 2: 배출원 카테고리 CO_2 배출을 하나 이상의 원료(feedstock) 연료에 할당

금속 및 화학 산업에서 주로 발생하는, IPPU 부문에 보고된 CO_2 배출은 공정을 위한 투입으로 사용된 해당 연료 유형에 할당되어야 한다. 다른 곳에 보고된 화석연료의 비-에너지 사용에서 발생한 배출도 여기에 포함되어야 한다. 이러한 할당에 대한 지침은 표 1.3에서 제공되며, 여기서 각 하위카테고리에 대해 가장 일반적인 원료(feedstock)는 굵은 박스로 표시되어 있다. 이들 배출원에 대해 원료(feedstock)로 사용되는 것으로 알려져 있는 다른 연료들은 정상적인 박스로 표시되어 있다. 대부분의 경우에 이들 박스는 국가고유 적용을 검사하기 위해 할당된다. 특정한 정보를 이용할 수 없으면, 모든 CO_2 배출은 굵은 박스에 할당될 것이다. 국가고유 정보가 여러 가지 연료가 원료(feedstock)로 사용된다는 것을 보여준다면, 각 연료의 특정 비율이 사용될 수 있거나 배출 총계의 동일한 몫(share)이 주어질 것이다.

단계 3: 비교에서 발생하는 조치

실제로 배출된 잠재적 CO_2의 비율은 연료 유형 내지 연료 집단별로 계산될 것이고, 수준, 추세 및 연도간 변화에 대해 평가될 수 있다. 비율 값은 배출원 카테고리에 대한 방법론적 tier를 위해 제공된 정보에서 또는 문헌에서 추론된 값과 비교될 것이다 (e.g., Neelis *et al.*, 2005).

일부 차이 내지 변화는 공정에 고유한 기술적 내지 운영적 차이로 인한 것으로 예상된다. 주요 차이는 기술에서의 큰 차이에서 또는, 다른 국가의 자료 내지 문헌과 비교할 때, 원료(feedstock)에 관한 다른 정의의 사용에서 발생할 수 있다. 불일치의 세 번째 설명은 공정에서 원료(feedstock)로 사용된 특정한 연료 유형에 대한 배출원 카테고리의 산정된 할당에서의 오류로 인한 것일 것이다.

표 1.3 비에너지용 화석연료의 사용으로 보고되는 CO_2의 완전성 검증

순번						고형분							액상분												가스	
1	연도 : _____				단위	석탄	코크스	코울타르	석탄오일	BF/OF 가스	COG 가스[b]	총고형분	나프타	가스오일	연료오일	에탄	LPG[b]	석유코크스	기타	화학가스	윤활제	왁스	역청	총액상분	천연가스	총가스
2	A: 발열량				TJ							■												■		■
3	B: 탄소계수				kg C/GJ							■												■		■
	C: 총 원료(feedstock)/비에너지	[C = A * B / 1000]			Gg C																					
4	D: 총 원료(feedstock)/비에너지	[D = C * 44/12]			Gg CO_2-eq																					
5	E: 탄소산화계수 적용	[E = F / D * 100]			%																					
		활동도[a]	CO_2 배출량[a]	IEF CO_2																						
6	F: Total fossil IPPU CO_2 reported			■	Gg CO_2																					
	2 산업공정				Gg CO_2																					
7	2A: 광물산업	■		■	Gg CO_2																					
	(하위 카테고리를 구체화할 것)				Gg CO_2																					
7	2B: 화학산업	■		■	Gg CO_2																					
	2B1: 암모니아 생산				Gg CO_2																				□	
	2B5: 카바이드 생산				Gg CO_2		□													□	□					
	2B6: 이산화티탄 생산				Gg CO_2	□														□						
	2B8: 석유화학 제품 및 카본블랙 생산				Gg CO_2																					
	2B8a: 메탄올				Gg CO_2																□				□	
	2B8b: 에틸렌				Gg CO_2								□	□	□	□	□	□								
	2B8f: 카본블랙				Gg CO_2					□											□				□	
	2B10: 기타				Gg CO_2																					
7	2C: 금속산업	■		■	Gg CO_2																					
	2C1: 철강 생산				Gg CO_2		□																			
	2C2: 합금철 생산				Gg CO_2																					
	2C3: 알루미늄 생산				Gg CO_2	□		□											□							
	2C5: 납 생산				Gg CO_2																					
	2C6: 아연 생산				Gg CO_2																					
	2C7: 기타				Gg CO_2																					
7	2D: 연료로 인한 비에너지 제품 및 용매 사용			■	Gg CO_2																					
	2D1: 윤활유 사용				Gg CO_2																□					
	2D2: 파라핀 왁스 사용				Gg CO_2																	□				
	2D3: 용제 사용				Gg CO_2																					
	2D4: 기타				Gg CO_2		□	□	□										□				□			
7	2H: 기타	■		■	Gg CO_2																					
	2H1: 펄프 및 제지 산업				Gg CO_2		□																			
	2H2: 식품 및 음료 산업				Gg CO_2																					
	2F3: 기타				Gg CO_2			□											□							
	다른 부문에서 보고된 예외사항				Gg CO_2																					
7	1A 연료 연소 활동			■	Gg CO_2																					
	1A1a: 주요 활동 및 전력, 열 생산				Gg CO_2																					
	1A1b: 석유 정제				Gg CO_2																					
	1A1c: 고체연료의 제조 및 기타 에너지 산업				Gg CO_2																					
	1A2: 제조업 및 건설				Gg CO_2																					

a) 일부 활동자료 및 배출량은 부문별 기본 표에 있음.
b) 만약 코크스 생산이 철강산업 부문에서 보고된 경우만 포함된다.
1: 매년 지속되어야 한다
2: NEU를 총소비량에서 제외하기 위해 CO_2 참조접근을 위한 보조 워크시트를 사용하라.
3: IPCC 기본값 또는 국가고유계수
4: 잠재적 배출량으로 불리워 짐.
5. 소비된 NEU 연료에 의한 잠재적인 CO_2에 대한 일부 연료종류에 의한 CO_2 배출량 비
6. IPPU 배출원에 포함된 일부 하위 카테고리의 합계는 연료 연소 활동(1A)에 속해 있다.
7. 부 카테고리의 합계

주 : 표 1.3의 진한 박스 모양은 좌측의 프로세스를 위한 주요 연료 공급 또는 환원제를 나타낸다. 일반 박스 모양은 좌측의 프로세스를 위한 기타 알려진 연료 공급 또는 환원제를 나타낸다.

1.4.3.2 원료(feedstock) 수지 검사

원료수지 검사(feedstock balance check) 방법의 원칙은 국가 연료 통계에서 보고된 원료(feedstock)/환원제의 공급량을 그것을 사용하는 각 공정의 원료(feedstock)에 대한 소요량과 비교하는 것이다. 원료(feedstock)의 공급량 및 소요량 간의 중대한 차이는 인벤토리에서의 원료(feedstock) 사용의 누락 또는 연료 소비 내지 전환으로 보고되었던 원료(feedstock)로서의 연료 사용을 확인하기 위한 여러 가지 제안된 조치를 초래한다.

CO_2 완전성 검사와 달리, 원료(feedstock) 수지 검사는 CO_2 배출이 아니라 연료량의 수준에서 수행된다. 이 방법은 모든 원료(feedstock) 탄소가 인벤토리에서 확인된 배출원 카테고리에 만족스럽게 귀착됐는지의 확인을 추구한다.

이 방법의 운영은 아래에서 설명되며 워크시트에서 즉시 제시된다 (표 1.5a). 고려되는 원료(feedstock) 연료의 리스트가 표 1.4에서 제시된다.

표 1.4
화학적 원료(feedstock) 내지 환원제로 사용될 수 있는 화석연료의 리스트

고체	액체		기체	기타 연료
석탄	정유가스	나프타	천연가스	기타 연료
야금용 코크스*	에탄	등유		폐기물 (화석탄소)
석유 코크스*	프로판	가스오일		
콜타르 및 오일*	부탄	연료오일		
	LPG	페유		
* 전극의 사용을 포함한다.				

단계 1: 원료(feedstock) 공급

각 원료(feedstock)/환원제의 공급에 대한 수치는 상품 내지 에너지 수지에서 제시된 국가 연료 통계로부터 구한다. 그들은 해당 국가의 특별한 관습과 변환공정에 투입된 환원제에 따라 비-에너지 사용 내지 원료(feedstock) 사용으로 보일 것이다. 그 양은 순발열량 (저위발열량)을 사용하여 테라줄 (TJ)로 표현 내지 전환되어야 한다 (IPCC 기본값에 대해 2권의 1장을 참고).

원료(feedstock) 보고에 대한 정의의 기초는 국가들 간에 다르며, 이러한 고려는 1.2.1 및 1.3.2절에서 충분히 논의되었다. 그러므로 (에너지 통계에서 비-에너지 사용으로 분류되지 않거나 부분적으로 분류된 투입을 포함한) 원료(feedstock) 내지 환원제에 대한 공정의 총 탄화수소 소요량에 일치하는 정확한 탄화수소 투입 수치를 확인 및 사용하기 위해 주의가 필요하다. 각 공정의 특정 원료(feedstock) 소비 (SFC) 수치는, 표에서 주어지는 것처럼, 연료 소요량을 포함하기 때문에, 여기서 기술되는 원료(feedstock) 수지 검사를 위해 원료(feedstock)/환원제 사용에 기인하는 총 탄화수소 공정 투입량이 요구된다. SFC는 생산되는 제품의 톤당 요구되는 원료(feedstock)/환원제의 (TJ/Gg로 표현되는) 양이다.

단계 2: 원료(feedstock) 소요량

각 공정의 원료(feedstock) 소요량는 원료(feedstock)에서 직접 내지 간접으로 얻은 연료를 포함할 것이다. 산업 배출원에서 필요한 자료를 이용할 수 있는 경우 그들은 워크시트의 '소요량

(requirements)' 부분에 입력될 수 있다. 자료를 이용할 수 없는 경우에 공정에 대한 생산 수치로부터 그리고 필요한 경우, 공정을 위해 사용되는 배출량 산정에 기초한 전문가 판단을 사용하여 요구를 계산해야 한다. 공급된 양이 산업 배출원으로부터 얻어졌을 때에만 공정 소요량에 대한 수치는 공급된 (에너지 통계로부터 얻은) 양과 동일할 것 같다.

스프레드시트를 사용하여 생산에서 소요량이 계산될 때 생산 수치는 주어진 원료(feedstock)에 대한 공정과 관련된다. 두 개 이상의 원료(feedstock)가 하나의 공정에 공급하면 해당하는 생산 수치는 각 원료(feedstock)에 대해 사용되어야 한다.

표 1.5b는 생산 수치를 원료(feedstock) 요구에 연결하는 SFC 계수를 제공한다. 계수는 공정의 특정한 원료(feedstock) 소요량이며 원료(feedstock)의 연료 사용을 포함한다. 표 1.5b에서 제공되는 계수는 가이드라인의 이 권에서 기술된 방법에서 도출되었고 기본값으로 간주될 것이다. 국가 계수가 여기에 주어진 기본값 계수보다 명백히 적절하면 국가 계수를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.
R_{ij}가 원료(feedstock) j에 대한 공정 i의 원료(feedstock) 소요량을 표현한다면, 원료(feedstock) j에 대한 총 요구 (R_j)는 다음과 같이 표현될 수 있다:

식 1.1
총 원료(feedstock) 소요량

$$R_j = \sum_i R_{ij} = \sum_i (SFC_{ij} \cdot P_{ij})$$

여기서:

Rj = 원료(feedstock) j의 총 요구, TJ
Rij = 원료(feedstock) j에 대한 공정 i의 원료(feedstock) 요구, TJ
SFCij = 공정 i에서 원료(feedstock) j의 특정한 원료(feedstock) 소비, TJ/Gg
Pij = 원료(feedstock) j를 사용하는 공정 i의 생산, Gg

Rj는 원료(feedstock) j의 공급에 대한 수치와 비교된다. 차이는 표 1.5a에서 나타난다. 이러한 검사의 수행절차는 그림 1.3의 순서도에서 제시된다.

단계 3: 비교에서 발생하는 조치

관찰된 차이가 원료(feedstock) 공급의 10%를 초과하면 자료를 검사하기 위한 조치가 취해져야 하며, 차이가 확인되면, 이를 조사해야 한다는 것이 제안된다. 10% 임계치(threshold)는 물론 임의적이며 자료의 가능한 전반적이고 고유한 불확도를 반영하기 위해 선택된다.

원료(feedstock) 공급이 외견상 요구를 상당히 초과하는 경우에 차이에 대해 조사를 집중하는 것은 *우수실행(good practice)*으로 고려되며, 왜냐하면 이는 다음을 암시하기 때문이다:

- 공정 및 배출원이 누락되었을 것이다

- 해당 방법에 사용된 특정한 에너지 소요량이 너무 낮다. 특정한 에너지 소요량은 국가적 상황을 반영하기 위해 수정되어야 한다.

계산된 요구가 외견상 원료(feedstock) 공급을 초과할 때 이는 다음을 암시한다:

- 원료(feedstock)의 사용이 연료 연소 사용 또는 연료 전환 사용과 같은 다른 곳에서 보고된다.
- '총(gross)' 정의 대신에 원료(feedstock) 공급의 '순(net)' 정의가 에너지 통계에 사용되었을 것이다 (1.3.2절의 에틸렌 및 기타 화학물질에 대한 언급을 참고한다).
- 공정에 사용되지 않으므로 원료(feedstock) 사용을 위한 것이 아닌, 설비 (또는 보다 일반적으로, 배출원 카테고리)에 들어가는 연료의 포함을 통해 산업 배출원에서 직접 구한 원료(feedstock) 소요량이 과장되었다. 원료(feedstock) 소요량은 생산자료에서 도출될 때 비-원료(non-feedstock) 연료의 포함은 발생하지 않는다.

중대한 불일치가 남아있는 경우에 차이의 가능한 원인을 나열해야 하며, 배출원 카테고리/원료(feedstock) 조합별로 SFC 기본값을 가지는 계산의 정확성을 고려한다.

표 1.5a 원료(feedstock) 공급과 제품생산 소요량과의 비교

연도		원료(feedstock) 또는 환원제 (TJ)	공정 SFC (TJ/Gg)	생산물 (Gg [= kt])
원료(feedstock) 배달 양				
차이				
화학제품	암모니아 실리콘 카바이드 탄산칼슘 에틸렌 메탄올 카본 블랙 기타		표 1.5의 값	
금속제품	강철 페로알로이 알루미늄 아연 납 기타			

표 1.5a는 원료(feedstock) 내지 환원제 유형들이 존재하는 만큼 표 부분이 복사되는 완전한 표의 축소형이다. 각각의 복사 부분에서 1열의 '원료(feedstock) 내지 환원제' 제목은 연료명으로 대체된다. 해당하는 SFC 값이 2열에 입력된다. 기본 SFC 값은 아래의 표 1.5b에서 주어진다.

완전한 표, 기본값 및 자동적으로 소요량 계산을 수행하는 수식을 포함하는 *2006 가이드라인* CDROM에서 엑셀 워크북(Excel workbook)이 제공된다.

표 1.5b 연료공급 또는 환원에 소비된 공급량

		석탄	Met coke	석유 코크스	콜타르 및 오일	정제가스 (Ref gas)	에탄	프로판	부탄	LPG	나프타	등유	가스오일	연료오일	폐기물 오일	천연가스
화학제	암모니아													43(l)		38(o)
	실리콘 카바이드			37(e)												
	칼슘카바이드			21(f)												
	에틸렌						58(j)	100(k)	104(k)	102(k)	137(k)					
	메탄올	72(a)												37(m)		34(p)
	카본블랙				60(h)									60(n)		12(q)
	기타															
금속	강철		10(b)													
	합금철															
	알루미늄			12(g)	3(i)											
	아연		21(c)													
	납		7(d)													
	기타															

주석

(a) 메탄올: 3.9.2.2절에서 발췌; 표 3.13. 사용되는 공정에 따른 정확한 값을 위해 표를 참고한다.

(b) 철강: 4.2.2.3절에서 발췌: "IPPC 문서의 표 6.2에서 제공되는 전환계수는 용강(liquid steel) 1톤당 940 kg의 선철(pig iron), 선철 1톤당 358 kg의 코우크(coke)이다". 그러므로 코우크 요구량은 0.358 x 28.2 GJ/톤 (cv coke) = 10 GJ/톤 철이다.

(c) 아연: Sjardin(2003)에서 가져온 4.7.1절 (건식 야금 공정만 해당)에서 발췌. 코우크 소비량은 0.74 톤 코우크/톤 아연이다. 즉, 0.74 x 28.2 GJ/톤 (cv coke) = 21 GJ/톤 아연.

(d) 납: Sjardin(2003)에서 가져옴. 코우크 소비량은 0.26 톤 코우크/톤 납이다. 즉, 0.26 x 28.2 GJ/톤 (cv coke) = 7 GJ/톤 납.

(e) 탄화 규소(Silicon carbide): 3.6.2.2절에서 발췌: "이는 2.3 톤 CO_2/톤 사용된 석유 코우크 내지 2.62 톤 CO_2/톤 생산된 카바이드의 전형적인 배출계수를 의미한다." 그러므로 코우크 요구량은 2.62/2.3 = 1.14 톤 석유 코우크/톤 카바이드이다. 즉, 1.14 x 32.5 GJ/톤 (cv pet coke) = 37 GJ/톤 SiC.

(f) 탄화칼슘(Calcium carbide) : 3.6.2.2절에서 발췌: "카바이드 1톤을 생산하기 위해 1 750 kg의 석회석 (또는 950 kg CaO), 640 kg의 석유 코우크 및 20 kg의 탄소 전극이 요구된다." 그러므로 코우크 요구량은 0.64 x 32.5 GJ/톤 (cv pet coke) = 21 GJ/톤 CaC_2이다.

(g) 알루미늄: 4.4.2.2절에서 발췌: 두 개의 공정 1.65 톤 CO_2/톤 Al = 0.45 톤 C/톤 Al의 평균인 표 4.11. 양극은 84% 코우크와 16% 피치를 포함한다 (Sjardin 2003). 코우크는 92% C이고 피치는 93% C라고 가정한다. 하소된 코우크의 NCV는 30 MJ/kg이고 피치의 NCV는 35.6 MJ/kg이라고 가정한다. 그 때 코우크 요구량은 12 GJ/톤 Al이고 피치 요구량 3 GJ/톤 Al이다.

(h) 카본 블랙: 연료용 오일과 동일하다고 가정됨. 아래의 주석 (n)을 참고한다.

(i) 알루미늄: 위의 주석 (g)를 참고한다.

(j) 에틸렌: 3.9.2.3절에서 발췌: 표 3.25. 에탄 요구량은 다음과 같다: 에탄의 NCV x 1/수율 행렬(yield matrix)값. 즉, 46.4 x 1/0.803 = 58 GJ/톤.

(k) 에틸렌: 원료(feedstock) 요구량은 에탄에 대해 도출된 것처럼 도출될 수 있다. 위의 주석 (j)를 참고한다.

(l) 암모니아: 3.2.2.2절에서 발췌: 표 3.1. 부분적 산화를 가정한다.

(m) 메탄올: 3.9.2.2절에서 발췌: 표 3.13. 사용되는 공정에 따른 정확한 값을 위해 표를 참고한다.

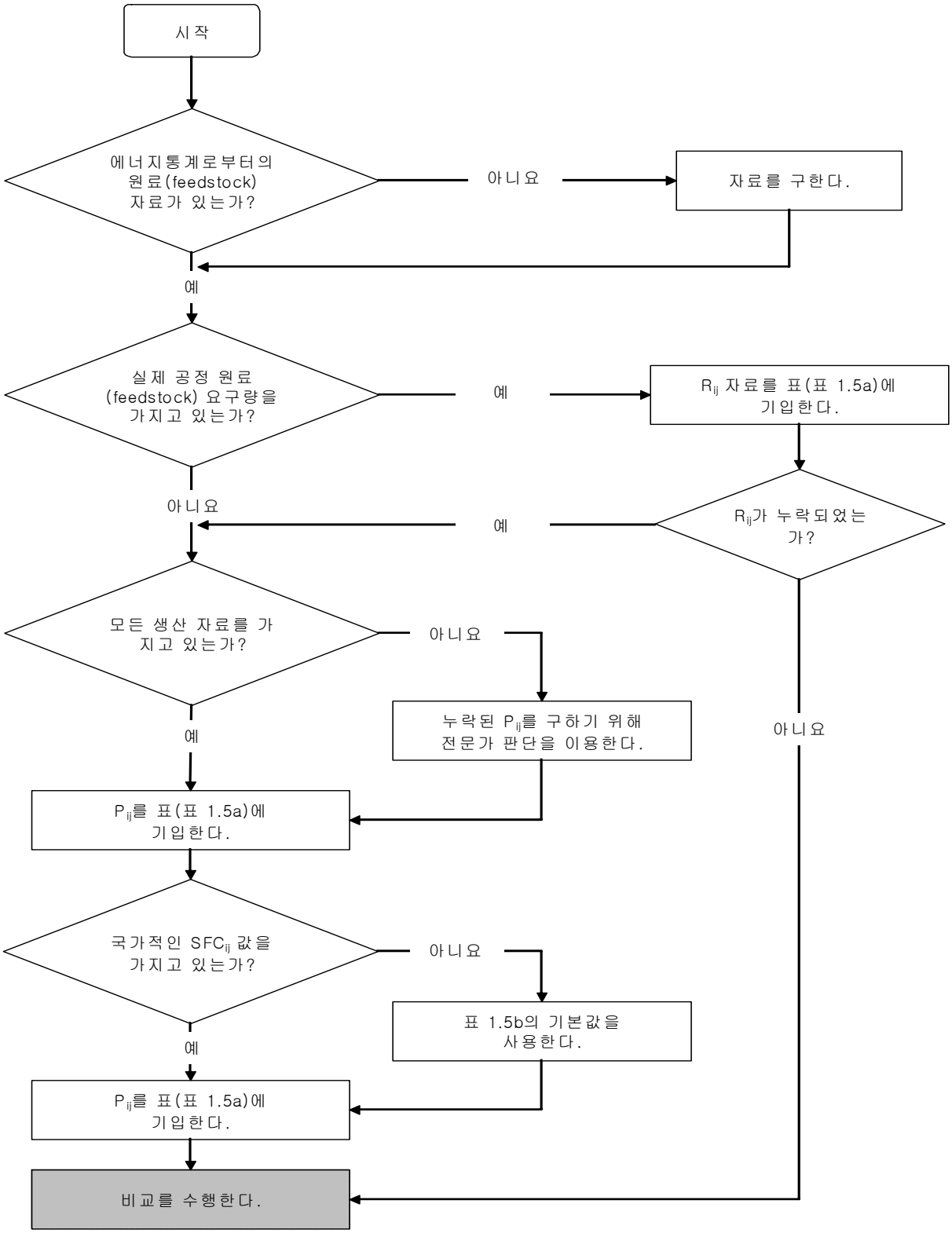
(n) 카본 블랙: Voll et al . (1997)과 EU Integrated Pollution Prevention and Control (2004), 표 4.13에 기초함.

(o) 암모니아: 3.2.2.2절에서 발췌: 표 3.1.

(p) 메탄올: 3.9.2.2절에서 발췌: 표 3.13. 사용되는 공정에 따른 정확한 값을 위해 표를 참고한다.

(q) 카본 블랙: Voll et al . (1997)과 EU Integrated Pollution Prevention and Control (2004), 표 4.13에 기초함.

그림 1.3 연료의 비에너지 사용에 대한 고려의 완전성에 관한 검증을 위한 순서도



주석:

R_{ij} = 원료(feedstock) j에 대한 공정 i의 원료(feedstock) 요구, TJ

SFC_{ij} = 공정 i에서 원료(feedstock) j의 특정 원료(feedstock) 소비, TJ/Gg

P_{ij} = 원료(feedstock) j를 사용하는 공정 i의 생산량, Gg

1.4.4 할당 및 완전성에 관한 QC의 보고 및 기록

완전성 검사가 수행이 된다면, 연료의 비-에너지 사용 및 연료 제조에서 발생하는 탈루성 배출에 한해 완전성 검사를 검토, 요약 및 기록하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이 절에서 논의된 것처럼, 이는 IPPU 부문 및 에너지 부문의 연료 연소 활동 (카테고리 1A)내의 사용을 확인하는 것을 포함한다.
에너지 통계의 원료(feedstock) 사용을 설명하기 위해 서로 다른 국가적 방법이 존재하며, 예외적인 경우에, 에너지 부문에서 CO_2의 일부를 보고할 가능성이 있다 (1.2.1 및 1.3.2절을 참고). 결론적으로 인벤토리보고서에 다음을 보여주는 것은 *우수실행(good practice)*이다:

- 인벤토리 (에너지 부문 내지 산업공정 및 제품 사용 부문)의 어디서, 어떻게 연료의 비-에너지 사용이 설명되었는가 (1.4.4.1절).
- 인벤토리의 어디서, 어떻게, CO_2가 아니라, 탄소 배출이 설명되었는가. 이는 용제 사용과 같이 화석탄소를 포함한 비-연소 및 비-생체(non-biogenic) 공정에서 발생한다.
- 완전성 검사가 적용 가능한 경우에, 수행된 완전성 검사의 결과. 완전성에 관한 QC 활동에 대한 상세한 내용은 QA/QC에 대한 지침(1권의 6장을 참고)에 따라, 내부 문서로 유지되어야 한다 (1.4.4.2절).

첫 번째 점은 IPPU 부문 또는, 가능하다면, 에너지 부문의 연료 연소 활동 (카테고리 1A)에서의, 해당하는 배출의 할당과 국가 에너지 통계에서 사용되는 '비-에너지' 내지 '원료(feedstock)'의 정의를 말한다. 배출원 카테고리의 정의에 따라, 원료(feedstock) 및 비-에너지 사용의 CO_2 배출에 대한 기여는 CO_2 배출과 관련된 국가 전체 화석연료의 1% 미만에서 약 5%까지 달라진다.

완전성 검사에 관한 기술은 특정한 배출원을 여러 부문에 할당하는 것을 설명해야 한다. 특히, 연료 부산물 (오프 가스 내지 공정 vent 가스)이 IPPU 부문 내지 에너지 부문의 또 다른 배출원 카테고리으로 이전되는 경우에, 산업공정 배출에 대한 수정이 어떻게 이루어졌는지를 설명해야 한다.

1.4.4.1 비-에너지 사용에서 발생하는 CO_2의 할당

표 1.6은 아래의 정보를 기록 및 보고하기 위해 사용될 수 있으며, 사용되는 화석연료에서 발생하는 (연료 연소에서 발생하는 것과는 다른) 부문별 CO_2 배출이 보고되는 하위카테고리을 요약한다. (CO_2 참조 접근법의 제외된 탄소에 해당하는) 비-연소 목적을 위해 소비된 각 연료 유형의 양은 내부적인 문서로 기록되어야 한다. 이는 아래와 관련된다:

- IPPU 부문에 보고되는 제조공정 배출과 에너지 부문에서 보고되는 연료연소 배출 간의 구분.
- 물리적 성질로 인한 '연료'의 직접적 사용과 IPPU 부문에서의 화학제품의 사용에서 발생하는 CO_2 배출의 할당. 이들 제품의 폐기물 처리 (예를 들어, 소각)에서 발생하는 배출은 폐기물 부문에서 다루어진다.

할당 보고용 표 (표 1.6)에서, '주요 NEU 연료 유형'과 '기타 NEU 연료 유형'이 각 카테고리에 대해 입력되어야 한다. IPPU 부문별 배경표에서 보고된 동일한 CO_2 배출 (또는 적용되는 경우에, 표기 기호 NE, NO, IE)이 IPPU 배출 열에 입력된다. IPPU가 아닌 배출원 카테고리에 보고된 비-

에너지 목적을 위한 화석연료의 사용에 관련된 CO_2 배출은 적절한 1A 하위카테고리에 추가된다. 이들은 그들이 어디에 보고되는지에 대한 참조와 함께 IPPU 보고에서 다른 곳에 (부분적으로) 포함되는 것으로 IPPU 배출원 카테고리에서 분류된다. 그러므로 표는 그들이 어디에 보고되든지 간에 IPPU 부문에서 발생하는 모든 배출을 포함하므로, IPPU 및 에너지 부문에서의 이러한 배출에 관한 완전한 보고를 기록한다.

산업공정에서 생산되지만 다른 경제 부문에서 연료 연소를 위해 사용되므로 에너지 부문에서 보고되는, 고로 가스와 같은 폐가스 및 기타 가스에서 발생하는 배출에 관해, 에너지 부문의 포함은 완전한 CO_2 배출량 보고의 투명성을 개선시킨다.

1.4.4.2 비-에너지 사용에서 발생하는 CO_2의 완전성

화석연료의 비-에너지 사용에서 발생하는 배출의 할당 및 완전성에 관한 검토의 요약과 함께, 다음을 기록하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

- 완전성 검사가 보고서의 개별적인 배출원 카테고리 절에서, 사용된 배출 계산방법의 기술. 이는 적용된다면, 제안된 IPCC 배출원 분류와 비교되는 할당의 이탈에 대한 이유를 포함해야 한다.
- 사용이 된다면 적어도 (자료가 허용하는) 기준 연도와 마지막 보고 연도에 대한 CO_2 완전성 검사의 결과. 이는 내부적인 문서로서 표 1.3과 같은 표에서 제시된다.
- 완전성에 대한 원료(feedstock) 수지 검사가 또한 사용된다면, 원료(feedstock) 소비의 추론된 산정치와 보고된 원료(feedstock) 이송(deliveries) 간의 차이를 보여주는 표; 내부적인 문서로 최소한 (자료가 허용하는 경우) 기준 연도와 2개의 최근 연도에 대해 (즉, 표 1.5a에서처럼) 기록한다.
- 존재한다면, 수준 내지 추세에서의 중대한 예기치 않은 불일치에 관한 설명. 이는 이러한 차이의 주요 원인을 포함해야 한다.
- 중대한 CO_2 배출이 누락되는지, 그렇다면, 그들이 인벤토리의 어느 부분에서 발생하는지의 여부와 누락의 크기의 산정치에 대한 비교로부터의 결론.

표 1.6
비에너지로 사용된 화석연료로부터 배출되는 CO_2의 할당: IPPU 및 기타 부문

카테고리	....년도 보고서				비고
	주요 NEU 연료[1]	기타 NEU 연료)[1]	배출량 보고서의 산업 프로세스 및 제품사용 부문 CO_2 [2] (Gg)	1A 카테고리에서 기술된 일부 배출량	
2 산업 프로세스 및 제품 사용					
2A 광물 산업					
(구체적인 카테고리를 기술하시오)	(석탄, ..)				4
2B 화학 산업					
2B1 암모니아 생산	천연가스	오일, 석탄			
2B5 카아비드 생산	석유 코크스	오일			
2B6 이산화티탄 생산	석탄				
2B8 석유화학제품 및 카본블랙 생산					
2B8a 메탄올	천연가스	오일, 석탄			5
2B8b 에틸렌	naphtha	오일가스 : 부탄, 에탄, 프로판, LPG			5
2B8f 카본블랙	천연가스	오일, 코크스 오븐 가스			
2B10 기타					
2C 금속 산업					
2C1 철강 생산	코크스	석탄, 석유 코크스(탄소 전극)			6
2C2 합금철 생산	(탄소 전극)	석탄, 코크스			7
2C3 알루미늄 생산	(탄소 전극)	석탄, 코크스			7
2C5 납 생산	코크스				
2C6 아연 생산	코크스				
2C7 기타	(c탄소 전극)	석탄, 코크스			
2D 연료로 인한 비에너지 제품 및 용매 사용					
2D1 윤활유 사용	윤활유	그리스			
2D2 파라핀 왁스 사용	왁스				
2D3 용제 사용	(광물성 테레빈유)	코울타르 & 오일			8
2D4 기타					9
2H 기타					
2H 펄프 및 제지 산업					
2H 식품 및 음료 산업	코크스				
2H 기타					
1 에너지					
1A 연료 연소 활동			**1A 부문에서 보고된 부문[3]**		
1A1a 주요활동 전력 및 열 생산	(BF gas)	(chemical off-gases)			10
1A1b 석유 정제					
1A1c 고체연료의 제조 및 기타에너지 산업	BF gas				
1A2 제조산업 및 건설	(BF gas)	(lubricants, chemical off-gases)			

(1) '주요 NEU 연료' 와 '기타 NEU 연료' 는 사용되는 실제 연료 유형으로 완성되어야 한다.

(2) 이들은 부문별 배경표에서 보고되는 동일한 배출량이다 (적용되는 경우에 동일한 표기 약어 NE, NO, IE를 사용). 다른 곳에서 (부분적으로) 보고된다면, 다음 열에 다른 해당 배출원 카테고리에 대한 참조가 추가되어야 한다.

(3) 산업공정에서 생산되지만 다른 경제 부문에서 연료 연소를 위해 사용되고 에너지 부문에서 보고되는 폐기 가스의 연소 (예를 들어, 현장 외부의 다른 배출원 카테고리로 이전된 고로 가스 내지 화학적 오프 가스의 연소)에서 발생한 CO_2 배출만을 여기에 보고한다.

(4) 예를 들어 분쇄된 무연탄이 유리 생산 (2A3)에 사용될 것이다.

(5) 오프가스 (즉, 부산물 가스)의 생산이 에너지 통계에서 완전히 고려되는 경우에, 원료(feedstock) 손실에서 발생하는 CO_2 배출을 계산 및 보고하는데 이들 가스의 연소가 사용될 것이다. 이들 가스의 일부는 현장 외부에서 연소될 것이므로 에너지 부문에서의 연료 연소로 개별적으로 고려되어야 한다.

(6) 고로에서 사용된 코우크에서 생성된 고로 가스의 일부는 현장 외부에서 연소될 것으므로, 에너지 부문의 연료 연소로서 별도로 고려되어야 한다.

(7) 탄소 전극은 일반적으로 사용자 스스로에 의해 현장에서 또는 양극 생산 공장에 의해 별도로 코우크, 석탄 내지 타르로부터 제조되어 국내에서 사용자에게 판매되거나 수출된다. 양극이 수입 또는 수출되면, 양극 생산에 사용된 연료와 국내에서 사용된 양극의 양 사이에 직접적인 대응은 존재하지 않는다.

(8) 광물성 테레빈유(Mineral turpentines)는 종종 다른 액체와 혼합되어 용제로 사용된다. 석유에서 도출된 방향족 화합물이 용제로 또한 사용될 것이다.

(9) 아스팔트 생산, 도로 포장 및 지붕 공사에서 발생하는 배출은 2D4에서 보고해야 하다. 그렇지만 이러한 활동을 위해 사용되는 역청 - 그리고 희석제로서의 다른 오일 내지 '도로용 오일' - 은 CO_2 배출을 가져오지 않는다.

(10) 공적인 전력 내지 열 생산에 사용될 때 고로 가스 및 화학적 오프 가스에서 발생하는 CO_2가 여기서 보고되어야 한다.

1.5 물질수지 접근법과 배출계수 접근법 간의 선택

1.5.1 서론

7장과 8장은 냉방(air-conditioning) 및 냉장 장비, 전기 장비 및 소방 장비를 포함한, 수명이 길고 가압된 장비에서 발생하는 HFC, PFC, 및 SF_6 배출을 산정하기 위한 여러 가지 다른 방법을 기술한다. 이들 방법은 일반적으로 두 가지 접근법으로 분류된다: (1) 화학적 소비의 물질수지(mass-balance)와 장비 재고의 변화(equipment stocks)에 기초한 접근법, (2) 화학물질 더미(chemical banks)와 배출계수에 기초한 접근법. 물질수지 및 배출계수 접근법 모두는 최대한 통합적에서 최소한 통합적, 세계적인, 지역적인, 국가적인 수준을 포함한 여러 가지 통합 수준에서 적용될 수 있다. 추가적인 세분화 수준은 배출의 유형에 따라 다르다. 8장에서 기술된 배출 (예를 들어, 전기 장비에서 배출되는 SF_6)에 대해, 시설 수준 내지 시설 내 장비의 수명주기 단계에서 방법을 적용하는 것이 가능하다. 7장에 대해 (예를 들어, 냉방, 냉장 및 소방 장비에서 발생하는 HFCs 및 PFCs), 용도 (Tier 1) 내지 하위용도 (Tier 2) 수준에서 방법이 적용될 수 있다. 접근법 유형 모두는 매우 정확할 수 있지만, 환경 및 자료 가용성에 따라, 하나는 나머지보다 더욱 정확할 것이다. 이 장은 물질수지 및 배출계수 접근법과 국가적 환경에 기초하여 그들 간에 선택하기 위한 *우수실행(good practice)*을 기술한다.

1.5.2 물질수지 접근법의 강점과 약점

물질수지 접근법은 매년 (용도 내지 하위용도 수준에서) 국가, 시설, 내지 장비 재고에 도입된 새로운 화학물질의 양을 추적한다. 다음으로 이 접근법은 새로운 장비 용량을 채우거나 파괴된 가스를 대체하기 위해 사용되는 새로운 화학물질의 몫을 설명한다. 설명될 수 없는 소비는 배출된 가스를 대체하거나 자체가 배출된 것으로 가정된다.

물질수지 접근법은 배출이 발생하는 곳에서 실제 배출을 반영하는 중요한 이점을 가지고 있으며, 설비 및 장비의 유형뿐만 아니라 개별 설비 및 장비의 부품 간의 차이를 포착한다. 그러므로, 배출 비율이 장비 및 설비 간에 변하고, 어느 정도, 배출 비율이 시간에 따라 변하는 경우에, 물질수지 접근법은 보다 정확할 것이다. 배출 비율은 종종 예측할 수 없게 자주 변하기 때문에, (1) 물질수지 접근법을 위한 정확한 활동도 자료를 이용할 수 있고, (2) 아래에 기술된 결점들이 배출이 산정되는 공정 내지 장비에는 적용되지 않는 한, 배출계수 접근법 대신에 물질수지 접근법을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

물질수지 접근법은 두 가지 결점을 가진다. 첫 번째, 접근법의 정확성은 질량, 밀도, 및 압력을 측정하는 장치의 정밀도에 의해 제한되며, 이는 ±1 내지 2% 근방인 경향이 있다. 공정에서의 배출 비율이 이 범위 내에 있다면 (즉, 연간 3% 이하의 명목 용량), 물질수지 접근법은 해당 공정에 대해 부정확할 것이다.

두 번째, 물질수지 접근법은 배출이 발생한 후에, 때때로 수 년 후에 이를 감지한다. 이는 느리게 누출되는 장비는 완전히 충전되지 않은 채 수 년 내지 수 십년 동안 운영될 수 있기 때문이다. 서비스 작업이 드물고 재고가 빠르게 성장하는 경우에 이러한 시간 지연은 정확성을 급격하게 감소시킬 수 있다. (1) 일생동안 거의 재충전되지 않는 장비의 유형 (예를 들어, 밀폐 압력형

(sealed-pressure) 전기 장비 및 가정용 냉장고와 같은, 밀폐된 냉방 및 냉장 장비)과 (2) SF_6를 포함한 전기 장비 및/내지 HFCs를 포함한 냉방 및 냉장 장비를 최근에 사용하기 시작한 국가에 대해 이는 사실일 것이다. 후자의 경우에, 재충전 장비에 대한 화학적 소비는 첫 번째 집단의 장비가 처음으로 재충전될 때까지 0에 가까울 것이기 때문에, 물질수지 접근법은 장비를 사용하는 처음 수 년 동안 배출을 상당히 과소 산정할 것이다. 전기 장비에 대해, 장비의 누출 비율에 따라 특정 국가에 장비가 도입된 이후 10년에서 20년까지 화학적 소비는 발생하지 않을 것이다. 냉방 및 냉장 장비에 대해, 다시 장비의 누출 비율에 따라 장비가 도입된 이후 5년에서 20년까지 화학적 소비는 발생하지 않을 것이다.

그림 1.4와 1.5는 이들 두 가지 상황에 대한 물질수지 접근법과 관련된 '지연 오차(lag error)'를 묘사한다. 그림 1.4는 특정 국가가 SF_6를 포함한 전기 장비 내지 HFCs를 포함한 공기조절 장비를 단지 최근에 사용하기 시작했을 때 발생할 수 있는 오차에 초점을 맞춘다. 이 예에서, 장비는 매 10년마다 서비스를 받고 (재충전이 되고) 30년의 수명을 가진다. 연간 장비 매출은 일정하다고 가정되지만, 장비의 수명에 도달할 때까지 장비의 총 재고는 증가한다. 설명을 위해, 누출이 배출의 100%를 구성한다고 가정한다 (예를 들어, 장비 설치, 서비스 작업 및 처분에서의 배출은 0으로 가정한다).[7]

그림 1.4 외견상 누출 대 실제 누출; 장비의 연간 매출은 무성장 (10년 서비스, 30년 수명)

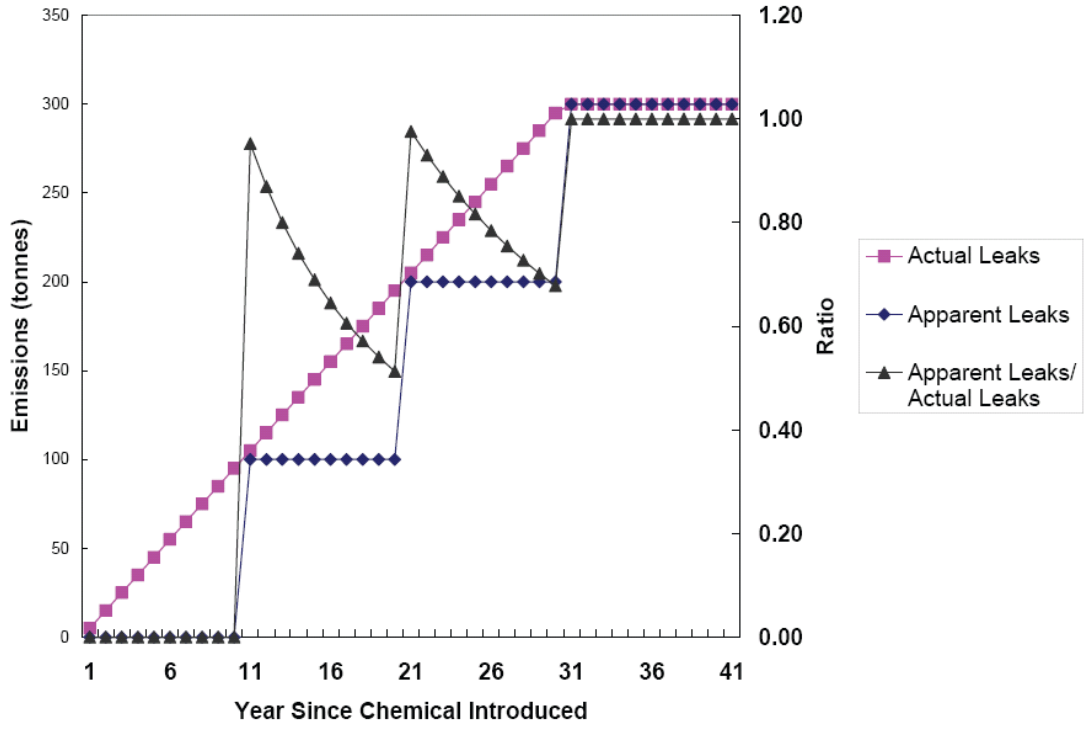


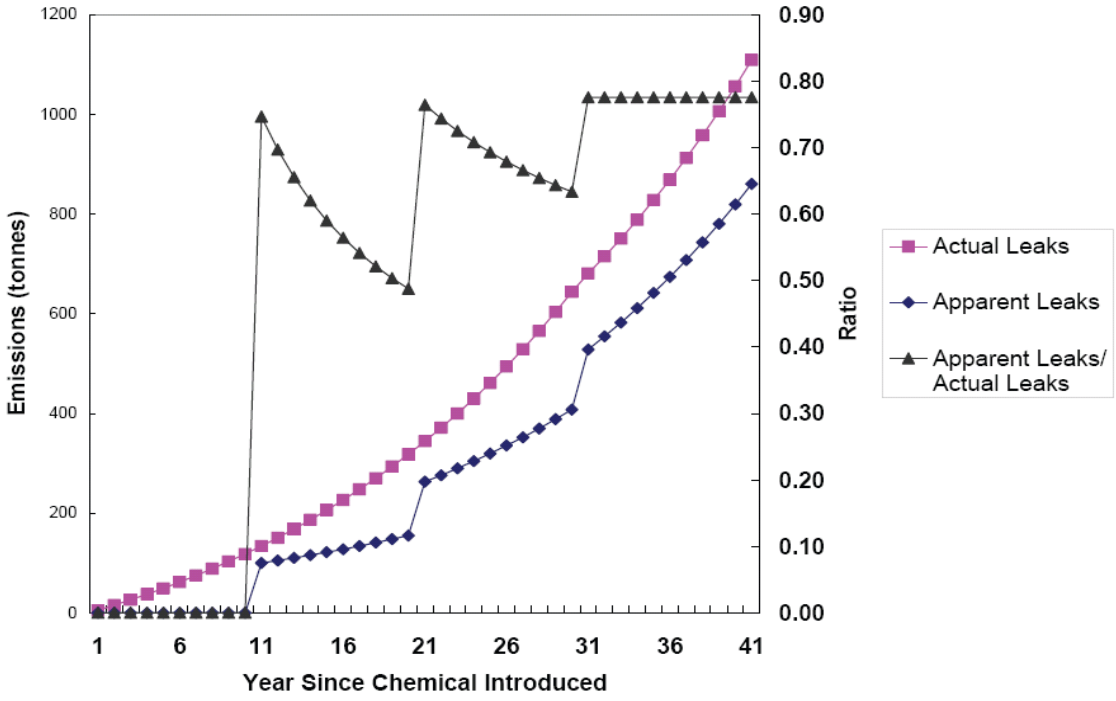
그림 1.4에서, 장비 재고에서 화학물질 더미는 두 번째 연도에 두 배, 세 번째 연도에 세 배, 네 번째 연도에 네 배로 증가하기 때문에, 화학물질이 장비에 처음 도입된 이후에, 배출 ('실제 누출')

7 이 예에서, 각 연도에 판매된 장비의 명목 용량은 1 000톤이라고 가정되며, 누출 비율은 연간 1%로 가정된다. 그렇지만, 외견상 누출과 실제 누출 간의 관계는 연간 매출의 크기 및 누출 비율과 사실상 독립적이라는 것을 주목한다.

은 빠르게 증가한다. 그렇지만, 재충전('외견상 누출')을 위한 화학물질의 매출은 연도 1에 설치된 장비가 처음으로 재충전되는, 연도 11까지 0에 가깝다. 처음으로, 두 집단의 장비가 서비스를 받기 때문에, 연도 21에 매출은 다시 점프한다. 장비가 폐기되기 시작할 때, 외견상 누출이 증가하여 실제 누출과 동일해지며 (1.0의 비율을 발생시키며), 지연 오차는 사라진다.

그림 1.5는 이 경우에 연간 장비 매출이 매년 5%씩 증가한다고 가정하는 것을 제외하고는 그림 1.4와 동일한 상황을 기술한다. 외견상 누출과 실제 누출 간의 관계는 장비가 폐기되기 시작할 때까지는 그림 1.4에서 보이는 것과 매우 유사하다. 해당 시점에 외견상 누출은 증가하지만, 실제 누출과 결코 동일해지지 않는다. 대신에, 외견상 누출과 실제 누출 간의 관계는 일정한 균형값 (이 시나리오에서는 0.78)에서 안정된다.

그림 1.5 외견상 누출 대 실제 누출; 장비의 연간 매출은 5% 성장 (10년 서비스, 20년 수명)



일반적으로, 재충전 사건 간의 평균 시간이 R이면, 물질수지 접근법은 화학물질이 국가에 도입된 이후 R+1년이 경과할 때까지 매우 나쁜 배출 산정을 산출할 것이다. 산정의 정확성은 이후의 연도에 변동하며, 장비가 폐기되기 시작할 때 최대에 도달한다.[8]

8 물질수지 접근법의 최대, 장기 정확성은 장비가 재충전되는 빈도, 새로운 장비 매출의 성장률, 및 누출에 의해 표시되는 배출의 비율에 의존한다. (지수적으로 성장하는 장비 재고에 대해) 아래의 수식을 사용하여 정확성을 산정할 수 있다:

$$\frac{\text{외견상누출}}{\text{실제누출}} = \frac{R[\ln(1+g)]}{(1+g)^R - 1}$$

여기서 R = 재충전 간의 연도 수, g = 장비 매출의 연간 성장률. (균형에 도달하면 이것은 재고의 성장률과 동일하다는 것을 주목한다.)

F = 누출로 구성되는 총 배출의 비율인 경우에, 다음의 식이 또한 적용된다.:

1.5.3 배출계수 접근법의 강점과 약점

배출계수 접근법은 배출을 배출계수와 (1) 화학물질을 사용 내지 보유하는 장비의 정격용량 (nameplate capacity), 또는 (2) 화학물질의 더미 (이들 양은 유사하지만 반드시 동일한 것은 아니다)의 곱과 동일시 한다. 다행히, 물질수지 접근법이 부정확할 것 같은 경우에, 배출계수 접근법이 사용될 수 있다. 그렇지만, 배출계수 모형의 강건성(robustness)과 신뢰성은 배출계수의 지속적인 정확성에 크게 의존한다. 추가적으로, 이들 카테고리 (즉, ODS 대체물 및 전기 장비에서의 SF_6)에 대한 배출계수는 세계의 모든 지역에 대해 존재하지는 않는다.

(장비가 언제, 어디서 제조되었는지에 따라 달라지는) 장비의 설계, 화학물질 취급 관행, 최신 취급 장비의 가용성, 화학물질 가격, 규제 (예를 들어, 화학물질 재생 요구사항), 및 기타 요인에 따라, 배출 비율은 시설 및 장비 유형 그리고 시간에 따라 광범위하게 달라질 수 있다. 그러므로 시설 및 장비 유형의 대표성 있는 표본을 사용하여 배출계수를 개발하고, 이들 계수를 적어도 매 5년마다 검사하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

8장의 Tier 3 배출계수 방법과 7장의 Tier 2 배출계수 방법 (Tier 2a 방법)은 배출계수를 검증하고 타당성을 입증하기 위해 선택된 방법의 상세한 기록을 국가 및/내지 시설이 유지하도록 요구한다. 필요하다면, (예를 들어, 화학물질 판매 및/내지 장비 재충전에 의해 결정되는 것처럼) 배출 산정이 실제적인 가스 손실의 측정에 최종적으로 연결되는 것을 보장하기 위해 배출계수가 수정되어야 할 것이다

표 1.7은 물질수지 접근법과 배출계수 접근법의 원칙, 강점, 및 약점을 요약한다.

$$\frac{\text{외견상 배출}}{\text{실제 배출}} = F\left(\frac{\text{외견상 누출}}{\text{실제 누출}}\right) + (1 - F)$$

인벤토리 작성자가 이들 식의 변수에 대한 자료를 얻을 수 있다면, 물질수지 접근법에 관련된 장기적인 지연 오차를 계량 및 보충하기 위해 이를 사용할 수 있다 (Schaefer, 2002).

표 1.7
물질수지와 배출계수 접근법 사이의 선택

물질 수지 접근법	**배출계수 접근법**
동작 방법: 새로운 장비 용량을 채우거나 파괴된 가스를 대체하기 위해 사용된 가스를 고려하면서, 매년 국가 내지 시설에 도입된 새로운 화학물질의 양을 추적한다.	**동작 방법:** 배출계수와 (1) 화학물질을 사용 내지 유지하는 장비의 명목 용량 또는 (2) 화학물질 더미(bank)의 곱을 배출과 동일하게 본다. (이들 양은 유사하지만 반드시 동일한 것은 아니다)
통합 수준: 물질수지 및 배출계수에 기초한 접근법 모두는 여러 통합 수준에서 적용될 수 있다. 전기 장비에 대해, 이들은 국가, 시설, 및 시설에 있는 장비의 수명주기 단계를 포함한다. 냉장, 공기조절 및 소방 장비에 대해, 이들은 용도, 하위용도 내지 추가적으로 세분화된 장비 유형을 포함한다.	
보다 정확한 경우: • 배출 비율이 시설 및/내지 장비, 그리고 어느 정도는 시간에 따라 달라진다. • 공정 배출 비율이 3%/연 이상이다. • 장비는 자주 재충전된다. • 장비 재고가 느리게 성장한다. • HFCs, PFCs, 내지 SF_6를 포함하는 장비가 적어도 해당 장비의 재충전간의 전형적인 시간만큼 국가에서 사용되어왔다. o 전기 장비에 대해 10-20년 o 공기조절 및 냉장 장비에 대해 5-20년	**보다 정확한 경우:** • 배출비율이 정의된 유형의 장비 및/내지 시설내에서 매우 일정하다. • 공정 배출 비율이 3%/연 이하이다. • 장비는 재충전이 드물거나 결코 없다. • 장비 재고가 빠르게 성장한다. • HFCs, PFCs, 내지 SF_6를 포함하는 장비가 적어도 해당 장비의 재충전간의 전형적인 시간 미만 동안 국가에서 사용되어왔다. o 전기 장비에 대해 10-20년 o 공기조절 및 냉장 장비에 대해 5-20년
기타 고려사항: 장기적으로, 이러한 접근법은 실제적인 배출을 반영할 것이지만, 배출과 배출의 감지 사이에 상당한 시간 지연 (일부 경우에, 20년 이상)이 존재할 것이다.	기타 고려사항: 배출계수가 현실과 일치하는지 확인하기 위해 이를 주기적으로 검사해야 한다.

참고문헌

1.1절 및 1.2절

EEA (2005). “"EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook - 2005”", European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site see: http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en

Eurostat (2005). Europroms. PRODCOM Data. The PRODCOM annual dataset DS-008451 is available at website: http://fd.comext.eurostat.cec.eu.int/xtweb/setupdimselection.do

IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T.,Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

Milbrath, D. (2002). “"Development of 3M™™ Novec™™ 612 Magnesium Protection Fluid as a Substitute for SF6 Over Molten Magnesium,”" International Conference on SF6 and the Environment: Emission Reduction Technologies, November 21-22, 2002, San Diego, CA.

UN (2004). 2001 Industrial Commodity Statistics Yearbook. United Nations Statistics Division, Energy and Industry Statistics Section, Report no. ST/ESA/STAT/SER.P/41, 17 September 2004. Series P, No. 41, Sales number: E/F.03.XVII.10. Also available on CD-ROM as ‘'Industrial Commodity Statistics Dataset (1950-2002)'. See internet: http://unstats.un.org/unsd/industry/publications.htm

USGS (2005). International Minerals Statistics and Information. U.S. Geological Survey. Available at website: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/index.html#pubs

1.3절 및 1.4절

EU Integrated Pollution Prevention and Control (2004). Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals - Solid and Others Industry. (Draft August 2004) Neelis, M.L., Patel, M., Gielen, D.J. and Blok, K. (2005). Modelling CO_2 emissions from non-energy use with non-energy use emission accounting 품질보증s (NEAT) model, Resources, Conservation and Recycling, Volume 45, Issue 3, pp. 226-251.

OECD/IEA/Eurostat (2004). Energy Statistics Manual. IEA PUBLICATIONS, 9 rue de la F□d□ration, 75739 PARIS Cedex 15 PRINTED IN FRANCE BY STEDI, September 2004. Available at website: http://www.iea.org/dbtw-wpd/textbase/nppdf/free/2004/statistics_manual.pdf, visited 3 February 2005.

Patel, M.K. (1999). Statistical definitions of non-energy use. 1st NEU-CO2 project workshop, 23-24 September 1999. IEA, Paris. Available at website: http://www.chem.uu.nl/nws/www/nenergy/wrkshp1c.htm, visited 3 February 2005.

Sjardin, M. (2003). CO2 Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry. Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands. June 2003. Voll, M. and Kleinschmit, P. (1997). ‘'Carbon Black'' in Ullman''s encyclopedia of

industrial chemistry. 5th ed. on CD-ROM, Vol. A5. John Wiley and Sons; 1997.

1.5절

Schaefer, D. (2002). A Potential Error Associated with Using Chemical and Equipment Sales Data to Estimate Greenhouse Gas Emissions from Long-lived, Pressurized Equipment, Non-CO_2 Greenhouse Gases: Scientific Understanding, Control Options and Policy Aspects, Proceedings of the Third International Symposium, Maastricht, The Netherlands, 21-23 January 2002, pp. 229- 230. Millpress, Rotterdam, Netherlands, 2002.

제2장

광물산업 배출

저자

Lisa Hanle (미국)
Pedro Maldonado (칠레), Eiichi Onuma (일본), Milos Tichy (체코), and Hendrik G. van Oss (미국)

부저자

Victor O. Aume (미국), George H. Edwards (미국), and M. Michael Miller (미국)

목 차

2 광물산업 배출 ····· 2.6
2.1 서론 ····· 2.6
2.2 시멘트 생산 ····· 2.9
2.2.1 방법론적 이슈 ····· 2.9
2.2.1.1 방법의 선택 ····· 2.9
2.2.1.2 배출계수의 선택 ····· 2.14
2.2.1.3 활동도 자료의 선택 ····· 2.16
2.2.1.4 완전성 ····· 2.20
2.2.1.5 일관적인 시계열의 개발 ····· 2.21
2.2.2 불확도 평가 ····· 2.21
2.2.2.1 배출계수 불확도 ····· 2.21
2.2.2.2 활동도 자료 불확도 ····· 2.21
2.2.3 품질보증/품질관리 (QA/QC), 보고 및 기록 ····· 2.24
2.2.3.1 품질보증/품질관리 (QA/QC) ····· 2.24
2.2.3.2 보고 및 기록 ····· 2.24
2.3 석회 생산 ····· 2.25
2.3.1 방법론적 이슈 ····· 2.25
2.3.1.1 방법의 선택 ····· 2.26
2.3.1.2 배출계수의 선택 ····· 2.29
2.3.1.3 활동자료의 선택 ····· 2.31
2.3.1.4 완전성 ····· 2.32
2.3.1.5 일관적인 시계열의 개발 ····· 2.33
2.3.2 불확도 분석 ····· 2.33
2.3.2.1 배출계수 불확도 ····· 2.34
2.3.2.2 활동도 자료 불확도 ····· 2.34
2.3.3 품질보증/품질관리 (QA/QC), 보고 및 기록 ····· 2.34
2.3.3.1 품질보증/품질관리 (QA/QC) ····· 2.34
2.3.3.2 보고 및 기록 ····· 2.35
2.4 유리생산 ····· 2.36
2.4.1 방법론적 이슈 ····· 2.36
2.4.1.1 방법의 선택 ····· 2.37
2.4.1.2 배출계수의 선택 ····· 2.39

2.4.1.3 활동도 자료의 선택 ····2.41
2.4.1.4 완전성 ····2.42
2.4.1.5 일관성 있는 시계열의 개발 ····2.42
2.4.2 불확도 평가 ····2.42
2.4.2.1 배출계수 불확도 ····2.42
2.4.2.2 활동도 자료 불확도 ····2.42
2.4.3 품질보증/품질관리 (QA/QC), 보고 및 기록 ····2.43
2.4.3.1 품질보증/품질관리 (QA/QC) ····2.43
2.4.3.2 보고 및 기록 ····2.43
2.5 탄산염의 기타 공정 사용 ····2.44
2.5.1 방법론적 이슈 ····2.44
2.5.1.1 방법의 선택 ····2.45
2.5.1.2 배출계수의 선택 ····2.48
2.5.1.3 활동도 자료의 선택 ····2.48
2.5.1.4 완전성 ····2.49
2.5.1.5 일관적인 시계열의 개발 ····2.51
2.5.2 불확도 평가 ····2.52
2.5.2.1 배출계수 불확도 ····2.52
2.5.2.2 활동도 불확도 ····2.52
2.5.3 품질보증/품질관리 (QA/QC), 보고 및 기록 ····2.52
2.5.3.1 품질보증/품질관리 (QA/QC) ····2.52
2.5.3.2 보고 및 기록 ····2.53

참고문헌 ····2.54

식

식 2.1 TIER 1: 시멘트 생산에 기초한 배출 ····2.10
식 2.2 TIER 2: 클링커 생산 자료에 기초한 배출량 ····2.12
식 2.3 TIER 3: 킬른으로의 탄산염 원료 투입에 기초한 배출량. ····2.13
식 2.4 클링커에 대한 배출계수 ····2.14
식 2.5 킬른에 재활용되지 않은 CKD에 대한 보정계수 ····2.16

식 2.6 Tier 2: 유형별 국가 석회생산 자료에 기초한 배출 ·····2.28
식 2.7 TIER 3: 탄산염 투입에 기초한 배출 ·····2.28
식 2.8 TIER 1: 석회생산에 대한 기본값 배출계수 ·····2.29
식 2.9 TIER 2: 석회생산에 대한 배출계수 ·····2.30
식 2.10 TIER 1: 유리 생산에 기초한 배출 ·····2.37
식 2.11 TIER 2: 유리 제조 공정에 기초한 배출 ·····2.37
식 2.12 TIER 3: 유리 제조 공정에 기초한 배출 ·····2.38
식 2.13 TIER 1: 유리생산에 대한 기본값 배출계수 ·····2.39
식 2.14 TIER 1: 소비된 탄산염의 질량에 기초한 배출 ·····2.46
식 2.15 TIER 2: 탄산염의 다른 공정 사용에 대한 방법 ·····2.46
식 2.16 TIER 3: 탄산염의 다른 공정 사용에 대한 탄산염 투입 접근법 ·····2.47

그 림

그림 2.1 시멘트 생산에서 발생하는 CO_2 배출의 산정에 대한 의사결정도 ·····2.11
그림 2.2 석회 생산에서 발생하는 CO_2 배출의 산정에 대한 의사결정도 ·····2.27
그림 2.3 유리 생산에서 발생하는 CO_2 배출의 산정에 대한 의사결정도 ·····2.39
그림 2.4 탄산염의 기타 공정 사용에서 발생하는 CO_2 배출의 산정에 대한 의사결정도 ·····2.48

표

표 2.1 일반적인 탄산염 화학족의 공식, 공식 가중치 및 이산화탄소 함유량 ····· 2.8
표 2.2 혼합 시멘트 '제조법'의 클링커 비율 및 전반적인 제품 혼합 ·····2.18
표 2.3 시멘트 생산에 대한 기본 불확도 값 ·····2.23
표 2.4 석회 생산에 대한 배출계수 계산을 위한 기본 입력변수 ·····2.30
표 2.5 석회 생산에서 발생하는 CO_2 배출 산정에 대한 기본 불확도 값 ·····2.34
표 2.6 여러 가지 유리 유형에 대한 기본 배출계수와 컬릿 비율 ·····2.41
표 2.7 탄산염의 배출적 사용과 비-배출적 사용 ·····2.50

2 광물산업 배출

2.1 서론

이 장은 생산에서 탄산염(carbonate) 원료의 사용 및 다양한 광물산업 제품의 사용에서 발생하는 공정에 관련된 이산화탄소 (CO_2)를 산정하기 위한 방법론을 약술한다. 탄산염에서 발생하는 CO_2 방출에 대한 두 가지 광범위한 경로가 존재한다: 소성(calcination)과 산에 의해 유도된 (acid-induced) CO_2 방출. CO_2 방출을 초래하는 주된 과정은 탄산염 화합물의 소성이며, 가열을 통해 금속 산화물이 생성된다. 방해석 내지 탄산칼슘에 대해 보여지는 전형적인 소성 반응은 다음과 같을 것이다:

$$CaCO_3 + 열 \rightarrow CaO + CO_2$$

예를 들어, 다음과 같은 식을 통해 산에 의해 유도된 CO_2 방출이 발생한다:

$$CaCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + H_2O + CO_2$$

이것은 다양한 산업에서 발생하지만, 전형적으로 비-탄산염 물질을 개량하기 위한 산성화 (acidification) 과정에서 불순물로 존재하는 소량의 탄산염의 결과이다. 예를 들어, 인산을 생산하기 위해 인광석(phosphate ores)을 황산으로 처리할 때, 산성화되는 인산염 농축액은 작은 비율의 탄산염 광물을 포함할 것이다. 일반적으로, 이러한 탄산염 불순물의 산성화에 의해 방출되는 CO_2 양은 작을 것이다.

그러므로 이 장의 초점은 탄산염 광물의 소성에서 발생하는 배출에 있다. 소성에 관련된 배출이 방출되는 주요한 과정은 광물산업의 배출원 카테고리간에 유사하지만, 세계적인 배출에 대한 상대적으로 큰 기여 때문에 세 가지 배출원 카테고리가 강조된다. 이러한 배출원 카테고리는 시멘트 생산, 석회 생산 및 유리 생산이다. 이러한 배출원 카테고리에 추가하여, 이 장은 세라믹, 소다회 (soda ash) 사용, 및 비-야금적 마그네시아 생산을 위한 탄산염 소비를 포함한 기타 다양한 광물산업에서의 탄산염 소비에서 발생하는 배출을 고려한다.

석회석 및 기타 탄산염 광물이 이 장에서 다루지 않은 기타 다양한 산업에서 또한 소비된다. 예로는 금속 용해 및 제련 (예를 들어, 철강 생산 및 구리와 같은 비금속)에서 융제(fluxes)[1] 및 슬래깅제[2]로, 그리고 화학산업 (예를 들어, 비료)에서 투입물로 사용되는 탄산염이 포함된다. 탄산염의 사용으로 인한 배출을 산정하기 위해 이 장에서 약술된 방법은 이들 기타 산업에도 적용가능하다. 석회석, 백운석(dolomite) 및 기타 탄산염의 사용으로 인한 배출을 그들이 배출된 산업 배출원 카테고리에 할당하는 것이 *우수실행(good practice)*이다 (예를 들어, 철강 생산).

1 융제(Fluxes)는 광물의 열처리(금속의 용해)의 열 내지 기타 에너지 요구를 감소시키는데 사용되는 석회석, 백운석, 석회 및 규사와 같은 원료이다. 융제는 슬래깅제(slagging agent)로서 이중의 기능을 수행한다.

2 슬래그(Slag)는금속성 광석의 용해 동안, 이후에 고로(예, 강철)에서, 슬래깅제(일반적으로 석회, 석회석 및/내지 백운석)에 의해 의도적으로 생성된 용해된 잔여 규산염이다. 슬래그는 용해 공정 동안 첨가된 융제에서 파생된 성분뿐만 아니라 광석에서 빠져나온 비휘발성 불순물의 대부분을 포함한다.

산업공정 및 제품 사용 (IPPU)에 대해 3권 전체에 걸쳐 언급되는 것처럼, 아래에 약술된 배출 산정 방법론은 단지 공정에 관련된 배출을 고려하며, 에너지에 관련된 배출을 고려하지 않는다. 인벤토리 작성자는 이러한 산업에서 발생하는 에너지에 관련된 배출이 에너지 부문에서 고려되고, 에너지 부문과 IPPU 부문 간에 배출의 이중 계산이 없는지를 확인해야 한다. 예를 들어, 시멘트 제조에서 소비된 연료에서 발생한 CO_2 배출의 계산은 화석연료 및 폐기물 연료 (타이어, 폐유, 페인트 등)의 연소를 고려해야 한다. 그렇지만, 이러한 연소에 관련된 배출은 IPPU가 아니라 에너지에 관련된 배출로 포함되어야 하며, IPPU는 소성으로 인한 배출만을 포함해야 한다.

메탄 (CH_4)과 아산화질소 (N_2O)는 일부 광물산업 배출원 카테고리에서 배출되지만, 현재의 과학적 지식에서, 이러한 배출은 사소한 것으로 생각되므로 이 장에서 다루지 않는다. CO_2 배출은 여기에서 확인되지 않은 추가적인, 광물에 관련된 활동에서 발생할 것이다; 이들이 알려지고 산정될 수 있는 경우에는 인벤토리에 이들을 포함해야 한다.

이 장의 배출원 카테고리는 방법론적 tier에 대한 일반적인 접근법을 공유한다. Tier 1과 2는 질량 단위당 배출된 CO_2 양을 표시하는 배출계수와 함께, 소비된 원료 내지 제조된 제품의 양에 관한 산정치에 기초한다. Tier 3는 원료의 현장에 고유한 화학에 기초한 직접적인 계산을 기술한다. 현장에 고유한 원료 자료가 사용된다면, (단지 석회석뿐만 아니라) 원료와 연료에 있는 탄산염의 모든 배출원이 고려되는 것이 중요하다. 모든 탄산염 연소 산업에 대한 기본적인 배출 계산은 유사하다. 그들은 공통적인 수식 가중치와 CO_2 비율에 기초하며, 이는 편의상 아래의 표 2.1에 제시된다.

표 2.1
일반적인 탄산염 화학족의 공식, 공식 가중치 및 이산화탄소 함유량*

탄산염	광물 이름	공식 가중치	배출계수 (톤 CO2/톤 탄산염)**
$CaCO_3$	방해석*** 내지 아라고나이트	100.0869	0.43971
$MgCO_3$	마그네사이트	84.3139	0.52197
$CaMg(CO_3)_2$	백운석***	184.4008	0.47732
$FeCO_3$	능철광	115.8539	0.37987
$Ca(Fe,Mg,Mn)(CO_3)_2$	철백운석****	185.0225−215.6160	0.40822−0.47572
$MnCO_3$	망간광	114.9470	0.38286
Na_2CO_3	탄산나트륨 내지 소다회	106.0685	0.41492

출처: CRC Handbook of Chemistry and Physics (2004)

* 이들 자료를 사용하는 최종 결과는 두 자리 유효 숫자 이하로 반올림되어야 한다.

** 100% 소성을 가정한 CO_2 배출 비율; 예를 들어, 1톤의 방해석은, 완전히 소성된다면, 0.43971 톤의 CO_2를 산출할 것이다.

*** 방해석은 석회석에 있는 주요 광물이다. 고-마그네슘(high-magnesium) 내지 고토석회(dolomitic limestones)와 같은 용어는 석회석에 대해 공통적으로 보이는 일반적인 $CaCO_3$ 공식에서 Ca 대신한 Mg의 상대적으로 작은 치환을 말한다.

**** 철백운석에 대한 공식 가중치 범위는 Fe, Mg, Mn이 적어도 1.0%의 양으로 존재한다고 가정한다.

2.2 시멘트 생산

2.2.1 방법론적 이슈

시멘트 제조에서, 클링커(clinker)의 생산 동안 CO_2가 생산된다. 클링커는 덩어리 형태의 중간 제품으로 소량의 황산칼슘 [석고 ($CaSO_4$ $2H_2O$) 내지 경석고 ($CaSO_4$)]과 함께 곱게 갈려서, 수경성 (전형적으로 포틀랜드) 시멘트가 된다. 클링커를 생산하는 동안, 주로 탄산칼슘 ($CaCO_3$)인 석회석이 가열 내지 소성되어, 석회 (CaO)와 부산물로 CO_2를 생산한다. 다음으로 CaO는 원료에 있는 이산화규소 (SiO_2), 알루미나 (Al_2O_3) 및 산화철 (Fe_2O_3)과 반응하여 클링커 광물 (주로 규산칼슘)을 만든다. $CaCO_3$가 아닌 탄산염의 원료 내의 비율은 일반적으로 매우 작다. 존재한다면, 나머지 탄산염은 주요 석회석 원료내에 주로 불순물로서 존재한다. 클링커 생산 공정에서 소량의 MgO (전형적으로 1-2%)는 융제로 작용하기 때문에 바람직하지만, 이 양보다 많은 것은 시멘트에 문제를 가져올 수 있다 (van Oss and Padovani, 2002). 시멘트는 수입된 클링커로부터 전적으로 생산 (분쇄)될 수 있으며, 이러한 경우 시멘트 생산시설은 공정에 관련된 0의 CO_2 배출을 가지는 것으로 간주될 것이다. 2.2.1.2절에서 논의되는 것처럼, 시멘트 킬른 먼지 (CKD)는 클링커의 제조 동안 생성될 것이다. 배출 산정치는 CKD와 관련된 배출을 고려해야 한다.

벽돌용 시멘트(masonry cement)의 생산과 관련된 추가적인 배출은 존재하지 않는다. 벽돌용 시멘트가 석회를 포틀랜드 시멘트 (내지 클링커)에 추가함으로써 생산되는 경우에, 석회에 관련된 배출은 석회 생산에서 이미 고려되어야 한다. 벽돌용 시멘트를 생산하기 위해 분쇄한 석회석을 포틀랜드 시멘트 내지 클링커에 추가하는 것은 추가적인 배출을 가져오지 않는다.

2.2.1.1 방법의 선택

그림 2.1의 의사결정도는 국가적 환경에 기초한 가장 적절한 방법을 선택할 때 *우수실행(good practice)*을 기술한다. Tier 1 방법에서, 배출은 시멘트 생산 자료에서 추론된 클링커 생산 산정치에 기초하며, 클링커의 수입 및 수출에 대해 수정된다. 직접 시멘트 생산에서 배출을 산정하는 것은 (즉, 먼저 클링커 생산을 산정하지 않고 시멘트 생산에 직접 배출계수를 적용), 클링커 수입 및 수출을 고려하지 않기 때문에, *우수실행(good practice)*으로 간주되지 않는다.

Tier 2에서, 배출은 (시멘트 생산에서 추론된 클링커 생산이 아니라) 클링커 생산자료와 국가적 내지 기본값 배출계수에서 직접 산정된다. Tier 3 접근법은 모든 원료 및 연료 배출원에서 모든 탄산염 투입물의 무게 및 구성, 탄산염에 대한 배출계수, 및 달성한 소성 비율에 기초한 계산이다. Tier 3 접근법은 공장에 고유한 자료에 의존한다. 인벤토리 작성자가 공장 수준의 자료가 신뢰할 수 없거나 매우 불확실하다고 본다면, Tier 2를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2와 Tier 3는 CKD에 대한 수정을 또한 포함해야 한다. Tier 2는 킬른에서 재활용되지 않은 CKD에 관련된 배출에 대해 수정 추가항목을 포함한다. Tier 3도 CKD를 고려해야 한다. Tier 2 접근법과 달리, Tier 3를 사용할 때, 킬른에서 재활용되지 않은, 소성되지 않은 CKD에 기인한 배출은 총 배출산정치에서 차감되어야 한다.

공장에서 CO_2 포집기술이 설치 및 사용된다면, 높은 tier의 배출 계산에서 포집된 CO_2를 차감하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 기본 가정은 실행 중인 CO_2 포집 및 저장 (CCS)이 없다는

것이다. CO_2 포집을 고려하는 방법론은 공정에서 포집된 CO_2 배출은 연소 및 공정 모두에 관련된다고 생각해야 한다. 예를 들어, 시멘트 생산에 대해, 연소 및 공정 배출이 별도로 보고되는 경우에, 인벤토리 작성자는 동일한 양의 CO_2 가 이중 계산 되지 않았는지 확인해야 한다. 이러한 경우 포집된 CO_2의 총량은 이들 배출원 카테고리에서 생성된 CO_2 양에 비례하여 해당하는 에너지 연소 및 IPPU 배출원 부분에 가급적 보고되어야 한다. CO_2 포집 및 저장에 대한 추가적인 정보에 대해 3권, 1.2.2절을 참고하고, 포집 및 저장에 대한 보다 상세한 내용에 대해 2권, 2.3.4절을 참고한다.

TIER 1 방법: 시멘트 생산 자료의 사용을 통한 클링커 생산의 산정

위에서 언급한 것처럼, (시멘트에 기초한 고정된 배출계수를 사용하여) 시멘트 생산에서 직접 CO_2 배출을 계산하는 것은 *우수실행(good practice)*과 일치하지 않는다. 대신에, 탄산염 투입에 대한 자료 내지 국가적 클링커 생산 자료가 없는 경우에, 생산된 시멘트의 양 및 유형과 그것의 클링커 함유량을 고려하고 클링커 수입 및 수출에 대한 수정을 포함하여 클링커 생산을 산정하기 위해 시멘트 생산 자료가 사용될 것이다. 클링커의 수입 및 수출을 고려하는 것은 이러한 배출원에서 배출을 산정하는데 중요한 요인이다. 수입된 클링커의 생산으로 인한 배출은 국가 배출 산정치에 포함되지 말아야 하며, 이는 이러한 배출이 다른 국가에서 생성 및 고려되었기 때문이다. 유사하게, 최종적으로 수출된 클링커로 인한 배출은 클링커가 생산된 국가의 국가적 산정치에 포함되어야 한다. 다음으로 클링커에 대한 배출계수가 적용되고 식 2.1에 따라 CO_2 배출량이 계산된다.

식 2.1
TIER 1: 시멘트 생산에 기초한 배출

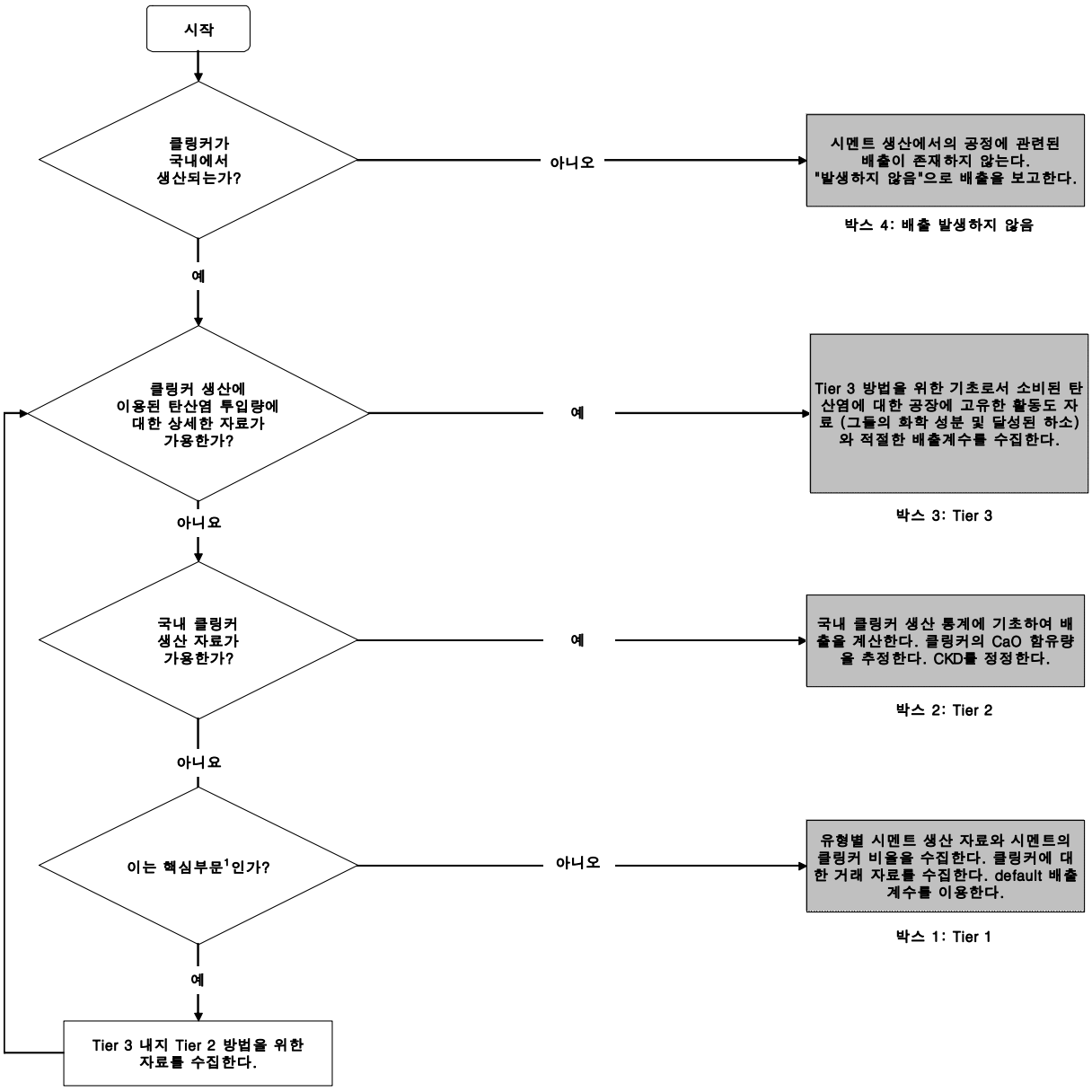
$$CO_2 \text{배출량} = \left[\sum_i (M_{ci} \cdot C_{cli}) - Im + Ex\right] \cdot EF_{clc}$$

여기서:

CO_2 배출량 = 시멘트 생산으로 인한 CO_2 배출량, 톤
M_{ci} = 생산된 I 유형 시멘트[3]의 무게 (질량), 톤
C_{cli} = I 유형 시멘트의 클링커 비율, 비율
Im = 클링커의 소비를 위한 수입, 톤
Ex = 클링커의 수출, 톤
EF_{clc} = 특정한 시멘트의 클링커에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 클링커
기본값 클링커 배출계수 (EFclc)는 CKD를 위해 수정된다

3 일부 통계적 요약에서 시멘트의 생산은 시멘트의 생산 더하기 클링커의 수출을 의미한다. 이것이 사실이라면, 식 2.1의 M_{ci} 요인에서 클링커 수출을 차감하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

그림 2.1 시멘트 생산에서 발생하는 CO_2 배출의 산정에 대한 의사결정도



주석:

1. 주 카테고리 및 의사결정도의 사용에 관한 논의에 대해, 1권의 4장, 방법론 선택 및 주 카테고리의 확인을 참고한다 (제한된 자원에 대해 4.1.2 절을 주목한다).

TIER 2 방법: 클링커 생산 자료의 사용

클링커 생산에 소비된 탄산염에 대한 (무게 및 구성을 포함한) 상세하고 완전한 자료를 이용할 수 없거나 (Tier 3), 엄격한 Tier 3 접근법이 비실용적이라고 생각된다면, 통합된 공장 내지 국가적 클링커 생산 자료와 아래의 식 2.2에서 배출계수로 표현된, 클링커의 CaO 함유량에 대한 자료를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

식 2.2
TIER 2: 클링커 생산 자료에 기초한 배출량

$$CO_2 \text{ 배출량} = M_{cl} \cdot EF_{cl} \cdot CF_{ckd}$$

여기서:

CO_2 배출량 = 시멘트 생산으로 인한 CO_2 배출량, 톤

M_{cl} = 생산된 클링커의 무게 (질량), 톤

EF_{cl} = 클링커에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 클링커 (2.2.1.2절, Tier 1과 Tier 2에 대한 배출계수의 선택에서의 논의를 참고한다.) 이 클링커 배출계수 (EFcl)는 CKD에 대해 수정이 이루어지지 않았다.

CF_{ckd} = CKD에 대한 배출 보정계수, 단위 없음 (식 2.5를 참고)

Tier 2 접근법은 시멘트 산업 및 클링커 생산에 관한 아래의 가정에 기초한다:

1. 수경성 시멘트의 대부분은 포틀랜드 시멘트 내지 유사한 시멘트이며, 이는 포틀랜드 시멘트 클링커를 요구한다.
2. 클링커의 CaO 구성에서 매우 제한된 범위가 존재하며 MgO 함유량은 매우 낮게 유지된다.
3. 공장은 가까운 허용오차(tolerances) 내에서 원료 투입 및 클링커의 CaO 함유량을 통제할 수 있다.
4. 클링커의 산출이 직접 측정되는 것이 아니라 공장에 의해 계산되는 경우에도, 감사가 수행될 때 두 가지 결정방법 간에 가까운 일치가 일반적으로 존재한다.
5. 특정 공장에서의 클링커의 CaO 함유량은 연도에 따라 크게 변하지 않는 경향이 있다.
6. 대부분의 공장에 대해 CaO의 주된 배출원은 $CaCO_3$이고, 적어도 공장 수준에서, CaO의 주요한 비-탄산염 배출원은 즉시 계량된다(아래의 2.2.1.2절을 참고).
7. 재활용되지 않은 CKD로 시스템에 (일반적으로 매우 작은 정도의) 손실된 물질을 포함하여, 클링커 제조에 대한 탄산염 투입에 대해 100%의 (내지 그것에 매우 가까운) 소성 계수가 달성된다.
8. CKD가 반드시 킬른에 재활용되는 것은 아니지만, 공장에서 먼지 수집기는 본래 모든 CKD를 포집한다.

TIER 3 방법: 탄산염 투입 자료의 사용

Tier 3는 소비된 탄산염의 개별적인 배출계수뿐만 아니라, 클링커를 생산하기 위해 소비된 탄산염의 유형 (구성) 및 양에 대한 세분화된 자료의 수집에 기초한다. Tier 3 접근법은 킬른으로 반환되지 않은 CKD 내의 소성되지 않은 탄산염을 차감하기 위한 수정을 포함한다. CKD가 완전히 소성되거나 모두가 킬른으로 반환되면, 이러한 CKD 보정계수는 0이 된다. 인벤토리 작성자가 소성되지 않은 CKD에 대한 자료에 접근하지 못하는 경우에, Tier 3는 여전히 *우수실행(good practice)*으

로 고려된다. 그렇지만, 소성되지 못한 CKD를 제외하는 것은 배출을 약간 과대산정할 것이다.

석회석 및 혈암(shales) (원료)은 일정 부분의 유기 탄소 (케로겐)를 포함하며, 다른 원료 (예를 들어, 비산회(fly ash))는 연소될 때 추가적인 CO_2를 산출하는 탄소 잔여물을 포함할 것이다. 이러한 배출은 전형적으로 에너지 부문에서 고려되지 않지만, 광범위하게 사용된다면, 인벤토리 작성자는 그들이 에너지 부문에 포함되는지 확인하기 위해 노력을 기울여야 한다. 그렇지만, 현재로는 이 장에서 제공되는 원료의 평균 케로겐 함유량에 관련된 의미있는 기본값을 허용하는, 광물 공정을 위한 비-연료 원료의 케로겐 내지 탄소 함유량에 대한 극히 소수의 자료가 존재한다. 공장 수준의 원료에 기초한 계산 (Tier 3)에 대해 케로겐 함유량이 높은 경우에 (즉, 총 열량의 5% 이상에 기여), 배출에 대한 케로겐의 기여를 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 3 접근법은 탄산염 원료에 대한 상세한 공장 수준의 자료에 접근할 수 있는 개별 공장 및 국가에 대해 단지 실용적일 것이다. 공장 수준에서 수집된 배출 자료는 국가 배출산정치를 보고하기 위해 통합되어야 한다. 탄산염의 직접적인 분석에 기초한 빈번한 배출 계산은 일부 공장에 부담이 될 수도 있다고 생각된다. 공장 수준에서 소비된 탄산염과 결과적인 클링커 생산 간의 좋은 상관관계를 설정하기 위해 탄산염 투입에 관한 상세한 화학적 분석이 충분한 빈도로 수행된다면, 클링커 산출은 중간 기간에서의 배출 계산을 위한 탄산염의 대용자료로 사용될 것이다. 즉, 공장은 탄산염 투입에 대한 주기적 조정에 기초하여, 해당 공장의 클링커를 위한 엄격하게 제한된 배출계수를 도출할 것이다.

식 2.3
TIER 3: 킬른으로의 탄산염 원료 투입에 기초한 배출량

$$CO_2\text{배출량} = \sum_i (EF_i \cdot M_i \cdot F_i) - M_d \cdot C_d \cdot (1 - F_d) \cdot EF_d + \sum_k (M_k \cdot X_k \cdot EF_k)$$

탄산염으로 인한 배출	킬른으로 재활용되지 않은 비소성된 CKD로 인한 배출	탄소를 포함한 비-연료 물질로 인한 배출

여기서:

CO_2 배출량 = 시멘트 생산으로 인한 CO_2 배출량, 톤
EF_i = 특정한 탄산염 I에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 탄산염 (표 2.1을 참고)
M_i = 킬른에서 소비된 탄산염 i의 무게 내지 질량, 톤
F_i = 탄산염 i에 대해 달성된 소성 비율, 비율[a]
M_d = 킬른으로 재활용되지 않은 CKD의 무게 내지 질량 (= '손실된' CKD), 톤
C_d = 킬른으로 재활용되지 않은 CKD내의 원래 탄산염의 무게 비율, 비율[b]
F_d = 킬른으로 재활용되지 않은 CKD에 대해 달성된 소성의 비율, 비율a
EF_d = 킬른으로 재활용되지 않은 CKD내 비소성된 탄산염에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 탄산염[b]
M_k = 유기물 내지 기타 탄소를 포함하는 비연료 원료 k의 무게 내지 질량, 톤
X_k = 특정한 비연료 원료 k에서 총 유기물 내지 기타 탄소의 비율, 비율[c]
EFk = 케로겐 (내지 기타 탄소)을 포함하는 비연료 원료 k에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 탄산염[c]

식 2.3에 대한 기본값에 대한 주석:

a: 소성 비율: 실제 자료가 없는 경우에, 시멘트 (클링커) 킬른에서 달성된 온도 및 체재 시간에서, 클링커에 포함된 모든 물질에 대해 달성된 소성의 정도는 100 % (즉, F_i = 1.00) 내지 그에 매우 가깝다고 가정될 것이다. CKD에 대해, 1.00 미만의 F_d가 보다 적당하지만 자료는 높은 변동성과 상대적으로 낮은 신뢰성을 보인다. CKD에 대한 신뢰성있는 자료가 없는 경우에, F_d = 1.00의 가정은 CKD에 대한 수정을 0으로 만들 것이다.

b: 탄산칼슘이 원료에서 압도적으로 지배적인 탄산염이기 때문에, 킬른으로 재활용되지 않은 CKD에 남아있는 탄산염의 100%를 그것이 구성한다고 가정될 것이다. 그러므로 C_d를 킬른에 대한 원료 공급에서 탄산칼슘 비율과 동일한 것으로 설정하는 것은 *우수실행(good practice)*내에서 받아들일 수 있다. 비슷하게, EF_d에 대해 탄산칼슘의 배출계수를 사용하는 것은 받아들일 수 있다.

c: 케로겐 내지 기타 탄소의 열량 기여가 (연료에서의) 총 열량의 5% 미만이면, 비연료 원료내의 비-탄산염 탄소 (예를 들어, 케로겐 내의 탄소, 비산회 내의 탄소)로 인한 CO_2 배출은 무시될 수 있다 ($M_k \bullet X_k \bullet EF_k = 0$ 으로 설정).

2.2.1.2 배출계수의 선택

TIER 1 방법

Tier 1에서, 클링커에 대한 65%의 기본값 CaO 함유량을 사용하고, 100%의 CaO가 탄산칼슘 물질에 의해 발생한다고 가정하고, CKD에 대한 2%의 보정계수를 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이다 (CKD의 추가적인 논의에 대해, 아래의 Tier 2 방법의 논의를 참고).

기본값 CaO 구성에 대해, 1톤의 클링커는 CaCO3로부터 0.65톤의 CaO를 포함한다. 이러한 탄산염은 무게에 의해 56.03%의 CaO와 43.97%의 CO_2이다 (표 2.1). 0.65톤의 CaO를 산출하는 데 요구되는 $CaCO_3$의 양(X)은 X = 0.65/0.5603 = 1.1601 톤 $CaCO_3$ (반올림 없음). 이러한 $CaCO_3$의 소성에 의해 방출되는 CO_2의 양 = 1.1601 • 0.4397 = 0.5101 톤 CO_2 (반올림 없음). CKD를 고려하기 위한 2%의 수정 추가항목을 가정하면, 클링커에 대한 반올림된 기본값 배출계수 (EF_{clc})는 다음과 같다:

식 2.4
클링커에 대한 배출계수

$$EF_{clc} = 0.51 \cdot 1.02(CKD\text{수정}) = 0.52\text{톤 } CO_2/\text{톤 클링커}$$

Tier 1에서, 기본값 EF_{clc}는 CKD에 대한 수정을 포함한다. CKD를 고려하지 않는 Tier 2의 EF_{cl}과 이를 혼동하지 말아야 한다. 클링커와 CKD에 대한 조합된 EF를 생성하기 위해 EF_{cl}은 보정계수 CF_{ckd}와 곱해져야 한다 (식 2.5를 참고).

TIER 2 방법

클링커에 대한 배출계수 (EFcl)

Tier 2 방법에서, 클링커의 CaO 함유량과 비-탄산염 CaO 배출원의 투입에 대한 국가 고유 자료를

이용할 수 있다면, 클링커에 대한 국가 고유 CO_2 배출계수를 산정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 위에서 언급된 것처럼, 클링커에 대한 배출계수의 도출은 탄산염 배출원 (일반적으로 $CaCO_3$)에서 파생된 CaO의 비율뿐만 아니라, 클링커의 CaO 함유량이 알려져 있어야 함을 요구한다. 클링커의 CaO 함유량은 일반적으로 60에서 67%의 범위내이다. 주어진 공장에서 CaO 함유량은 1에서 2% 내에서 안정적일 것이다. Tier 1에서 권고된, 기본적인 기본값 배출계수는 클링커가 65%의 CaO이고, 이는 $CaCO_3$에서 100% 파생되고, 킬른에서 100% 소성이 달성된다고 가정한다.

식 2.4의 (CKD에 대해 수정하지 않은) 기초적인 0.51 배출계수는 클링커에서 65% CaO 함유량을 가정한다. 함유량이 알려져 있다면, 비슷한 계산은 다른 CaO 함유량에 대해 배출계수를 산출할 것이다. 예를 들어, 모두 $CaCO_3$에서 파생된 60% CaO를 가지는 클링커에 대해 EF_{cl}은 0.47이고 67% CaO에 대해 EF_{cl}은 0.53이다.

공장이 CaO의 큰 부분을 (제강슬래그(steel slag) 내지 비산회와 같은) 비-탄산염 배출원에서 도출하는 것이 알려져 있다면, CaO의 이러한 성분은 먼저 차감되어야 한다. 예를 들어, 65% CaO에서 CaO의 4%가 슬래깅제로부터 발생하면, 탄산염으로 인한 CaO는 61%이고 이에 대한 계산은 0.48의 EF_{cl}을 산출한다.

기본값 배출계수는 MgO에 대한 수정을 포함하지 않는다. 탄산염에서 파생된 매 1%의 MgO에 대해 배출계수는 추가적인 0.011 톤 CO_2/톤 클링커이다 (즉, EF_{cl} = 0.510 + 0.011 = 0.52 톤 CO_2/톤 클링커). MgO도 비-탄산염 배출원에서 발생할 수 있고, 포틀랜드 시멘트에서 MgO는 신중하게 낮게 유지되기 때문에, 탄산염에서 발생한 진정한 MgO는 매우 작을 것이다. CaO에 대한 100% 탄산염 배출원의 가정은 이미 배출의 과대산정을 산출하며 (비-탄산염 배출원에서 발생한 CaO의 적어도 일부 기여가 존재할 것이다), MgO의 일부는 비-탄산염 배출원에서 발생할 것이라는 사실이 주어질 때, MgO에 대한 수정은 Tier 2 계산에 대해 필요하지 않다. 이러한 가정에 관련된 불확도에 대해 표 2.3을 참고한다.

시멘트 킬른 먼지에 대한 배출 보정계수 (CFckd)

먼지는 클링커를 만드는데 사용되는 킬른 라인 장치의 다양한 지점에서 생성될 것이다. 이 먼지의 구성은 그것이 어디서 생성되었는지에 따라 다를 수 있지만 모두 '시멘트 킬른 먼지 (CKD)'라는 용어에 포함될 것이다. CKD는 원료에서 파생된 분진을 포함하며, 먼지의 원래 탄산염 성분은 불완전하게 소성될 것이다. CKD는 먼지 통제기술에 의해 효율적으로 포집될 수 있으며, 다음으로 킬른에 재활용 (선호되는 관행)되거나 연소용 공기로 킬른에 직접 반환되거나 (포집 후에) 처분된다. CKD가 킬른에 재활용될 수 있는 정도는 이것이 클링커 내지 이후의 최종 시멘트에 품질문제를 초래하는지 여부에 좌우된다 (예를 들어, 초과 알칼리 내용물). 킬른에 재활용되지 않은 CKD는 공정에서 '손실된' 것으로 간주되며, 이와 관련된 배출은 클링커에 의해 고려되지 않을 것이다. 손실된 CKD가 소성된 탄산염 원료를 표시하는 정도까지, 이런 소성된 원료로 인한 배출은 Tier 1 및 2 계산에서 클링커 배출에 대한 추가를 표시하고 Tier 3 계산에서 차감을 표시한다.

(공장 수준의 보고 외에) 생산된 CKD의 양에 대한 자료가 드물기 때문에, 기본값에 기초하여 손실된 CKD로 인한 배출을 산정하는 것은 *우수실행(good practice)*으로 간주될 수 있다. 손실된 CKD로 인한 CO_2 양은 다를 수 있지만, 전형적으로 현대적인 공장에 대해 약 1.5% (추가적인 CO_2 대 클링커에 대해 계산된 CO_2)에서 많은 소성된 CKD를 손실하는 공장에 대해 약 20%까지

범위를 가진다 (van Oss, 2005). 자료가 없는 경우에, 기본값 CKD 보정계수 (CF_{ckd})는 1.02이다 (즉, 클링커에 대해 계산된 CO_2에 2%를 더한다). 소성된 CKD가 시스템에 손실되었다고 믿지 않는 다면, CKD 보정계수는 1.00일 것이다 (van Oss, 2005). CKD에 추가하여, World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)는 (완전히 소성된) 우회 먼지(bypass dust)로 인한 배출을 별도로 다룬다. 자료가 이용 가능하다면, 국가들은 이러한 배출을 산정하기 위해 WBCSD 규약(Protocol)를 참조할 지 모른다 (WBCSD, 2005).

자료가 이용 가능하다면, '손실된' CO_2 배출에 대한 보정계수 (식 2.2의 CF_{ckd})가 식 2.5를 사용하여 계산될 수 있다.

식 2.2에서 사용하기 위한 CKD 보정계수 (CF_{ckd})는 다음과 같이 도출될 수 있다:

식 2.5
킬른에 재활용되지 않은 CKD에 대한 보정계수

$$CF_{ckd} = 1 + (M_d / M_{cl}) \cdot C_d \cdot F_d \cdot (EF_c / EF_{cl})$$

여기서:

CF_{ckd} = CKD에 대한 배출 보정계수, 단위 없음
M_d = 킬른에 재활용되지 않은 CKD의 무게, 톤[a]
M_{cl} = 생산된 클링커의 무게, 톤
C_d = CKD에서 (소성 이전의) 원래의 탄산염의 비율, 비율[b]
F_d = CKD에서 원래의 탄산염의 소성 비율, 비율[b]
EF_c = 탄산염에 대한 배출계수 (표 2.1), 톤 CO_2/톤 탄산염
EF_{cl} = CKD에 대해 수정되지 않은 클링커에 대한 배출계수 (즉, 0.51 톤 CO_2/톤 클링커), 톤 CO_2/톤 클링커

주석:

a: CKD의 100%가 처음에 포집된다고 가정된다. CKD가 대기 중에 환기(vent)된다면, 이 양의 산정이 이루어지고 M_d에 포함되어야 한다.

b: 원래의 탄산염이 모두 $CaCO_3$이고 CKD의 원래의 탄산염의 비율은 본질적으로 킬른에 공급된 원래 혼합물의 비율과 동일하다고 가정하는 것은 받아들일 수 있다.

예를 들어, M_d/M_{cl} = 0.2, C_d = 0.85, F_d = 0.5, 모두 $CaCO_3$인 원래의 탄산염 (그러므로 EF_c = 0.4397 톤 CO_2/톤 탄산염), EFcl = 0.51 톤 CO_2/톤 클링커인 기본값에 대해, CF_{ckd} = 1.073 (반올림하지 않음) - 즉, 이는 클링커에 대해 계산된 CO_2의 7% 추가를 표시한다.

TIER 3 방법

Tier 3 배출계수는 제시된 탄산염의 실제적인 CO_2 함유량에 기초한다 (식 2.3과 표 2.1을 참고). Tier 3 접근법은 탄산염 (종류와 배출원)에 대한 완전한 계산을 요구한다.

2.2.1.3 활동도 자료의 선택

TIER 1 방법

Tier 1에서는 클링커 생산을 산정하기 위해 생산되는 시멘트의 유형 및 시멘트의 클링커 비율에 대해 국가적 수준의 (내지 이용 가능한 경우에, 공장 수준의) 자료가 수집되어야 한다. 세계에서 생산되는 대부분의 수경성 시멘트는 포틀랜드 시멘트, 또는 포틀랜드 시멘트에 기초한 혼합 (합성) 시멘트 (즉, 포틀랜드 시멘트 (또는 클링커)에 화산재 내지 시멘트질 첨가제를 첨가) 또는 벽돌용 시멘트 (포틀랜드 시멘트에 분쇄된 석회석과 같은 가소성 물질(plasticizing materials)을 첨가)이다. 시멘트 생산이 유형별로 세분화될 수 없고 포틀랜드 시멘트와 함께 상당한 양의 혼합 및/내지 벽돌용 시멘트가 생산되고 있다면, 75%의 전반적인 클링커 비율을 가정하는 것은 *우수실행(good practice)* 내에서 받아들일 수 있다. 시멘트 생산이 본질적으로 모두 포틀랜드 시멘트라는 것이 알려져 있다면, 95% 클링커의 기본값을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 불행히도 국가에서 생산되는 시멘트의 유형이 알려질 지라도, 주어진 혼합 내지 벽돌용 시멘트 유형 내에 시멘트의 클링커 비율에 큰 변동이 존재할 수 있다. 표 2.2는 다양한 시멘트 유형의 클링커 비율의 범위에 관한 설명을 제공한다. 추가적인 정보를 위해 DIN (1994) 및 ASTM (2004a, 2004b)을 참고한다. 국가들은 배출을 산정하기 위해 사용된 시멘트의 구성 및 클링커 비율에 관한 가정을 명확히 기록해야 한다.

표 2.2
혼합 시멘트 '제조법'의 클링커 비율 및 전반적인 제품 혼합
(미국 표준 ASTM C-150 및 C-595에 기초; 미국 자료는 다른 국가에 대해 예시적일 것이다)

시멘트명	기호	제조법	클링커 비율 (%)	설명
Portland	'PC'	100% PC	95 - 97	일부 미국의 주는 3% GGBFS의 포함을 허용한다
			90 - 92	최신 표준은 5%이하의 ground limestone의 포함을 허용한다
Masonry	'MC'	2/3 PC	64	상당히 다양하다
Slag-modified portland	I(SM)	slag < 25%	>70 - 93	
Portland BF Slag	IS	slag 25-70%	28 - 70	
Portland pozzolan	IP and P	pozz 15-40%	28 - 79/81	주성분은 PC 및/내지 IS이다
Pozzolan-modified portland	I(PM)	pozz <15%	28 - 93/95	주성분은 PC 및/내지 IS이다
Slag cement	S	slag 70+%	<28/29	클링커 대신에 CaO를 사용할 수 있다

제품 혼합에서 클링커의 비율

	혼합 시멘트에서 첨가물 (Pozzolan + Slag)의 비율*					
제품 혼합 (PC/혼합)**	0%	**10%**	**20%**	**30%**	**40%**	**75%**
100/0	95-97	0	0	0	0	0
0/100	0	85.5	76	66.5	57	23.8
15/85	14.2	86.9	78.9	70.8	62.7	26.4
25/75	23.8	87.9	80.8	73.6	66.5	41.6
30/70	28.5	88.35	81.7	75.1	68.4	45.2
40/60	38	89.3	83.6	77.9	72.2	52.3
50/50	47.5	90.3	85.5	80.8***	76	59.4
60/40	57	91.2	87.4	83.6	79.8	66.5
70/30	66.5	92.2	89.3	86.5	83.6	73.6
75/25	71.1	92.6	90.1	87.8	85.4	77.1
85/15	80.8	93.6	92.2	90.7	89.3	84.3

주석:

* slag의 포함은 혼합물이 portland 및/내지 portland blast furnace slag cement가 되도록 허용한다. 100% portland 범위 자체를 제외하면, 기타 모든 portland는 95% 클링커라고 가정된다.

** 제품 혼합(Product Mix)은 한 국가의 제품 범위를 말한다. 예를 들어, 총 생산량의 75%는 portland이고 나머지는 혼합이다. 모든 수경성 시멘트는 portland 및/내지 혼합, 또는 순수 pozzolan이라고 가정된다. Masonry는 75% 첨가물 열에 대해, 60/40 에서 70/30의 portland/혼합의 제품 혼합과 유사하다. 다른 수경성 시멘트 (예를 들어, 알루미늄 함유 시멘트)는 0으로 가정된다.

*** 예: 국가의 시멘트 산출이 50% portland 시멘트와 50% 혼합 시멘트이고, 혼합 시멘트는 70% portland 시멘트와 30% 첨가물을 포함하는 클링커 비율

Tier 1은 클링커의 수입 및 수출에 대한 수정을 또한 요구한다. 한 국가에 수입 및 수출된 클링커의 양에 대한 자료는 세관, 유엔, 시멘트 협회 또는 무역협회 및/내지 통상부에서 일반적으로 이용 가능하다. 클링커 거래에 사용되는 전형적인 관세 코드는 661.21 (SITC) 및 2523.10.00 (HTS)이다. 클링커에 대한 거래 자료를 수경성 시멘트 및 클링커의 조합된 카테고리의 자료 [코드 661.2 (SITC) 및 25.23.0000 (HTS)] 및 시멘트 수입에 대한 자료 [코드 661.22 661.29 (SITC) 및 2523.21 2523.90 (HTS)]와 구별하는 것이 중요하다.

TIER 2 방법

Tier 2 방법은 클링커 생산 자료의 수집을 요구한다. 국가적 표본조사가 현재 시멘트 생산 자료를 조사한다면, 인벤토리 작성자는 클링커 생산 자료를 수집하기 위해 이를 확대하는 가능성을 조사해야 한다고 권고된다. 국가 통계 내지 개별 공장에서 직접 클링커 생산 자료를 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 인벤토리 작성자가 클링커의 CaO 함유량 및 탄산염에서의 이러한 CaO의 비율에 대한 정보를 수집하도록 또한 권고된다. 비-탄산염 배출원 (예를 들어, 슬래깅제 및 비산회)에서 CaO에 대한 자료가 이용 가능한 경우에, 이러한 CaO는 배출을 계산하기 위해 사용되는 클링커의 CaO 함유량에 포함되지 말아야 한다. 가능하다면, 공장에서의 CKD 수집 및 재활용 관행을 기록하기 위해 그리고 마찬가지로 평균 내지 전형적인 구성 및 CKD의 소성 비율에 대해 자료를 수집해야 한다. (완전하다면) 개별적인 생산자로부터 자료를 수집하는 것은, 국가 총계를 사용하는 것 보다, 산정의 불확도를 감소시킬 것이며, 왜냐하면 이들 자료는 공장 수준의 상황에서 변동을 고려할 것이기 때문이다.

TIER 3 방법

Tier 3에 대해 요구되는 활동도 자료의 유형은 개별적인 공장에서만 이용 가능할 것이다. Tier 3를 사용하는 보고주체는 킬른으로의 모든 탄산염 투입 (즉, 유형, 양, 모든 배출원)이 Tier 3 방법의 초기 실행의 일부로서 완전히 조사되었는지 확인해야 하며, 물질 내지 공정의 중대한 변화가 있을 때마다 완전한 조사가 반복된다. 탄산염 투입에 관한 완전한 분석이 완료되고, 물질 내지 생산 공정의 구성에 중대한 변화가 발생하지 않을 것이라고 가정한 후에, 탄산염 투입 분석에 기초하여 공장에 고유한 엄격한 배출계수를 개발하고 해당 배출계수를 (전형적으로 매일 계산되는) 클링커 생산에 적용하는 것이 *우수실행(good practice)*에 일치한다. 결론적으로 클링커 생산 자료는 배출을 산정하기 위한 탄산염 계산을 위한 대용자료로 사용될 것이다. *우수실행(good practice)*과 일치하기 위해, 이러한 연결은 주기적으로 재조정되어야 한다.

일반적으로 석회석 내지 유사한 탄산염 암석은 전형적인 시멘트 공장에서 사용되는 지배적인 (80-90%) 원료일 것이며, 이들 자료는 매년 수집되어야 한다. 그렇지만 석탄 및 기타 연료에서 뿐만 아니라 점토, 혈암, 사암, 및 기타 보조적인 원료 내에 탄산염 성분이 존재할 수 있을 것이다. 완전한 조사 동안, 비-주요 배출원에서의 탄산염 양이 작다고 결정된다면 (예를 들어 총 탄산염의 5% 미만), 공장은 다음의 완전한 조사 이전의 중간 연도에서는 보조 배출원에에 대해 상수값을 적용할 수 있다. 이러한 작은 배출원에에 대해 활동도 자료를 산정하는 것이 분석적 (및 기타) 오차를 가져올 것이라는 것을 인식한다면, 배출 계산 목적을 위해 탄산염의 보조 배출원이 $CaCO_3$라고 가정될 지 모르지만, 이러한 가정은 투명하게 기록되어야 한다.

활동도 자료는 킬른에 공급되지는 않고 최종 (분쇄) 공장에 단지 도입되는 탄산염을 제외해야 한

다. 예를 들어, 공장은 작은 비율 (1-5%)의 분쇄된 석회석을 혼합하여 최종 포틀랜드 시멘트를 '희석'할 지 모른다. 최종 공장에서 추가된 탄산염은 소성되지 않았으므로 CO_2에 기여하지 않는다.

2.2.1.4 완전성

Tier 1 방법을 따를 때, 인벤토리 작성자는 클링커의 수입 및 수출을 확실히 고려해야 한다. 클링커의 순 수입자인 국가에 대해, 순 클링커 수입을 차감하지 않는 것은 시멘트 생산에서 발생하는 배출의 과대산정을 초래할 것이다. 클링커의 순 수출자인 국가에 대해, 순 수출을 포함하지 않는 것은 시멘트 공장에서 발생하는 배출의 과소산정을 초래할 것이다. 거래자료의 잠재적 자료원은 2.2.1.3절에서 논의된다.

클링커 생산 자료는 국가적 통계 데이터베이스에서 이용 가능하거나, 이러한 자료가 국가 통계에 출판되지 않았을 지라도 수집될 수 있을 것이다. 국가 통계에서의 시멘트 및/내지 클링커 생산 자료는 생산의 상당 부분이 자료를 얻기 어려운 다수의 작은 킬른, 특히 수직 샤프트 킬른(vertical shaft kilns)에서 발생하는 일부 국가에서는 완전하지 않을 것이다.

Tier 3를 사용하여 국가 배출을 산정하기 위해 공장에 고유한 자료가 사용되는 경우에 완전성은 고려해야 할 특히 중요한 주제이다. Tier 3 하에서는 모든 클링커 생산 공장이 고려되고, 클링커를 만들기 위해 소비되는 모든 탄산염이 배출 계산에 포함되는 것이 중요하다. 클링커 생산 공장은 각 국가에서 잘 확인되지만, 소비된 탄산염의 부분 무게에 대한 자료는 즉시 이용할 수 없을 것이다. Tier 3 방법이 '완전하게' 고려되기 위해, 소비된 모든 탄산염이 기록되어야 한다.

단지 일부의 클링커 공장이 Tier 3 방법을 위한 자료를 보고하거나 Tier 2에서 Tier 3로 이행되는 국가에서, 이행기간 동안 모든 시설에 대해 Tier 3를 사용하여 배출을 보고하는 것은 불가능할 것이다. 모든 공장이 Tier 3를 사용하여 보고하는, 탄산염 투입에 대한 자료를 이용할 수 없는 경우에, 이행기간 동안 완전성을 보장하기 위해 비-보고 공장에 의해 표현된 생산 부분을 결정하고 Tier 2를 사용하여 남아있는 배출을 산정하기 위해 이러한 정보를 사용하는 것은 가능할 것이다. 국가가 Tier 1에서 Tier 2로 이동할 때 유사한 접근법을 착수할 수 있을 것이다.

이중 계산의 잠재성이 또한 고려되어야 한다. 예를 들어, 인벤토리 작성자는 배출원 카테고리 '탄산염의 기타 공정 사용'에서 발생하는 배출을 산정하기 위해 사용된 통계를 검토해야 하며, 이는 해당 배출원 카테고리에서 보고된 배출이 시멘트 생산에서 이러한 탄산염의 사용에서 발생하지 않았는지 확인하기 위해서이다. 탄산염이 시멘트 생산을 위해 사용된 경우에, 배출은 시멘트 생산에서 보고되어야 한다. 최종적으로, 인벤토리 작성자는 이러한 배출원 카테고리에서 시멘트 생산에서 발생하는, 공정에 관련된 배출만을 포함해야 한다. 이중 계산을 방지하기 위해, 에너지 권(Energy Volume)에서 연소에 관련된 배출을 고려하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

여기 존재하는 하나의 추가적 이슈는 현재의 방법론에 포함되어 있지 않지만, 미래에 고려사항이 될 것이다. (클링커 광물의 수화(hydration)로부터) 콘크리트의 양생 동안 방출되는 자유 석회(Free lime) (위에서 언급된 클링커 광물에 관한 공식의 일부가 아닌 CaO)는 잠재적으로 대기중의 CO_2를 재흡수한다 - 탄산 염화(carbonation)로 불리는 과정. 그렇지만, 탄산염화의 속도는 매우 느리며 (수 년에서 수 백년), 실용적인 문제 때문에, *우수실행(good practice)*을 위해 고려되지 말아야 한다. 이는 국가 인벤토리로의 포함 이전에 미래의 작업을 위한 영역이다.

2.2.1.5 일관적인 시계열의 개발

가이드라인은 시멘트 생산에서 발생하는 배출의 산정에 두 가지 변화를 소개한다. 첫 번째, Tier 1에서 기본값 배출계수는 이제 CKD를 위한 2%의 보정계수를 포함한다. 클링커 생산 동안 배출원을 보다 잘 반영하기 때문에, CKD의 보정계수는 이제 Tier 1에 포함된다. 2.2.1.2절에서 제시된 배출계수를 사용하여 이전의 Tier 1 배출산정치를 재계산하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

또한 클링커 생산에 대한 탄산염 투입에 기초한 새로운 Tier 3 접근법이 소개되었다. 역사적으로 이러한 자료는 이용 가능하거나 그렇지 않을 수 있다. 인벤토리 작성자가 현재 및 미래의 인벤토리를 위해 Tier 3 (대 과거의 Tier 2 접근법)를 수행하려고 선택한다면, 시계열 일관성을 보장하기 위해 과거 연도에 대한 이들 자료를 수집하도록 권고된다. 이들 자료가 이용 가능하지 않은 경우에, 인벤토리 작성자는 이전 산정치를 재계산하기 위해 '오버랩 접근법' (1권, 5.3절을 참고)을 참고할 것이다. 탄산염 투입 접근법 (Tier 3)과 산출에 기초한 클링커 생산 접근법 (Tier 2)에서 산정된 배출들 간의 관계는 주어진 공장에 대해 시간에 따라 상대적으로 일정해야 하지만, 시간에 따라 공장의 수 또는 그들의 기술 내지 원료가 상당히 변화했다면 실패할 지 모른다. 해당 관계가 설정된 후에, 이러한 관계에 기초하여 이전의 산정치가 재계산될 수 있다 (1권, 5.3절을 참고). 인벤토리 작성자가 Tier 1에서 Tier 2 접근법으로 이동하는 경우에 유사한 접근법이 사용될 수 있을 것이다.

2.2.2 불확도 평가

시멘트 생산에 대한 불확도 산정은 활동도 자료와 관련된 불확도에서 현저하게 발생하며, 클링커에 대한 배출계수에 관련된 불확도에서 훨씬 작은 정도로 발생한다.

2.2.2.1 배출계수 불확도

Tier 1에 대해, 주된 불확도 요소는 생산된 시멘트의 클링커 비율이다. 신뢰성있는 클링커 수입 및 수출 자료를 이용할 수 없다면, 클링커 생산 산정치의 불확도는 보다 높을 것이다. 기본값 CKD 보정계수 자체는 매우 큰 불확도를 가지지만, 전반적인 배출 계산에 대한 영향은 클링커 비율에 관련된 불확도보다 여전히 작다. Tier 2에서 불확도의 주된 원천은 클링커의 CaO 함유량 결정과 관련된다. 클링커 자료가 이용 가능하면, 배출계수의 불확도는 CaO 비율 및 그것이 $CaCO_3$에서 모두 도출된다 (표 2.3)는 가정의 불확도와 동일하다. Tier 3에 대해서는 배출계수는 화학량적 비율에 기초하기 때문에, 배출원 탄산염의 배출계수와 관련된 상대적으로 작은 불확도가 존재한다. Tier 3에서 CKD내 탄산염의 100% 소성의 가정과 관련된 불확도가 존재할 것이다.
일반적으로 CKD는 수행되는 Tier에 관계없이, 시멘트 생산에서 발생하는 CO_2 배출을 산정하기 위한 가장 덜 특성이 부여된(characterised) 요인이다.

2.2.2.2 활동도 자료 불확도

클링커 생산 자료가 시멘트 생산에서 산정되는 경우에, 활동도 자료의 불확도는 대략 35% 만큼 높아질 수 있다. Tier 2에 대해서는 클링커 생산 톤수에 대한 자료에서 불확도는, 이용 가능한 경우에, 약 1-2%이다. 국가 총계를 사용하는 대신에 개별적인 생산자로부터 자료를 수집하는 것은 (완전하다면) 산정의 불확도를 감소시킬 것이며, 이는 공장 수준에서 상황의 변화를 고려할 것이기 때문이다. 이는 (시멘트를 생산하기 위한 생산 대신에 클링커 비축량을 사용하여) 클링커 구성의 차이 및 연간 생산의 불규칙함을 결정하기 위해 특히 중요하다. CKD를 제외하고 Tier 3에 관

련된 불확도의 가장 큰 원천은 탄산염 종류의 확인 (1-5%)과 원료의 무게에 관련된 불확도이다. 배출은 탄산염보다 훨씬 작지만, Tier 2 산정치에서 CKD에서 발생하는 배출의 산정과 관련된 상당한 불확도가 존재할 것이고, 공장에서 킬른으로 재활용되지 못하는 CKD 무게를 측정하지 못하거나 공장의 CKD 집진기가 부족하다면 Tier 3에서도 그렇다. 공장에 대해 CKD의 무게 및 구성이 알려져 있지 않은 경우에, 불확도는 보다 높을 것이다. 예로서, 식 2.1-2.5의 여러 계수 및/내지 클링커와 시멘트의 제조 단계에 대한 근사적인 불확도를 산정하기 위한 시도가 이루어졌다. 표 2.3에서 불확도가 제시되며 이는 근사적인 요소 불확실성이다 - 즉, 이는 클링커 제조에서 특정한 단계 내지 활동과 관련된 불확도이다. 시멘트 (클링커) 생산에 대한 불확도를 계량하기 위해, 표 2.3에서 제공된 기본값 불확도는 1권, 3.2.3절의 지침에 따라 조합되어야 한다. 불확도 값에 대해 범위가 주어지는 경우에, 국가에 고유한 또는 공장에 고유한 환경이 또 다른 값이 사용되어야 한다고 제안하지 않는다면 중간범위(mid-range)가 사용되어야 한다.

표 2.3 시멘트 생산에 대한 기본 불확도 값

불확도[a]	설명	Tier
화학분석/성분		
2-7%	포틀랜드 시멘트에서 95% 클링커 계수를 가정	1
1-2%	CaO를 확인하기 위한 클링커의 화학분석	2
3-8%	클링커에서 65% CaO를 가정	2
1-3%	100% CaO가 $CaCO_3$에서 발생한다고 가정 (회분 내지 슬래그 재료가 사용되지만 이를 고려하지 않는다면 불확도는 보다 커짐)	2
1%	클링커가 되는 탄산염의 100% 소성을 가정	2, 3
1-3%	케로겐 (내지 기타 비탄산염 탄소) 확인	3
1-3%	탄산염 함유량 (질량) 및 유형에 관련된 전반적인 화학분석	3
1-5%	탄산염 족이 100% $CaCO_3$라는 가정	3
생산 자료		
1-2%	보고된 (공장 수준의) 시멘트 생산 자료	1
35%	국가 산출물이 100% 포틀랜드 시멘트라는 가정	1
10%	산정된 국가 (내지 통합된 공장) 생산 자료 (국가 통계)의 사용	1, 2
가변적	시멘트 내지 클링커의 보고된 반올림 무게 자료의 사용 (예를 들어, 큰 단위의 국가 수준의 보고); 불확도는 마지막 유효숫자의 일 단위이다	1, 2
1-2%	클링커 생산의 계량 내지 계산, 완전한 보고를 가정한다	2
1-3%	원재료의 공장 수준의 계량에 관한 불확도	3
CKD		
25-35%	CKD에서 발생하는 배출은 클링커 생산에서 발생하는 공정 관련 배출의 2%라는 Default 가정. 불확도는 클링커의 33-50%가 재활용되지 않는다고 가정한다. 재활용이 되지 않거나 소성 비율이 50%를 크게 초과하면, 불확도는 50% 이상이 될 수 있다.	
1%	CKD의 원래 성분이 미가공 혼합물과 동일하다는 가정	2, 3
1%	CKD의 (소성되거나 남아있는) 모든 탄산염이 $CaCO_3$라는 가정	2, 3
10-35%	CKD의 % 소성의 산정	2, 3
20-80%	CKD의 100% 소성의 가정	2, 3
60% 까지	CKD의 50% 소성의 가정	2, 3
5%	집진기에 의해 포집된 CKD를 계량함	2, 3
1-3%	킬른에 반환된 집진기에 포집된 CKD를 계량함	2, 3
5-10%	킬른에 재활용되지 않은 집진기에 포집된 CKD를 계량함 (다른 처분)	2, 3
10-15%	킬른으로 자동적으로 수송된 CKD 무게의 산정	2, 3
20-30%	회수 내지 세척되지 않은 경우에 CKD 무게의 산정	2, 3
수입/수출		
10%	클링커에 대한 거래 자료 (관세 코드가 정확히 분리되고 시멘트가 포함되지 않음)	1
수입 톤수의 50%	소비를 위한 순 클링커 수입을 차감하지 않는 것에서 발생하는 과대산정 (CO_2가 근사적으로 클링커 무게의 절반이기 때문이다)	1

[a]산정치는 전문가 판단에 기초함

2.2.3 품질보증/품질관리 (QA/QC), 보고 및 기록

2.2.3.1 품질보증/품질관리 (QA/QC)

QA/QC에 대한 일반적인 지침에 추가하여, 이러한 배출원 카테고리에 적합한 특정한 절차가 아래에서 약술된다.

여러 접근법을 사용한 배출 산정치들의 비교

서로 다른 tier를 사용하여 산정된 배출들 간에 비교가 이루어질 수 있다. 예를 들어, 활동도 자료를 수집하기 위해 상향식 접근법이 사용된다면 (즉, 공장 수준의 자료에 대한 수집), 인벤토리 작성자는 배출산정치를 시멘트 내지 클링커에 대한 국가적 생산자료 (하향식 접근법)를 사용하여 계산된 산정치와 비교해야 한다. 이행기간 동안 하이브리드형 Tier 1/2 내지 Tier 2/3 접근법이 사용되는 경우에, 분석결과를 하이브리드 접근법을 사용하여 도출된 결과와 비교하기 위해 보다 낮은 Tier를 사용하여 모든 시설에 대한 배출을 또한 산정하는 것은 *우수실행(good practice)*으로 생각된다. 이러한 비교의 결과는 불일치에 대한 설명을 포함하여, 내부적인 문서로 기록되어야 한다.

배출계수에 관한 검토

인벤토리 작성자는 국가 계수가 IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체) 기본값와 비교하여 합리적인지 결정하기 위해 통합된 국가 배출계수를 IPCC 기본값 계수와 비교해야 한다. 특히 그들이 서로 다른 환경을 대표한다면, 국가 계수와 기본값 계수 간의 차이를 설명 및 기록해야 한다.
통합된 하향식 접근법이 사용되지만, 공장에 고유한 일부 제한된 자료가 이용 가능하다면, 인벤토리 작성자는 현장 내지 공장 수준의 계수와 국가적 산정을 위해 사용된 통합된 계수를 비교해야 한다. 이는 자료의 합리성과 대표성의 지표를 제공할 것이다.

현장에 고유한 활동도 자료 검사

현장에 고유한 자료에 대해, 인벤토리 작성자는 현장들 간의 비일관성을 검토하여, 그들이 오차, 다른 측정기법, 또는 배출, 운영 상황 내지 기술의 실질적인 차이로 인한 결과를 반영하는지를 설정해야 한다. 시멘트 생산에 대해, 인벤토리 작성자는 공장 자료 (클링커에서 CaO의 함유량, 시멘트에서 클링커의 함유량)를 국가의 다른 공장과 비교해야 한다.

인벤토리 작성자는 배출계수 및 활동도 자료가 국제적으로 인정 및 증명된 측정 방법에 따라 개발되었는지 확인해야 한다. 측정 관행이 이 기준에 부족하다면, 배출 내지 활동도 자료의 사용을 신중하게 평가해야 하고, 불확도 산정치를 재고려하고 자격조건을 기록해야 한다. 대부분의 현장에서 높은 표준의 측정 및 QA/QC가 실행 중이라면, 배출 산정치의 불확도는 하향 조정될 것이다.

2.2.3.2 보고 및 기록

국가 배출 인벤토리 산정치를 생산하기 위해 필요한 모든 정보를 기록 및 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 배출원 인벤토리에 적합한 특정한 기록 및 보고는 다음과 같다.

TIER 1 방법

시멘트 생산 자료에 추가하여, 클링커 수입 및 수출의 양이 보고되어야 한다. 2.2.1.2절에서 논의된 것과 다른 기본값의 사용을 포함하여, 클링커의 CaO 함유량에 관한 정보가 기록되어야 한다.

TIER 2 방법

Tier 2 기록은 보고주체에 의해 어떻게 클링커 생산이 산정되었는지 (즉, 직접적인 측정, 클링커 더미의 부피에 의해 무게를 측정, 원료 투입에서 계산 등)와 어느 수준에서 활동도 자료가 수집되었는지 (즉, 공장 수준 내지 국가 수준)에 관한 설명을 포함해야 한다. 슬래깅제 내지 비산회와 같은, 킬른으로의 비-탄산염 공급의 양 및 유형에 관한 공장에 고유한 정보와 함께, 클링커의 CaO 함유량을 결정하기 위한 방법이 기록되어야 한다. CKD의 소성 정도를 계량 및 결정하는데 사용된 모든 절차가 기록되어야 한다. CKD의 배출은 클링커 생산에서 발생하는 배출의 2%와 동일하다고 가정이 되는 경우에, 이를 투명하게 보고해야 한다.

TIER 3 방법

Tier 3 방법을 기록할 때, 착수된 모든 절차와 점토, 혈암, 사암 및 기타 보조 원료에 포함되고 해당 배출계수와 함께 원료로 소비된 탄산염을 포함한, 모든 탄산염의 무게 비율 및 실체를 확인하기 위해 사용된 방법론을 기록하는 것이 중요하다.

탄산염이 완전히 소성되지 않으면 탄산염 투입에서 발생하는 총 배출의 산정은 배출을 과대산정할 수 있다. 수정사항을 기록해야 한다. 여기에는 원료의 부분 소성 및 CKD의 양 및 부분 소성을 기록하는 것이 포함된다.

공장은 CO_2 계산을 위해 매일 모든 원료 투입의 화학적 분석에 착수하는 것이 비실용적이라는 것을 발견할 것이다. 대신에, 탄산염 투입에 완전히 특성을 부여하기 위해 1년에 걸쳐 여러 번 각 시설에서 완전한 조사가 이루어질 것이다. 시설은 중간 기간에 대해 클링커 산출에 관한 공장의 일상적 계산에 적용될 탄산염 투입과 클링커 생산 간의 관계를 개발할 것이다. 탄산염 투입에서 발생하는 배출을 계산하기 위해 사용되는 모든 절차의 확인에 추가하여, 탄산염과 클링커 생산 간의 관계를 확인하는데 필요한 모든 단계들이 기록되어야 한다.

모든 기본적인 정보가 기록 및 보고되어야 한다. 최종적인 배출 산정만을 보고하는 것은 *우수실행 (good practice)*으로 생각되지 않는다.

2.3 석회 생산

2.3.1 방법론적 이슈

산화칼슘 (CaO 내지 생석회)은 탄산염을 분해하기 위해 석회석을 가열하여 생성된다. 이는 일반적으로 축 내지 회전 킬른에서 고온에서 이루어지며 CO_2를 방출한다. 제품 요구 (예를 들어, 야금, 펄프 및 종이, 건축자재, 폐수처리, 연수(water softening), pH 조절 및 토양 안정)에 따라, 주로 고칼슘 석회석이 아래의 반응에 따라 사용된다.

$$CaCO_3 \text{ (고순도 석회석)} + \text{열} \rightarrow CaO \text{ (생석회)} + CO_2$$

다음의 반응에 따라 고토석회(dolomitic lime)를 얻기 위해 백운석(Dolomite)과 고토 (고 마그네슘) 석회석이 고온에서 처리된다: $CaMg(CO_3)_2$ (백운석) + 열 → $CaO \cdot MgO$ (고토석회) + $2CO_2$. 일부 시설에서 추가적인 수화(hydration) 작업을 사용하여 소석회(hydrated (slaked) lime)가 생산된다.

석회의 생산은 일련의 단계를 포함하며, 여기에는 원료의 채석, 분쇄 및 분류, 석회를 생산하기 위한 원료의 소성, 및 (필요하다면) 석회를 수산화칼슘(calcium hydroxide)으로 수화(hydrating).
제품으로서 석회의 소비는 일부 경우에 대기중으로의 CO_2의 순배출을 초래하지 않을 것이다. 연수를 위한 소석회의 사용은 CO_2와 석회의 반응으로 탄산칼슘을 재생성하며, 대기중으로의 CO_2의 순배출을 초래하지 않는다. 종이 산업과 기타 산업용 용도에서 사용되는 침전된 탄산칼슘은 수화된 고칼슘 소석회와 CO_2의 반응에서 파생된 제품이다. 설탕정제 공정 동안, 석회는 사탕수수즙에서 불순물을 제거하기 위해 사용된다; 여분의 석회는 탄산염화(carbonation)를 통해 제거될 수 있다. 입증되고 타당성이 검증된 방법이 석회와 반응하여 탄산칼슘을 재생성하는 CO_2 양을 계산하기 위해 사용되는 경우에만 이러한 특정한 산업에서 재탄산염화는 계산 및 보고될 것이다. 이러한 조건이 충족되는 경우에, 이는 카테고리 2H, 기타에 보고될 것이다.

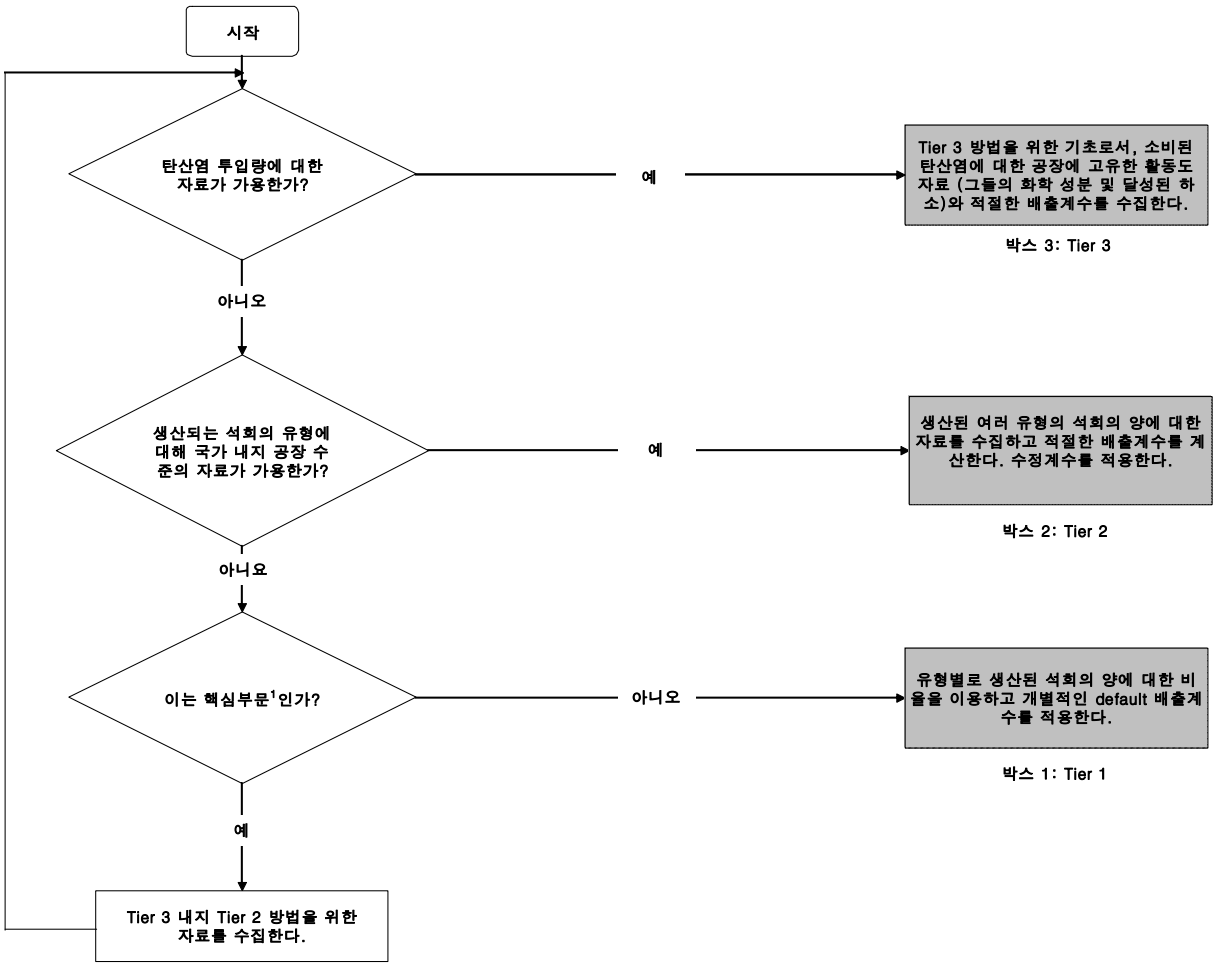
2.3.1.3에서 논의되는 것처럼, 석회의 생산 동안 석회 킬른 먼지 (LKD)가 생성될 것이다. Tier 2 및 Tier 3를 사용하여 개발된 배출 산정은 LKD와 관련된 배출을 고려해야 한다.

2.3.1.1 방법의 선택

시멘트 생산에서 발생하는 배출에 대한 경우에서처럼, 석회 생산에서 배출을 산정하기 위한 세 가지 기본적 방법론이 존재한다: 기본값을 사용하는 산출에 기초한 접근법 (Tier 1), CaO 및 CaO MgO 생산 및 보정계수에 대한 국가에 고유한 정보에서 배출을 산정하는 산출에 기초한 접근법 (Tier 2) 및 투입에 기초한 탄산염 접근법 (Tier 3). 공장에 고유한 평가를 요구하는 Tier 3 방법과 달리, Tier 1 및 Tier 2 방법은 국가 내지, 가능한 경우에, 공장 통계에 적용될 수 있다. *우수실행(good practice)* 방법의 선택은 그림 2.2에서 보이는 것처럼, 국가적 환경에 좌우된다.

완전성에 대해, 그리고 석회석 대 석회 생산에 사용된 백운석의 비율에 대해, 이용 가능한 국가 통계를 평가하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 일부 산업은 자신의 공정을 위해 비-판매용 석회 반응물을 생산한다 (예를 들어, 슬래깅제로 사용하는 강철 산업). 판매용 또는 비판매용 제품의 생산 여부에 관계없이 모든 석회 생산은 IPCC 하위카테고리 2A2 석회 생산에 보고되어야 한다.

그림 2.2 석회 생산에서 발생하는 CO_2 배출의 산정에 대한 의사결정도



주석:

1. 주 카테고리 및 의사결정도의 사용에 관한 논의에 대해, 1권의 4장, 방법론 선택 및 주 카테고리의 확인을 참고한다 (제한된 자원에 대해 4.1.2 절을 주목한다).

TIER 1 방법

Tier 1 방법은 기본값 배출계수를 국가 수준의 석회생산 자료에 적용하는데 기초한다. 유형별 (예를 들어, 고칼슘 석회, 고토석회, 수경성 석회) 석회 생산에 대한 국가에 고유한 정보는 Tier 1의 *우수실행(good practice)*에 필요하지 않지만, 국가에서 생산되는 특정한 석회 유형을 확인하는데 자료가 이용 가능한 경우에, 이는 사용될 것이다. *우수실행(good practice)*이 Tier 1에서 LKD를 고려하는 것은 불필요하다.

TIER 2 방법

생산되는 석회 유형에 대해 국가 수준의 자료가 이용 가능한 경우에, 식 2.6을 사용하여 배출을 산정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. Tier 2 방법은 생산된 수화석회의 비율에 대한 국가에 고유한 정보를 요구한다. 석회 제품 대 LKD 생산의 공장수준의 전형적인 비율이 구해져야 한다.

식 2.6
TIER 2: 유형별 국가 석회생산 자료에 기초한 배출

$$CO_2 \text{배출량} = \sum_i (EF_{\text{석회},i} \cdot M_{l,i} \cdot CF_{lkd,i} \cdot C_{h,i})$$

여기서:

CO_2 배출량 = 석회생산에서 발생하는 CO_2 배출량, 톤

$EF_{석회,i}$ = i 유형의 석회에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 석회 (식 2.9를 참고)

$M_{l,i}$ = i 유형의 석회 생산, 톤

$CF_{lkd,i}$ = i 유형의 석회에 대한 LKD의 보정계수, 단위 없음
이러한 수정은 CKD와 유사한 방식으로 고려될 수 있다 (식 2.5, 그러나 계수 (Efc/EFcl)를 누락)

$C_{h,i}$ = 석회의 i 유형의 수화석회에 대한 보정계수, 단위 없음 (2.3.1.3절, 활동도 자료의 선택의 논의를 참고)

i = 표 2.4에 나열된특정한 석회 유형

TIER 3 방법

Tier 3는 소비된 탄산염의 개별적인 배출계수뿐만 아니라 석회를 생산하기 위해 소비된 탄산염의 유형 및 양에 대한 공장에 고유한 자료의 수집에 기초한다. 석회 생산에서 발생하는 배출을 산정하기 위한 Tier 3 방법은 CKD에 반대되는 LKD에 대한 수정이 존재하고 탄소를 함유한 비-연료 물질에서 발생하는 배출을 수정할 필요가 없다는 것을 제외하고는, 시멘트 생산을 위한 식 2.3과 유사하다. CKD 및 시멘트 킬른의 경우와 달리, LKD는 석회 킬른에 거의 재활용되지 않는다 (그러나 LKD는 시멘트 킬른에 원료로 사용될 수 있다). 식 2.7로 배출을 산정하기 위해, LKD는 킬른에 재활용되지 않는다고 가정된다.

식 2.7
TIER 3: 탄산염 투입에 기초한 배출

$$CO_2 \text{배출량} = \sum_i (EF_i \cdot M_i \cdot F_i) - M_d \cdot C_d \cdot (1 - F_d) \cdot EF_d$$

여기서:

CO_2 배출량 = 석회생산에서 발생한 CO_2 배출량, 톤

EF_i = 탄산염 i에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 탄산염 (표 2.1 참고)

M_i = 소비된 탄산염 i의 무게 내지 질량, 톤

F_i = 탄산염 i에 대해 달성된 소성 비율, 비율[a]

M_d = LKD의 무게 내지 질량, 톤

C_d = LKD 내의 원래 탄산염의 무게 비율, 비율[a]. 이 계수는 CKD와 유사한 방식으로 고려될 수 있다.

F_d = LKD에 대해 달성된 소성 비율, 비율[a]

EF_d = LKD 내의 소성되지 않은 탄산염의 배출계수, 톤 CO_2/톤 탄산염[b]

식 2.7의 기본값에 대한 주석

a: 소성 비율: 실제 자료가 없는 경우에, 달성된 소성의정도가 100% (즉, Fi = 1.00)이거나 그것과 매우 가깝다고 가정하는 것은 *우수실행(good practice)*과 일치한다. LKD에 대해, 1.00 미만인 Fd가 보다 적합하지만 자료는 높은 변동성과 상대적으로 낮은 신뢰성을 보일 것이다. LKD에 대한 신뢰성있는 자료가 없는 경우에, Fd = 1.00의 가정은 LKD 내에 남아있는 소성되지 않은 탄산염에 대해 차감 수정을 소거할 것이다.

b: 탄산칼슘이 원료에 있는 압도적으로 지배적인 탄산염이기 때문에, 보다 좋은 자료가 없는 경우에 그것이 LKD에 남아있는 탄산염의 100%를 구성한다고 가정될 것이다. 그러므로 Cd를 킬른에 대한 원료 공급에서의 탄산칼슘 비율과 동일하게 하는 것은 *우수실행(good practice)*과 일치한다. 유사하게, 보다 좋은 자료가 없는 경우에 EFd에 대해 탄산칼슘의 배출계수를 사용하는 것은 *우수실행(good practice)*과 일치한다.

2.3.1.2 배출계수의 선택

TIER 1 방법

Tier 1은 산출에 기초한 방법이고 배출계수를 생산된 석회의 총량에 적용한다. 배출계수는 표 2.4d에서 묘사되는 화학량 비율에 기초하며, 이는 생산되는 석회의 유형에 따라 달라진다. 화학량 비율은 석회에 대한 탄산염 전구물질에 의해 방출된 CO_2의 양이며, 소성의 정도는 100%이고 LKD가 없다고 가정한다. 예를 들어, 1톤의 CaO는 1.785 톤의 CaCO3의 소성을 요구하고 완전히 소성된다면 이는 0.785 톤의 CO2를 방출한다.

국가에 고유한 자료가 없는 경우에, 85%의 고칼슘 석회 생산과 15%의 고토석회 생산을 가정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다 (Miller, 1999). 이에 기초하여, 식 2.8은 석회생산에 대해 Tier 1 배출계수를 어떻게 계산하는지 묘사한다.

식 2.8
TIER 1: 석회생산에 대한 기본값 배출계수

$$EF_{\text{석회}} = 0.85 \cdot EF_{\text{고칼슘석회}} + 0.15 \cdot EF_{\text{고토석회}}$$
$$= 0.85 \cdot 0.75 + 0.15 \cdot 0.77^{a}$$
$$= 0.63785 + 0.1155$$
$$= 0.75\text{톤 } CO_2/\text{톤 생산된 석회}$$

식 2.8에서 기본값에 대한 주석

a: 고토석회에 대한 기본값 EF는 석회생산에 사용된 기술에 따라 0.86 내지 0.77일 것이다. 표 2.4를 참고

표 2.4
석회 생산에 대한 배출계수 계산을 위한 기본 입력변수

석회 유형	화학량 비율 [톤 CO_2 /톤 Cao 또는 CaO·MgO] (1)	CaO 함유량의 범위 [%]	MgO 함유량의 범위[d] [%]	CaO 내지 CaO·MgO 함유량에 대한 Default 값 [비율] (2)	Default 배출계수 [톤 CO_2/톤 석회] (1) • (2)
고칼슘 석회[a]	0.785	93-98	0.3-2.5	0.95	0.75
고토석회[b]	0.913	55-57	38-41	0.95 내지 0.85[c]	0.86 내지 0.77[c]
수경성석회[b]	0.785	65-92[e]	NA	0.75[e]	0.59

출처:

[a]ASTM (1996) and Schwarzkopf (1995)에 기초한 Miller (1999b).

[b]Boynton (1980)에 기초한 Miller (1999a).

[c]이 값은 석회 생산에 사용되는 기술에 의존한다. 선진국에 대해 보다 높은 값이 제안되고, 개도국에 대해 보다 낮은 값이 제안된다.

[d]석회 제품의 화학적 성질은 석회를 제조하는데 사용되는 석회석 내지 백운석의 화학적 성질에 의해 결정되기 때문에 각 유형의 석회에 대한 정확한 화학공식은 존재하지 않는다.

[e](규산염 단계의 CaO를 포함한) 총 CaO 함유량

TIER 2 방법

Tier 1 방법과 유사하게, Tier 2에서 석회생산에 대한 배출계수는 CO2와 CaO 및/내지 CaO MgO 간의 화학량 비율과 석회의 CaO 내지 CaO MgO 함유량을 고려한 수정을 반영한다. 그렇지만, Tier 1과 달리, Tier 2는 유형별로 석회생산에 대한 국가 수준 자료의 사용을 요구한다. 배출계수를 개발하고, CaO 내지 CaO MgO 함유량을 고려하기 위해 식 2.9를 적용하는 것이 *우수실행 (good practice)*이다.

식 2.9
TIER 2: 석회생산에 대한 배출계수

$$EF_{\text{석회, a}} = SR_{CaO} \cdot CaO\text{함유량}$$
$$EF_{\text{석회, b}} = SR_{CaO \cdot MgO} \cdot CaO \cdot MgO\text{함유량}$$
$$EF_{\text{석회, c}} = SR_{CaO} \cdot CaO\text{ 함유량}$$

여기서:

$EF_{\text{석회 a}}$ = 생석회에 대한 배출계수 (고 칼슘 석회), 톤 CO_2/톤 석회

$EF_{\text{석회 b}}$ = 고토석회에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 석회

$EF_{\text{석회 c}}$ = 수경성석회에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 석회

SR_{CaO} = CO_2와 CaO의 화학량 비율 (표 2.4를 참고), 톤 CO_2/톤 CaO

$SR_{CaO\ MgO}$ =CO_2와 CaO MgO의 화학량 비율 (표 2.4를 참고), 톤 CO_2/톤 CaO MgO

$CaO_{\text{함유량}}$ = CaO 함유량 (표 2.4를 참고), 톤 CaO/톤 석회

$CaO_{MgO\ \text{함유량}}$ = CaO MgO 함유량 (표 2.4를 참고), 톤 CaO MgO/톤 석회

TIER 3 방법

Tier 3 배출계수는 존재하는 실제 탄산염에 기초한다. (식 2.7과 표 2.1을 참고) Tier 3는 탄산염 (종류 및 배출원)의 완전한 계산을 요구하며 소성되지 않은 석회 킬른 먼지에 대한 수정 (즉, 차감)을 포함할 것이다.

2.3.1.3 활동자료의 선택

일부 산업은 자신의 작업을 위해 석회를 생산 및 소비한다. 이러한 석회의 양은 결코 시장에 도입되지 않는다. 석회생산에 대한 활동도 자료를 수집할 때 판매용 및 비판매용 석회생산 모두를 포함하는 것이 중요하다. 많은 국가에서, 비판매용 석회생산에 대한 통계를 얻는 것은 도전적일 것이다. 인벤토리 작성자는 미판매용 석회가 생산될 잠재적인 산업을 확인하고 (예를 들어, 야금, 펄프 및 종이, 설탕 정제, 침전된 탄산칼슘, 연수제(water softeners)), 이러한 생산이 존재하는지 조사하도록 권고된다. 생산되는 비판매용 석회의 양의 관점에서 산업 및 국가는 상당히 다를 것이기 때문에, 이러한 활동도 자료를 산정하는 기본값을 제공하는 것은 불가능하다.

TIER 1 방법

Tier 1에서 인벤토리 작성자는 다음의 변수에 대해 기본값을 사용할 것이다: (1) 생산되는 석회의 유형, (2) 생산되는 수화석회의 비율. 표 2.4는 생산되는 주요 석회에 대해 화학양론 비율, CaO 및 CaO MgO 함유량의 범위 및 기본값 배출계수를 제공한다. 석회 유형의 분할을 위한 세분화된 자료가 존재하지 않는 경우에, 85%는 고칼슘 석회와 15%는 고토석회라고 가정하는 것은 *우수실행(good practice)*이며 (Miller, 1999), 다른 정보를 이용할 수 없다면 수화석회의 비율은 0으로 가정되어야 한다.

석회생산에 대한 Tier 1 방법은 LKD에 대한 수정을 포함하지 않는다. 활동도 자료의 문제 때문에 국가인벤토리의 일부 석회 배출원을 제외할 잠재성이 존재한다 (2.3.1.4 및 2.3.2.2절을 참고). 이러한 문제가 신중히 고려되지 않으면 Tier 1 방법은 배출을 상당히 과소산정할 지 모른다.

TIER 2 방법

Tier 2 방법을 실행할 때, 석회의 세 가지 유형에 대해 세분화된 자료를 수집하는 것이 중요하다. 비-수화석회의 세 가지 주요 유형이 존재한다:

- 고칼슘 석회 (CaO + 불순물);
- 고토석회 (CaO MgO + 불순물);
- 수경성 석회 (CaO + 수경성 규산칼슘) 이는 석회와 시멘트 사이의 물질이다.

이러한 유형을 구분하는 주된 이유는 먼저 두 가지는 서로 다른 배출계수를 가진다. 생산에서 수화석회의 비율을 수정하는 것이 중요하다. 시멘트 생산에 대한 Tier 2 방법과 유사하게, (적용가능하다면) CaO의 모든 비-탄산염 배출원에 대해 자료가 수집되어야 한다.

상당한 양의 LKD가 석회를 생산하는 동안 부산물로서 생산될 것이다. 생성되는 양은 사용되는 킬른의 유형 및 사용되는 탄산염의 특성에 좌우된다. Boynton (1980)에 따르면 평균적인 회전킬른는 생산되는 석회 1톤당 9에서 10%, 원료 투입의 16에서 18%의 먼지 마찰 손실(dust attrition loss)을 산출할 것이다. LKD의 화학적 구성은 원료 투입에 따라 다르지만, 전형적인 고칼슘 석회 LKD는 무수규산(silica), 알루미늄 및 철 산화물, 및 황으로 구성되는 나머지 불순물과 함께 75%의 조합된

산화칼슘 및 소성되지 않은 탄산칼슘을 포함할 것이다(대략 50:50의 비율). Tier 2 및 Tier 3 방법에서 LKD에 대한 수정은 방법론 및 기본값 모두에서 시멘트 생산에서의 CKD와 유사하다. 가능하다면, LKD대 석회생산의 전형적인 비율 및 LKD의 전형적인 구성에 대한 자료가 수집되어야 한다. 자료가 없는 경우에, 인벤토리 작성자는 LKD를 고려하기 위해 2%의 수정 추가항목을 가정할 것이다 (즉, 배출 곱하기 1.02)

수직형 축 킬른(Vertical shaft kilns)는 상대적으로 작은 양의 LKD를 생성하므로, 수직형 축 킬른의 LKD에 대한 보정계수는 사소할 것이며 산정할 필요가 없다고 판단된다.

TIER 3 방법

석회생산을 위해 소비된 탄산염의 무게 비율과 달성된 소성 비율에 대한 공장에 고유한 자료를 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 생산된 LKD의 양 (건조 중량)과 구성에 대해 자료가 수집되어야 한다. 시멘트 생산에 대한 Tier 3 방법과 유사하게, LKD의 배출은 Tier 3 산정에서 차감되어야 한다.

탄산염 소비 자료를 산정할 때 두 가지 핵심적인 문제를 고려해야 한다. 석회생산을 위한 탄산염 소비에 대한 국가 수준의 통계는 완전하지 않기 때문에 공장 수준에서 자료가 이용 가능하고 수집되어야 한다. 시멘트 생산과 유사하게, 석회석 및/내지 백운석은 지배적인 탄산염이지만, 모든 탄산염 투입이 확인 및 고려되는 것이 중요하다.

수화석회의 비율에 대한 수정

고칼슘 및 고토석회는 Ca(OH)2 내지 Ca(OH)2 Mg(OH)2인 수화석회로 소화 및 전환될 수 있다. Tier 2에서 수화석회에 대한 수정을 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이며, 자료가 이용 가능한 경우에, Tier 1에서도 그렇다. Tier 1에 대해 자료가 이용 가능하지 않으면, 수화석회의 제로생산을 가정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.
x가 수화석회의 비율이고 y가 석회 내의 수분 함유량이라면, 생산량에 보정계수 1 – (x • y)를 곱하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 생산되는 수화석회의 대부분이 고칼슘 (90%)이기 때문에, 기본값은 x=0.10, y = 0.28 (기본값 수분 함유량)이며, 0.97의 보정계수를 초래한다. 수화석회에 대한 이러한 기본값 보정계수는 식 2.6에 포함될 것이다.

2.3.1.4 완전성

*우수실행(good practice)*을 위해 완전한 활동도 자료 (즉, 석회 생산)가 요구된다. 석회생산 통계는 시장에서 판매되는 제품만을 고려하기 때문에, 전형적으로 보고되는 생산은 실제 생산의 일부만을 고려한다. 비판매용 중간물로서의 석회의 사용 내지 생산은 제대로 고려되거나 보고되지 않는다. 예를 들어, 구리 제련소 및 설탕 공장뿐만 아니라 강철, 합성 소다회, 탄화칼슘, 마그네시아 및 마그네슘 금속을 생산하는 많은 공장은 석회를 생산하지만 국가기관에 이를 보고하지는 않는다. 이들 자료의 누락은 석회생산의 2배 이상의 과소산정을 가져올 것이다. 유사하게 공중위생을 위해 또는 백색도료로 마을 수준 내지 장인에 의한 석회 생산이 존재할 것이다. 판매용 제품으로서 석회 킬른에서 생산되거나 비판매용 중간 반응물로 생산되거나 간에, 이러한 배출원 카테고리에서 모든 석회생산이 보고되어야 한다.

인벤토리 작성자는 이러한 배출원 카테고리와 석회석 및 백운석 소비에서 발생하는 배출 간에, 이중 계산 내지 누락을 방지하기 위해 신중해야 한다. 인벤토리 작성자가 파악해야 하는 이중 계산의 또다른 잠재적 배출원은 수화석회에 관련된다. 수화석회를 생산하기 위해 사용된 석회가 전체 석회 생산에 포함되는지 여부를 먼저 설정하지 않고 석회생산이 수화석회에 대해 수정되면, 이러한 석회의 생산은 이중 계산이 된다.

시멘트에 대한 논의와 유사하게, Tier 3를 사용할 때 모든 탄산염 투입 (예를 들어, 석회석, 백운석 등)이 공장에 고유한 기초에서 고려되는 것이 중요하다.

마지막으로, 건축에서 사용되는 석회에 기초한 모르타르는 CO_2의 흡수를 통해 강도가 높아지지만, 실제로 발생하는 탄산염화 반응의 속도는 매우 불확실하다. 모르타르의 탄산염화를 위한 이러한 과정은 수 개월에서 수 십년까지 걸릴 수 있기 때문에, 배출의 계산에 포함되지 않았다. 현재는 이러한 요인을 배출의 계산에 포함하는 것은 *우수실행(good practice)*으로 생각되지 않는다. 이는 국가 인벤토리에 포함되기 이전의 미래의 작업을 위한 영역이다.

2.3.1.5 일관적인 시계열의 개발

시계열의 모든 년도에 동일한 방법을 사용하여 석회생산에서 발생하는 배출을 계산하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 가이드라인은 석회생산에 대한 탄산염 투입에 기초하여 새로운 Tier 3 접근법을 소개한다. 이들 자료는 역사적으로 이용 가능하거나 그렇지 않을 수 있다. 인벤토리 작성자가 현재 내지 미래의 인벤토리에 대해 이 Tier를 실행하고자 선택한다면, 시계열 일관성을 보장하기 위해 과거 연도의 이런 자료를 수집하도록 권고된다. 이들 자료가 이용 가능하지 않은 경우에, 인벤토리 작성자는 이전 산정치를 재계산하기 위해 '오버랩 접근법' (1권, 5.3절을 참고)을 참고할 것이다.

자료를 이용할 수 없는 경우에, Tier 1에서 Tier 2 접근법으로 이동하는 인벤토리 작성자는 석회생산에 대해 하나의 탄산투입의 사용에서 다른 것으로 국가에서 중대한 변화가 없었다고 가정할 것이다. 특히 석회석은 전형적으로 지배적인 탄산염 투입이기 때문에, 이는 합리적인 가정일 것이다.

인벤토리 작성자는 석회생산 자료를 언급된 세 가지 유형으로 세분화해야 한다: 고칼슘 석회, 고토석회, 및 수경성 석회. 소비된 석회의 비율 내지 수화석회의 비율에 대해 전체 시계열에 대해 국가 고유 자료를 이용할 수 없는 경우에, 1권, 5.3절에서 약술된 보간법 내지 추세 외삽 접근법에 의해, 또는 현재 연도는 시계열의 이전 연도에 생산된 석회의 비율에 반영적이라고 가정함으로써 누락된 연도가 산정될 것이다.

2.3.2 불확도 분석

석회생산에 대한 불확도 산정치는 활동도 자료와 관련된 불확도에서 압도적으로 발생하며 배출계수와 관련된 불확도에서 보다 작은 정도로 발생한다. 보다 많은 정보에 대해, 시멘트 생산에 대한 위의 불확도 논의를 참고한다.

표 2.5
석회 생산에서 발생하는 CO_2 배출 산정에 대한 기본 불확도 값

불확도	설명	Tier
4-8%	석회에서 평균적인 CaO를 가정할 때의 불확도	1, 2
2%	고칼슘 석회의 배출계수	1, 2
2%	고토석회의 배출계수	1, 2
15%	수경성석회의 배출계수	1, 2
5%	수화석회에 대한 수정	1, 2
	비시장성 석회 생산이 산정되지 않은 경우의 가능한 대규모 오차	1, 2, 3
1-2%	공장 수준의 석회 생산 자료의 불확도. 공장은 일반적으로 이보다 나은 산출을 측정하지 않는다. 완전한 보고를 가정한다.	2
표 2.3 참고	LKD에 대한 수정	2, 3
1-3%	석회석 (대 기타 원료)으로부터의 100% 탄산염 배출원을 가정할 때의 오차	3
1-3%	원료의 공장 수준의 계량에 관한 불확도	3
출처: 전문가 판단에 기초.		

2.3.2.1 배출계수 불확도

시멘트에 대해 위에서 약술된 것처럼, Tier 3 접근법의 배출계수 요소와 관련된 작은 불확도가 존재한다. Tier 2와 Tier 1에서, 화학량 비율은 정확한 숫자이므로 배출계수의 불확도는 특히 수화석회의 몫에 관한 석회 구성의 불확도이다 (수경성 석회의 배출계수 불확도는 15%이고 다른 석회 유형의 불확도는 2%이다). 생산된 석회의 CaO 함유량 및/내지 CaO • MgO 함유량의 결정과 관련된 불확도가 존재한다.

2.3.2.2 활동도 자료 불확도

활동도 자료의 불확도는 석회 자료를 수집하는 경험에 기초한 배출계수보다 훨씬 더 높을 것이다 (위의 2.3.1.4절, 완전성을 참고). 비판매용 석회 생산의 누락은 상당한 과소산정을 초래할 것이다. 수화석회에 대한 수정은 전형적으로 추가적인 불확도를 초래한다.

CKD에 대해 위에서 기술한 것처럼, 생산된 LKD 질량 및 LKD의 소성 정도를 계량하는데 관련된 상당한 불확도가 존재한다. LKD의 산정에 관련된 불확도는 CKD와 관련된 불확도 이상일 것이다.

표 2.5의 기본값 불확도에 대해 범위가 주어지는 경우에, 보다 높거나 낮은 산정치가 국가에 고유한 상황에 보다 반영적이 아니라면 중간범위가 사용되어야 한다.

2.3.3 품질보증/품질관리 (QA/QC), 보고 및 기록

2.3.3.1 품질보증/품질관리 (QA/QC)

QA/QC의 일반적인 지침에 추가하여, 이러한 배출원 카테고리에 적합한 특정한 절차가 아래에 약술된다.

다른 접근법을 사용하는 배출 산정치의 비교

석회생산에 기초한 Tier 2 접근법과 탄산염 입력에 기초한 Tier 3 접근법을 따라 산정된 배출들 간에 비교가 이루어질 수 있다. 유사하게, 배출을 산정하기 위해 상향식 접근법이 사용된다면 (즉, 공장 수준 자료의 수집), 인벤토리 작성자는 그 배출산정을 국가 내지 공장에 고유한 석회 생산 자료(하향식 접근법)를 사용하여 계산된 산정과 비교해야 한다. 이행기간 동안 하이브리드형 Tier 1/2 내지 Tier 2/3 접근법이 사용되는 경우에, 분석 결과를 하이브리드형 접근법을 사용하여 도출된 결과와 비교하기 위해 낮은 Tier를 사용하여 모든 시설에 대해 배출을 산정하는 것은 *우수실행(good practice)*으로 생각된다. 이러한 비교 결과는 불일치에 대한 설명을 포함하여, 내부적 문서로 기록되어야 한다.

활동도 자료 검사

인벤토리 작성자는 국가에서 생산된 석회의 다른 유형에 관한 정확한 정의를 확인해야 한다. 인벤토리 작성자는 자료가 인벤토리의 활동도 자료에 포함되었는지 확인하기 위해, 비판매용 석회를 생산하는 산업을 신중히 고려해야 한다.

2.3.3.2 보고 및 기록

국가 배출인벤토리 산정치를 생산하기 위해 요구되는 모든 정보를 기록 및 보관하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 개별적인 tier에 대해 보고될 특정한 정보가 뒤따르는 석회 생산에서 발생하는 배출 및 배출 저감에 관한 보고 및 기록하는데 적용할 일반적인 설명이 아래에 존재한다.

- 인벤토리 작성자가 설탕 정제, 침전된 탄산칼슘 내지 연수(water softening)로 인한 CO_2 회수에 대해 카테고리 2H에 보고한다면, 회수된 배출을 계산하기 위해 사용된 방법에 대해 상세한 정보가 보고되어야 한다. 배출 및 배출저감은 별도로 보고되어야 한다; 석회 생산에서 발생한 순 배출만을 보고하는 것은 *우수실행(good practice)*으로 생각되지 않는다. 재탄산염화로 인한 배출저감이 재탄산염화가 발생한 연도에 보고된다는 것을 설명하기 위해 기록이 제공되어야 한다 (위의 2.3.1을 참고)
- 실행된 방법에 관계없이, 인벤토리 작성자는 판매용 및 비판매용 석회 생산 모두가 보고되는지 확인하기 위해 착수된 절차를 기록해야 한다 (2.3.1.4절, 완전성의 논의를 참고)

TIER 1 방법

Tier 1 방법은 다양한 파라미터를 산정하기 위해 국가에 고유한 정보 대신에 기본값이 사용된다는 것을 제외하고는 Tier 2와 방법론적으로 동일하다. 그러므로 Tier 1에 대한 기록은 어디서 기본값이 사용되는지에 대해 명백히 지시되어야 하는 것을 제외하고는 아래의 Tier 2를 따른다.

TIER 2 방법

Tier 2 기록은 (수화석회를 포함한) 국가에서 생산된 석회의 유형과 해당 결정이 이루어진 방법 (판매자료의 수집, 공장에 고유한 소비 자료의 수집 등)에 관한 논의를 포함해야 한다. 석회 킬른으로의 비-탄산염 원료뿐만 아니라 석회의 CaO 및/내지 CaO MgO 함유량을 확인하기 위해 사용된 절차가 보고되어야 한다.

TIER 3 방법

석회생산에 대한 Tier 3에 대한 보고 및 기록은 하나의 작은 차이 외에는 시멘트 생산에 대해 약술된 Tier 3 방법과 동일하다. CKD에 대한 정보를 수집하는 대신에, LKD의 양 및 달성된 소성 비율에 대한 자료가 수집되어야 한다. 기본적인 정보가 기록 및 보고되어야 하며, 최종 배출산정만을 보고하는 것은 *우수실행(good practice)*으로 생각되지 않는다.

2.4 유리생산

2.4.1 방법론적 이슈

많은 종류의 유리 품목 및 성분이 상업적으로 사용되지만, 유리 산업은 네 가지 주 카테고리로 나눌 수 있다: 용기, 평면(창문) 유리, 섬유유리, 및 특수유리.

상업용 유리의 대부분은 처음 두 개 카테고리 내에 있고, 대부분 소다-석회 유리이며,이는 이산화규소 (SiO_2), 소다 (Na2O), 및 석회 (CaO)로 구성되며, 소량의 알루미나 (Al_2O_3), 기타 알칼리 금속(alkalies) 및 알칼리토류(alkaline earths) 등을 포함한다. 절연등급 섬유유리 - 세 번째 카테고리의 주요 요소 - 는 성분에서 유사하다. 개별 제조업체는 독점적인 성분을 가지고 있지만, 이는 기본적인 성분의 작은 변형일 것이다.

배출원 카테고리는 생산 공정이 유리 생산과 유사한 미네랄 울(mineral wool)의 카테고리인 유리섬유(glass wool)의 생산으로 인한 배출을 또한 포함한다. 미네랄 울이라는 용어는 자연적인 암석 및 슬래그(slag)에 기초한 섬유(wool)를 언급하기 위해 사용될 것이다. 암면(rock wool)의 생산이 배출이 많은 경우에 이러한 배출은 IPCC 하위카테고리 2A5에 보고되어야 한다. 슬래그 생산에 관련된 배출은 관련된 야금 배출원 카테고리에서 보고되어야 한다. 미네랄 울을 제조하기 위한 슬래그의 재융해는 공정에 관련된 중대한 배출에 포함되지 않으며 보고될 필요가 없다.

융해 공정 동안 CO_2 를 배출하는 주요한 유리 원료는 석회석 (CaCO3), 백운석Ca,Mg(CO3)2 및 소다회 (Na2CO3)이다. 이러한 광물이 유리 산업에서 사용되기 위해 탄산염 광물로 채굴되는 경우에, 그들은 주된 CO_2 생산을 나타내며 배출 산정에 포함되어야 한다. 수산화물(hydroxide)의 탄산염화를 통해 탄산염 광물이 생성되는 경우에, 그들은 순 CO_2 배출을 초래하지 않으며 배출 산정에 포함되지 말아야 한다. CO_2를 배출하는 보조 유리 원료는 탄산바륨 (BaCO3), 골회 (3CaO2P2O5 + XCaCO3), 탄산칼륨 (K2CO3) 및 탄산스트론튬 (SrCO3)이다. 녹은 유리의 환원조건을 생성하기 위해 추가적으로 분쇄한 무연탄 내지 기타 유기물이 추가되고 녹은 유리의 이용가능한 산소와 결합하여 CO_2 를 생산한다.

유리의 융해에서 이러한 탄산염의 활동은 복잡한 고온의 화학적 반응이며, 생석회 내지 가열된 고토석회를 생산하기 위한 탄산염의 소성과 직접 비교되지 않을 것이다.
그럼에도 불구하고, (1500˚C의 영역에서) 이러한 융해는 CO_2 배출의 관점에서 동일한 순 효과를 가진다.
실제로, 유리 제조업체는 유리를 단지 원료에서 생산하지 않고, 일정량의 재활용된 파편 유리 (컬릿(cullet))를 사용한다. 대부분의 작업은 구할 수 있는 만큼 많은 컬릿을 사용할 것이지만, 종종 유리 품질 요구에 대한 제한이 있다. 유리 생산의 대부분인 용기에 대해 컬릿 비율 (컬릿에 의해

표시되는 로 충전 비율)은 0.4에서 0.6의 범위 내에 있을 것이다. 절연 섬유유리 제조업체는 일반적으로 이 수준보다 낮을 것이지만 구매할 수 있는 만큼 많은 컬릿을 사용할 것이다.

컬릿은 두 가지 배출원에서 발생한다.: 가공중에 깨진 유리제품의 회사내 반환 및 재활용 프로그램 내지 컬릿 중개 서비스로부터의 외부 (즉, 공장의 외부) 컬릿. 이러한 두 번째 배출원은 선진경제에서 중요하지만, 유리제품의 회수가 대중적이지 않은 개도국에서는 덜 중요할 것이다.

유리에 용해된 CO_2의 유지는 상대적으로 덜 중요하며 GHG 배출 산정을 위해 무시될 수 있다.

2.4.1.1 방법의 선택

TIER 1 방법

공정에 의해 제조되는 유리 내지 유리제조에 사용되는 탄산염에 대한 자료를 사용할 수 없는 경우에는 Tier 1 방법이 사용되어야 한다. Tier 1은 국가적 수준의 유리 생산 통계에 기본값 배출계수와 컬릿 비율을 적용한다. 이 방법에 관련된 불확도는 Tier 2 및 Tier 3 방법에 관련된 불확도보다 상당히 높을 것이다.

식 2.10
TIER 1: 유리 생산에 기초한 배출

$$CO_2 \text{ 배출량} = M_g \cdot EF \cdot (1 - CR)$$

여기서:

CO_2 배출량 = 유리생산으로 인한 CO_2 배출량, 톤
M_g = 생산된 유리의 질량, 톤
EF = 유리제조에 대한 기본값 배출계수, 톤 CO_2/톤 유리
CR = 공정에 대한 컬릿 비율 (국가 평균 내지 기본값), 비율

TIER 2 방법

Tier 2는 Tier 1의 정제된 형태이다. 전체 유리 생산에 대한 국가 통계를 수집하는 대신에, 국가에서 착수된 서로 다른 유리제조 공정에 기초하여 배출이 산정된다. 아래에서 논의되는 것처럼, 서로 다른 유리제조 공정은 전형적으로 원료의 서로 다른 유형 및 비율을 사용한다. Tier 2 방법은 각각의 유리제조 공정에 기본값 배출계수를 적용한다. 그렇지만, 재활용된 유리 부분 (컬릿)이 용해로에 또한 공급된다는 사실에 대해 배출 산정이 수정되어야 한다.

식 2.11
TIER 2: 유리 제조 공정에 기초한 배출

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum_i [M_{g,i} \cdot EF_i \cdot (1 - CR_i)]$$

여기서:

CO_2 배출량 = 유리 생산으로 인한 CO_2 배출량, 톤
$M_{g,i}$ = i 유형의 용해된 유리의 질량 (예를 들어, 용기, 섬유 유리 등), 톤
EF_i = i 유형의 유리제조에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 용해된 유리
CR_i = i 유형의 유리제조에 대한 컬릿 비율, 비율

TIER 3 방법

Tier 3 방법론은 유리 용해로로의 탄산염 투입에 대한 고려에 기초한다 (식 2.12).

식 2.12
TIER 3: 유리 제조 공정에 기초한 배출

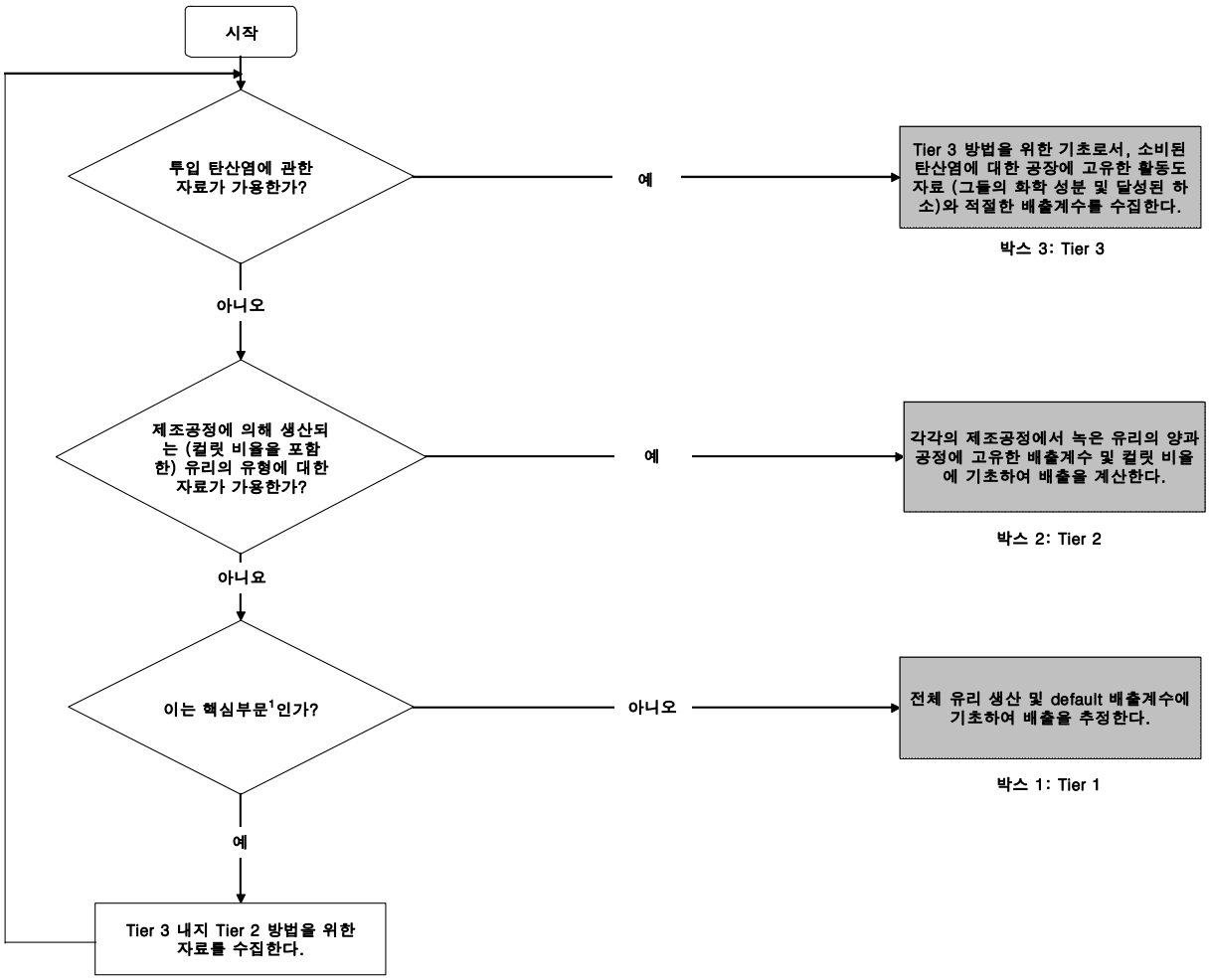
$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum_i (M_i \cdot EF_i \cdot F_i)$$

여기서:

CO_2 배출량 = 유리생산으로 인한 CO_2 배출량, 톤
EF_i = 특정한 탄산연 i에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 탄산염 (표 2.1을 참고)
M_i = 소비된(채굴된) 탄산염 i의 무게 내지 질량, 톤
F_i = 탄산염 i에 대해 달성된 소성 비율, 비율

특정한 탄산염에 대해 달성된 소성 비율이 알려져 있지 않은 경우에, 소성 비율은 1과 같다고 가정될 수 있다.

그림 2.3 유리 생산에서 발생하는 CO_2 배출의 산정에 대한 의사결정도



주석:

1. 주 카테고리 및 의사결정도의 사용에 관한 논의에 대해, 1권의 4장, 방법론 선택 및 주 카테고리의 확인을 참고한다 (제한된 자원에 대해 4.1.2 절을 주목한다).

2.4.1.2 배출계수의 선택

TIER 1 방법

Tier 1은 '전형적인' 원료 혼합에 기초하여 기본값 배출계수를 국가의 유리생산 자료에 적용한다. '전형적인' 소다-석회 묶음(batch)은 모래 (56.2 무게 %), 장석 (5.3%), 백운석 (9.8%),석회석 (8.6%) 및 소다회 (20.0%)로 구성될 것이다. 이러한 성분에 기초하여, 1톤의 원료는 대략 0.84톤의 유리를 산출하고, 무게의 16.7%를 휘발성 물질로 상실하며, 이 경우에는 대부분 CO_2이다.

식 2.13
TIER 1: 유리생산에 대한 기본값 배출계수

$$EF = 0.167/0.84 = 0.20 \text{톤 } CO_2/\text{톤 유리}$$

TIER 2 방법

Tier 2 방법은 기본값 배출계수와 컬릿 비율을 국가에서 생산되는 다양한 유형의 유리에 적용하는 데 의존한다 (표 2.6). 국가 고유 또는 공장의 고유 자료를 이용할 수 없는 경우에, 아래에 제공된 기본값을 보충 내지 대체하기 위해 이들 자료를 사용하도록 권고된다. 특히, 컬릿 비율은 국가내 및 국가간에 상당히 다를 수 있다.

범위내의 다른 값이 국가의 고유한 상황을 보다 잘 대표한다고 알려져 있지 않다면, 제공된 범위가 중간점 값을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

표 2.6
여러 가지 유리 유형에 대한 기본 배출계수와 컬릿 비율

유리 유형	CO_2 배출계수 (kg CO_2/kg 유리)	컬릿 비율 (전형적 범위)
Float	0.21	10% - 25%
Container (Flint)	0.21	30% - 60%
Container (Amber/Green)	0.21	30% - 80%
Fiberglass (E-glass)	0.19	0% - 15%
Fiberglass (Insulation)	0.25	10% - 50%
Specialty (TV Panel)	0.18	20% - 75%
Specialty (TV Funnel)	0.13	20% - 70%
Specialty (Tableware)	0.10	20% - 60%
Specialty (Lab/Pharma)	0.03	30% - 75%
Specialty (Lighting)	0.20	40% - 70%
출처: Communication with Victor Aume (2004)		

TIER 3 방법

Tier 3 배출계수는 용해로에서 소비되는 실제 탄산염에 기초한다(적절한 화학량 비율에 대해 표 2.1을 참고). Tier 3 접근법은 탄산염의 완전한 계산을 고려한다(종류 및 배출원).

2.4.1.3 활동도 자료의 선택

TIER 1 방법

Tier 1 방법에 대한 활동도 자료는 유리생산에 사용된 컬릿의 양에 대한 수정뿐만 아니라 무게에 의한 유리생산에 대한 국가통계를 포함한다. Tier 1은 50%의 기본값 컬릿 비율을 가정하므로, 국가 배출을 산정하기 위해 생산된 유리의 질량에 대한 국가수준의 자료는 0.20 • (1 - 0.50) = 0.10 톤 CO_2/톤 유리에 의해 곱해질 수 있다. 연간 평균 컬릿 비율에 대해 국가에 고유한 정보가 이용가능하면, 따라서 배출계수를 수정하도록 권고된다 [즉, EF = 0.20 • (1 - 국가에 고유한 컬릿 비율)].

TIER 2 방법

Tier 2 방법은, 최소한, 제조 공정에 의해 용해된 유리의 양에 대한 국가 수준의 자료의 수집을 요구한다. 유리에 대한 자료는 종종 다른 단위 (예를 들어, 유리의 톤수, 병의 개수, 유리의 제곱 미터 등)로 제공되며 이들을 톤으로 전환해야 한다. 가능한 경우에, 자료는 공장에 고유한 기초에서

수집되어 국가 수준으로 통합되어야 한다. Tier 2 방법이 컬릿 비율에 대한 기본값 계수를 제공하지만, 국가 내지 공장의 고유 자료가 이용 가능하면, 이 자료를 수집하도록 권고된다.

TIER 3 방법

Tier 3 방법에 대해, 유리생산에 소비되는 다양한 유형의 탄산염에 대해 공장에 고유한 활동도 자료가 수집되어야 한다.

2.4.1.4 완전성

인벤토리 작성자는 유리생산에 대한 배출산정을 작성할 때 완전성에 관한 다수의 주제를 고려해야 한다. 무엇보다 먼저, 유리는 다양한 원료 탄산염에서 생산된다. 탄산염 투입 (Tier 3)에 기초하여 배출이 산정되는 경우에, 탄산염의 모든 종류 및 배출원이 배출산정에 포함되는지 확인하는 것이 중요하다.

많은 국가에서 소다회는 유리제조에 중요한 투입이다. 인벤토리 작성자는 유리 제조에 사용되는 소다회로 인한 배출 (카테고리 2A3, 유리 생산에 보고되어야 함)과 아래에 별도로 보고되어야 하는 '소다회의 기타 사용'으로 인한 배출의 이중 계산이 없는지 확인하도록 권고된다. 그렇지만, 국가 통계에 고려되지 않는 다수의 소규모 시설 (예를 들어, 공예유리 및 특수유리)이 존재할 것이라는 것이 중요하다. 산업의 완전한 적용범위를 확인하는 노력을 기울여야 한다.

2.4.1.5 일관성 있는 시계열의 개발

위에서 언급된 것처럼, 유리생산은 다양한 단위로 측정되기 때문에 유리는 활동도 자료를 구하기에 어려운 배출원이다. 일관성있는 시계열을 개발하기 위해, 인벤토리의 모든 연도에 동일한 자료원이 사용되는 것이 중요하다. 시계열 일관성을 확인하기 위한 추가 정보에 대해, 1권, 5장을 참고한다.

2.4.2 불확도 평가

2.4.2.1 배출계수 불확도

시멘트 및 석회와 유사하게, 유리생산으로 인한 배출이 탄산염 투입 (Tier 3)에 기초하여 산정되는 경우에, 배출계수는 화학양론비에 기초하기 때문에 배출계수 불확도(1-3%)는 상대적으로 낮다. 탄산염 투입의 100% 소성된다는 가정에 관련된 불확도가 존재할 것이다 (1%).

각각의 제조공정에서 용해된 유리의 양과 기본값 배출계수에 기초하여 배출이 산정되기 때문에, Tier 2의 불확도는 Tier 3 보다 높다. 배출계수들은 +/- 10%의 불확도를 가지는 것으로 기대된다. 표 2.6에서 묘사되는 것처럼, 컬릿에 대한 전형적인 범위는 여러 가지 유리 유형간에 다르다. 불확도 분석을 위해 '전형적인 범위'는 95% 신뢰구간을 반영한다고 가정할 수 있다.
Tier 1 배출계수 및 컬릿 비율의 사용과 관련된 불확도는 상당히 높으며, +/- 60%에 있을 것이다.

2.4.2.2 활동도 자료 불확도

시멘트와 석회 생산에서처럼, Tier 3 접근법에서 원료의 가중치 부여에 관련된 불확도는 대략 1-3%이다. 일부 탄산염을 포함하는 원료가 시설로 들어와서 먼지(즉, 결코 소성이 되지 않음)로 손

실되는 것이 가능하지만 이 양은 사소한 것으로 가정된다.

Tier 1 및 Tier 2에 대해 유리생산 자료는 전형적으로 매우 정확히 측정된다 (+/-5%). 위에서 언급된 것처럼, 인벤토리 작성자는 어디서 활동도 자료를 질량으로 이용할 수 없고 대신에 단위 (예를 들어, 병) 내지 영역 (예를 들어, m^2)으로 이용 가능한지 주의를 기울여야 한다. 활동도 자료가 질량으로 전환되어야 한다면, 이는 추가적인 불확도를 초래할 것이다.

2.4.3 품질보증/품질관리 (QA/QC), 보고 및 기록

2.4.3.1 품질보증/품질관리 (QA/QC)

Tier 3 접근법을 사용하여 배출이 산정된다면 결과들이 비슷한 크기를 가지는지 살펴보기 위해 이는 Tier 2 접근법을 사용한 결과와 비교될 수 있다. 유사하게, Tier 2 방법을 사용하여 하향식 자료로부터 배출이 산정된다면, 사용된 Tier 2 기본값이 국가적 상황을 반영하는지 살펴보기 위해 이 결과는 소수의 설비에서 보다 엄격한 Tier 3 접근법과 비교될 수 있다. Tier 2 방법은 생산되는 서로 다른 유형의 유리에 기초하여 배출을 산정하는데 의존한다. 이러한 산정치는 유리 산업의 다양한 원료 공급자에 관한 감사의 결과와 비교될 수 있다. 예를 들어, 국가 산정치는 유리 산업에 판매되는 석회석, 소다회 및 기타 탄산염의 양에 관한 산정치와 비교될 수 있다. 이러한 거래 자료는 개별 공급자 또는 거래협회로부터 도출될 수 있다.

유리생산에 대한 배출 산정 (Tier 1 및 Tier 2)에서 불확도의 가장 큰 원천의 하나는 컬릿 비율이다. 재활용되는 중고유리의 양은 국가에서 시설들간에, 동일한 시설에서 시간에 따라 달라질 수 있다. 컬릿 비율은 심도있는 조사를 위한 좋은 자료일 것이다.

2.4.3.2 보고 및 기록

TIER 1

Tier 1에 대해, 생산된 유리의 총량과 배출을 산정하기 위해 적용된 배출계수를 나타내는 자료가 기록 및 보고되어야 한다 (기본값 내지 국가에 고유한 컬릿 비율이 사용되는지 여부를 포함한다). 유리생산을 일반적 단위 (예를 들어, kg)로 전환하기 위한 계산이 이루어진다면 활동도 자료를 수집하기 위한 과정이 기록되어야 한다 (즉, 공장 수준 내지 국가적 산정치)

TIER 2

Tier 2 기록은 서로 다른 유형의 유리를 동일한 단위로 전환 (예를 들어, 병을 킬로그램으로 전환)하기 위해 필요한 계산을 포함하여, 표 2.6에서 약술된 각 제조공정에서 용해된 유리의 양을 포함해야 한다. 유리 유형 및 컬릿 비율에 의한 배출계수가 보고되어야 하며, 기본값이 사용되는지, 그리고 자료가 공장 수준 내지 국가 수준에서 수집되었는지 여부를 표시해야 한다. 컬릿이 시설에서 내부적으로 생성되었는지 또는 소비자 사용 후의 컬릿 (즉, 구매된 컬릿)인지 여부를 보고하는 것도 유용하다. 이러한 정보는 재활용에 기초한 감축활동을 확인 내지 검증하기 위해 중요할 것이다.

TIER 3

보고된 배출산정이 투명하고 계산 단계가 재계산될 수 있도록 인벤토리는 사용된 방법의 요약과

자료원에 대한 참고문헌을 포함해야 한다. Tier 3 방법이 수행된 경우에, 인벤토리 작성자는 소비된 탄산염의 종류를 기록하고, 모든 탄산염 투입이 고려되었는지 어떻게 그들이 확인하는가를 표시해야 한다 (2.2.3.2절의 Tier 3에 대한 논의를 참고)

2.5 탄산염의 기타 공정 사용

2.5.1 방법론적 이슈

석회석 ($CaCO_3$), 백운석 ($CaMg.(CO_3)_2$) 및 기타 탄산염 (예를 들어, $MgCO_3$ 및 $FeCO_3$)은 다수의 산업에서 상업적인 용도를 가지는 기본적인 원료이다. 이미 개별적으로 논의된 산업 (시멘트 생산, 석회석 생산 및 유리 생산)에 추가하여, 탄산염은 야금 (예를 들어, 철강), 농업, 건축 및 환경오염 통제(예를 들어, 연통가스 탈황)에서 소비된다. 이 장의 서론에서 언급된 것처럼, 고압에서 탄산염의 소성은 CO_2를 산출한다 (표 2.1). 탄산염의 일부 사용, 예를 들어, 골재로서의 석회석 사용은 CO_2 의 방출을 초래하지 않으므로, 국가 GHG 인벤토리에 포함될 필요가 없다 (표 2.7을 참고).

아래의 논의는 광물산업내에서 탄산염의 사용에서 발생하는 CO_2 배출을 산정하기 위한 일반적인 방법론을 제공한다. 그렇지만, 탄산염이 다른 배출원 카테고리에서 융제 내지 슬래깅제로 사용되는 경우에 이들 방법론은 적용가능하다. 인벤토리 작성자는 네 가지 넓은 배출원 카테고리를 고려하도록 권고된다: (1) 세라믹, (2) 소다회의 기타 사용, (3) 비-야금 마그네시아 생산, (4) 탄산염의 기타 사용.

탄산염이 소비되고 CO_2 가 배출되는 배출원 카테고리에서 탄산염의 소비로 인한 배출을 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 그러므로, 석회가 토양의 중화를 위해 사용되는 경우에, 농업, 임업 및 기타 토지 사용 (AFOLU) 부문의 개별적인 배출원 카테고리에 배출이 보고되어야 한다. 탄산염이 융제 내지 슬래깅제로 사용되는 경우에 (예를 들어, 철강, 세라믹, 환경오염 통제 등), 탄산염이 소비되는 개별적인 배출원 카테고리에 배출이 보고되어야 한다. 2.3.1.1절에서 논의된 것처럼, 석회의 모든 판매용 및 비판매용 생산이 석회 생산에 보고되어야 한다. 아래에 논의되는 특정한 배출원 카테고리 (세라믹, 기타 소다회 사용 및 비-야금 마그네시아 생산)은 광물 카테고리내에서 보고되어야 한다. 기타 배출원 카테고리는 아래의 표 2.7에서 제시되는 주 카테고리에 적합하지 않은 배출산정을 포함해야 한다.

세라믹

세라믹은 벽돌 및 지붕 타일, 자기 점토 파이프, 내화 제품, 확장된 점토 제품, 벽 및 바닥 타일, 테이블 및 장식재 (가정용 세라믹), 위생도기, 기술형 세라믹, 무기 연마재의 생산을 포함한다. 세라믹에서의 공정에 관련된 배출은 첨가제의 첨가뿐만 아니라 점토내 탄산염의 소성에서 발생한다. 시멘트 및 석회의 생산공정과 유사하게, 탄산염이 킬른에서 고온으로 가열되어, 산화물과 CO_2를 생산한다. 대부분의 세라믹 제품은 하나 이상 다른 유형의 점토 (예를 들어, 혈암, 내화점토 및 ball clay)에서 만들어진다. 지속적인 분쇄 작업을 통해 원료가 수집되고 분쇄된다). 다음으로 분쇄된 입자는 (액화가 되는) 분말을 생산하기 위해 킬른에서 가열된다. 이후에 첨가제가 첨가되고 세라믹이 생성 내지 형성되고 거친 모서리를 부드럽게 '기계작업'을 하고 세라믹의 원하는 특성을 얻는다. 전통적인 세라믹의 경우, 킬른에서 가열하기 전에 세라믹을 건조시키고 유약을 칠한다. 가열후에, 일부 세라믹은 최종적인 성질을 얻기 위해 추가적인 처리를 거친다.

CO_2 배출은 원료 (특히, 점토, 혈암, 석회석, 백운석, 및 위더라이트(witherite))의 소성 및 융제로서의 석회석 사용에서 발생한다.

소다회의 기타 사용

소다회는 유리제조, 비누 및 세제, 연통가스 탈황, 세라믹, 펄프 및 종이 그리고 기타 일반적인 소비재를 포함한 다양한 용도로 사용된다. 소다회 생산 및 소비 (탄산나트륨, Na_2CO_3를 포함)는 CO_2 의 방출을 초래한다. 소다회 생산으로 인한 배출은 화학산업에서 보고되며, 반면에 사용으로 인한 배출은 소다회가 사용되는 개별적인 최종 사용부문에서 보고된다. 유리생산에 사용되는 소다회로 인한 배출은 위에서 이미 고려되었다. 유사하게, 소다회가 화학물질과 같은 다른 배출원 카테고리에서 사용되는 경우에, 배출은 해당 배출원 카테고리에서 보고되어야 한다.

비-야금 마그네시아 생산

이 배출원 카테고리는 다른 곳에 포함되지 않는 마그네시아 (MgO) 생산으로 인한 배출을 포함해야 한다. 예를 들어, 비료로 사용하기 위해 마그네시아가 생산되는 경우, *우수실행(good practice)*은 3장, 화학산업 배출의 적절한 부문에 배출을 보고하는 것이다.

마그네사이트 (MgCO3)는 마그네시아 생산의 핵심적인 투입물의 하나이며, 최종적으로 fused magnesia이다. 마그네시아 제품의 세가지 주 카테고리가 존재한다: calcined magnesia, deadburned magnesia (periclase) 및 fused magnesia. Calcined magnesia는 많은 농업 및 산업 용도에서 사용된다(예를 들어, 소의 사료 보충제, 비료, 전기절연 및 연통가스 탈황). Deadburned magnesia는 내화성 기기에 주로 사용되며, fused magnesia는 내화 및 전기 절연 시장에서 사용된다)

마그네시아는 CO_2의 방출을 초래하는 MgCO3의 소성에 의해 생산된다. 전형적으로 포함된 CO_2의 96-98%는 calcined magnesia의 생산에서 방출되며, deadburned magnesia를 생산하기 위해 추가적으로 가열하는 동안 거의 100%의 CO_2가 방출된다. fused magnesia의 생산도 거의 100%의 CO_2 방출을 초래한다.

기타

위에서 포함되지 않은 다수의 다른 배출원 카테고리에서 배출이 발생할 것이다. 배출을 이 배출원 카테고리에 할당할 때, 인벤토리 작성자는 다른 배출원 부분에 이미 기록된 배출을 이중 계산하지 않도록 주의해야 한다.

2.5.1.1 방법의 선택

이 배출원 카테고리에 대해 탄산염의 사용으로 인한 배출을 산정하기 위해 두 가지 주요한 방법론이 존재한다. Tier 1 방법은 산업에서 탄산염 투입물로 석회석과 백운석만이 사용된다고 가정하고, 소비된 석회석 대 백운석의 기본값 비율의 사용을 허용한다. Tier 2는 소비된 석회석 대 백운석의 비율에 대한 국가에 고유한 정보가 결정되어야 한다는 것을 제외하고는 Tier 1과 동일하다. Tier 3 방법은 탄산염의 모든 배출적 사용에 관한 분석에 기초한다.

일부 하위카테고리에 대해 Tier 3가 사용될 수 있으며, Tier 1 내지 2 방법이 제한된 자료 가용성을 가진 다른 카테고리에 대해 사용될 수 있는 것이 가능하다. 이러한 하이브리드형 접근법은 *우수실행(good practice)*에 일치한다. 방법의 선택은 국가의 상황에 좌우된다.

TIER 1 방법

The Tier 1 방법은 식 2.14에 기초한다.

식 2.14
TIER 1: 소비된 탄산염의 질량에 기초한 배출

$$CO_2 \text{ 배출량} = M_c \cdot (0.85EF_{ls} + 0.15EF_d)$$

여기서:

CO_2 배출량 = 탄산염의 다른 공정 사용으로 인한 CO_2 배출량, 톤

M_c = 소비된 탄산염의 질량, 톤

EF_{ls} 또는 EF_d = 석회석 또는 백운석의 소성에 대한 배출계수, 톤 CO2/톤 탄산염 (표 2.1을 참고)

인벤토리 작성자는 탄산염에 대한 자료가 탄산염 암석이 아닌 순수한 탄산염을 반영하는지 확인하는 것이 권고된다. 자료가 탄산염 암석에 대해 이용 가능하다면, 95%의 기본값 순도가 가정될 수 있다. 점토에 대해, 10%의 기본값 탄산염 함유량이 가정된다[4].

소다회는 석회석이나 백운석이 아니라 주로 탄산나트륨이다. 그러므로, 소다회에 대한 Tier 1 방법은 85%/15%의 기본값 비율을 요구하지 않는다. 배출은 국가적 수준에서 소비된 소다회의 양과 탄산나트륨의 기본값 배출계수를 곱하여 산정한다 (표 2.1을 참고).

TIER 2 방법

Tier 2에서, 석회석 및 백운석의 사용에서 배출된 CO_2 양은 소비에 대한 고려 및 화학공정의 화학량에서 산정된다. Tier 2는 Tier 1과 유사한 식을 사용하지만, Tier 2는 국가에서 소비된 석회석 및 백운석의 양에 대한 국가적 자료를 요구한다 (식 2.15). 이들 두 가지 주요 탄산염 간의 할당을 위해 하나의 기본값을 사용하는 것은 *우수실행(good practice)*이 아니다.

식 2.15
TIER 2: 탄산염의 다른 공정 사용에 대한 방법

$$CO_2 \text{ 배출량} = (M_{ls} \cdot EF_{ls}) + (M_d \cdot EF_d)$$

여기서:

CO_2 배출량 = 탄산염의 다른 공정 사용으로 인한 CO2 배출량, 톤

M_{ls} 또는 M_d = 석회석 내지 백운석 각각의 질량 (소비), 톤 (순도에 대해 위의 식 2.14를 참고)

4 EU-BREF (2005)는 세라믹 산업에서 사용되는 관련 점토에 대한 탄산염 함유량의 범위가 0에서 30%이상이라고 보고한다.

EFls 또는 EFd = 석회석 내지 백운석 소성에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 탄산염 (표 2.1을 참고)

TIER 3 방법

Tier 3 방법론은 위의 시멘트에 대해 약술한 접근법과 유사하지만, 먼지 내지 기타 원료 투입에 대해 수정할 필요는 없다 (식 2.16). 위에서 언급된 것처럼, 이 접근법이 사용되는 경우에, 분석에서 모든 탄산염 투입이 고려되는 것이 중요하다.

식 2.16
TIER 3: 탄산염의 다른 공정 사용에 대한 탄산염 투입 접근법

$$CO_2 \text{ 배출량} = \sum_i (M_i \cdot EF_i \cdot F_i)$$

여기서

CO_2 배출량 = 탄산염의 다른 공정 사용으로 인한 CO_2 배출량, 톤

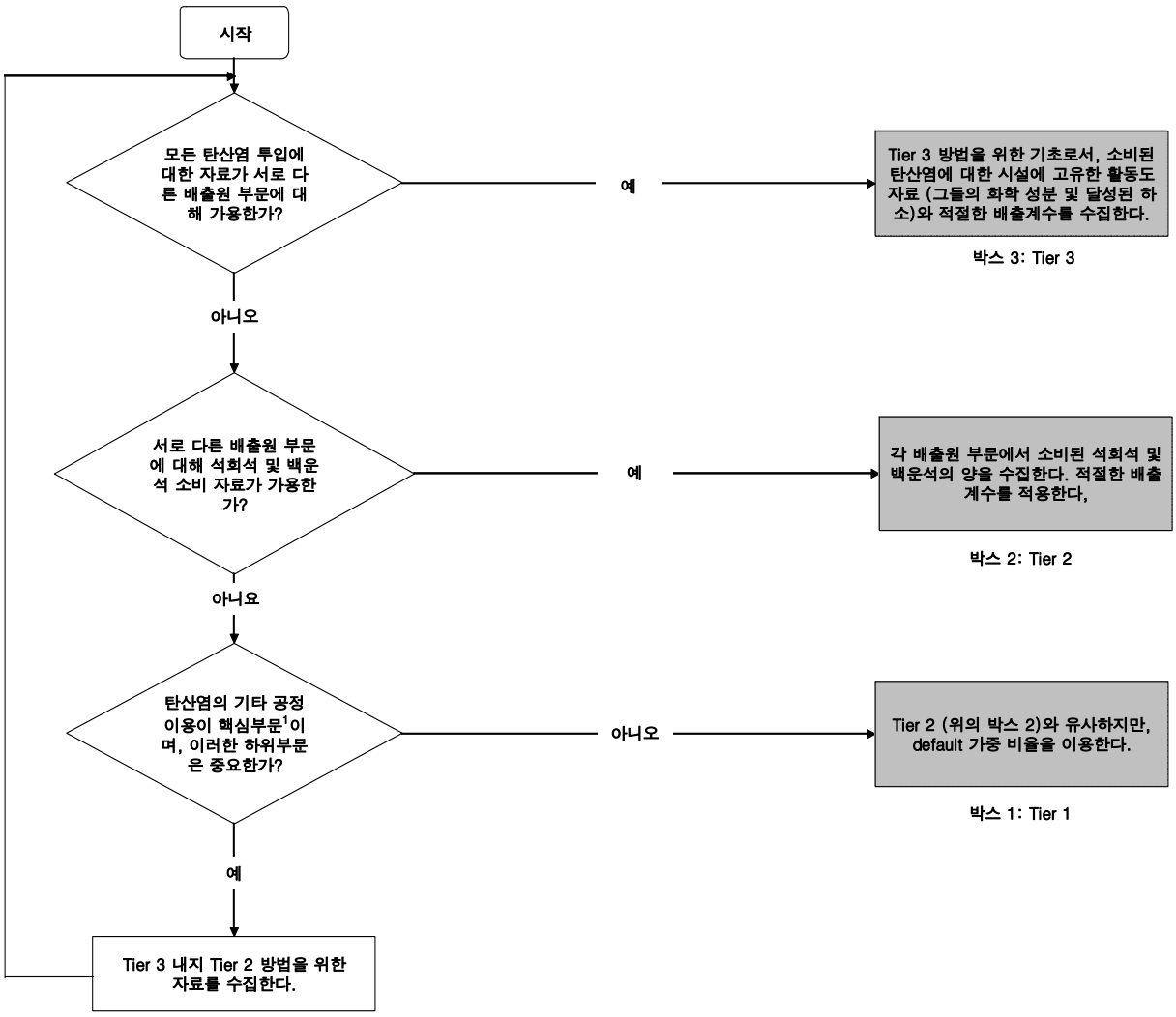
M_i = 소비된 탄산염 i의 질량, 톤 (순도에 대해 위의 식 2.14를 참고)

EF_i = 탄산염 i에 대한 배출계수, 톤 CO_2/톤 탄산염 (표 2.1을 참고)

F_i = 특정한 탄산염 i에 대해 달성된 소성 비율, 비율. 특정한 탄산염에 대해 달성된 소성 비율이 알려져 있지 않은 경우 소성 비율이 1.00과 동일하다고 가정할 수 있다.

i = 탄산염 사용의 하나

그림 2.4 탄산염의 기타 공정 사용에서 발생하는 CO_2 배출의 산정에 대한 의사결정도



주석:

1. 주 카테고리 및 의사결정도의 사용에 관한 논의에 대해, 1권의 4장, 방법론 선택 및 주 카테고리의 확인을 참고한다 (제한된 자원에 대해 4.1.2 절을 주목한다).

2.5.1.2 배출계수의 선택

TIER 1 및 TIER 2

Tier 1 및 Tier 2 방법론에 대한 배출계수는 소비된 탄산염의 질량 당 방출된 CO_2 질량에 기초한다 (표 2.1을 참고). Tier 1과 Tier 2 간의 차이는 활동도 자료에 있다.

TIER 3

Tier 3 배출계수는 개별 탄산염들의 배출계수의 가중평균을 나타낸다 (표 2.1을 참고). Tier 3 접근법은 탄산염에 대한 완전한 계산 (종류 및 배출원)을 요구한다.

2.5.1.3 활동도 자료의 선택

TIER 1

Tier 1 방법에서, 인벤토리 작성자는 배출적 사용에 대한 전체 탄산염 소비에 대한 활동도 자료를 수집해야 한다 (배출량이 많은 탄산염의 사용에 대해 표 2.7을 참고), 보다 좋은 자료가 없는 경우에, 인벤토리 작성자가 소비된 탄산염의 85%가 석회석이고 소비된 탄산염의 15%가 백운석이라고 가정하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 소다회에 대해, 인벤토리 작성자는 사용된 소다회의 총량에 대해 국가 내지 공장 수준의 자료를 수집해야 한다. 세라믹 산업에서 사용되는 점토에 대해, 인벤토리 작성자는 벽돌 및 지붕 타일, 자기 점토 파이프, 및 내화제품에 대한 국가적 생산자료를 수집하고 생산량과 기본값 손실계수 1.1을 곱해서 소비된 점토량을 계산해야 한다.

TIER 2

각각의 최종 사용부문에서 소비된 탄산염의 총량을 설명하기 위해 활동도 자료를 수집하는 것은 *우수실행(good practice)*으로 간주된다. 이들 최종 사용부문에서 소비된 서로 다른 탄산염을 확인하는데 특정한 자료를 이용할 수 없는 경우에, 석회석 및 백운석에 대한 국가 수준의 활동도 자료를 수집하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. Tier 1 방법과 유사하게, 달성된 소성 비율이 알려져 있지 않은 경우, 인벤토리 작성자가 100% 소성이 달성되었다고 가정하는 것은 *우수실행(good practice)*과 일치한다. 인벤토리 작성자는 국가에서 소비된 모든 석회석 및 백운석이 CO_2 배출의 방출을 초래한다고 가정하지 않는 것에 주의를 기울여야 한다. 예를 들어, 석회석과 백운석은 다수의 공정에서 골재로 종종 사용되며 분쇄된 바위의 이러한 사용은 배출을 초래하지 않는다 (표 2.7).

TIER 3

가장 정확한 방법은 최종 사용에 의한 탄산염 소비에 대한 활동도 자료를 수집하는 것이다. *우수실행(good practice)*은 해당 배출원 카테고리에 대해 소비된 탄산염의 공장에 고유한 자료와 달성된 탄산염의 소성 비율을 수집하는 것이다. 탄산염 소비는 채굴된 (또는 준설된) 원료 더하기 수입된 원료 빼기 수출된 원료와 동일하다고 가정된다. 달성된 소성 비율이 알려져 있지 않은 경우, 인벤토리 작성자가 100% 소성이 달성되었다고 가정하는 것은 *우수실행(good practice)*과 일치한다. 세라믹 산업에서 점토 사용에 대해, 인벤토리 작성자는 모든 관련된 세라믹 제품에 대한 점토 소비를 수집해야 한다.

2.5.1.4 완전성

과소산정 및 과대산정의 잠재성이 모두 존재하기 때문에, 완전성은 탄산염을 소비하는 (소성되는) 산업의 관점에서 특별한 도전이다. 이 장 전체에 걸쳐 언급한 것처럼, 방법이 탄산염 투입에 기초한 경우에, 소비된 탄산염의 총량을 과소 산정할 잠재성이 있다. 이처럼, 탄산염 사용의 다른 공정에 대한 Tier 3 방법은 공장 수준에서만 적용되어야 한다.

이중 계산에 대한 잠재성이 또한 존재한다. 인벤토리 작성자는 석회석, 백운석 및 기타 탄산염이 사용에 대한 국가 통계가 어떻게 개발되었는지 신중히 고려해야 한다. 예를 들어, 철강산업에 대한 자료원은 용매제로 소비된 석회석의 총량을 포함할 것이다. 배출은 관련된 부문의 연료 연소 배출에 포함된 고로가스 내지 기타 연소가능한 가스의 일부이다. 자료가 철강 산업의 석회석 소비를 포함하

는지 여부를 결정하기 위해, 국가 수준에서 석회석에 대해 통계를 신중하게 조사해야 한다.
석회석, 백운석 및 기타 탄산염 사용에 대한 국가 통계는 종종 '기타 미지정된 사용'과 같은 카테고리를 포함한다. 인벤토리 작성자는 이 소비가 다른 카테고리에서 이미 고려되지 않았는지 신중히 고려해야 한다.

가이드라인은 별도로 다양한 기타 카테고리 배출원에서 사용되는 중간제품인 두 가지 카테고리를 확인한다 (소다회의 기타 사용과 비-야금 마그네시아). 특히 소다회는 유리생산, 비누 및 세제와 같은 다양한 산업에서 사용된다. 인벤토리 작성자는 이중 계산이 발생했는지 확인하기 위해 이러한 배출원 카테고리에 대한 통계를 신중히 검토하는 것이 권고된다. 예를 들어, 유리생산에 소다회가 사용된 경우에, 배출은 해당 카테고리에 보고되어야 한다. 소다회가 또 다른 산업에 사용되는 경우에, 배출은 해당 산업에 보고되어야 한다. 소다회가 또 다른 광물산업에 사용되거나 그것이 어디서 소비되었는지 결정하는데 정보가 충분하지 않은 경우, 배출은 카테고리 2A4b, 소다회의 기타 사용에 보고되어야 한다.
표 2.7은 이들 배출이 적절히 할당되고 과대 내지 과소 산정되지 않았는지 확인하는데 도움이 되는 몇 가지 질문을 강조한다.

표 2.7
탄산염의 배출적 사용과 비-배출적 사용

탄산염이 어디서 소비되는가?	**배출원이 배출적인가?**	**예라면, 배출은 어디서 보고되어야 하는가?**
농업:		
농업용 석회석	예*	AFOLU: 3C2 석회 살포(Liming)
가금용 모래 및 광물성 먹이	아니오	
기타의 농업 용도	아니오	
화학 및 야금:		
시멘트 제조	예	IPPU: 2A1 시멘트 생산
석회 제조	예	IPPU: 2A2 석회 생산
백운석의 Dead burning	예	IPPU: 2A2 deadburn되는 경우에 석회 생산; 석회 산업 외부의 기타 (2A4d).
융제용 석재	예	IPPU: 2C 금속 산업, 소비되는 산업; (현장 외부에서 판매되는 연소가능한 오프가스에 대해) 에너지 부문에서 집계되지 않는 경우
화학용 석재	예**	소비되는 배출원 카테고리
유리 제조	예	IPPU: 2A3 유리 생산
산화황 제거	예*	소비되는 배출원 카테고리
비료	예**	IPPU: 2B 화학 산업
세라믹 및 미네랄 울(mineral wool):		
세라믹	예	IPPU: 광물 산업: 2A4a 세라믹
미네랄 울	예	IPPU: 광물 산업: 생산 공정에 따라, 2A3 유리 생산 내지 2A4d 기타
특수한 부분:		
광산 먼지제거(Mine dusting) 내지 산성수 처리	예*	소비되는 배출원 카테고리
아스팔트 충전제 내지 희석제	아니오	
백악(Whiting) 내지 백악 대체물	아니오	
기타 충전제 내지 희석제	아니오	
건설:		
잘거나 굵은 골재로서 사용	아니오	

표 2.7 (계속) 탄산염의 배출적 사용과 비-배출적 사용		
생산	**배출원이 배출적인가?**	**예라면, 배출은 어디서 보고되어야 하는가?**
기타 잡다한 용도:		
내화성 석재	아니오	
산성 중화	예*	소비되는 배출원 카테고리
화학물질	아니오	
종이 제조	아니오	
연마제	아니오	
설탕 정제	아니오	IPPU: 제당 공장의 석회 생산에서 발생하는 배출은 2A2 석회 생산에서 보고되어야 한다; 기타 모든 배출은 2A4 탄산염의 기타 공정 사용에서 보고되어야 한다. 저감은 2H2 식음료 산업에서 보고되어야 한다.
기타	예*, 아니오	예인 경우에, IPPU: 2A4 탄산염의 기타 공정 사용
* 산성화 반응에 의해 배출이 발생한다. ** 소성 및/내지 산성화에 의해 배출이 발생할 것이다.		

2.5.1.5 일관적인 시계열의 개발

기본적으로, 가이드라인은 석회석, 백운석 및 기타 탄산염 사용을 이전의 IPCC 가이드라인과 달리 취급한다. 이전의 가이드라인은 시멘트 생산, 석회석 생산 및 농업용 토양의 중화에서 소비된 석회석과 백운석의 경우를 제외하고는, 석회석과 백운석의 모든 소비가 배출원 카테고리 석회석 및 백운석 사용에 보고된다고 권고했다.

*2006 가이드라인*에서는, 탄산염의 기타 공정 사용으로 인한 배출이 그들이 소비된 배출원 카테고리에서 보고되어야 하며, 그들이 배출되는 부문에서 배출이 보고된다. 이러한 변화는 광물 산업의 탄산염의 기타 공정 사용 배출원 카테고리에 대해, 그리고 탄산염이 소비되는 다른 배출원 카테고리에서 시계열 일관성을 보장하기 위해 재계산을 요구할 것이다.

인벤토리 작성자가 시계열 일관성을 보장하는데 도움이 되는 여러 방식이 존재한다: 인벤토리 작성자가 1권, 5장에 따라 다음을 고려하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

- 모든 연도에 대해 Tier 3 (또는 Tier 2) 방법을 완수하기에 자료가 이용 가능다면, 이를 따른다.
- 자료가 일부 연도에 대해서만 이용 가능하다면, 추세 라인의 보간법 내지 외삽법에 의해 중간 연도가 산정될 것이다.
- 가장 최근 연도에 대해 세분화된 수준에서 탄산염의 기타 공정 사용에 대한 자료가 이용 가능하다면, 인벤토리 작성자는 가장 최근 연도에 대해 각 산업에서 소비된 탄산염의 비율을 개별 산업의 생산 추세에 적용하고자 할 것이며, 이는 1권,5.3절에서 약술된 대용법(Surrogate

Method)과 유사하다. 그렇지만 인벤토리 작성자는 이러한 접근법을 사용할 때 신중해야 하며, 기간에 따라 어떤 산업에 대해 용매제 내지 슬래깅제의 보다 큰 사용을 가져오는 국가적 상황이 존재하는지를 고려해야 한다.

2.5.2 불확도 평가

2.5.2.1 배출계수 불확도

배출계수는 탄산염의 소성에 따라 방출되는 CO_2 양을 반영하는 화학량 비율이기 때문에, 이론적으로 이 배출원 카테고리에 대한 배출계수와 관련된 불확도는 상대적으로 낮다. 실제로는, 부분적으로 석회석 및 기타 탄산염의 화학 성분의 변화로 불확도가 존재한다. 예를 들어, 탄산칼슘과 함께, 석회석은 소량의 마그네시아, 이산화규소 및 황을 포함할 것이다. 활동도 자료가 정확히 수집된다고 가정하여, 정확한 배출계수가 적용될 때, 배출계수와 관련된 사소한 불확도가 존재한다. 단지 탄산염 암석 자료가 이용 가능한 경우에 석회석 및 백운석의 비율적 순도의 가정과 관련된 불확도가 존재할 것이다 (+/- 1-5%).

2.5.2.2 활동도 불확도

활동도 불확도는 배출계수와 관련된 불확도보다 크다. 탄산염 소비가 적절한 소비 부문/산업에 할당된다고 가정할 때, 주어진 산업에 대한 탄산염의 가중치 부여에 관련된 불확도는 1-3%이다. 탄산염 함유량 및 확인에 관련된 전반적인 화학 분석의 불확도는 또한 1-3%이다. 석회석 대 백운석의 85%/15%의 기본값 분할의 가정을 포함한, Tier 2 및 Tier 1 방법의 사용과 관련된 불확도는 국가의 고유한 상황에 따라 달라진다.

다양한 최종 사용이 여러 산업에서 존재하고, 일부는 배출적이고 다른 것은 그렇지 않기 때문에, 석회석 및 백운석 사용에 대한 활동도 자료는 수집하기 어려울 것이다. 국가 통계는 '기타 미지정 사용'이라는 최종 사용 카테고리를 포함할 것이고, '기타 미지정 사용'을 적절한 소비 부문에 할당하는 것은 어려울 것이다. 모든 사용이 적절히 확인될 수 없는 경우에, 이는 불확도를 증가시킬 것이다.

2.5.3 품질보증/품질관리 (QA/QC), 보고 및 기록

2.5.3.1 품질보증/품질관리 (QA/QC)

서로 다른 접근법을 사용한 배출계수의 비교

Tier 3 접근법이 Tier 1 내지 Tier 2 분석에서 포함되지 않은 추가적인 탄산염 종류를 고려할지라도, 어떤 Tier에서 도출된 배출 산정치는 다른 Tier와 비교될 수 있다. 달성된 동일한 소성 비율이 모든 Tiers에 사용된다고 가정하면, 석회석 및 백운석이 이들 배출원에 대한 배출의 가장 큰 비율로 기여한다고 생각할 때, 개별적인 접근법을 사용하여 산정된 배출은 크기에서 유사할 것이다.

활동도 자료 검사

석회석, 백운석 및 기타 탄산염은 다양한 산업에서 소비되기 때문에, 개별 산업에서의 탄산염 소비를 포함하는 다수의 다른 자료원들이 존재할 것이다. 예를 들어, 철강산업에서 다양한 시설의 석회석 소비에 대한 자료는 시설수준에 비례하여 사용된 융제의 양이 유사한지를 살펴보기 위해 비교될 수 있다.

또한, 석회석, 백운석 및 기타 탄산염의 사용에 대한 공장에 고유한 정보는 산업협회통계와 비교될 수 있다. 이들 산업협회통계는 다시 석회석, 백운석 및 기타 탄산염 소비에 대한 국가 수준의 통계와 비교될 수 있다.

연도간 큰 변동이 있는지 살펴보기 위해 시간에 따른 활동도 자료의 추세를 조사하는 것은 종종 유용하다. 이들 통계에 큰 연도간 변동이 존재할 수 있기 때문에, 인벤토리 작성자는 추세 자료에 기초하여 결론을 도출할 때 신중해야 한다.

2.5.3.2 보고 및 기록

인벤토리는 보고된 배출산정이 투명하고 그 계산 단계가 재계산될 수 있도록 사용된 방법과 자료원에 대한 참고문헌의 요약을 포함해야 한다. 위에서 언급된 것처럼, 탄산염의 다른 공정 사용으로 인한 배출을 보고할 때 인벤토리 작성자가 가장 중요하게 고려할 것은 탄산염이 소비된 배출원 카테고리에 배출이 보고되어야 한다는 것이다.

TIER 1 및 TIER 2

각 산업에 의해 소비된 석회석 및 백운석의 양에 대한 정보가 보고되어야 한다. 특정 산업에서 소비된 탄산염들의 분할이 알려져 있지 않고, 85%의 석회석과 15%의 백운석 할당이 사용되는 경우에, 이를 기록해야 한다.

TIER 3

Tier 3 접근법에 요구되는 기록은 탄산염 투입에 기초하여 배출을 계산하는 이 장의 다른 배출원 카테고리와 유사하다.

참고문헌

ASTM (1996). ASTM International. Standard Specification for Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone for Chemical Uses, Designation: C911-96, Table 1.

ASTM (2004a). ASTM International. Standard Specification for Portland Cement, Designation: C-150-02.

ASTM (2004b). ASTM International. Standard Specification for Blended Hydraulic Cements: C-595-03.

Boyd, D. C. and Thompson, D. A. (1980) "Glass", Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Volume 11, pp 826-827.

Boynton, R. S. (1980). Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.

CRC Handbook of Chemistry and Physics (2004). (David R. Lide, Ed in Chief); CRC Press, Boca Raton, FL; Sec. 1, p.12-14

DIN (1994). Deutsche Industrie Norm. DIN 1164-1 Zement, Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen. Edition 1994-10.

EU-BREF Ceramics (2005). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry. (http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm)

Hendriks et al. (1998). Proceedings of the 4th International Conference of GHG Control Technologies. August 30-September 2. Interlaken.

Miller, M. (1999a). US Geological Survey, Calculations based on Boynton, 1980.

Miller, M. (1999b). U.S. Geological Survey. Calculations based on ASTM, 1996b and Schwarzkopf, 1985.

Schwarzkopf, F. (1985). Lime Burning Technology (2nd Edition), Table 2, June 1985.

Van Oss, H. (2005). Personal communication with Hendrik van Oss, January 2005.

Van Oss, H. and Padovani, A. (2002). Cement Manufacture and the Environment. Part I: Chemistry and Technology. Journal of Industrial Ecology. Vol.6, Number 1, page 89-105.

WBCSD (2005). World Business Council for Sustainable Development The Cement CO_2 Protocol: CO_2 Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry. Version 2. June 2005

제3장

화학 산업 배출

저자

3.1절
Jochen Harnisch (독일)

3.2 - 3.8절
Charles Jubb (호주)
Alexander Nakhutin (러시아), Virginia Carla Sena Cianci (우루과이)

3.9절
Robert Lanza (미국)
Thomas Martinsen(노르웨이), Abdul Karim W. Mohammad (이라크), Maruo M.O.Santos(브라질)

3.10절
Archie McCulloch (영국), Brian T. Mader(미국)

부저자

3.2 - 3.8절
Javier P□rez-Ram□rez(스페인)

3.9절
Maarten Neelis (네덜란드), Martin Patel (독일)

목 차

3 화학 산업 배출 3.11
3.1 서론 3.11
3.2 암모니아 생산 3.11
3.2.1 서론 3.11
3.2.2 방법론적 이슈 3.12
3.2.2.1 방법의 선택 3.13
3.2.2.2 배출계수의 선택 3.16
3.2.2.3 활동도 자료의 선택 3.18
3.2.2.4 완전성 3.19
3.2.2.5 일관된 시계열 개발 3.20
3.2.3 불확도 평가 3.20
3.2.3.1 배출계수의 불확도 3.20
3.2.3.2 활동도 자료의 불확도 3.20
3.2.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 3.20
3.2.4.1 품질보증 및 품질관리 3.20
3.2.4.2 보고 및 문서화 3.21
3.3 질산 생산 3.21
3.3.1 서론 3.20
3.3.2 방법론적 이슈 3.22
3.3.2.1 방법의 선택 3.22
3.3.2.2 배출계수의 선택 3.26
3.3.2.3 활동도 자료의 선택 3.27
3.3.2.4 완전성 3.28
3.3.2.5 일관된 시계열 개발 3.28
3.3.3 불확도 평가 3.29
3.3.3.1 배출계수의 불확도 3.29
3.3.3.2 활동도 자료의 불확도 3.29
3.3.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 3.29
3.3.4.1 품질보증 및 품질관리 3.29
3.3.4.2 보고 및 문서화 3.30
3.4 아디프산 생산 3.32
3.4.1 서론 3.32

3.4.2 방법론적 이슈 3.32
3.4.2.1 방법의 선택 3.32
3.4.2.2 배출계수의 선택 3.34
3.4.2.3 활동도 자료의 선택 3.36
3.4.2.4 완전성 3.37
3.4.2.5 일관된 시계열 개발 3.37
3.4.3 불확도 평가 3.37
3.4.3.1 배출계수의 불확도 3.37
3.4.3.2 활동도 자료의 불확도 3.38
3.4.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 3.38
3.4.4.1 품질보증 및 품질관리 3.38
3.4.4.2 보고 및 문서화 3.39
3.5 카프로락탐, 글리옥살(옥산알데히드), 글리옥살산 생산 3.39
3.5.1 서론 3.39
3.5.2 카프로락탐 3.40
3.5.2.1 방법론적 이슈 3.40
3.5.2.2 불확도 평가 3.45
3.5.2.3 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 3.46
3.5.3 글리옥살(옥산알데히드)과 글리옥살산 생산 3.47
3.6 카바이드 생산 3.48
3.6.1 서론 3.48
3.6.2 방법론적 이슈 3.48
3.6.2.1 방법의 선택 3.50
3.6.2.2 배출계수의 선택 3.52
3.6.2.3 활동도 자료의 선택 3.54
3.6.2.4 완전성 3.54
3.6.2.5 일관된 시계열 개발 3.55
3.6.3 불확도 평가 3.55
3.6.3.1 배출계수 불확도 3.55
3.6.3.2 활동도 자료 불확도 3.55
3.6.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 3.55
3.6.4.1 품질보증 및 품질관리 3.55
3.6.4.2 보고 및 문서화 3.56
3.7 이산화티타늄 생산 3.57

3.7.1 서론 3.57
3.7.2 방법론적 이슈 3.57
3.7.2.1 방법의 선택 3.58
3.7.2.2 배출계수의 선택 3.59
3.7.2.3 활동도 자료의 선택 3.60
3.7.2.4 완전성 3.61
3.7.2.5 일관된 시계열 개발 3.61
3.7.3 불확도 평가 3.61
3.7.3.1 배출계수 불확도 3.61
3.7.3.2 활동도 자료 불확도 3.61
3.7.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 3.62
3.7.4.1 품질보증 및 품질관리 3.62
3.7.4.2 보고 및 문서화 3.62
3.8 소다회 생산 3.63
3.8.1 서론 3.63
3.8.2 천연 소다회 생산 3.63
3.8.2.1 방법론적 이슈 3.63
3.8.2.2 불확도 평가 3.66
3.8.2.3 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 3.67
3.8.3 솔베이법 소다회 생산 3.67
3.8.3.1 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 3.68
3.9 석유화학제품과 카본블랙 생산 3.70
3.9.1 서론 3.70
3.9.2 방법론적 이슈 3.78
3.9.2.1 방법의 선택 3.78
3.9.2.2 배출계수의 선택 3.88
3.9.2.3 활동도 자료의 선택 3.99
3.9.2.4 완전성 3.102
3.9.2.5 일관된 시계열 개발 3.103
3.9.3 불확도 평가 3.103
3.9.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 3.107
3.9.4.1 품질보증 및 품질관리 3.107
3.9.4.2 보고 및 문서화 3.108
첨부 3.9A 정제원료 생산 흐름 모델 3.110

3.10 불소화합물 생산..... 3.112
3.10.1 HCFC-22 생산 시의 HFC-23 배출..... 3.112
3.10.1.1 서론..... 3.112
3.10.1.2 방법론적 이슈..... 3.112
3.10.1.3 불확도 평가..... 3.121
3.10.1.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화..... 3.122
3.10.2 다른 불소 화합물 생산 시의 배출..... 3.124
3.10.2.1 서론..... 3.124
3.10.2.2 방법론적 이슈..... 3.124
3.10.2.3 불확도 평가..... 3.128
3.10.2.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화..... 3.128
참고 문헌..... 3.130

수 식

식 3.1 Tier1 하에서의 암모니아 생산시 CO_2 배출량..... 3.14
식 3.2 Tier2 하에서의 암모니아 생산을 위한 전체 연료 필요량..... 3.14
식 3.3 Tier2,3 하에서의 암모니아 생산시 CO_2 배출량..... 3.15
식 3.4 Tier3 하에서의 암모니아 생산을 위한 전체 연료 필요량..... 3.15
식 3.5 Tier1 하에서의 질산 생산시 N_2O 배출량..... 3.24
식 3.6 Tier2 하에서의 질산 생산시 N_2O 배출량..... 3.25
식 3.7 Tier1 하에서의 아디프산 생산시 N_2O 배출량..... 3.33
식 3.8 Tier2 하에서의 아디프산 생산시 N_2O 배출량..... 3.33
식 3.9 Tier1 하에서의 카르로락탐 생산시 N_2O 배출량..... 3.41
식 3.10 Tier2 하에서의 카르로락탐 생산시 N_2O 배출량 3.42
식 3.11 카바이드 생산시의 배출량.....3.50
식 3.12 Tier1 하에서의 티탄슬래그, 합성 금홍석, 이산화티타늄 생산시 CO_2 배출량.. 3.58
식 3.13 Tier2 하에서의 티탄슬래그, 합성 금홍석, 이산화티타늄 생산시 CO_2 배출량.. 3.58
식 3.14 Tier1 하에서의 천연소다회 생산시 CO_2 배출량..... 3.64
식 3.15 Tier1 하에서의 CO_2 배출 계산 3.80
식 3.16 일차 생산물의 제조 계산식..... 3.80
식 3.17 전체적인 Tier 2 방법론에 대한 물질수지 식..... 3.82
식 3.18 일차 생산물[에틸렌]로부터 이차생산물의 생산 계산..... 3.82
식 3.19 일차 생산물[아크릴로니트릴]로부터 이차생산물의 생산 계산..... 3.83
식 3.20 Tier3 하에서의 CO_2 배출량 계산 식..... 3.83
식 3.21 원료 연소를 통한 Tier3 하에서의 CO_2배출량 계산..... 3.84
식 3.22 연소 가스에 의한 Tier3 하에서의 CO_2배출량 계산..... 3.84
식 3.23 Tier1 하에서의 CH_4 탈루 배출량 계산..... 3.85
식 3.24 Tier2 하에서의 CH_4 공정 배출 배출량 계산..... 3.85
식 3.25 Tier1 하에서의 CH_4 전체 배출량 계산..... 3.86
식 3.26 대기 측정 자료에 기초한 Tier3 하에서의 CH_4 배출량 계산..... 3.87
식 3.27 Tier3 하에서의 CH_4 배출량 계산식..... 3.87
식 3.28 원료 연소에 따른 Tier3 하에서의 CH_4 배출량 계산 3.88
식 3.29 flare 가스에 의한 Tier3 하에서의 CH_4 배출량 계산 3.88
식 3.30 기본계수를 사용한 HCFC-22로부터 생산된 Tier1 계산..... 3.113
식 3.31 공정효율로부터 구한 계수를 사용하여 생산된 HCFC-22로부터의 HFC-23 Tier 2 계산..... 3.113

식 3.32 탄소 수지 효율에 의한 HFC-23 배출계수의 계산..... 3.114
식 3.33 불소 수지 효율에 의한 HFC-23 배출계수의 계산..... 3.114
식 3.34 개별 공정 흐름에 의한 HFC-23의 배출을 Tier 3a에 의해 계산(직접법)..... 3.115
식 3.35 개별 공정 흐름에 의한 HFC-23의 배출을 Tier 3b에 의해 계산(프록시법)... 3.115
식 3.36 개별 공정 흐름에 의한 HFC-23의 배출을 Tier 3c에 의해 계산
(반응기 산물의 관찰에 의해)..... 3.115
식 3.37 개별 공정 흐름에서 '즉석' HFC-23의 배출을 Tier 3a에 의해 계산
(직접적 방법)..... 3.116
식 3.38 개별 공정 흐름에서 HFC-23의 배출을 Tier 3b에 의해 계산 (프록시 법).... 3.117
식 3.39 프록시 방법에 의한 표준 배출의 Tier 3b 계산..... 3.117
식 3.40 공정 내 측정에 의한 개별 설비에서의 HFC-23의 배출 Tier 3c 계산..... 3.118
식 3.41 생산과 연관된 배출의 Tier 1 계산..... 3.125
식 3.42 생산과 연관된 배출의 Tier 3 직접 계산..... 3.126
식 3.43 생산과 배출의 Tier 3 프록시계산..... 3.126

그 림

그림 3.1 암모니아 생산 시 발생되는 CO_2 배출량의 산정을 위한 의사결정도..... 3.16
그림 3.2 질산 생산 시 발생되는 N_2O 배출량의 산정을 위한 의사결정도 3.26
그림 3.3 아디프산 생산 시 발생되는 N_2O 배출량의 산정을 위한 의사결정도..... 3.35
그림 3.4 카프로락탐, 글리옥살, 글리옥살산 생산 시 발생되는 N_2O 배출량의 산정을 위한
의사결정도..... 3.44
그림 3.5 카바이드 생산 시 발생되는 CO_2와 CH_4 배출량의 산정을 위한 의사결정도....3.52
그림 3.6 이산화티타늄 생산 시 발생되는 CO_2 배출량의 산정을 위한 의사결정도..... 3.60
그림 3.7 천연 소다회 생산 시 발생되는 CO_2 배출량의 산정을 위한 의사결정도 3.65
그림 3.8 석유 화학과 카본 블랙 산업에서 발생된 CO_2 배출량의 산정을 위한
의사결정도..... 3.78
그림 3.9 석유 화학과 카본 블랙 산업에서 발생된 메탄 배출량의 산정을 위한
의사결정도..... 3.79
그림 3.10 Tier 2 탄소 물질수지 흐름도..... 3.81
그림 3.11 메탄올 생산에 대한 원료-산물 흐름도..... 3.110
그림 3.12 2염화에틸렌 생산에 대한 원료-산물 흐름도..... 3.110

그림 3.13 에틸렌 옥사이드 생산에 대한 원료-생산물 흐름도..... 3.111
그림 3.14 아크릴로니트릴 생산에 대한 원료-생산물 흐름도..... 3.111
그림 3.15 카본 블랙 생산에 대한 원료-생산물 흐름도..... 3.111
그림 3.16 HCFC-22 생산에 의한 HCF-23 배출량을 위한 의사결정도..... 3.119
그림 3.17 탈루 배출과 부산물 배출에 적용가능한 생산공정으로부터 불소화된 온실가스 배출량을 위한 의사결정도..... 3.127

표

표 3.1 총 연료 필요량의 기본값(연료와 정제원료의 합)과 암모니아 생산을 위한 배출계수 (NH_3 1 톤 당) 3.17
표 3.2 N_2O의 저감성 접근과 저감성 측정..... 3.23
표 3.3 질산생산을 위한 기본계수..... 3.27
표 3.4 아디프산 생산을 위한 기본계수..... 3.36
표 3.5 카프로락탐 생산을 위한 기본계수..... 3.43
표 3.6 글리옥살과 글리옥살산 생산을 위한 기본계수..... 3.48
표 3.7 탄화규소 생산 시의 CO_2 와 CH_4 배출량에 대한 기본계수..... 3.53
표 3.8 탄화칼슘의 생산과 사용에서 발생하는 CO_2 배출량에 대한 기본계수..... 3.53
표 3.9 산화티탄 생산을 위한 기본계수 (생산물 1 톤당 CO_2(톤))..... 3.59
표 3.10 석유 화학 원료와 생산물의 고유 탄소 함량..... 3.85
표 3.11 Tier1에서 석유 화합물 생산 시 기본 원료와 공정 3.88
표 3.12 메탄올 생산에 있어서의 CO_2 배출계수들..... 3.90
표 3.13 메탄올 생산에 있어서의 원료 소비 계수들..... 3.90
표 3.14 Tier1에서 증기 분해에 의한 에틸렌 생산 시 CO_2배출계수들..... 3.91
표 3.15 Tier1에서 증기 분해에 의한 에틸렌 생산 시 CO_2배출계수에 대한 지리적 보정계수 기본값..... 3.92
표 3.16 에틸렌 생산에 대한 기본 메탄 배출계수들..... 3.93
표 3.17 Tier1에서의 2염화에틸렌/염화비닐 모노머 공정 시 CO_2배출계수들..... 3.94
표 3.18 Tier1에서의 2염화에틸렌/염화비닐 모노머 공정 시 원료소비 계수..... 3.94
표 3.19 Tier1에서의 2염화에틸렌/염화비닐공정 시 기본 CH_4 배출계수..... 3.95
표 3.20 에틸렌 옥사이드 생산 원료 소비와 CO_2 배출계수들..... 3.96
표 3.21 Tier1에서의 에틸렌 옥사이드 생산 시 CH_4 배출계수들..... 3.96

표 3.22 아크릴로니트릴 생산에 의한 CO_2 배출계수들..... 3.97
표 3.23 Tier1에서의 카본 블랙 생산 시 CH_4 배출계수들..... 3.98
표 3.24 Tier1에서의 카본 블랙 생산에 CH_4 배출계수들..... 3.99
표 3.25 에틸렌 증기 분해 원료-생산물 매트릭스..... 3.100
표 3.26 아크릴로니트릴 공정에 대한 이차 산물 생산 계수들..... 3.101
표 3.27 배출계수 및 활동도 자료에 대한 불확도 범위..... 3.106
표 3.28 HFC-23 기본배출계수들..... 3.120

박 스

박스 3.1 산업 가스를 위해 재생된 CO_2..... 3.15
박스 3.2 이중계산 (Double counting)..... 3.18
박스 3.3 요소생산 (Urea production)..... 3.19
박스 3.4 이중계산 (Double counting)..... 3.49
박스 3.5 CaO 생산 시 배출량의 할당..... 3.50
박스 3.6 이중계산 (Double counting)..... 3.59
박스 3.7 이중계산 (Double counting)..... 3.68
박스 3.8 메탄올 공정 설명..... 3.71
박스 3.9 에틸렌 공정 설명..... 3.72
박스 3.10 에틸렌다이클로라이드(2염화에틸렌)와 염화비닐 모노머 공정 설명..... 3.73
박스 3.11 에틸렌 옥사이드 공정 설명..... 3.74
박스 3.12 아크릴로니트릴 공정 설명..... 3.75
박스 3.13 카본 블랙 생산 공정 설명..... 3.75
박스 3.14 공장 측정 횟수..... 3.121

3 화학 산업 배출

3.1 서론

다음에 이어질 3.2절부터 3.10절의 내용은 대다수 국가들의 경험을 통해 온실가스배출 농도에 영향을 미치는 것이 확증된, 다양한 무 · 유기 화학제품 생산에 의해 야기되는 온실가스 배출량을 산정하는 데에 길잡이가 될 것이다.

- 3.2절는 암모니아 생산 시 발생하는 배출량을 다룬다.
- 3.3절은 질산 생산 시 발생하는 배출량을 다룬다.
- 3.4절는 아디프산 생산 시 발생하는 배출량을 다룬다.
- 3.5절는 카프로락탐과 글리옥살, 글리옥살산 생산 시 발생하는 배출량을 다룬다.
- 3.6절은 카바이드(carbide) 생산 시 발생하는 배출량을 다룬다.
- 3.7절은 이산화티타늄(titanium dioxide) 생산 시 발생하는 배출량을 다룬다.
- 3.8절은 소다회 생산 시 발생하는 배출량을 다룬다.
- 3.9절는 석유화학제품과 카본블랙 생산 시 핵심 가공과정에서 발생하는 메탄올, 에틸렌, 프로필렌, 에틸렌 디클로라이드(ethylene dichloride), 산화에틸렌(ethylene oxide), 아크릴로니트릴(acrylonitrile), 카본블랙(carbon black) 등의 배출량을 다룬다.
- 3.10절은 불소 생산 시 발생하는 배출량 즉, HCFC-22의 생산 시 발생하는 HFC-23과 HFC_S, SF_6, UF_6을 포함한 불소화합물을 생산할 때 발생하는 일시적이고 부산물적인 배출량을 다룬다.

탄소가 공정의 반응물이자 공정의 화학반응을 유도하는 열원으로서 사용됨으로써 발생하는 이산화탄소는 서로 밀접하게 연관될 수 있으므로, 이번 장과 제2권의 에너지 부문에서 다루어지고 있는 이산화탄소의 배출은 이중 산정하거나 누락되지 않도록 주의해야 한다. 이산화탄소 수집기술은 화학공장에 설치되어 있어야 하며 수집된 이산화탄소는 더 높은 tier의 배출량 계산에서 빼 주어야 한다. 이산화탄소의 포집과 이어지는 제거, HFC-23나 다른 불소화합물의 사용에 따른 가이드라인은 3.10절에서 다뤄질 것이다. 이산화탄소를 수집하기 위한 어떤 기술이든 공정에서 수집된 이산화탄소의 배출은 연소나 공정과정과 연관되어 있음을 고려해야만 한다. 연소와 배출과정이 분리되어 보고되어야 할 경우를 예로 들면, 석유화학산업에서 인벤토리 작성자는 같은 양의 CO_2가 이중 계산되지 않도록 보증해야 한다. 이러한 경우에 수집된 CO_2의 전체적 양은 가급적 에너지 연소와 이 자원에서 생산된 CO_2의 양을 비율화시킨 IPPU 카테고리와 부합되도록 보고되어야만 한다. 기본 가설은 CO_2 수집 및 저장(CCS; CO_2 capture and storage)은 발생하지 않는다는 것이다. CO_2 수집 및 저장에 대한 추가 정보는 3장의 1.2.2절과 2장의 2.3.4절에 자세히 언급되어져 있다.

3.2 암모니아 생산

3.2.1 서론

암모니아(NH_3)는 주요한 산업용 화학물질로 생산되는 질소물질 중 가장 중요한 것이다. 암모니아

가스는 비료, 열처리, 종이 펄프화, 질산과 질산염의 제조, 질산에스테르, 니트로 화합물 제조, 냉각제와 같은 다양한 종류의 제품 생산에 직접 사용되어진다. 아민과 아미드 그리고 요소(urea)와 같은 다양한 유기 화합물도 암모니아를 통해 생산된다(Austin,1984;p.303).

암모니아 생산에는 원료로 질소와 수소가 필요하다. 질소는 공기로부터 얻어지는데, 이는 액체공기 증류나 공기에 열을 가해 잔여물 속에 남은 질소를 찾는 방법으로 이루어진다. 수소는 다른 탄화수소(석탄(간접적으로), 석유) 그리고 물(Hocking,1998;p.317)에서 얻어지지만, 대부분의 암모니아는 천연가스(주로 CH_4)로부터 생산된다. 적은 수의 공장들이 연료 투입으로써, 그리고 부분적 산화 과정에서의 수소 공급원으로써 계속해서 석유연료를 사용하고 있다. 탄화수소의 탄소(C) 성분은 1차 수증기 개질 단계(reforming stage) 과정 중에 제거되어 주요한 잠재적이며 직접적인 온실가스인 CO_2로의 전환과정을 거치게 된다. 암모니아를 생산하기 위해 천연가스 대신에 수소를 사용하는 공장들은 합성과정에서 CO_2를 배출하지 않는다.

3.2.2 방법론적 이슈

암모니아 원료를 얻기 위한 화학작용은 사용되는 탄화수소에 관계없이 CH_4나 다른 화석연료와 비슷하다(Hocking,1998;p.319). 산업에서는 주로 천연가스를 사용하기 때문에, 온실가스(CO_2) 배출의 과정과 배출원에 대한 다음의 정리는 천연가스를 사용하는 생산에 근거한다. 천연가스(주로 CH_4)는 촉매를 이용한 수증기 개질공법(catalytic steam reforming)을 통해 무수암모니아를 생산하게 되는데, 이때의 암모니아는 부산물로 생산되는 CO_2 에 대해 다음과 같은 반응을 수반한다.

첫 번째 수증기 개질:

$$CH_4 + H_20 \dashrightarrow CO + 3H_2$$

$$CO + H_20 \dashrightarrow CO_2 + H_2$$

두 번째 공기 개질:

$$CH_4 + air \dashrightarrow CO + 2H_2 + 2N_2$$

종합적 반응:

$$0.88CH_4 + 1.26Air + 1.24H_20 \dashrightarrow 0.88CO_2 + N_2 + 3H_2$$

암모니아 합성:

$$N_2 + 3H_2 \dashrightarrow 2NH_3$$

2차 개질 과정 가스 전환반응

$$CO + H_20 \dashrightarrow CO_2 + H_2$$

(Hocking,1998;EFMA, 2000a;EIPPCB,2004a)

암모니아 생산과 관련된 CO_2 배출에 영향을 미치는 공정들은 다음과 같다:

- 이산화탄소로의 변환을 위하여 산화철, 산화구리 그리고/또는 산화크롬을 촉매로 사용하여 두 온도 지점에서의 일산화탄소의 전환
- 뜨거운 탄산칼륨과 모노에탄올아민(monoethanolamine; MEA), 설피놀(Sulfinol; alkanolamine과 tetrahydrothiophene dioxide) 또는 기타 물질로 이루어진 세정액에 의한 이산화탄소의 흡수
- 합성 가스를 정제하기 위하여 니켈을 촉매로 이용한, 잔류 CO_2의 메탄으로의 메탄 생성

암모니아의 생산은 CO_2의 배출의 중요한 비에너지 산업 배출원이다. 천연가스 촉매 수증기 개질 공정을 사용하는 공장에서 CO_2의 일차 배출은, 응축 stripping으로 더 적은 배출량을 지니게 된 CO_2 세정액의 재생 도중에 발생한다. CO_2 수집 기술은 공장에 설치되어 사용되어야만 하고 이것은 더 높은 tier 배출 계산에서 수집된 CO_2를 추론하는 데 좋은 경험이 될 것이다. 기본 가설은 CO_2 수집 및 저장(CCS)은 없다는 것이다. 대부분의 경우, CO_2 수집을 설명하는 방법론은 공정 중 수집된 CO_2의 배출이 연소와 공정 모두와 관련될 수 있음을 고려해야만 한다. 그러나 아무 기술이 적용되지 않는 암모니아 생산의 경우는 IPPU에서 설명될 모든 배출량과 함께 연료와 원료(feedstock)의 배출량 사이에서 만들어지게 된다. 이와 비슷하게, 수집된 모든 CO_2는 IPPU 부문에서 설명되어야만 한다. CO_2 수집 및 저장(CCS)에 대한 추가적 정보는 3권, 1.2.2절에서 언급되며 더 세부적인 사항은 2권의 2.3.4절에서 나온다.

이산화탄소 재생기 (CARBON DIOXIDE REGENERATOR)

가스 생산 과정 중에 배출된 CO_2의 흡수 이후, 탄산칼륨과 모노에탄올아민(MEA)과 같은 포화된 가스세정액은 다음 반응에 따라 중탄산염으로부터 배출된 CO_2를 배출하기 위해 수증기 stripping이나 끓임을 통해 재생 즉, 다시 사용된다 :

가열 $\quad 2KHCO_3 \rightarrow K_2CO_3 + H_20 + CO_2$

가열 $\quad (C_2H_5ONH_2)_2 + H_2CO_3 \rightarrow 2C_2H_5ONH_2 + H_20 + CO_2$

CO_2를 포함한 stripping 가스와 다른 혼합물은 요소공장(운영중인 경우)이나 액체탄산 공장에 보내질 수도 있고 혹은 대기 중으로 흘러나올 수도 있다(Environment Canada,1987).

응축물 스트리퍼 (CONDENSATE STRIPPER)

낮은 온도에서의 전환된 합성 가스의 냉각은 적은 양의 CO_2와 공정 중 만들어진 불순물을 포함하는 응축물을 만들어낸다. 이 응축물은 수증기에 의해 따로 분리되고, 그에 따라 구성요소들은 대기 중에 흘러나오게 된다. 그러나 정상적으로는 과정의 흐름 속에서 함께 재활용되어지게 된다(U.S. EPA, 1985).

3.2.2.1 방법의 선택

방법의 선택은 그림 3.1의 의사결정도에서 보여주듯, 국가적 상황에 따라 달라진다. 배출량은 전체적 연료필요량이나 NH_3의 생산에 사용된 전체 연료 필요량의 산정에서 얻어진 값을 통해 산정될 수 있다. 연료에너지 필요량은 성분별로 분리하여 설명될 수 없다. 에너지 단위 혹은 부피 단위들로 보고되는 가치들은 배출량을 산정할 때에 질량단위로 변경할 필요가 있다.

방법들은 이용 가능한 공장 수준의 자료에 따라 분류될 수 있다. Tier 1 방법은 기본값과 국내 통계 자료에 근거한다. Tier 2 방법은 연료투입유형과 과정유형, 기본값과 구별되는 완벽한 공장 수준의 생산량 자료를 바탕으로 한다. Tier 3 방법은 전적으로 공장수준의 투입자료에만 근거를 둔다.

Tier 3 방법은 공장 수준에서의 생산량 자료와 전체 연료 필요량을 구하기 위한 공장의 생산단위별 연료 투입량을 이용한다. Tier 3는 또한 공장 수준에서의 생산 단위별 배출계수들을 이용하는

데, 이 계수들의 출처는 공장 수준에서의 생산 단위별 연료투입량에 대한 자세한 자료이다.

Tier1 방법

Tier1방법은 다음과 같은 배출량을 얻기 위해 암모니아 생산을 사용한다 :

식 3.1
Tier1 하에서 암모니아 생산 시 배출되는 CO_2

$$E_{CO2} = AP \bullet FR \bullet CCF \bullet COF \bullet 44/12 - R_{CO2}$$

여기서:

E_{CO2} = kg당 CO_2의 배출량
AP = 톤당 암모니아 생산
FR = 생산 단위별 연료필요량, GJ/생산된 암모니아 톤
CCF =연료의 탄소함유량 계수, kg C/GJ
COF = 연료의 탄소 산화 계수, 비율
R_{CO2} = 하류 부분(down흐름) 이용(요소생산) 동안 재생된 CO_2, kg

암모니아 생산과 배출계수들은 국가 통계자료에서 얻을 수 있으며, 배출계수들은 그림 3.1에서 보여주는 기본값에서 결정지을 수 있다. 연료나 과정 유형에 대해 알 수 있는 정보가 없을 경우, 표 3.1에서 찾을 수 있는 가장 높은 배출계수를 사용하는 것도 *우수실행(good practice)*이 된다. 하류 부문 이용을 통해 재생된 CO_2는 다양한 요소생산이나 요소에 대한 CO_2의 화학양론 비율 44/60에 의해 CO_2를 산정할 수 있는 경우, 요소생산의 양을 통해 평가될 수 있다. 추론을 통해 요소생산에 사용되는 CO_2를 살펴볼 경우, 요소 이용 시의 배출량이 인벤토리의 어디든지 포함될 수 있다는 것을 확신하는 데 도움이 될 것이다. 만일 요소생산에 대한 자료를 이용할 수 없다면 재생된 CO_2의 양을 0으로 가정하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

Tier2 방법

첫 단계는 전체연료필요량을 결정하는 것이다. Tier2방법에서 각각의 연료유형을 위한 전체 연료필요량은 다음과 같이 산정될 수 있다 :

식 3.2
Tier2하에서의 암모니아 생산을 위한 전체 연료 필요량

$$TFR_i = \sum(AP_{ij} \bullet FR_{ij})$$

여기서:

TFR_i = 연료의 유형 I에 대한 총 연료 필요량, GJ
AP_{ij} = j 공정 유형에서 연료 유형 i를 사용한 암모니아 생산량, 톤
FR_{ij} = j 공정 유형에서 연료 유형 I에 대한 생산단위별 연료필요량, GJ/생산된 암모니아, 톤

암모니아 생산과 연료유형, 과정유형은 생산자로부터 얻을 수 있는 자료이고 생산단위별 연료 필요량(FR)은 표3.1에서 보여주는 기본값을 통해 결정될 수 있다. 배출량은 식3.3을 통해 얻어진다 :

식 3.3
Tier2와 3 하에서 암모니아 생산 시 배출되는 CO_2

$$E_{CO2} = \sum_i (TFR_i \bullet CCF_i \bullet COF_i \bullet 44/12) - R_{CO2}$$

여기서:

E_{CO2} = kg당 CO_2의 배출량
TFR_i = 연료유형 i에 대한 총 연료필요량, GJ
CCF_i =연료유형 i의 탄소함유 계수, kg C/GJ
COF_i = 연료유 형i의 carbon oxidation 계수, fraction
R_{CO2} = 하류 부분 이용 시 재생된 CO_2 (요소생산, CO_2 수집 및 저장(CCS)), kg

Tier2 방법을 사용할 때, 연료의 탄소함유량(CCD)과 탄소 산화 계수(COF)은 표3.1에서 보여주는 기본값을 통해 얻거나 혹은 국가 고유 에너지 부문 정보에서 얻을 수 있다. 요소 생산 시 재생된 CO_2에 대한 자료와 CCS는 생산자로부터 얻을 수 있다.

Tier3 방법

Tier3방법에서는 연료필요량을 생산자로부터 얻는 것이 필요하다. 전체 연료필요량은 각각의 연료 유형이 보고한 전체 연료 필요량의 합계이다. 즉 :

식 3.4
Tier3 하에서 암모니아 생산 시 필요한 전체 연료의 양

$$TFR_i = \sum_n TFR_{in}$$

여기서:

TFR_i = 연료유형 i를 위한 총 연료필요량, GJ
TFR_{in} = 공장 n에 의해 사용되어지는 연료유형 i에 대한 총 연료필요량, GJ

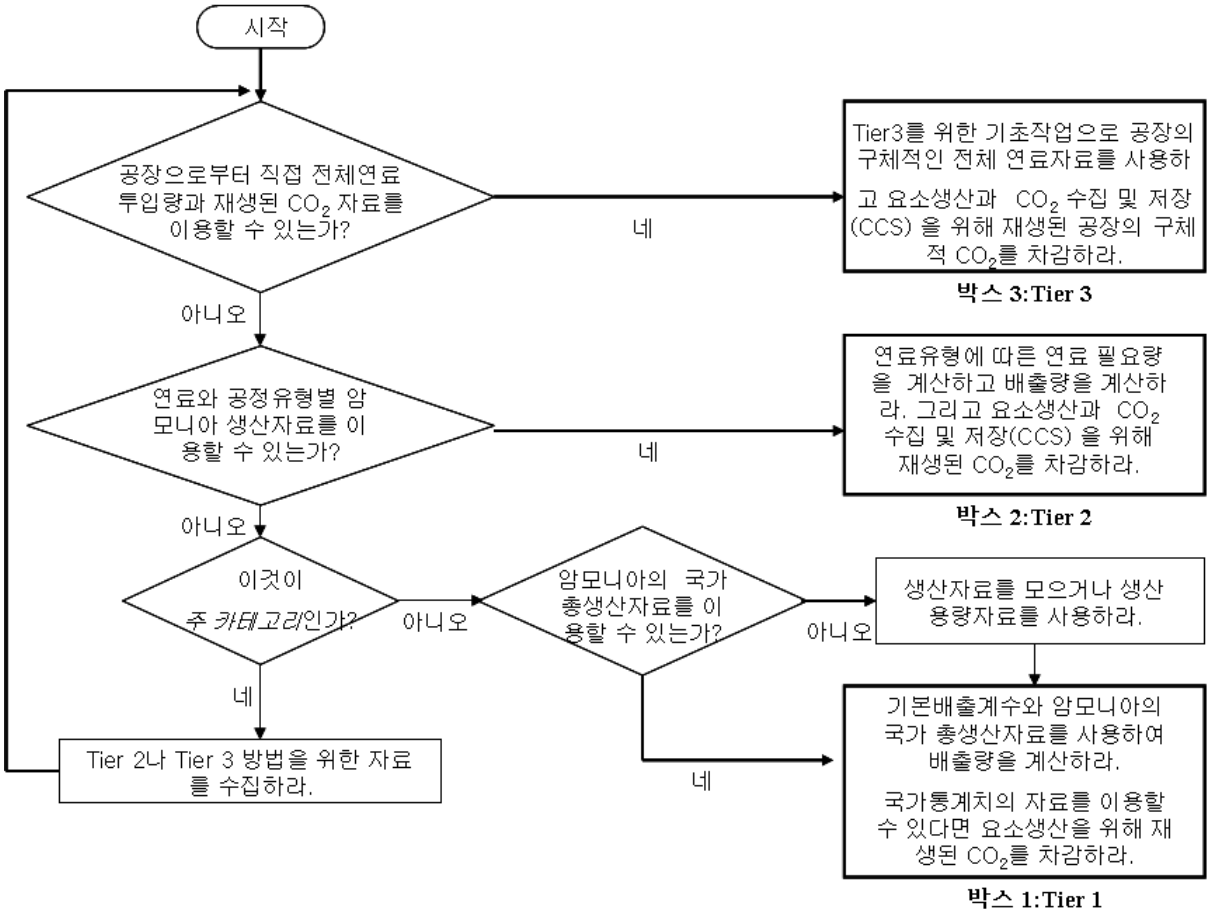
일단 총 연료필요량에 대한 자료가 수집되어 조합되기만 하면, CO_2의 배출량은 식 3.3을 통해 산정될 수 있다. Tier 3 방법을 사용할 때, CCF나 COF에 대한 정보를 생산자나 국가 고유 에너지 부문 정보에서 얻는 것이 좋다. Tier 2 방법을 함께 사용할 때에는 요소 생산 시 재생된 CO_2(만약에 존재한다면)에 대한 자료와 CCS(만약 착수했다면)를 생산자로부터 얻어야 한다.

암모니아 생산에 대한 자료가 Tier 3 방법 하의 계산에서 사용되지 않는다 할지라도, 보고의 목적으로라도 생산자로부터 수집되어야 한다.

박스 3.1
산업 가스를 위해 재생된 CO_2

비교적 적은 부피로 짧은 기간 동안 사용되었고 모든 산업가스 탄소는 제조국가에서 대기 중에 배출된다고 가정되어지기 때문에, 산업용 가스 용도로 재생된 CO_2는 분리되어 설명되지 않는다. 예를 들어 냉동 용도로 사용되어지는 산업용 CO_2 는 제조국가에서 배출되어진다고 가정된다.

그림 3.1 암모니아 생산 시 발생되는 CO_2 배출량의 산정을 위한 의사결정도



주 :

1. 주 카테고리와 의사결정도의 이용을 위해 제1권 4장의 방법론적 선택과 주 카테고리의 확인(제한된 자원과 관련된 4.1.2절도 참고)을 참고하라.

3.2.2.2 배출계수의 선택

Tier 1 방법

만약 공장 수준의 정보를 이용할 수 없다면, 기본계수를 사용하는 것도 좋다. 이 기본값은 종종 중앙치나 전문가들에 의해 결정된 자료의 평균값을 나타낸다. 그 값들이 특정한 공장의 배출률을 어느 정도까지 대표할 수 있는지는 알 수 없다. 생산 과정에서의 기본계수는 표3.1에서 제공되었고 이 값들은 어디까지나 특정 공장의 자료를 이용할 수 없을 때에만 이용해야한다. 기본계수는 에너지 단위로 표현된 생산단위별 전체 연료필요량의 산정치이다. 그 값들은 연료의 탄소함유량과 본 가이드라인 제2권의 '에너지'에서 나온 C 산화 계수에 근거하여 질량 단위로 전환될 수 있다. 이 값들 또한 표 3.1에 포함되어 있고, 이 값들에서 얻어진 NH_3 1 톤 당 CO_2의 양에 대한 배출계수 또한 마찬가지로 표에 나와 있다. Tier1 방법에서 암모니아 1 톤당 가장 높은 값의 총 연료 필요량을 사용하는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다. 만약 연료 유형에 대한 정보를 알 수 없을 때에는 부분적인 산화에 대해 표 3.1에 나와 있는 평균값을 사용해도 좋다.

표 3.1
총 연료 필요량의 기본값(연료와 정제원료의 합)과 암모니아 생산을 위한 배출계수
(NH_3 1 톤 당)

생산공정	총 연료필요량 (GJ(NCV)/톤 NH_3) ±불확도(%)	탄소함량계수 [CCF][1] (kg/GJ)	탄소산화계수 [COF][1] (비율)	CO_2배출계수 (톤 CO_2/톤 NH_3)
최신 공장-유럽 전통적 개질 - 천연가스	30.2(±6%)	15.3	1	1.694
여분의 공기개질 -천연가스	29.7(±6%)	15.3	1	1.666
자열개질-천연가스	30.2(±6%)	15.3	1	1.694
부분산화	36(±6%)	21.0	1	2.772
특정 에너지 소비에 대한 유럽 평균값으로부터 유도된(최신 및 구식 공장의 혼합) 평균값 -천연가스	37.5(±7%)	15.3	1	2.104
평균값- 부분산화	42.5(±7%)	21.0	1	3.273

NCV 순발열량(Net Calorific Value)
[1]. 제2권 에너지, 1장의 표 1.3 및 1.4..로부터의 값

출처: Adapted from EFMA (2000b; p.21); de Beer, Phylipsen and Bates (2001; p.21); 최신 공장에 대한 기본계수는 천연가스(dry basis)에 근거한 탄소함유량을 사용해 구할 수 있고 부분산화기본계수는 잔여 연료 oil에 근거한 탄소함유량에서 구할 수 있다.

Tier 2 방법

표3.1의 생산단위별 전체 연료 필요량의 값은 연료의 탄소함유량이나 탄소 산화계수와 관련된 기본값이나 국가 고유의 자료등과 함께 연료유형과 과정유형에 따른 NH_3 생산 자료와도 연결해서 사용될 수 있다.

Tier 3 방법

전체 연료필요량에 대한 공장 수준의 자료는 암모니아 생산 시 발생되는 CO_2 배출량을 계산하는 데에 가장 정확한 자료를 제공한다. 생산자로부터 CCF나 COF를 얻는 것도 *우수실행(good practice)*이며, 국가의 고유 에너지 부문 자료를 이용하는 것도 좋다. CCF는 CO_2 배출량의 양으로부터 얻을 수 있는 핵심 배출계수이다. 공장 수준의 암모니아 생산을 이용한 배출량의 유도는 다

른 계수에 대한 정보와 함께, 생산단위별 연료필요량에 대한 정확한 산정이 중요하다.

3.2.2.3 활동도 자료의 선택

TIER 1 방법

Tier 1 방법은 NH_3의 국내 생산 자료를 필요로 한다. 만약 국가수준의 활동도 자료를 이용할 수 없으면, 생산용량에 관한 정보를 그 대신 이용할 수 있다. 만약 인벤토리 작성자가 1년 동안의 이용이 생산 용량에 미치지 못한다는 것을 문서화할 수 있으면 약 80%(즉, 70~90%) 정도의 생산용량 이용 계수를 총 국가생산용량을 곱하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 같은 생산용량 이용 계수가 시계열에 따라 매 년 적용되어야만 한다.

TIER 2 방법

Tier2 방법은 연료유형과 생산과정에 의해 분류된 공장수준의 암모니아 생산 관련 자료를 필요로 한다. 게다가 하위부문의 사용이나 다른 용도를 위해 재생된 CO_2 에 대한 공장수준의 자료도 요구된다.

TIER 3 방법

Tier3의 접근법을 위해 요구되는 공장수준의 활동도 자료는 연료 유형과 하위부문의 사용, 다른 용도나 암모니아 생산을 위해 재생된 CO_2 등에 의해 분류된 전체 연료필요량이다. 비록 암모니아 생산이 Tier3 계산에서 사용되지는 않지만, 모든 활동도 자료의 수집은 시간에 대한 변화 및 활동도 자료의 잘못된 보고를 확인하도록 하여 배출량 산정에 영향을 미친다. 공장 수준의 생산 단위 연료 필요량이 사용되는 경우에, 공장수준의 생산 자료 수집이 필요하다.

박스 3.2

이중 계산(DOUBLE COUNTING)

이중 계산을 피하기 위해, 암모니아 생산에서 사용되는 석유나 가스(연료+원료공급)의 총 양은 에너지 부문에서 에너지 사용으로 보고된 양에서 빼야 한다.

게다가 **요소생산**(urea production)에서 하위부문의 사용을 통해 재생된 CO_2의 양은 배출된 CO_2을 유도하기 위해 총 생산된 CO_2의 양에서 차감해야 한다. 요소사용에서 발생된 CO_2 배출량은 상응하는 부문에서 설명되어야만 한다. 특히 비료로서 요소사용 시 발생된 배출량은 **농업, 삼림 및 기타 토지 이용 (Agriculture Forestry and Other Land Use(AFOLU) Sector)** 부문에 포함되어져야 하고(4권을 보시오), 자동차 촉매변환장치에서 요소 사용 시 발생된 배출량은 에너지 부문에서 설명되어야만 한다(2권). 또 과정 중 재생된 CO_2를 이용하여 제조된 다양한 화학물질의 배출량 (즉, 탄산 이용 시의 배출량)은 이번 절에서 제시된 방법론에 포함이 되어있어야 하고 다른 IPPU절이나 다른 부문에서 설명되어서는 안 된다.

박스 3.3

요소생산(UREA PRODUCTION)

요소($CO(NH_2)_2$)(카르보닐 아미드 또는 카르바미드)는 고체비료 중 가장 높은 질소함유량을 가진 중요한 질소 비료이다. 또한 요소는 멜라민 생산 시 수지, 플라스틱, 접착제, 코팅, 섬유 수축방지제, 이온교환수지의 제조 성분으로, 반추동물을 위한 단백질 식품 보충 역할로 사용되며(Austin,1984;pp.311-312), 엔진에 바로 가솔린이나 디젤을 주입함으로서 야기되는 배기가스 내의 NO_X를 저감시키는 선택적 촉매 환원법의 환원제로 사용되기도 한다. 요소의 적용으로부터 발생하는 배출량은 적절한 적용 분야에서 설명되어야 한다.

요소생산은 암모니아 생산 공장과 관련된 하위공정이다. 이 과정은 암모니아와 암모니아 합성 공장에서 배출된 부산물 CO_2 흐름을 함께 사용한다.

요소는 다음과 같은 반응에 의해 요소에서 탈수된 카르밤산암모늄을 생산하기 위한 NH_3와 CO_2의 반응을 통해 생산된다.

Ammonium carbamate production (카르밤산암모늄 생산) :

$$2NH_3 + CO_2 \dashrightarrow NH_2COONH_4$$

Dehydration of ammonium carbamate to urea :

$$NH_2COONH_4 \dashrightarrow CO(NH_2)_2 + H_20$$

NH_3와 CO_2가 요소로 완벽하게 전환했음을 가정하면, 요소 생산 1톤당 CO_2 0.733이 톤이 필요하다. 현대적 공장의 온실가스 배출은 적은 것 같다. 여분의 NH_3와 CO_2는 반응 중 형성되는 공정용수 속에 포함된다. 용수처리는 가스의 재순환을 통해 합성을 가능케 하는 공정용수 속에서 이런 물질들을 재생시키도록 고안되었다(EIPPCB, 2004a; p.118). 현대적 공장을 위한 전형적인 투입물에 기초하여(EIPPCB, 2004a; p.121), 투입값은 요소 1톤당 2-7 kg 범위의 CO_2 배출량을 의미한다. 일일 1000 톤의 요소 생산과 약 90%의 용량이용을 가정하면, 이는 2 Gg을 살짝 초과하는 CO_2의 연간 배출량을 의미한다.

비록 요소생산에서 발생하는 배출량이 현대적 공장에서는 중요하지 않을지 모르지만, 요소생산에 관한 공장 수준의 정보를 수집하여 중요한 배출량을 설명하는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

3.2.2.4 완전성

Tier 3 방법에 대한 공장 보고 부분 자료가 있거나 Tier 2에서 Tier 3로의 변화가 있는 국가에서, 변화 기간 동안의 설비에 관련하여 Tier 3를 사용하여 배출량을 보고하는 것은 어려울지 모른다. Tier 3 방법 하에서의 자료가 모든 공장에서 유용하지 않을 경우, Tier 2 방법이 남은 공장에서 이용될 수 있다. 또한 Tier 2 방법 하에서의 자료가 공장의 일부분에서만 보고되거나, Tier 1에서 Tier 2로의 변화가 존재하면, 보고 하지 않는 제1권 6.11절에 의해 나타나는 생산의 몫을 결정하거나, 변화기간 동안 완전성을 보증하도록 Tier1을 사용하여 남은 배출량을 산정하는 데에 이 정보를 사용할 수 있다.

암모니아 생산에 대한 전체 영역은 모든 배출원으로부터의 배출량의 설명을 필요로 한다. CO_2 배출량은 직접적이다. 완전성은 CO_2 공정의 주요 개질 단계나 촉매를 통한 메탄생성 단계에 CH_4의 탈루성 배출이 포함됨을 확실히 할 때 향상될 수 있다. 주요개질단계에 NO_X, CO and SO_2의 배출

량을 포함시키기 위하여, 제1권 7장: 일반적 가이드라인과 보고화에서 제공되는 가이드라인을 확인하라.

3.2.2.5 일관된 시계열 개발

배출량 계산법이 바뀔 때마다 언제든 CO_2 배출량의 모든 것은 다시 계산되어야만 한다(예를 들어, 만약 인벤토리 작성자가 기본값의 사용을 공장 수준에서 결정된 실제 값의 사용으로 변화시킨다면 모든 것을 다시 계산해야 되는 것이다). 만약 시계열에 따른 모든 시간의 것에 대해, 구체적 생산과 하위부문사용에 대한 공장의 모든 고유 자료를 이용할 수 없다면, 현재의 공장 자료가 이전 년도의 배출량을 재계산하기 위해 어떻게 사용되어질 수 있는 지를 고려해야만 한다. 공장 운영이 실질적으로 변하지 않았다는 가정 하에, 현재 공장 고유의 배출계수를 이전 년도의 생산 자료에 적용하는 것도 가능할지 모른다. 재계산을 할 때에는 배출 경향의 어떤 변화도 진짜임을 확실히 해야 하며 절차에 있어서도 인위적 변화를 두어서는 안 된다. 제1권 5장에서 제공된 가이드라인에 따라 시계열을 재계산해보는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

3.2.3 불확도 평가

3.2.3.1 배출계수의 불확도

표3.1에서 보여준 기본값의 불확도는 EFMA와 de Beer, Phylisen and Bates의 자료에 근거하여 산정된다(1000a; p.21). 일반적으로 기체의 투입과 산출에 관련된 기본배출계수가 고체나 액체 상태의 투입, 산출보다 더 높은 불확도를 지닌다. 기체 물질의 부피는 온도와 압력변화에 의해 영향을 받고, 기체는 공정 과정 중의 누출을 통해 쉽게 손실된다. 공장 수준의 불확도 산정치를 수집하는 것도 좋은데 이는 기본값과 관련된 불확도보다 더 낮아야만 한다. 기본 배출계수 불확도는 다양한 지역의 공장들이 지니는 변화량을 반영한다.

3.2.3.2 활동도 자료의 불확도

활동도 자료가 공장에서 획득될 때, 불확도 산정치는 생산자로부터 얻을 수 있다. 이러한 활동도 자료는 거의 ±2% 정도의 낮은 불확도를 지녀 굉장히 정확할 수 있다. 이것은 연료사용과 암모니아 생산, 재생된 CO_2 대한 불확도 산정치를 포함하고 있을 것이다. 국가통계청에서 획득한 자료에는 대개 불확도가 나와 있지 않다. 그래서 샘플오차에 대한 정보를 얻을 수 있는 지에 대해 국가통계청에 자문을 구하는 것도 좋겠다. 국가 통계청이 암모니아 생산시설로 이루어진 모집단에서 자료를 수집할 경우, 국가적 통계치의 불확도는 공장수준의 협의에서 만들어진 불확도와 다를 것이라 예상되지 않는다. 불확도 값을 다른 출처에서 얻을 수 없으면, ±5 % 정도의 기본값이 사용될 수도 있다.

3.2.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

3.2.4.1 품질보증 및 품질관리

제1권 6장에서 명시된 품질관리 검사를 수행하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 만약 더 높은 tier 방법이 배출량을 결정짓기 위해 사용된다면, 더 광범위한 품질관리 검사와 품질보증 절차가

적절할 것이다. 인벤토리 작성자는 제1권 4장에서 확인된 주 카테고리를 위해 더 높은 tier QA/QC를 사용할 것을 추천한다.

배출계수의 비교 (Comparison of emission factors)

인벤토리 작성자는 산정된 배출계수가 Tier 1 방법 하에서 제공된 기본배출계수의 범위 내에 존재하는 지를 검사해야 하고, 또한 배출계수가 화학 공정 분석에서 얻어진 값들과 일치하는 지도 확인해야 한다. 예를 들어, 천연가스에서의 CO_2 발생률이 생산된 암모니아 1톤당 CO_2 1.14톤 이하가 되어서는 안 된다. 만약 배출계수가 산정범위에서 벗어난다면, 그 차이를 설명하기 위해 공장 고유의 상황을 평가하고 상세히 보고하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

공장의 고유 자료

다음에 이어지는 공장의 고유 자료들은 배출량 산정의 적절한 감사를 위해 요구된다.

- 투입과 산출 자료를 포함하는 활동도 자료
- 계산과 산정 방법
- 가정목록
- 공장의 고유 측정 방법, 측정 결과에 대한 문서화

3.2.4.2 보고 및 문서화

제1장 6.11절에 명시된 국가의 배출량 인벤토리 산정치를 생산하기 위해 요구되는 모든 정보를 문서화하여 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 국가적 조사 보고에서 모든 것을 문서화하는 것은 실용적이지 않다. 그러나 인벤토리는 사용된 방법의 요약을 포함해야 하며, 보고된 배출량 산정치가 명백함과 그들의 계산 절차가 다시 확인될 수 있도록 자료 출처에 대한 레퍼런스를 포함하고 있어야 한다.

생산과 공정 과정의 많은 자료들이 운영자(operator)에 의해 소유권을 인정받을 것이다. 특히 그 나라에 공장 수가 많지 않다면 더욱 그러할 것이다. 그래서 자료의 축적, 신뢰할 수 있는 자료 보호를 보증하는 것 등을 포함하여 적절한 기술을 적용해보는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다. 신뢰할 수 있는 자료를 관리하는 가이드라인은 제1권 2.2절에서 제공된다.

3.3 질산 생산

3.3.1 서론

질산은 질소를 토대로 만드는 비료 제조에 사용되는데, 주로 가공하지 않은 원 상태로 쓰인다. 또한 질산은 아디프산과 폭발물 생산에도 사용되고 금속 에칭(etching)과 철 금속 공정에도 사용된다.

질산(HNO_3)의 생산과정 중에 아산화질소(N_2O)가 생성되는데, 이는 높은 온도에서 암모니아(NH_3)의 촉매산화작용을 통해 만들어지는 뜻밖의 부산물이다. 그리고 생성되는 N_2O의 양은 특히나 연소상황(압력, 온도), 촉매 구성물과 시기, burner 디자인에 따라 달라진다(EFMA, 2000b; p.15). 게다가 약간의 NO_x(질소산화물)도 생산되는데, NO_x의 형성은 그 공정이 그다지 안정적이지 않을

때 시작과 끝부분에 걸쳐 가장 뚜렷하게 드러난다(EFMA, 2000b; p.15). N_2O 또한 산화질소나 질산이 정제원료로 사용되는 다른 산업공정(카프로락탐의 제조, 글리옥살, 핵연료 재생) 중 발생된다. 만약 이것이 줄지 않고, 화학산업에서 N_2O의 배출량이 중요한 배출원이 된다면, 질산은 대기 중에 있는 N_2O의 중요한 배출원이 된다. 반면, 질산 생산에서 발생하는 다른 배출량과는 다르게, N_2O의 분해를 위해 특별히 고안된 좋은 기술은 없다(Perez-Ramirez *at al.*, 2003). 최근 질산 제조 과정 중 발생하는 N_2O의 감축을 위해 많은 기술이 개발되었는데, N_2O와 NO배출이 동시에 줄어드는 tail-gas 공정(암모니아의 추가물이 tail-gas 공정에 요구됨)과 platinum gauzes와 실물 크기의 촉매 분해 옵션 후에 바로 이어지는 직접 접촉 분해를 포함하는 공정기체 옵션이 이에 해당한다.

질산 플랜트의 유형은 single pressure 플랜트와 dual pressure 플랜트로 나눠지는데, single pressure 플랜트에서는 산화와 흡수과정이 본질적으로 똑같은 압력 하에서 발생하고 dual pressure 플랜트에서는 흡수과정이 산화과정보다 더 높은 압력 하에서 일어난다.

3.3.2 방법론적 이슈

질산 생산은 다음과 같이 정리되는 세 가지의 뚜렷한 화학반응을 수반한다.

$$4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_20$$
$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$
$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO$$

질산 생산 시에 발생하는 아산화질소의 생성은 증명하기가 쉽지 않다. 질소의 산화과정은 전체적인 환원조건이 N_2O의 잠재적 배출원으로 고려되는 상황 하에서 단계를 거쳐 이루어진다. 또한 질산 생산 시 매개가 되는 일산화질소(NO)가 30~50℃의 온도에서 높은 압력 하에 쉽게 N_2O와 이산화질소(NO_2)를 분해한다는 것이 증명되고 있다(Cotton and Wilkinson,1988).

Perez-Ramirez *at al.* (2003; p.123)은 N_2O의 형성을 야기시키는 암모니아의 산화 과정을 다음과 같은 3가지의 매개 반응으로 구체화했다 :

$$NH_3 + O_2 \rightarrow 0.5N_2O + 1.5H_2O$$
$$NH_3 + 4NO \rightarrow 2.5N_2O + 1.5H_2O$$
$$NH_3 + NO + 0.75O_2 \rightarrow N_2O + 1.5H_2O$$

N_2O나 N_2의 형성을 이끄는 반응들은 그들이 NH_3의 전환 효율성을 저감시키고 바람직한 상품인 NO (Perez-Ramirez *at al.* (2003; p.124)의 생산을 줄게 했다는 점에서 바람직하지 않다. 일반적으로, 형성되는 N_2O의 양은 연소 조건(압력, 온도), 촉매 구성물과 시기(age), 연소기 디자인에 달려 있기 때문에(Perez-Ramirez *at al.* (2003; p.124), NH_3의 투입과 N_2O 형성의 정확한 관계를 규정하기는 어렵다. N_2O의 배출은 생산 공정에서 재생된 양과 그 후의 완화 공정에서 분해된 양에 달려 있다. N_2O의 제거는 그것의 분해를 위해 고안된 시설을 설치함으로써 의도적이 될 수도 있지만, NO_X와 같은 다른 배출량을 저감시키기 위해 고안된 체제 하에서는 의도된 것이 아닐 수도 있다.

Perez-Ramirez *at al.* (2003; p.126)은 다음과 같이 제거에 대한 접근을 분류했고, 각각의 접근과 관련된 저감 대책은 표3.2에 제시되었다.

• 1차 저감 대책은 암모니아 연소기에서 형성되는 N_2O를 막는 것이 목적이며, 이는 암모니아의 산화 공정과 산화 촉매의 변형을 포함한다.

• 2차 저감 대책은 가치 있는 중간 생산물 흐름으로부터 즉, 암모니아 전환기와 흡수 칼럼 사이에 존재하는 NO_X 가스로부터 N_2O를 제거하는 것이다. 대개 이것은 가장 높은 온도에서 암모니아 산화 촉매의 하류로 바로 개입하는 것을 의미할 것이다.

• 3차 저감 대책은 N_2O를 분해시키는 흡수 칼럼을 빠져나가는 배출 가스(tail-gas)의 처리를 포함한다. N_2O 저감에 대한 가장 좋은 위치는 배출 가스 팽창 터빈의 상류 부분이다.

• 4차 저감 대책은 순수 배출구 방법(pure end-of-pipe solution)으로, 이 때 배출가스는 굴뚝으로 나가는 도중의 팽창기의 하류에서 처리된다.

표 3.2
N_2O의 저감 접근법과 저감 측정법

저감 접근법	저감 측정법
1차 저감	• 최적산화공정 • 플래티늄-로듐 gauze의 변형 • 산화에 근거한 연소촉매
2차 저감	• burner에서 균일 분해 • burner에서의 촉매분해(공정가스촉매분해) • burner의 촉매분해 하위부문(downstream) (흡수column 적용 전)
3차 저감	• 열분해 • 비선택적 촉매환원(NSCR) • Tail-gas 촉매분해 • 선택적 촉매분해(SCR)
4차 저감	• 비선택적 촉매환원(NSCR) • 촉매분해 • 선택적 촉매 환원(SCR)

출처 : Perez-Ramirez *at al.* (2003)에서 개조

저감 작업의 성공은 '높은 수준의 N_2O 제거 성공을 가능케 하는 것으로 일컬어지는 (>99%)' (Perez-Ramirez *at al.*, 2003;p.136) 3차 대책이 도입된 기술에 달려있다. 게다가 NSCR이 N_2O 환원을 위한 확인된 기술이지만, NO_X의 환원을 위해 SCR 시스템에서 NSCR로의 대체하는 것은 N_2O 환원을 위한 적용에 있어 부작용을 가져온다. 게다가 'NSCR은 높은 연료 소비 수준과 이차 배출량 때문에 더 이상 실용적인 옵션이 아닌 것 같다' (Perez-Ramirez *at al.*, 2003;p.137).

미래의 기술 채택은 비용 효과성과 배출량의 엄격한 규제에 달려있다. 기존의 플랜트(plant)보다는 새로운 플랜트를 위해 보다 비용 효율이 높은 옵션이 사용될 것이다. 배출 가스 옵션은 그들이 공정에 아무런 방해를 일으키지 않으므로 매력적일 수 있다. 723K보다 높은 배출 가스의 온도를 가진 플랜트에서 N_2O를 직접 분해하는 것도 매우 매력적이나, 유럽의 질산 플랜트 중 약 2/3가 낮은 온도의 배출 가스를 갖고 있다. 이 때문에 예열을 하거나 환원제(가벼운 탄화수소 또는 암모니아)가 필요하며 사후처리를 금지시킨다. 따라서 가장 명쾌하고 비용 효율적인 옵션은 공장(암모니아 연소기)의 핵심 부분에 위치하고 있는 공정 기체의 촉매 분해이다. 이 저감 옵션에 대한 관심

은 가능한 NO의 손실 뿐 아니라 촉매의 화학적, 기계적 안전성에 대한 것인데, 여러 촉매 제조사와 질산 생산자는 이 문제를 다루고 있고, 촉매는 산업화의 초기 단계에 머물러 있다. 배출 가스 옵션에 유익하거나 혹은 그 반대인 상황으로, 이러한 기술은 회고적으로 현존하는 모든 공장에 적용될 수 있다. 이 옵션에 대한 많은 논의들은 Perez-Ramirez *at al.* (2003)에서 제공된다.

3.3.2.1 방법의 선택

*우수실행(good practice)*을 선택하는 것은 국가의 상황에 달려 있다. 표3.2에 나와 있는 의사결정도는 국가 상황에 맞게 방법을 절충시키는 *우수실행(good practice)*을 묘사하고 있다.

- 배출량을 항상 직접 측정하는 지속적 배출량 모니터링(CEM)
- 배출량 계산을 위해 산출물(100 % HNO_3)에 곱해지는 배출계수를 유도하기 위하여, 일반적 공장 운용 패턴을 반영하는 기간 동안 착수된 주기적 배출량 모니터링
- 배출량 계산을 위해 산출물(100 % HNO_3)를 통해 증가된 배출계수를 얻기 위한 불규칙적 표본조사
- 산출물(100% HNO_3)에 기본배출계수를 곱함으로써.

방법들은 이용할 수 있는 공장수준의 자료 정도에 따라 분류될 수 있다. Tier 2와 Tier 3은 공장수준의 활동도 자료에 기초한 것이다.

Tier 1 방법

배출량은 다음과 같이 산정된다 :

식 3.5
질산생산 시 발생하는 배출량 N_2O - Tier 1

$$E_{N2O} = EF \bullet NAP$$

여기서:

E_{N20} = N_2O 배출, kg
EF = N_2O 배출계수(기본), N_2Okg/생산되는 질산 1톤
NAP = 톤단위의 질산생산

Tier1 방법을 적용할 때, N_2O 배출의 저감이 없다고 가정하는 것과, 표 3.3에 나와 있는 기술유형에 근거하여 가장 높은 기본배출계수를 사용하는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 수 있다.

Tier 2 방법

공장 유형에 따라 N_2O 발생 계수에 상당한 변화를 주며 질산을 생산하는 공장이 많이 있다(Choe et al., 1993; Bockman and Granli, 1994에 따르면 255개에서 600개 정도로 산정). 결론적으로 질산성 N_2O의 배출량을 산정하기 위해 종종 기본계수가 더 많이 요구될지 모른다. 기본값이 질산 생산에서 발생하는 배출량을 산정하기 위해 사용되는데, 이 때 공장의 유형과 적절한 N_2O 발생 계수 사용을 통해 공장을 분류해보는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

Tier2 방법은 기술유형과 기본배출계수를 통해 분해되는 공장 수준의 자료를 사용하는데. 이 때 기본배출계수는 기술 유형에 따라 분류된다. 배출량은 다음과 같이 계산된다 :

식 3.6
질산생산 시 발생하는 배출량 N_2O -Tier2

$$E_{N2O} = \sum_i [EF_i \bullet NAP_i \bullet (1\text{-}DF_j \bullet AUSF_j)]$$

여기서,

E_{N20} = N_2O 배출, kg
EF = N_2O 배출계수(기본), N_20kg/생산되는 질산 1톤
NAP_i = i 유형 기술을 이용한 톤단위의 질산생산
DF_j = j 유형의 저감 기술을 이용한 분해계수, fraction
$AUSF_j$ = j 유형의 저감 기술을 이용한 저감시스템 이용계수, fraction

표 3.3에 나와 있는 기본배출계수는 관련된 저감기술의 배출에 미치는 영향력을 포함한다. 이 계수를 이용하기 위해서, 인벤토리 작성자는 저감 기술이 개별 공장에 설치되어 있는 지의 여부와 그것이 1년 내내 작동되고 있는지를 확인해야만 한다.

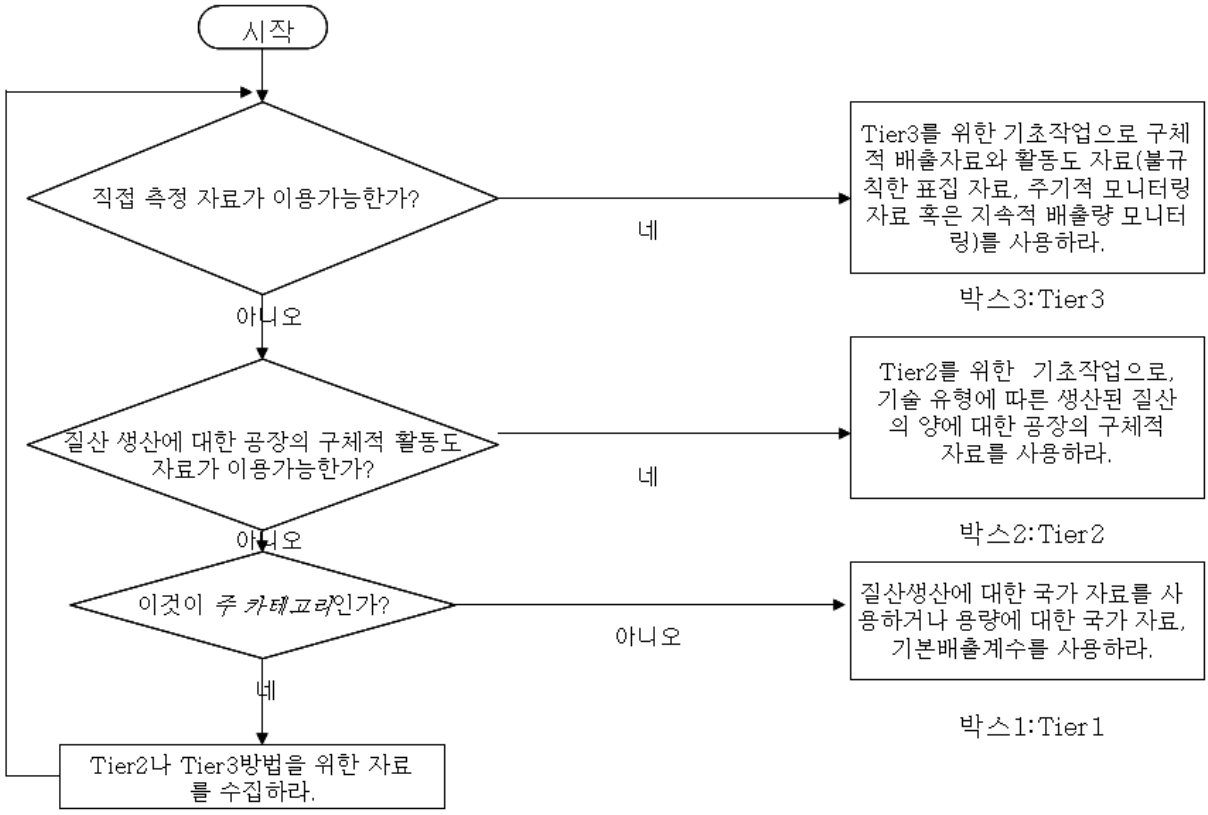
N_2O 배출량 산정을 위한 기본 방정식은 N_2O 감축기술의 잠재적인 미래 사용에 대한 추가적인 사항을 포함하고 있다. N_2O 분해계수는 배출 감축설비의 비 사용시간(down-time)에 대한 계산을 위하여 감축시스템 이용계수를 곱해야 한다(예 : 설비가 운영되지 않는 시간).

Tier 3 방법 - 직접 측정

Tier 2 접근이 국가의 기술 혼합을 반영하는 고유 배출계수 기술을 사용하는 반면에, Tier 3는 CEMS와 같은 실제 측정 자료를 근거로 한다. 기술 유형과 공장 수준의 배출계수에 의해 분해되는 공장 수준의 자료는 배출량의 직접 측정에서 획득된다. 이것은 N_2O를 배출하는 불규칙한 표본에서 얻은 것일 수도 있고, 일반적 공장 운용 패턴을 반영하는 기간 동안 착수된 주기적인 N_2O 배출량 모니터링을 통한 것일 수도 있다. 배출량은 식3.6을 사용해 얻을 수 있다.

대안적으로, 대부분의 공장들이 자원 비용 때문에 CEM을 사용하지 못하고 있긴 하지만, Tier 3 방법은 지속적 배출량 모니터링(CEM)의 결과를 사용한다. CEM이 사용되면, 배출량이 측정된 N_2O 배출의 합계에 근거하여 산정될 수 있다. 이 때 N_2O 배출의 합계는 모니터링된 배출량의 기록 간격을 통해 얻어진 N_2O의 농도로부터 얻어진다.

그림 3.2 질산 생산 시 발생되는 N_2O 배출량의 산정을 위한 의사결정도



주 :

1. 주 카테고리와 의사결정도의 이용을 위해 제1권 4장의 방법론적 선택과 주 카테고리의 확인(제한된 자원과 관련된 4.1.2절도 참고)을 참고하라.

3.3.2.2 배출계수의 선택

Tier 1 방법

표 3.3에 나와 있는 기술 유형에 근거하여 가장 높은 배출계수를 사용하거나 배출된 N_2O에 아무런 저감이 없다고 가정하는 것도 *우수실행(good practice)*다.

Tier 2 방법

만약 공장 수준의 계수를 이용할 수 없다면, 기본계수를 이용하는 것도 좋다. 이 기본값은 종종 자료의 중앙치나 평균값(전문가 분석에 의해 결정된)을 나타낸다. 그들이 특정 공장의 배출량을 대표하는 정도는 알려져 있지 않다. 표 3.3의 기본계수는 오로지 공장 고유의 측정이 가능하지 않을 경우에만 사용되어야 한다.

표3.3은 N_2O 배출계수와 관련된 불확도를 포함하고 있다. 비선택적 촉매 환원(NSCR),(N_2O 저감을 위해서도 이용될 수 있는 NO_X 저감 기술)을 이용하는 공장을 위해 표 3.3에 명시된 계수들은 벌써 N_2O 저감 측정의 효과를 나타내고 있다. 이러한 계수들을 이용하기 위해 인벤토리 작성자는 저감기술이 개별 공장에 설치되어 있는지와 1년 내내 가동되고 있는 지에 대해 확실히 해야만 한다.

Tier 3 방법

공장 측정치들은 순 배출량(net emission)을 계산하는 데에 가장 정밀한 자료를 제공한다 (즉, N_2O 생성 및 분해 계수). 질산 생산 시 N_2O 배출을 모니터링하는 것은 이것이 점오염원이며 공장 수가 한정적이기에 실용적이다. 현재 이용 가능한 기술을 통해, 표본과 모니터링된 배출량을 계측하는 것은 전반적 측정에 대한 정확성이나 정밀성을 한정하지 않는다. 대개 시료 채취 빈도와 시간은 시스템상의 오류를 피하고, 바람직한 정확성의 수준을 달성하기에 충분하다.

일반적인 규칙으로, 공장이 N_2O 생성량에 영향을 미치는 중요한 공정 변화를 이룩해낼 때마다 표본 추출과 분석을 수행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 또 공장 운용 조건이 일정하다는 것을 충분히 증명하는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다. 게다가 공장 운영자는 시간의 흐름에 따라 기술도 많이 변화되므로 매년 그들이 사용할 고유 분해 기술을 결정하고, 사용을 확정하기 위해 자문을 받아야 한다. 배출량과 저감 효율의 정확한 측정을 위해서는 배출 흐름(exit 흐름)과 제어되지 않은 흐름(흐름)에서의 측정이 모두 필요하다. 만일 측정 자료가 오직 배출 흐름에서만 이용가능하다면, 이 자료에 배출량의 근거를 두는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 이런 경우에, 이용할 수 있는 저감효율 산정치는 정보목적으로만 제공되어야 하고 배출량 계산을 위해 사용되어서는 안 된다.

표 3.3
질산생산을 위한 기본계수

생산공정	N_2O 배출계수 (100% 순수 산(pure acid)과 연관)
NSCR을 사용하는 공장 (모든 공정)	2 kg N2O/톤 nitric acid ±10%
통합 공정이나 배출가스 N_2O 분해를 사용하는 공장	2.5 kg N2O/톤 nitric acid ±10%
대기압 공장 (낮은 압력)	5 kg N2O/톤 nitric acid ±10%
중간 압력 연소 공장	7 kg N2O/톤 nitric acid ±20%
고압력 공장	9 kg N2O/톤 nitric acid ±40%

[a]비선택적 촉매환원법 (NSCR).
출처: van Balken (2005).

3.3.2.3. 활동도 자료의 선택

가능하다면, Tier 2나 Tier 3 방법의 사용이 허락된 생산 자료를 세부적인 수준까지 수집하는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 또 활동도 자료는 100 % HNO_3에 기초해야 한다, 따라서 보고된 모든 생산 자료가 100 % HNO_3에 해당되는 지를 확실하게 하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 1 방법

Tier1방법은 질산의 국가적 생산 자료를 필요로 한다. 국가차원의 질산 통계는 국가 전체 자료 중 상당 부분을 생략할지도 모른다(3.3.2.4절의 완전성을 참고하시오). 만약 국가 수준의 활동도 자료를 이용할 수 없으면, 생산용량에 관한 정보가 사용될 수 있다. 80% ±10%의 용량이용계수(범위는 70-90%)에 국가 전체의 생산 용량을 곱하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법

Tier2방법은 기술 유형과 저감시스템 유형에 의해 분해될 수 있는 공장수준의 자료를 필요로 한

다. 생성과 분해 관련 자료를 지닌 채 세부적이고 일관적인 수준으로 활동도(생산)자료를 수집하는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 전형적인 공장 수준의 생산 자료는 정확한 정보를 소유하는 것에 대한 경제적 가치 때문에 ±2%의 불확도를 갖는 것으로 가정된다.

Tier 3 방법

Tier2방법에서는 기술 유형과 저감시스템 유형에 의해 분해될 수 있는 공장 수준의 생산 자료가 필요하다. 따라서 생성과 분해 관련 자료를 지닌 채 세부적이고 일관적인 수준으로 활동도(생산) 자료를 수집하는 것도 *우수실행(good practice)*이다. CEM에 근거한 산정을 하였을 경우, 생산 자료가 배출량의 산정을 위해 사용되지 않는다 할지라도, 배출량에 영향을 미치는 변수들의 변화가 계속해서 모니터링될 수 있음을 보증하기 위해 이러한 자료는 꼭 수집되고 보고되어야만 한다. 전형적인 공장 수준의 생산 자료는 정확한 정보를 소유하는 것에 대한 경제적 가치 때문에 ±2%의 불확도를 갖는 것으로 가정된다.

3.3.2.4 완전성

국가적 차원에서 수집된 질산생산 통계는 생산을 과소평가할 가능성이 있다. 질산생산에 대해 국가적 자료를 수집한 세계 통계와 세계 생산에 대한 산업 산정치를 비교한 연구는 국가적 통계가 겨우 총 생산량의 50-70%만 차지한다고 주장했다(Bouwman et al.,1995; Olivier,1999). 이것은 아마도 더 큰 생산 공정의 일부분으로 통합되어지는 질산생산의 특징 때문일 것이다. 질산 생산은 결코 통상(commerce)에 포함되지 않고, 국가 통계치 속에 계산되지 않는 것이다. 따라서 그들의 존재를 NO_X 배출량 그리고 질산 생산과 관련해 의도되지 않은 부산물들과 관련된 국가의 레지스트리 안에서 확인하는 방법을 통해 이 원인을 설명하는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

N_2O를 저감시키기 위해 고안된 NSCR과 SCR 시스템은 CO, CO_2, hydrocarbon (CH_4 and $NMVOC_S$)의 추가적 배출을 야기할 수도 있다. 이러한 배출량은 사용되는 탄화수소 환원제(메탄(CH_4)), 프로판(C_3H_8), 프로펜(C_3H_6), LPG)의 영향을 받는다. 배출량은 사용되는 환원제의 양과 연소 완전성에 근거해 산정될 수 있고, 배출량 산정을 위해 공장수준의 정보가 필요할 것이다. 시간이 흐른 뒤 더 많은 정보가 이용 가능해지면 기본값이 개발될 수 있겠지만, 현재에는 그런 기본값이 없다. 그러나 이러한 배출량을 산정하는 방법은 이 가이드라인 속에 포함되어 있지 않으므로, 인벤토리 작성자는 이러한 배출량을 조사하고 적당한 방법론을 개발할 것을 권고 받는다.

보통 한 국가 안에 질산 생산 공장이 많지 않으므로, 배출량은 공장의 고유 자료를 통해 계산되어진다. 오로지 Tier3 방법에 대한 공장 보고의 한 영역이나, Tier 2에서 Tier 3로 변화가 있는 나라에서는, 변화가 지속되는 동안 모든 시설에 대해 Tier 3를 사용하여 배출량을 보고하는 것이 불가능할지 모른다. Tier 3 방법의 자료를 모든 공장에서 이용할 수 없는 경우, Tier 2가 나머지 공장에서 사용될 수 있다. 또한 Tier 2 방법에 대한 자료가 오로지 공장의 한 부분에서만 보고되거나 Tier 1에서 Tier 2로의 변화가 있는 경우, 보고하지 않은 공장에 의해 나타나는 생산 몫을 결정하거나 이 정보를 통해 변화 기간 동안의 완전성을 보증하기 위해 Tier1을 사용하여 남은 배출량을 산정하는 것이 가능할 수 있다.

3.3.2.5 일관된 시계열 개발

배출량 계산법이 바뀔 때마다 언제든 N_2O 배출량의 모든 것은 다시 계산되어야만 한다(예를 들

어, 만약 인벤토리 작성자가 기본값의 사용을 공장 수준에서 결정된 실제 값의 사용으로 변화시킨다면 모든 것을 다시 계산해야 되는 것이다). 만약 시계열에 따른 모든 시간에 대해, 고유 생산 자료를 이용할 수 없다면, 현재의 공장 측정이 이전 년도의 배출량을 재계산하기 위해 어떻게 사용되어질 수 있는 지를 고려해야만 한다. 공장 운영이 실질적으로 변하지 않았다는 가정 하에, 현재 공장의 고유 배출계수를 이전 년도의 생산 자료에 적용하는 것도 가능할지 모른다. 재계산을 할 때에는 배출 경향의 어떤 변화도 진짜임을 확실히 해야 하며 절차에 있어서도 인위적 변화를 두어서는 안 된다. 제1권 5장에서 제공된 가이드라인에 따라 시계열을 재계산해보는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

3.3.3 불확도 산정

3.3.3.1 배출계수의 불확도

표3.3에 나와 있는 기본값에 대한 불확도는 전문가의 판단에 근거해 산정될 수 있다. 일반적으로 기체 물질에 대한 기본배출계수는 더 높은 불확도를 갖는데, 이는 기체 물질의 부피가 온도와 압력변화에 의해 영향을 받고, 공정 과정 중의 누출을 통해 쉽게 기체가 손실될 수 있기 때문이다. 질산생산에 대한 기본값은 두 가지 이유 때문에 상대적으로 더 높은 불확도를 갖는다. 이 중 첫째 이유는 N_2O가 의도하지 않은 부산물로서 질산 생산의 거즈(gauze) 반응기 부분에서 생성될지도 모르기 때문이고, 두 번째는 배기가스가 NO_X 조절을 위해 처리될지의 여부와 NO_X 저감 시스템이 처리된 가스[1]에서의 N_2O 농도를 감소시킬 수 있는지(혹은 심지어 증가시킬지)에 대한 여부 때문이다. 따라서 기본값과 관련된 불확도 수치보다 더 낮아야 하는 공장 수준의 불확도 산정치를 구하는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

3.3.3.2 활동도 자료의 불확도

활동도 자료가 공장에서 획득될 때, 불확도 산정치는 생산자로부터 얻을 수 있다. 국가통계청에서 획득한 자료에는 대개 불확도가 나와 있지 않다. 그래서 샘플오차에 대한 정보를 얻을 수 있는 지에 대해 국가통계청에 자문을 구하는 것도 좋겠다. 국가 통계청이 질산 생산시설로 이루어진 모집단에서 자료를 수집할 경우, 국가적 통계치의 불확도는 공장수준의 협의에서 만들어진 불확도와 다를 것이라 예상되지 않는다. 불확도 값을 다른 출처에서 얻을 수 없으면, ±2% 정도의 기본값이 사용될 수도 있다. 불확도를 줄이기 위해 활동도 자료가 100 % HNO_3에 대한 것임을 확실히 하는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

3.3.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

3.3.4.1 품질보증 및 품질관리

제1권 6장에서 명시된 품질관리 검사를 수행하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 만약 더 높은 tier 방법이 배출량을 결정짓기 위해 사용된다면, 더 광범위한 품질관리 검사와 품질보증 절차가

[1] 몇몇 경우에, NO_X 배출을 줄이기 위해 고안된 공정들은 부가적인 N_2O의 생성을 초래할지 모른다. NO_X 저감기술 때문에 증가된 N_2O 농도가 NO_X를 위해 비촉매적 환원을 사용하는 여러 발전소에서 측정되고 있는 것이다(Cook,1999). 최소한 하나의 질산 공장에서, NO_X 제어가 N_2O 배출량의 증가를 야기시키는 것이 알려져 있다(Burtscher,1999).

적절할 것이다. 인벤토리 작성자에게 제1권 4장에서 확인된 주 카테고리를 위해 더 높은 tier QA/QC를 사용할 것을 추천한다.

다른 접근법을 사용한 배출량 산정값과의 비교
만약 배출량이 개별 질산공장에서 나온 자료를 사용해 계산된다면(상향식 접근), 인벤토리 작성자는 산정치를 국가적 생산 자료를 사용해 계산된 배출량과 비교해야만 한다(하향식 접근). 그들은 그 결과를 기록하고 설명되지 않은 차이에 대해 조사해야만 한다.

산업 N_2O 배출원 카테고리가 다른 인위적 및 자연적 배출원과 비교해 볼 때 상대적으로 적기 때문에, 배출량을 대기 중 N_2O 농도 측정값의 경향과 비교하는 것은 적절하지 않다.

공장 수준의 자료
인벤토리 작성자는 첫 해의 시작부터 시계열에 따라 배출량에 대한 독립적인 재검을 하고, 역사적 비교를 행할 때 배출량에 대한 경향을 설명할 수 있도록 충분한 정보를 보관해야 한다. 이는 특히 나 인벤토리 작성자가 사용하던 기본값을 공장 수준에서 결정된 실제 값으로 변화시키는 것처럼 재계산이 꼭 필요한 경우에 중요하다.

직접 배출 측정의 개정(Revision of direct emission measurements)
만약 공장수준의 N_2O측정이 가능하다면, 인벤토리 작성자는 세계적으로 인정받는, 표준방법이 사용되었는지를 확인해야만 한다. 또 만약 측정실행이 이 기준에 부합하지 않는다면, 그 다음에 그들은 이 배출 자료의 사용을 평가해야만 한다. 게다가 그들은 QA/QC결과의 관점에서 불확도 산정치를 재고해야만 한다.

인벤토리 작성자는 공장의 고유 계수들이 적정하다는 것을 보증하기 위해 공장에 근거한 계수들을 IPCC 기본값들과 비교해야만 한다. 그들은 또한 공장의 고유 계수와 기본계수의 어떠한 차이, 특히 이 차이점을 야기했을지 모르는 공장 특성에 대한 차이까지 설명하고 문서화해야만 한다.

3.3.4.2 보고 및 문서화

제1장 6.11절에 명시된 국가의 배출량 인벤토리 산정치를 산출하기 위해 요구되는 모든 정보를 문서화하여 보관하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

이 배출원 범위와 관련된 보고와 문서화의 구체적인 예는 아래에 제공된다.

- 사용된 방법의 기술;
- 질산생산 공장의 수;
- 배출계수;
- 생산자료;
- 생산용량;
- 저감기술을 사용하는 공장의 수;

- 저감기술의 유형, 분해효율, 이용;
- 다른 여타의 가정들.

공장 운영자는 인벤토리 작성자가 편집할 수 있도록 이 정보를 공급하고, 사이트에 그 정보를 보관해야 한다. 또한 공장운영자는 실제 공장 측정에서 사용된 측정 빈도와 도구의 눈금측정 기록을 보관해야만 한다.

한 국가 안에 한, 두명의 생산자만 있다면, 활동도 자료가 비밀스레 생각될지 모른다. 이 경우, 운영자와 인벤토리 작성자는 기밀성을 유지하면서 보고될 수 있을 정보의 수집 수준을 결정해야만 한다. 도구 기록을 포함한 자세한 정보는 여전히 공장수준에서 보관되어야 한다.

국가적 조사 보고에서 모든 것을 문서화하는 것은 실용적이지 않다. 그러나 인벤토리에는 사용된 방법의 요약이 포함되어 있어야 하며, 보고된 배출량 산정치가 명백하다는 것과 그 계산 절차가 다시 확인될 수 있도록 자료 출처에 대한 참고문헌을 포함하고 있어야 한다.

3.4 아디프산 생산

3.4.1 서론

아디프산은 합성섬유, 코팅, 플라스틱, 우레탄폼, 합성고무, 합성윤활유등을 포함한 다양한 제품을 생산하기 위해 사용되며, Nylon 6.6을 생산할 때에는 아디프산 사용이 대부분을 차지한다. Hocking(1998; p.657)이 언급했듯이, 'Nylon 6.6을 생산할 때 아디프산은 직접적으로 소비되나, 나일론 합성원료 중 하나인 헥사메틸렌디아민(hexamethylenediamine)과 다른 모노머(monomer)를 만들기 위해 아디프산의 상당량이 처리되기도 한다. 또 적은 양의 아디프산이 di-octyl (di-2-ethylhexyl)이나 di-hexyl 에스테르로 전환되는데, 이는 PVC(염화비닐) 유연도에서의 가소제나 합성 모터유(motor oil)의 높은 끓는점 성분으로 사용되기 위한 것이다.

3.4.2 방법론적 이슈

아디프산은 이것을 제조하기 위한 촉매 중 질산에 의해 산화된 시클로헥사논과 시클로헥산올의 혼합물에서 만들어지는 디카르복시산이다. 아산화질소(N_2O)는 질산의 산화 단계에서 생겨나는 뜻밖의 부산물이다 :

$$(CH_2)_5CO\ (\text{Cyclohexanone}) + (CH_2)_5CHOH\ (\text{Cyclohexanol}) + wHNO_3 \rightarrow HOOC(CH_2)_4COOH(\text{Adipic Acid}) + xN_20 + yH_20$$

N_2O가 저감되지 않는 한, 아디프산은 대기에 존재하는 N_2O의 중요한 배출원이다. N_2O의 배출은 생산 공정과 저감과정에서 각각 생성되고 분해되는 양에 달려있는데, N_2O의 저감은 아디프산 공장에서 N_2O를 분해시키기 위해 특별히 고안된 설비를 설치함으로써 의도될 수 있다. 아디프산의 생산은 또한 NMVOC와 CO, NO_X의 배출도 야기시킨다. 아디프산 생산의 공정 배출량은 사용되는 배출제어시스템의 수준에 따라 상당히 다양해질 수 있다.

3.4.2.1 방법의 선택

그림 3.3의 의사결정도는 국가 환경에 맞도록 방법을 변경하는 것에 대한 좋은 예를 설명하고 있다. 배출량은 지속적 배출량 모니터링(continuous emissions monitoring; CEM : 배출량을 계속해서 직접 측정하는 것)과 주기적 배출량 모니터링을 통해 산정될 수 있는데, 주기적 배출량 모니터링이란 배출계수를 구하기 위해 공장의 일반적 패턴을 반영하여 그 주기마다 배출량 모니터링을 하는 것이다. 또 이때의 배출계수는 배출량을 얻기 위한 생산물과 배출량을 얻기 위해 생산물로 인해 증가된 배출계수를 유도하는 불규칙한 표본, 그리고 생산물에 의한 증가된 기본배출계수에 의해 증가될 수 있다.

방법들은 이용 가능한 공장 수준의 자료 정도에 따라 분류될 수 있고, Tier 2와 Tier 3 방법은 공장수준의 활동도 자료를 필요로 한다.

Tier1 방법

배출량은 다음과 같이 산정된다. :

식 3.7
Tier1 하에서의 아디프산 생산시 발생하는 N_20배출량

$$E_{N20} = EF \bullet AAP$$

여기서:

E_{N2O} = N_2O 배출, kg
EF = N_2O 배출계수 (기본배출계수), N_2O생산(kg)/아디프산 생산량 (톤)
AAP = 아디프산 생산, 톤

Tier 1 방법을 적용할 때, 표 3.4에 나와 있는 가장 높은 배출계수를 사용하고 배출된 N_2O에 아무런 저감이 없다고 가정하는 것도 *우수실행(good practice)*이다

Tier 2 방법

Tier 2 방법은 공장 수준의 생산 자료와 기본배출계수를 사용한다. 배출량을 산정하기 위해 기본값을 사용하는 경우, 사용된 저감기술유형과 저감기술의 이용계수에 따라 공장을 분류해 보는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 배출량은 다음과 같이 계산된다 :

식 3.8
Tier2 하에서의 아디프산 생산시 발생하는 N_2O 배출량

$$E_{N20} = \sum_i [EF_i \bullet AAP_i \bullet (1-DF_j \bullet AUSF_j)]$$

E_{N2O} = N_2O 배출, kg
EF_i = 기술유형 *i*에 대한 N_2O 배출계수, N_2O 생산량(kg)/아디프산 생산량 (톤)
AAP_i = 기술유형에 따른 *i*에 따른 아디프산 생산, 톤
DF_j = 저감기술유형 *j*에 대한 분해계수, 비율
$AUSF_j$ = 저감기술유형 *j*에 대한 저감시스템 이용계수, 비율

배출된 N_2O 산정을 위한 기본식은 N_2O 저감기술이 사용되었음을 인정하는 부가적 용어를 포함한다. N_2O 분해계수는 배출량 저감 설비의 비사용 시간(즉, 설비가 작동되지 않는 시간)을 설명하기 위해서, 저감시스템 이용계수에 의해 곱해져야한다.

가장 높은 정확성을 얻기 위해, 공장 고유의 측정 자료로부터 얻은 N_2O 생성 및 분해계수를 고려하는 공장 수준에서 이 식을 사용하는 것은 *우수실행(good practice)*이 될 것이며, 이 경우 국가적 합계는 공장 전체의 합계와 같게 된다. 공장 수준의 정보를 이용할 수 없을 때 위의 실행방법은 표 3.4에 나와 있는 것처럼 N_2O의 기본생성계수와 분해계수를 제공하고 아디프산 생산의 기본계수는 실행된 저감기술에 근거하게 된다. 이 계수들을 사용하기 위해, 인벤토리 작성자들은 저감기술이 개별 공장에 설치되어 있는지와 1년 내내 가동되고 있는 지에 대해 확실히 해야만 한다.

Tier 3 방법 - 직접 측정

Tier 3 방법은 공장 수준의 생산 자료와 배출량의 직접측정으로부터 획득된 공장 수준의 배출계수를 사용한다. 이것들은 N_2O 배출량의 불규칙한 표본에서 비롯되거나 공장의 일반적 작동 패턴을 반영하는 기간 동안 실행된 N_2O를 위한 주기적 배출량 모니터링에서 얻어진 것일 수도 있다. 배출량은 식 3.8을 사용해 얻을 수 있다. 가장 높은 정확성을 얻기 위해, 적절한 공장 고유의 측정

자료로부터 얻은 N_2O 생성 및 분해계수를 사용하는 공장 수준에서 이 식을 사용하는 것은 *우수실행(good practice)*이 될 것이다. 비교적 적은 수의 아디프산 공장이 존재한다면(세계적으로 약 23개, Choe et al., 1993), 공장의 고유 정보를 얻는 것은 거의 부가적인 수단을 필요로 하지 않을 것이다.

대안적으로, 대부분의 공장들이 자원비용 때문에 CEM을 사용하지 못하고 있긴 하지만, Tier 3 방법은 지속적 배출량 모니터링(CEM)의 결과를 사용한다. CEM이 사용될 경우, 기록된 모니터링 기간 중 얻어진 N_2O 농도를 통해 측정된 N_20의 합에 근거해 배출량이 산정될 수 있다.

3.4.2.2 배출계수의 선택

Tier 1 방법

표3.4에 나와 있는 기본배출계수를 사용하거나 배출된 N_2O에 아무런 저감 수단이 없다고 가정하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법

만약 공장 수준의 계수를 이용할 수 없다면, 기본계수를 이용하는 것도 좋다. Tier 2 방법은 기본배출계수에 근거한다. 이 기본값은 종종 자료의 중앙치나 평균점(전문가 분석에 의해 결정된)을 나타낸다. 그들이 특정 공장의 배출량을 대표하는 정도는 알려져 있지 않다. 표 3.4의 기본계수는 오로지 공장 고유의 측정이 가능하지 않을 경우에만 사용되어야 한다.

표3.4는 일반적으로 사용되는 저감기술에 대한 N_2O의 기본 분해 계수와 관련된 불확도를 포함하고 있다. 이러한 계수들을 사용하기 위해, 인벤토리 작성자는 저감기술이 개별 공장에 설치되어 있는지와 1년 내내 가동되고 있는 지에 대해 확실히 해야만 한다. 저감기술이 사용되고 있는 지를 확실히 하지 않으면, 배출량의 과대산정이 야기될 수 있다. 적당한 값을 결정하려면 공장들이 사용된 저감기술에 따라 분류되어야 한다.

Tier 3 방법

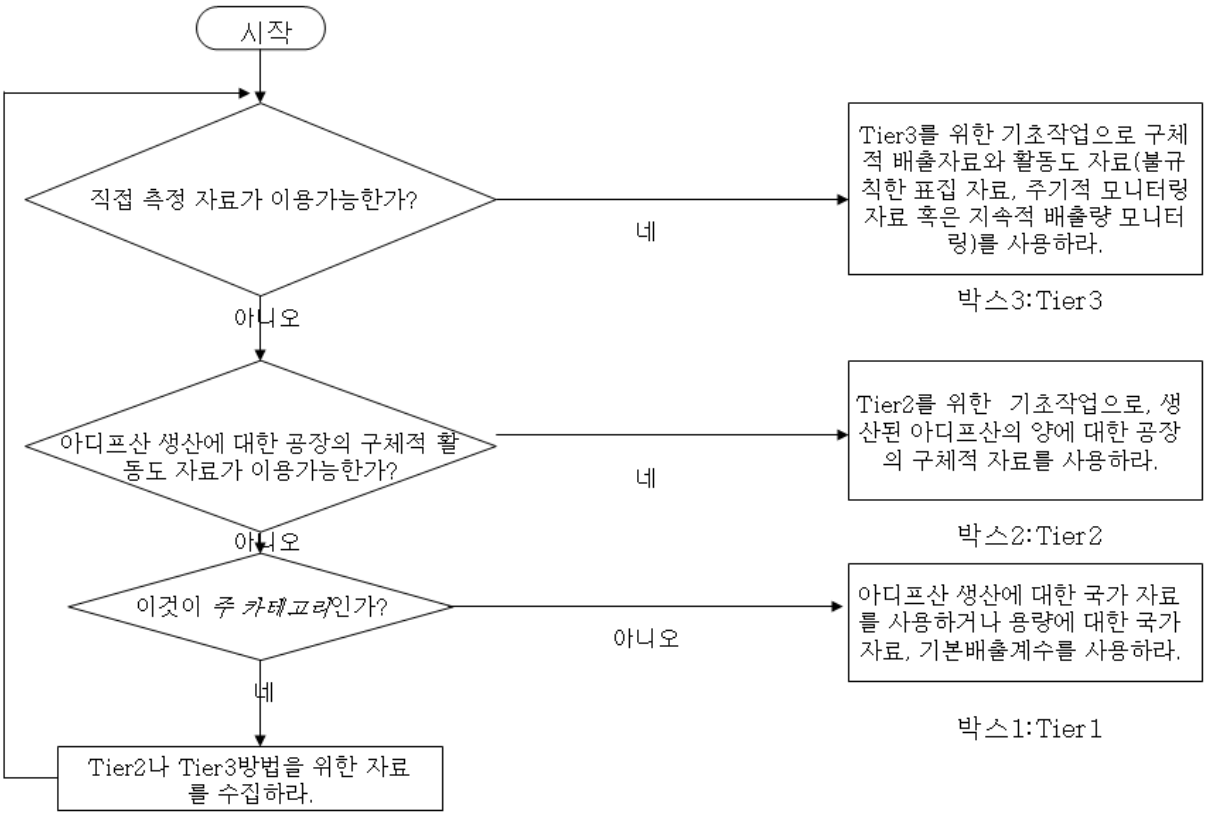
Tier 3 방법은 공장 측정을 필요로 한다. 만약 N_2O 저감 시스템이 사용되고 있다면 공장 측정은 순 배출량을 계산하는 데에 가장 정밀한 자료를 제공한다 (즉, 생성계수와 분해계수). 아디프산 생산 시 N_2O 배출을 모니터링하는 것은 이것이 점오염원이며 공장 수가 한정적이기에 실용적이다. 현재 이용 가능한 기술을 통해, 표본과 모니터링된 배출량을 계측하는 것은 전반적 측정에 대한 정확성이나 정밀성을 한정하지 않는다. 대개의 경우, 시료 채취 주기와 시간은 시스템상의 오류를 피하고 바람직한 정확성의 수준을 달성하기에 충분하다.

N_2O 저감 시스템이 사용되지 않는 경우, 공장의 고유 배출계수는 공장 수준의 배출량을 산정하기 위해 생산수준에 따라 증가되는 주기적 배출량 모니터링을 통해 획득된다.

일반적인 규칙으로, 공장이 N_2O 생성률에 영향을 미치는 중요한 공정 변화를 이룩해낼 때마다 표본추출과 분석을 수행하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 또 공장 운용 조건이 일정하다는 것을 충분히 증명하는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다. 게다가 공장 운영자는 시간의 흐름에 따라 기술도 많이 변화되므로 매년 그들이 사용할 구체적 분해 기술을 결정하고, 사용을 확정

하기 위해 자문을 받아야 한다. 배출량과 저감효율의 정확한 측정을 위해서는 출구 흐름(exit 흐름)과 제어되지 않은 흐름에서의 측정이 모두 필요하다. 만일 측정 자료가 오직 출구 흐름에서만 이용가능하다면, 이 자료에 배출량의 근거를 두는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 이런 경우에, 이용할 수 있는 저감효율 산정치는 정보목적으로만 제공되어야 하고 배출량 계산을 위해 사용되어서는 안 된다.

그림 3.3 아디프산 생산 시 발생되는 N_2O 배출량의 산정을 위한 의사결정도



주 :

1. 주 카테고리와 의사결정도의 이용을 위해 제1권 4장의 방법론적 선택과 주 카테고리의 확인(제한된 자원과 관련된 4.1.2절도 참고)을 참고하라.

표 3.4
아디프산 생산을 위한 기본계수

생산공정	**N_2O 생성계수[a,d]**	**불확도 산정**
질산산화	300 kg/톤 adipic acid (uncontrolled)	±10% (전문가 판단에 근거). 300 kg ±10%범위는 대부분의 제조업자들과 함께 순수한 알콜 원료에 대한 순수 케톤에서의 변이성을 포함한다[a].
저감기술	**N_2O 분해계수[b]**	**불확도 산정**
촉매분해	92.5%	90-95% (전문가 판단에 근거). 이 기술을 사용한다고 알려져 있는 제조사를 포함 : BASF (Scott, 1998), and DuPont (Reimer, 1999b).
열분해	98.5%	98-99% (전문가 판단에 근거). 이 기술을 사용한다고 알려져 있는 제조사를 포함: Asahi, DuPont, Bayer, and Solutia (Scott, 1998).
질산으로의 재활용	98.5%	98-99% (전문가 판단에 근거). 이 기술을 사용한다고 알려져 있는 제조사를 포함: Alsachemie (Scott, 1998).
아디프산 원료로의 재활용	94%	90-98% (전문가 판단에 근거). 2002.년도에 이 기술을 실행하고 있는 Solutia
저감 시스템	**이용 계수[d]**	**불확도 산정**
촉매분해	89%	80-98% (전문가 판단에 근거)[c].
열분해	97%	95-99% (전문가 판단에 근거)[c].
질산으로의 재활용	94%	90-98% (전문가 판단에 근거)[c].
아디프산으로의 재활용	89%	80-98% (전문가 판단에 근거)[c].

[a] 일본 환경청에서 얻은 값과 관련하여(1995) (282 kg N_2O/톤 adipic acid), 이 제조업자들이 케톤과 알콜의 혼합물 대신에 순수한 시클로헥산올의 산화를 이용한다고 생각 된다. (Reimer *et al.*, 1999). 이 곳이 이 방법을 사용할 줄 아는 유일한 공장이다.

[b] 분해계수(기술저감효율을 나타냄)는 저감 시스템 이용 계수에 의해 곱해져야만 한다.

[c] 이 기본계수는 전문가의 판단에 근거한 것이고 산업 공급 자료나 공장의 고유 측정치가 아님을 주의하라. 우선, 1-5년 동안의 저감기술 이용과 이용계수는 범위의 낮은 부분에 위치하곤 한다. 전형적으로 저감 시스템을 어떻게 작동시키는지를 알아야 할 필요성과 많은 유지문제가 초기 단계에서 벌어지기 때문에 장비의 낮은 이용이 초래되는 것이다. 1-5년이 지나면, 작동 경험이 향상되고, 이용계수는 범위의 높은 곳에 위치하게 된다.

출처 :
[d] Thiemans and Trogler (1991).
[e] Reimer (1999b).

3.4.2.3. 활동도 자료의 선택

가능하다면, Tier 2나 Tier 3 방법의 사용이 허락된 생산 자료를 세부적인 수준까지 수집하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 1 방법

Tier 1 방법은 아디프산의 국가적 생산 자료를 필요로 한다. 만약 국가 수준의 활동도 자료를 이용할 수 없으면, 생산용량에 관한 정보가 사용될 수 있다. 80% ±10%의 용량이용계수(capacity utilisation factor) (즉, 범위는 70-90%)를 국가 전체의 생산 용량에 곱하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법

Tier 2 방법은 저감 기술 유형에 의해 분류될 수 있는 공장수준의 자료를 필요로 한다. 생성과 분해 관련 자료를 지닌 채 세부적이고 일관적인 수준으로 활동도(생산)자료를 수집하는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 전형적인 공장 수준의 생산 자료는 정확한 정보를 소유하는 것에 대한 경제적 가치 때문에 ±2% 수준으로 정확하다.

Tier 3 방법

Tier 2 방법에서는, 배출량 산정이 불규칙 표본이나 주기적 배출량 표본을 통해 이루어졌을 때, 저감 기술 유형에 의해 분류될 수 있는 공장 수준의 생산 자료를 필요로 한다. 따라서 생성과 분해 관련 자료를 지닌 채 세부적이고 일관적인 수준으로 활동도(생산)자료를 수집하는 것도 *우수실행(good practice)*이다. CEM에 근거한 산정을 하였을 경우, 생산 자료가 배출량의 산정을 위해 사용되지 않는다 할지라도, 배출량에 영향을 미치는 변수들의 변화가 계속해서 모니터링 될 수 있음을 보증하기 위해 이러한 자료는 반드시 수집되고 보고되어야만 한다. 전형적인 공장 수준의 생산 자료는 정확한 정보를 소유하는 것에 대한 경제적 가치 때문에 ±2% 수준으로 정확하다

3.4.2.4 완전성

아디프산 배출원 카테고리에 대한 완전한 포함은 공장의 수가 적어 쉽게 인지할 수 있기에 직선적이다.

3.4.2.5 일관된 시계열 개발

배출량 계산법이 바뀔 때마다 언제든 N_2O 배출량의 모든 것은 다시 계산되어야만 한다(예를 들어, 만약 인벤토리 작성자가 기본값의 사용을 공장 수준에서 결정된 실제 값의 사용으로 변화시킨다면 모든 것을 다시 계산해야 되는 것이다). 만약 시계열에 따른 모든 시간의 것에 대해, 공장의 고유 자료를 이용할 수 없다면, 현재의 공장 측정이 지난 해의 배출량을 재계산하기 위해 어떻게 사용되어질 수 있는 지를 고려해야만 한다. 공장 운영이 실질적으로 변하지 않았다는 가정 하에, 현재 공장의 고유 배출계수를 이전 년도의 생산 자료에 적용하는 것도 가능할지 모른다. 재계산을 할 때에는 배출 경향의 어떤 변화도 진짜임을 확실히 해야 하며 절차에 있어서도 인위적 변화를 두어서는 안 된다. 제1권 5장에서 제공된 가이드라인에 따라 시계열을 재계산해보는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

3.4.3 완전성

3.4.3.1 배출계수의 불확도

표3.4에 나와 있는 기본값에 대한 불확도는 전문가의 판단에 근거해 산정될 수 있다. 일반적으로, 아디프산 기본배출계수는 그것이 의도적 화학반응(nitric acid oxidation)인 화학량론과 N_2O 저감 시스템에서 얻어진 값이기에 비교적 확실하다. 아디프산 배출계수의 불확도는 N_2O 생성의 변화성을 의미하는데, 이는 다양한 제조업자들이 사용하고 있는 시클로헥사논과 시클로헥산올 원료(케톤, 알코올) 합성에 존재하는 차이 때문이다. 케톤 함량이 높아지면 더 많은 N_2O 생성이 야기된다. 반면에 알코올 함량이 높아지면 N_2O 생성이 더 적어진다(Reimer, 1999a). 질산(HNO_3)소비에 근거한 공정에 따라, 개별 공장들은 1%내에서 N_2O 생산을 한정할 수 있어야 한다.

3.4.3.2 활동도 자료의 불확도

잠재적으로 생산되는 N_2O 배출(metric 톤 당)은 다른 N_2O의 배출원보다도 아디프산 생산 시 훨씬 많아진다. 적절히 관리되고 보정된 모니터링 시스템의 측정치는 식 3.8을 사용하여 95%의 신뢰도 수준에서 ±5 %내의 배출량을 결정지을 수 있다. 또 아디프산 공장의 수가 적다면, 국가 생산 자료(Tier1)에서의 불확도는 공장 수준의 자료 즉, ±2 %와 같다.

3.4.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

3.4.4.1 품질보증 및 품질관리

제1권 6장에서 명시된 품질관리 검사를 수행하고 전문가가 배출량 산정치를 검토하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 또 배출원범위에서 배출량을 결정하기 위해 더 높은 tier 방법이 사용된다면, 제1권에서 명시된 부가적 품질관리 검사와 품질보증 절차를 적용할 수도 있다. 인벤토리 작성자에게 제1권 4장에서 확인된 주 카테고리를 위해 더 높은 tier QA/QC를 사용할 것을 추천한다.

제1권의 가이드라인과 더불어, 이 배출원 카테고리와 관련된 특정 절차는 아래에 명시된 바와 같다.

다른 접근법을 사용한 배출량 산정값과의 비교

만약 배출량이 개별 아디프산 공장에서 나온 자료를 사용해 계산된다면(상향식 접근), 인벤토리 작성자는 산정치를 국가적 생산 자료를 사용해 계산된 배출량과 비교해야만 한다(하향식 접근). 그들은 그 결과를 기록하고 설명치 못한 모순에 대해 연구해야만 한다.

산업 N_2O 배출원 범위가 비교적 다른 인위적, 자연적 배출원과 적게 비교되기 때문에, 배출량을 대기 중 N_2O 농도 측정값의 경향과 비교하는 것은 적절하지 않다.

공장수준의 자료

인벤토리 작성자는 첫 해의 시작부터 시계열에 따라 배출량에 대한 독립적인 재검을 하고, 역사적 비교를 행할 때 배출량에 대한 경향을 설명할 수 있도록 충분한 정보를 보관해야 한다. 이는 특히나 인벤토리 작성자가 사용하던 기본값을 공장 수준에서 결정된 실제 값으로 변화시키는 것처럼 재계산이 꼭 필요한 경우에 중요하다.

직접 배출 측정의 개정

만약 공장수준의 N_2O 측정이 가능하다면, 인벤토리 작성자는 세계적으로 인정받는 표준방법이 사용되었는지를 확인해야만 한다. 또 만약 측정실행이 이 기준에 부합하지 않는다면, 그 다음에 그들은 이 배출 자료의 사용을 평가해야만 한다. 게다가 그들은 QA/QC 결과의 관점에서 불확도 산정치를 재고해야만 한다.

인벤토리 작성자는 공장 고유의 계수들이 적정하다는 것을 보증하기 위해 공장에 근거한 계수들을 IPCC 기본값들과 비교해야만 한다. 그들은 또한 공장의 고유 계수와 기본계수의 어떠한 차이, 특히 이 차이점을 야기했을지 모르는 공장 특성에 대한 차이까지 설명하고 문서화해야만 한다.

3.4.4.2 보고 및 문서화

제1장 6.11절에 명시된 국가의 배출량 인벤토리 산정치를 산출하기 위해 요구되는 모든 정보를 문서화하여 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

이 배출원 범위와 관련된 보고와 문서화의 구체적인 예는 아래에 제공된다.

- 사용된 방법의 기술;
- 아디프산 생산 공장의 수;
- 배출계수;
- 생산자료;
- 생산용량;
- 저감기술을 사용하는 공장의 수;
- 저감기술의 유형, 분해효율, 이용;
- 다른 여타의 가정들.

공장 운영자는 인벤토리 작성자가 편집할 수 있도록 이 정보를 공급하고, 사이트에 그 정보를 보관해야 한다. 또한 공장운영자는 실제 공장 측정에서 사용된 측정 빈도와 도구의 눈금측정 기록을 보관해야만 한다.

아디프산 생산을 위한 공장이 바로 이 예에 포함될 텐데, 한 국가 안에 한, 두 명의 생산자만 있다면, 활동도 자료가 비밀스레 생각될지 모른다. 이 경우, 운영자와 인벤토리 작성자는 기밀성을 유지하면서 보고될 수 있을 정보의 집합 수준을 결정해야만 한다. 도구 기록을 포함한 자세한 정보는 여전히 공장수준에서 보관되어야 한다.

국가적 조사 보고에서 모든 것을 문서화하는 것은 실용적이지 않다. 그러나 인벤토리는 사용된 방법의 요약을 포함해야 하며, 보고된 배출량 산정치가 명백함과 그들의 계산 절차가 다시 확인될 수 있도록 자료 출처에 대한 참고문헌을 포함하고 있어야 한다.

3.5 카프로락탐, 글리옥살(옥산알데히드), 글리옥살산 생산

3.5.1 서론

이번 장에서는 화학물질을 생산하는 국가에서 잠재적으로 아산화질소(N_2O)의 중요한 배출원이라고 여겨지고 있는 세 가지 화학물질 - 카프로락탐, 글리옥살, 글리옥살산의 생산에 대해 다룬다. 카프로락탐의 방법론은 세부적으로 논의될 것이며, 이는 글리옥살과 글리옥살산의 배출량 산정을 위해 적용하는 데에도 알맞을 것이다. 또 3.5.3절에서는 N_20 배출을 야기하는 글리옥살과 글리옥살산 생산 과정이 명시된다. 기본생성계수, 분해계수, 배출계수 등은 Clariant의 정보에 근거하여 제공될 것이다(France)(Babusiaux, 2005).

3.5.2 카프로락탐

카프로락탐($C_6H_{11}NO$) 1년 생산량의 대부분은 나일론-6 섬유와 플라스틱을 위한 단위체로 쓰여지며(Kirk-Othmer, 1999; p.310), 융단 제조를 위해 사용되는 섬유의 상당 부분에도 쓰인다. 카프로락탐 제조와 관련된 모든 산업 공정은 톨루엔(toluene)나 벤젠(benzene)에 바탕을 두고 있다.

3.5.2.1 방법론적 이슈

카프로락탐은 벤젠을 통한 주요공정에서 생산되며, 벤젠은 나일론의 원료이자 시클로헥사논($C_6H_{10}O$)을 생산하기 위해 산화된 시클로헥산으로 수소화된다. 시클로헥사논 생산의 전형적인 방법(라시히법- Raschig process)과 기초반응식은 다음과 같다(Reimschuessel, 1977 p.83: Lowenheim and Moran, 1975; p.201) :

Oxidation of NH_3 to NO/NO_2

↓

암모니아 탄산염$(NH_4)_2CO_3$를 산출하기 위한 CO_2/H_2O의 반응 NH_3

↓

질산암모늄(NH_4NO_2)을 산출하기 위한 NO/NO_2(NH_3 산화를 통한)의 반응 $(NH4)_2CO_3$

↓

ammonium bisulphite(NH_4HSO_3)을 산출하기 위한 SO_2/H_20의 반응 NH_3

↓

hydroxylamine disulphonate($NOH(SO_3NH_4)_2$)을 산출하기 위하여 반응된 NH_4NO_2 and NH_4HSO_3

↓

hydroxylamine sulphate$(NH_2OH)_2.H_2SO_4$)와 ammonium sulphate($(NH_4)_2SO_4$)를 산출하기 위한 $NOH(SO_3NH_4)_2$ hydrolised

↓

시클로헥사논 반응 :

$C_6H_{10}O + 1/2(NH_2OH)_2.H_2SO_4$ ($+NH_3$ and H_2SO_4) → $C_6H_{10}NOH + (NH_4)_2SO_4 + H_20$

Beckmann의 재정리 :

$C_6H_{10}NOH$ ($+H_2SO_4$ and SO_2) → $C_6H_{11}NO.H_2SO_4$ ($+4NH_3$ and H_20) → $C_6H_{11}NO + 2(NH_4)_2SO_4$

Lowenheim과 Moran(1975; p.202)은 라시히(Raschig) 생산 공정을 다음과 같이 요약했다. 카프로락탐은 시클로헥사논에 수산기아민 황산염(hydroxylamine sulphate)을 추가함으로써 Beckmann의 재정리를 통해 생산된다(촉매로서 황산을 사용하여 케톡심(ketone oxime)에서 아미드(amide)로의 전환). 수산기아민 황산염은 질산암모늄과 이산화황에 의해 생산된다. 암모니아 가스와 공기는 암모니아가 연속적으로 암모니아탄산염과 이산화황에 접촉함으로써 하이드록실아민 이술폰산염(hydroxylamine disulphonate)로 전환되어지는 경우, 전환기에 공급된다. 암모니아 탄산염은 물에 암모니아와 이산화탄소를 용해함으로써 생산되어지고, 유황을 연소시켜 이산화황을 얻게 된다. 술폰산염(disulphonate)은 하이드록실아민 황산염(hydroxylamine sulphate)과 황산암모늄(ammonium sulphate)로 가수분해된 것이다. 시클로헥사논에 하이드록실아민 황산염(hydroxylamine sulphate)를 추가하면 시클로헥사논 옥심(oxime)이 생성되는데, 이것은 Beckmann의 재정리에 의해 카프로

락탐으로 전환되어진다.

카프로락탐의 생산은 암모니아 산화과정을 통해 아산화질소(N_2O)의 배출을, 암모니아 탄산염 공정 과정에서는 CO_2 배출을, 암모니아 bisulphite의 과정에서는 이산화황(SO_2)의 배출을 그리고 $NMVOC_S$의 배출을 일으킬 수 있다. 전환과정에서 CO_2, SO_2, $NMVOC_S$의 배출은 관리가 잘 이루어지는 공장에서는 중요할 것 같지 않다. 카프로락탐 생산에서 차지하는 주요 온실가스는 N_2O이다. 변형된 카프로락탐 생산 공정은 주로 일반 공정에서 부산물로 생산되던 큰 부피의 ammonium sulphate를 제거하는 데에 관계된다(Reimschuessel, 1977; p.84). NH_3 산화는 요구되는 NO/NO_2를 얻기 위한 모든 과정의 필수적 부분이다.

방법의 선택

카프로락탐 생산 시 배출되는 N_2O를 산정하는 방법은 질산생산 시 N_2O 배출량 산정 방법과 유사하다. 두 생산 공정 모두 처음에 N_2O 형성과 배출의 배출원이 되는 NH_3의 산화 단계를 거친다.

*우수실행(good practice)*의 선택은 국가 사정에 따라 달라지는데, 그림 3.4의 의사결정도는 국가 환경에 맞도록 방법을 변경하는 것에 대한 좋은 예를 설명하고 있다. 배출량은 지속적 배출량 모니터링(CEM : 배출량을 계속해서 직접 측정하는 것)과 주기적 배출량 모니터링을 통해 산정될 수 있는데, 주기적 배출량 모니터링이란 배출계수를 구하기 위해 공장의 일반적 패턴을 반영하여 그 주기마다 배출량 모니터링을 하는 것이다. 또 이때의 배출계수는 배출량을 얻기 위한 생산물과 배출량을 얻기 위해 생산물로 인해 증가된 배출계수를 유도하는 불규칙한 표본, 그리고 생산물에 의한 증가된 기본배출계수에 의해 증가될 수 있다.

방법들은 이용 가능한 공장 수준의 자료 정도에 따라 분류될 수 있고, Tier2와 Tier3 방법은 공장 수준의 활동도 자료를 필요로 한다.

Tier 1 방법

배출량은 다음과 같이 산정된다 :

식 3.9
Tier1방법에서 카프로락탐 생산 시 발생하는 N_2O 배출량

$$E_{N20} = EF \bullet CP$$

여기서:

E_{N2O} = N_2O 배출, kg
EF = N_2O 배출계수 (기본배출계수), N_2O 생산(kg) / 카프로락탐 생산량 (톤)
CP = 카프로락탐 생산, 톤

Tier 1 방법을 적용할 때, 표 3.5에 나와 있는 가장 높은 배출계수를 사용하고 배출된 N_2O에 아무런 저감이 없다고 가정하는 것도 *우수실행(good practice)*이다

Tier 2 방법

카프로락탐 생산을 통해 발생한 배출량에 대한 정보와 그것의 제어기술은 한정적이다. 공장 수준

의 정보를 이용할 수 없을 때, 좋은 예들은 표 3.5에 나와 있는 것처럼 N_2O의 기본생성계수를 제공해줄 것이다. 기본계수는 질산 생산 공장의 N_2O 배출량에 근거하는데, 이는 카프로락탐 공장에 대한 정보가 없기 때문이고, 두 공장이 첫 단계로 치르는 암모니아 산화공정의 반응 절차가 유사하기 때문이다. 카프로락탐 공장에 대한 고유 계수들을 발전시키는 일이 장려된다.

카프로락탐 공장의 수가 비교적 적기 때문에(DSM(Stamicarbon)기술을 사용하는 19개의 공장을 포함해 대략 42개, 공장 간의 N_2O 생성계수에는 큰 차이가 없을 것이다. 기본계수가 카프로락탐 생산 시 발생하는 배출량 산정에 사용되는 경우, 공장의 배출량이 유형과 적절한 N_2O 생성계수 사용에 따라 달라지는 정도를 확인하는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

Tier 2 방법은 기술유형에 의해 분해되는 공장 수준의 생산 자료와 기술유형에 의해 분류되는 기본배출계수를 사용한다. 배출량은 다음과 같이 계산된다 :

식 3.10
Tier2방법에서 카프로락탐 생산 시 발생하는 N_2O 배출량

$$E_{N20} = \sum_i [EF_i \bullet CP_i \bullet (1\text{-}DF_j \bullet AUSF_j)]$$

E_{N2O} = N_2O 배출량, kg
EF_i = 기술유형 *i*에 대한 N_2O 배출계수, N_2O생산량(kg)/카프로락탐 생산량(톤)
CP_i = 기술유형에 따른 *i*에 따른 카프로락탐 생산, 톤
DF_j = 저감기술유형 *j*에 대한 분해계수, 비율
$AUSF_j$ = 저감기술유형 *j*에 대한 저감시스템 이용계수, 비율

배출된 N_2O 산정을 위한 기본식은 현재와 잠재적으로는 미래까지 N_2O 저감기술이 사용되었음을 인정하는 부가적 용어를 포함한다. N_2O 분해계수는 배출량 저감 설비의 비사용 시간(즉, 설비가 작동되지 않는 시간)을 설명하기 위해서, 저감시스템 이용계수에 의해 곱해져야 한다.

공장 수준의 정보를 이용할 수 없을 때, 위의 실행방법은 표 3.5에 나와 있는 것처럼 N_2O의 기본생성계수를 제공하는데 이 때 카프로락탐 생산에 대한 기본계수는 년수(age)에 따라 분류된 공장 유형에 근거한다. 가장 높은 정확성을 얻기 위해, 공장 고유의 측정 자료로부터 얻은 N_2O 생성 및 분해계수를 고려하는 공장 수준에서 식 3.10을 사용하는 것은 *우수실행(good practice)*이 될 것이며, 이 경우 국가적 합계는 공장 전체의 합계와 같게 된다.

Tier 3 방법

Tier 3 방법은 공장 수준의 생산 자료와 배출량의 직접측정으로부터 획득된 공장 수준의 배출계수를 사용한다. 이것들은 N_2O 배출량의 불규칙한 표본에서 비롯되거나 공장의 일반적 작동 패턴을 반영하는 기간 동안 실행된 N_2O를 위한 주기적 배출량 모니터링에서 얻어진 것일 수도 있다. 배출량은 식 3.10을 사용해 얻을 수 있다.

대안적으로, 대부분의 공장들이 자원을 위한 비용 때문에 CEM을 사용하지 못하고 있긴 하지만, Tier3방법은 지속적 배출량 모니터링(CEM)의 결과를 사용한다. CEM이 사용될 경우, 기록된 모니터링 기간 중 얻어진 N_2O 농도를 통해 측정된 N_2O의 합에 근거해 배출량이 산정될 수 있다.

배출계수의 선택

Tier 1 방법

표3.5에 나와 있는 기본배출계수를 사용하거나 배출된 N_2O에 아무런 저감이 없다고 가정하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법

만약 공장 수준의 계수를 이용할 수 없다면, 기본계수를 이용하는 것도 좋다. Tier 2 방법은 기본계수를 사용한다. 이 기본값은 종종 자료의 중앙치나 평균점(전문가 분석에 의해 결정된)을 나타낸다. 그들이 특정 공장의 배출량을 대표하는 정도는 알려져 있지 않다. 특히 그 값이 높은 압력의 질산 공장에 근거한 카프로락탐 생산일 경우는 더욱 그러하다. 표3.5의 기본계수는 오로지 공장의 구체적 측정이 가능하지 않을 경우에만 사용되어야 한다.

Tier 3 방법

공장 측정은 순 배출량을 계산하는 데에 가장 엄격한 자료를 제공한다 (즉, 생성계수와 분해계수). 카프로락탐 생산 시 N_2O 배출을 모니터링하는 것은 이것이 핵심 배출원이며 공장 수가 한정적이기에 실용적이다. 현재 이용 가능한 기술을 통해, 표본과 모니터링된 배출량을 계측하는 것은 전반적 측정에 대한 정확성이나 정밀성을 한정하지 않는다. 대개의 경우, 시료 채취 주기와 시간은 시스템상의 오류를 피하고, 바람직한 정확성의 수준을 달성하기에 충분하다.

일반적인 규칙으로, 공장이 N_2O 생성량에 영향을 미치는 중요한 공정 변화를 이룩해낼 때마다 표본추출과 분석을 수행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 게다가 공장 운영자는 시간의 흐름에 따라 기술도 많이 변화되므로 매년 그들이 사용할 구체적 분해 기술을 결정하고, 사용을 확정하기 위해 자문을 받아야 한다. 배출량과 저감효율의 정확한 측정을 위해서는 출구 흐름(exit 흐름)과 제어되지 않은 흐름에서의 측정이 모두 필요하다. 만일 측정 자료가 오직 출구 흐름에서만 이용가능하다면, 이 자료에 배출량의 근거를 두는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 이런 경우에, 이용할 수 있는 저감효율 산정치는 정보목적으로만 제공되어야 하고 배출량 계산을 위해 사용되어서는 안 된다.

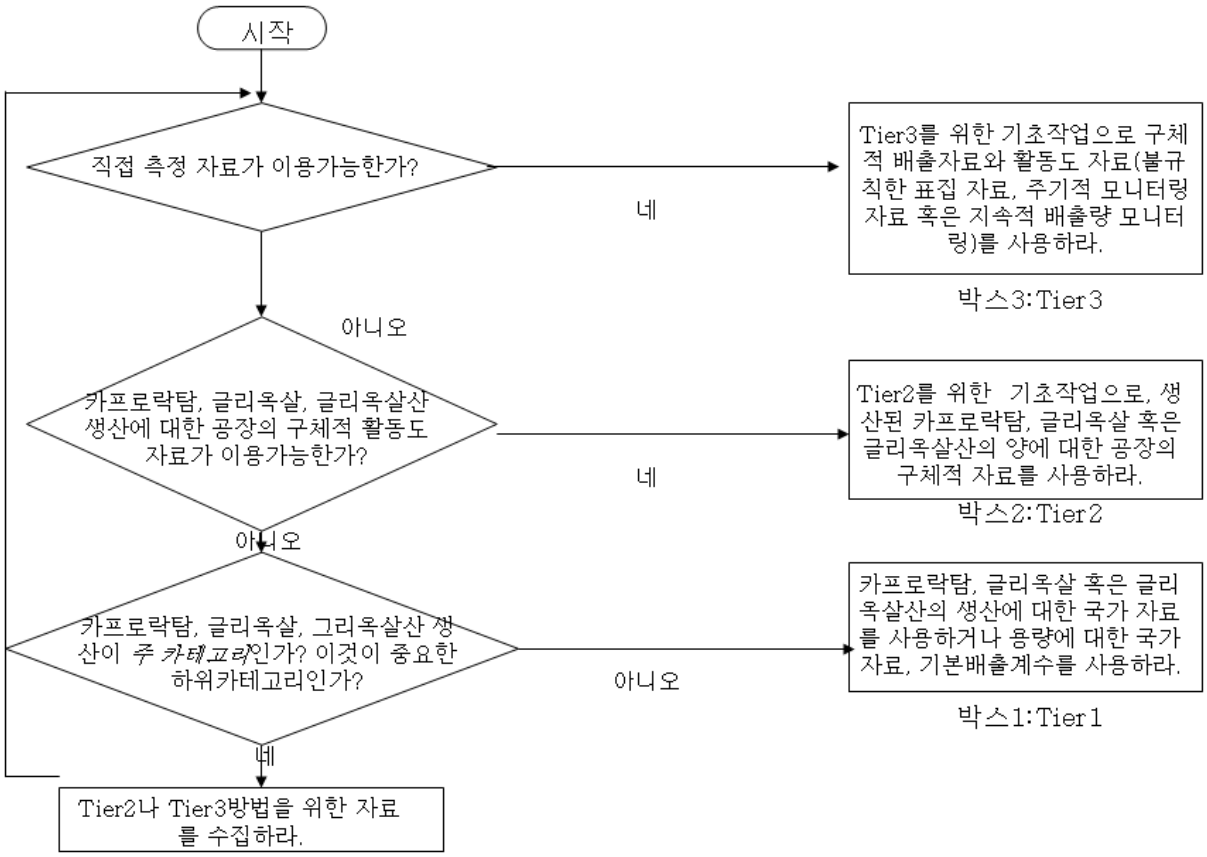
표 3.5
카프로락탐 생산을 위한 기본계수

생산공정	N_2O 배출계수 (kg N2O/톤 caprolactam)	불확도
라시히법	9.0[a]	±40%

[a]질산 생산을 위한 고압력 공장에 근거함

출처: 질산생산을 위한 기본계수 (이 장의 표3.3을 보라.)

그림 3.4 카프로락탐, 글리옥살, 글리옥살산 생산 시 발생되는 N_2O 배출량의 산정을 위한 의사결정도



주 :

1. 주 카테고리와 의사결정도의 이용을 위해 제1권 4장의 방법론적 선택과 주 카테고리의 확인(제한된 자원과 관련된 4.1.2절도 참고)을 참고하라.

활동도 자료의 선택

Tier 2나 Tier 3 방법의 사용이 허락된 생산 자료를 세부적인 수준까지 수집하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 1 방법

Tier 1 방법은 카프로락탐의 국가적 생산 자료를 필요로 한다. 만약 국가 수준의 활동도 자료를 이용할 수 없으면, 생산용량에 관한 정보가 사용될 수 있다. 80% ± 20%의 용량이용계수(범위는 60-100%)를 국가 전체의 생산 용량을 곱하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법

Tier2방법은 공장의 년수(age)에 의해 분류될 수 있는 공장수준의 자료를 필요로 한다. 만약 기술유형과 저감기술에 대한 정보를 이용할 수 있다면, 이 정보를 수집하고 확보한 정보에 따라 생산자료를 나누는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 즉, 생성과 분해 관련 자료를 지닌 채 세부적이고 일관적인 수준으로 활동도(생산)자료를 수집하는 것도 *우수실행(good practice)*인 것이다. 공장 수준의 배출계수가 사용된다면, 공장 수준의 생산 자료를 수집하는 것도 좋겠다. 전형적인 공장 수준

의 생산 자료는 정확한 정보를 소유하는 것에 대한 경제적 가치 때문에 불확도가 ±2% 수준으로 정확하다

Tier 3 방법

Tier 3 방법은 배출량 산정이 불규칙 표본이나 주기적 배출량 표본을 통해 이루어졌을 때, 저감 기술 유형에 의해 분류될 수 있는 공장 수준의 생산 자료를 필요로 한다. 따라서 생성과 분해 관련 자료를 지닌 채 세부적이고 일관적인 수준으로 활동도(생산)자료를 수집하는 것도 *우수실행(good practice)*이다. CEM에 근거한 산정을 하였을 경우, 생산 자료가 배출량의 산정을 위해 사용되지 않는다 할지라도, 배출량에 영향을 미치는 변수들의 변화가 계속해서 모니터링될 수 있음을 보증하기 위해 이러한 자료는 꼭 수집되고 보고되어야만 한다. 전형적인 공장 수준의 생산 자료는 정확한 정보를 소유하는 것에 대한 경제적 가치 때문에 ±2% 수준으로 정확하다

완전성

전체영역은 모든 공장과 모든 직접적 온실가스 배출량에 대한 설명을 필요로 한다. 또 N_2O와 더불어 CO_2, NO_X, $NMVOC_S$, SO_2와 같은 비연소 배출량도 존재할 수 있는데, 간접적 온실가스 배출량(NO_X, $NMVOC_S$, SO_2)을 포함하기 위해 제1권 7장의 일반적 가이드라인과 문서화 부분에서 제공되는 내용을 보는 것도 좋다. 공장 수준의 정보는 배출량 산정을 할 수 있도록 요구될 것이다. 초과 시간(overtime) 기본값은 더 많은 정보가 이용가능해질 때 개발될 것이다.

카프로락탐 공장이 많지 않기에 공장의 고유 자료를 통해 배출량을 계산하는 것이 제안될 수 있다.

일관된 시계열 개발

배출량 계산법이 바뀔 때마다 언제든 N_2O 배출량의 모든 것은 다시 계산되어야만 한다(예를 들어, 만약 인벤토리 작성자가 기본값의 사용을 공장 수준에서 결정된 실제 값의 사용으로 변화시킨다면 모든 것을 다시 계산해야 되는 것이다). 만약 시계열에 따른 모든 시간의 것에 대해, 공장의 고유 자료를 이용할 수 없다면, 현재의 공장 측정이 이전 년도의 배출량을 재계산하기 위해 어떻게 사용되어질 수 있는 지를 고려해야만 한다. 공장 운영이 실질적으로 변하지 않았다는 가정 하에, 현재 공장 고유의 배출계수를 이전 년도의 생산 자료에 적용하는 것도 가능할지 모른다. 재계산을 할 때에는 배출 경향의 어떤 변화도 진짜임을 확실히 해야 하며 절차에 있어서도 인위적 변화를 두어서는 안 된다. 제1권 5장에서 제공된 가이드라인에 따라 시계열을 재계산해보는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

3.5.2.2 불확도 평가

배출계수의 불확도

표 3.5에 나와 있는 기본값에 대한 불확도는 질산 공장의 기본값에 근거한 산정치이다. 일반적으로 기체 물질에 대한 기본배출계수는 더 높은 불확도를 갖는데, 이는 기체 물질의 부피가 온도와 압력 변화에 의해 영향을 받고, 공정 과정 중의 누출을 통해 쉽게 기체가 손실될 수 있기 때문이다. 카프로락탐 생산에 대한 기본값은 이용 가능한 정보가 제한되어 있어 상대적으로 더 높은 불확도를 갖는다. 기본값과 관련된 불확도보다 더 낮아야만 하는 공장수준에서의 불확도 산정치를

얻는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

활동도 자료의 불확도

활동도 자료가 공장 수준에서 획득될 때, 불확도 산정치는 생산자로부터 얻을 수 있다. 국가통계청에서 획득한 자료는 대개 불확도 산정치를 포함하고 있지 않다. 그래서 샘플오차에 대한 정보를 얻을 수 있는 지에 대해 국가통계청에 자문을 구하는 것도 좋겠다. 국가 통계청이 질산 생산시설로 이루어진 모집단에서 자료를 수집할 경우, 국가적 통계치의 불확도는 공장수준의 협의에서 만들어진 불확도와 다를 것이라 예상되지 않는다. 불확도 값을 다른 출처에서 얻을 수 없으면, ±2 % 정도의 기본값이 사용될 수도 있다.

3.5.2.3. 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

품질보증 및 품질관리

제1권 6장에서 명시된 품질관리 검사를 수행하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 또 배출량을 결정하기 위해 더 높은 tier 방법이 사용된다면, 더 광범위한 품질관리 검사와 품질보증 절차가 적용될 수도 있다. 인벤토리 작성자에게 제1권 4장에서 확인된 주 카테고리를 위해 더 높은 tier QA/QC를 사용할 것을 추천한다.

다른 접근법을 사용한 배출량 산정값과의 비교

만약 배출량이 개별 카프로락탐 공장에서 나온 자료를 사용해 계산된다면(상향식 접근), 인벤토리 작성자는 산정치를 국가적 생산 자료를 사용해 계산된 배출량과 비교해야만 한다(하향식 접근). 그들은 그 결과를 기록하고 설명치 못한 모순에 대해 연구해야만 한다.

산업 N_2O 배출원 범위가 비교적 다른 인위적, 자연적 배출원과 적게 비교되기 때문에, 배출량을 대기 중 N_2O 농도 측정값의 경향과 비교하는 것은 적합하지 않다.

공장 수준의 자료

인벤토리 작성자는 첫 해의 시작부터 시계열에 따라 배출량에 대한 독립적인 재검을 하고, 역사적 비교를 행할 때 배출량에 대한 경향을 설명할 수 있도록 충분한 정보를 보관해야 한다. 이는 특히나 인벤토리 작성자가 사용하던 기본값을 공장 수준에서 결정된 실제 값으로 변화시키는 것처럼 재계산이 꼭 필요한 경우에 중요하다.

직접 배출 측정의 개정

만약 공장수준의 N_2O측정이 가능하다면, 인벤토리 작성자는 세계적으로 인정받는, 표준방법이 사용되었는지를 확인해야만 한다. 또 만약 측정실행이 이 기준에 부합하지 않는다면, 그 다음에 그들은 이 배출 자료의 사용을 평가해야만 한다. 게다가 그들은 QA/QC결과의 관점에서 불확도 산정치를 재고해야만 한다.

인벤토리 작성자는 공장의 고유 계수들이 적정하다는 것을 보증하기 위해 공장에 근거한 계수들을 IPCC 기본값들과 비교해야만 한다. 그들은 또한 공장 고유의 계수와 기본계수의 어떠한 차이, 특히 이 차이점을 야기했을지 모르는 공장 특성에 대한 차이까지 설명하고 문서화해야만 한다.

보고 및 문서화

제1장 6.11절에 명시된 국가의 배출량 인벤토리 산정치를 산출하기 위해 요구되는 모든 정보를 문서화하여 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

이 배출원 범위와 관련된 보고와 문서화의 구체적인 예는 아래에 제공된다.

- 사용된 방법의 기술;
- 카프로락탐 생산 공장의 수;
- 배출계수;
- 생산자료;
- 생산용량;
- 저감기술을 사용하는 공장의 수;
- 저감기술의 유형, 분해효율, 이용;
- 다른 여타의 가정들.

공장 운영자는 인벤토리 작성자가 편집할 수 있도록 이 정보를 공급하고, 사이트에 그 정보를 보관해야 한다. 또한 공장운영자는 실제 공장 측정에서 사용된 측정 빈도와 도구의 눈금측정 기록을 보관해야만 한다.

카프로락탐 생산을 위한 공장이 바로 이 예에 포함될 텐데, 한 국가 안에 한, 두 명의 생산자만 있다면, 활동도자료가 비밀스레 생각될지 모른다. 이 경우, 운영자와 인벤토리 작성자는 기밀성을 유지하면서 보고될 수 있을 정보의 집합 수준을 결정해야만 한다. 도구 기록을 포함한 자세한 정보는 여전히 공장수준에서 보관되어야 한다.

국가적 조사 보고에서 모든 것을 문서화하는 것은 실용적이지 않다. 그러나 인벤토리는 사용된 방법의 요약을 포함해야 하며, 보고된 배출량 산정치가 명백함과 그들의 계산 절차가 다시 확인될 수 있도록 자료 출처에 대한 참고문헌을 포함하고 있어야 한다.

3.5.3 글리옥살과 글리옥살산 생산

글리옥살은(ethanedial)($C_2H_2O_2$) 농축된 질산(HNO_3)과 함께 아세트알데히드(ethanal)(C_2H_4O)가 산화될 때 생산된다. 글리옥살은 에틸렌글리콜(ethanediol)(CH_2OHCH_2OH)의 촉매산화공정을 통해서도 생산될 수 있다. 글리옥살은 아세트산비닐이나 아크릴수지, 살균소독제, 젤라틴 경화제, 직물마감제(영구적 구김방지 면, 레이온 섬유), 방수가공첨가제(종이코팅) 등을 위한 가교제로 사용된다 (Ashford, 1994; p.454).

글리옥살산은 글리옥살의 질산 산화과정 중 발생한다. 글리옥살산은 합성방향제, 화학비료, 제약중간체(pharmaceutical intermediates)의 생산을 위해 사용된다.

아세트알데히드로부터 글리옥살이 생겨나는 기초반응식은 다음과 같다 :

$2C_2H_4O$ (아세트알데히드) $+2HNO_3 \rightarrow 2C_2H_2O_2$ (글리옥살) $+ N_2O + H_2O$

화학량론의 관계에서는 완전한 반응이 글리옥살 1톤당 N_2O 0.543톤을 만들어낸다고 하고, 산업 환경에서는 글리옥살 1톤 당 N_2O의 생산량은 대략 0.52톤이라고 얘기한다(Babusiaux, 2005;p.1).

글리옥살산의 생산은 1회분 공정(batch process)를 통해 이루어지는데, 이는 질산이 공정 중 HNO_3에 의해 재생된 NO와 함께 NO와 N_2O로 환원되는 과정이다. 또 N_2O는 글리옥살이 옥살산 $(COOH)_2$으로 전환되는 이차 반응을 통해 생산 공정 중 발생한다.

글리옥살과 글리옥살산 생산의 기본계수는 표 3.6에 나와 있다. 배출량은 카프로락탐 부분에서 설명했던 것과 같은 접근을 이용해 산정될 수 있는데, 이 기본분해계수를 이용하기 위해 인벤토리 작성자는 저감기술이 개별 공장에 설치되어 있는지와 1년 내내 가동되고 있는 지에 대해 확실히 해야만 한다.

표3.6
글리옥살과 글리옥살산 생산을 위한 기본계수

생산물	N_2O 생성계수 (톤 N_2O/톤)	N_2O 분해계수 (%)	N_2O 배출계수 (톤 N_2O/톤)	불확도 (%)
글리옥살	0.52	80	0.10	±10
글리옥살산	0.10	80	0.02	±10
출처 : Babusiaux (2005)				

3.6 카바이드 (CARBIDE) 생산

3.6.1 서론

온실가스 배출량은 탄화규소(SiC)와 탄화칼슘(CaC_2)의 생산과 관련이 있는데, 카바이드의 생산은 이산화탄소(CO_2)와 메탄(CH_4), 일산화탄소(CO), 그리고 이산화황(SO_2)의 배출을 일으킨다. 탄화규소는 중요한 인공연마제인데 이는 규사(즉 차돌모래)와 석유코크스로부터 생산된다. 탄화칼슘은 시안아미드의 제조(역사적으로 조금 사용)와 아세틸렌의 생산에서 사용되고, 전기 아크 철강로(electric arc steel furnace)에서 환원제로 사용된다. 탄화칼슘 또한 두 개의 탄소함유원료로부터 만들어지는데 그것은 탄산칼슘(limestone)과 석유코크스이다.

생산 공정에서 탄소함유원료를 사용하는 것은 CO_2와 CO의 배출을 야기한다. 수소함유 휘발성 화합물과 석유코크스에 있는 황은 대기 중에 CH_4와 SO_2의 형성과 배출을 야기할 수 있다.

3.6.2 방법론적 이슈

탄화규소 생산에 의한 CO_2와 CH_4

탄화규소는 다음 반응에 따라 탄소의 배출원으로 사용되는 규사(즉 차돌모래)와 석유코크스로부터 생산된다(Austin, 1984; p.262) :

$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO$$
$$Si + C \rightarrow Sic$$

전체적 반응을 설명하는 공식이 아래에 제시되지만, 실제에서 그것이 꼭 제시된 화학량론의 비율 안에서만 진행되는 것은 아니다.

$$SiO_2 + 3C \rightarrow SiC + 2CO(+O_2 \rightarrow 2CO_2)$$

생산과정 중, 규사와 탄소는 1:3이라는 대략적 몰(mole)의 비율로 혼합된다. 약 35% 정도의 탄소는 생산물 안에 함유되어 있고, 나머지는 여분의 산소와 결합해 CO_2로 전환되어 공정의 부산물로 대기 중에 배출된다.

이 공정에서 사용되는 석유코크스는 휘발성 화합물을 함유할 수 있는데, 이는 메탄을 형성시키고, 일부의 메탄은 특히나 시작시기에 대기로 새게 된다.

탄화칼슘 생산에 의한 CO_2

탄화칼슘(CaC_2)은 탄산칼슘(limestone)에 열을 가한 후 탄소나 석유코크스와 함께 CaO를 환원시키면서 발생하는데, 각각의 과정은 모두 CO_2 배출을 일으킨다. 또 석유코크스에 들어있는 탄소의 약 67%는 생산물 속에 함유될 것이다.

기초반응은 다음과 같다 :

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$$
$$CaO + 3C \rightarrow CaC_2 + CO(+1/2\ O_2 \rightarrow CO_2)$$

CO가스는 많은 공장에서 에너지원으로 사용될 것이다.

박스 3.4

이중계산 (DOUBLE COUNTING)

이중계산을 피하기 위해, CaC_2 생산 시 생성된 CO가스를 연소시키며 발생하는 CO_2 배출량은 IPPU 부문에서 계산되어야 하고 **에너지 부문**에 포함되어서는 안 된다. 생산 공정에서 사용되는 석유 코크스도 석유 코크스의 비에너지 사용으로써 **에너지 부문**으로부터 빼주어야만 한다.

탄화칼슘의 가장 중요한 용도는 CaC_2가 물과 함께 반응하여 아세틸렌(C_2H_2)을 생산하는 것인데, 아세틸렌의 실질적 사용은 용접에의 적용이다. 또한 아세틸렌은 아세트알데히드와 아세트산, 아세트산무수물 등의 생산을 위한 화학합성에도 사용되고, 일종의 카본블랙인 아세틸렌블랙의 제조를 위한 정제원료로서도 사용된다. 종종, 아세틸렌은 CaC_2를 생산하는 공장 내에서 생산되지 않는데, 이는 CaC_2사용을 통한 CO_2 배출량을 산정하기 위해 더 높은 TIER 방법을 적용할 때 고려되어져야 할 것이다.

화학합성과 아세틸렌블랙의 생산에서 아세틸렌을 사용하는 것은 CaC_2사용과 관련된 CO_2의 전체

배출량을 환원시키며 생산물 속에 함유된 탄소를 일으킨다. 아세틸렌은 CaC_2로부터 뿐만 아니라 천연가스의 부분적 산화과정을 통해서도 생산될지 모른다. 이러한 사용에서 아세틸렌을 설명하는 접근은 이 책의 3.9절에 명시되어져 있다.

용접의 용도에서 아세틸렌의 생산과 사용은 다음 반응에 의해 요약될 수 있다 :

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2 (+2.5O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O)$$

용접의 용도에서 아세틸렌이 사용될 때, 아세틸렌이 생산 후 비교적 짧은 기간 동안 사용될 것이라는 가정 하에 배출량은 이 아세틸렌의 생산에 사용된 CaC_2의 양으로부터 유도될 수 있다.

박스 3.5

CaO 생산 시 배출량의 할당

CaO(lime)는 카바이드 공장이 아닌 다른 공장이나 가정(in-house)에서 생산될 수 있다. 어느 경우에나, CaO단계를 거친 배출량은 석회생산(이 책의 2.3절)에서 나온 배출량으로 보고되어야 하고, 용접의 용도를 위한 아세틸렌을 생산하기 위한 생산물의 사용과 석유코크스와 CaO의 반응에서 나온 배출량은 탄화칼슘에서 비롯된 것으로 보고되어야 한다.

3.6.2.1 방법의 선택

이용 가능한 공장 수준 자료의 정도에 따라 방법은 분류될 수 있다. Tier 1 방법은 기본값과 국가적 통계에 근거하며, Tier 2 방법은 공장수준의 생산 자료와 용접의 용도를 위한 아세틸렌 생산에서의 CaC_2 사용에 근거를 둔다. Tier 3 방법은 석유 코크스 투입(가능한한 탄소함유계수(CCF)포함)와 탄소산화계수(COF)를 포함; 대안적으로 국가의 에너지 부문 고유값이 사용될 수도 있음)에 대한 공장 수준의 자료와 용접의 용도를 위한 아세틸렌 생산에서의 CaC_2 사용 그리고 적절한 공장 수준의 배출계수에 기초한다.

Tier 2와 Tier 3는 모두 공장 수준의 활동도 자료에 기초한다. CO_2와 CH_4 배출량을 산정하기 위한 방법의 선택은 그림 3.5에 나와 있는 것처럼 국가 사정에 따라 달라진다.

카바이드 생산에 의한 CO_2와 CH_4

Tier 1 방법

카바이드 생산에 의한 배출량은 석유코크스 소비와 카바이드 생산, 용접의 용도로 사용된 아세틸렌을 생산하기 위해 사용된 탄화칼슘에 대한 활동도 자료(AD)와 기본배출계수 등을 통해 산정될 수 있다. 석유코크스 소비에 대한 AD가 사용될 때, 석유코크스에 대한 CCF와 COF는 제2권 1장에서 얻을 수 있고 그 결과는 C를 CO_2로 전환시키기 위해 44/12배 정도 증가될 것임에 틀림없다. 배출량 산정에 대한 기본식은 다음과 같다 :

식 3.11

카바이드 생산 시의 배출량

$$E_{CO2} = AD \bullet EF$$

여기서:

E_{CO2} = CO_2 배출, 톤

AD = 석유코크스 소비와 카바이드 생산에 대한 활동도자료, 사용된 원료 혹은 생산된 카바이드 톤

EF = CO_2 배출계수. 여기에는 다음과 같은 두 가지의 옵션이 있다. 카바이드 생산이 활동도 자료로서 사용될 때, EF는 평균적인 카바이드 생산에 대한 생산물의 단위 당 CO_2배출이 되어야 한다, CO_2 톤/카바이드 생산 톤. 또한 석유코크스 소비가 활동도 자료로 사용되면, EF는 44/12를 곱한 COF(탄소산화계수)에 의해 곱해진 CCF(탄소함유계수)가 되어야 하며, 또 EF는 생산물 속의 탄소 함유량을 설명하기 위해 조절되어야 한다, CO_2 톤 / 사용된 재료 톤

SiC에 대한 조정계수=0.35 ⇒ 배출계수 ⇒ 0.65 • CCF • COF • 44/12;

CaC_2에 대한 조정계수=0.67 ⇒ 배출계수 ⇒ 0.33 • CCF • COF • 44/12.

식 3.11은 CH_4 배출량 산정을 위해서도 사용될 수 있으며, 이 때 EF는 CH_4에 대한적절한 배출계수이다.

CaC_2 배출량의 산정은 아세틸렌 생산에 사용되는 CaC_2가 간접적으로 원인을 제공한 CO_2 배출량을 포함하는 것이 필요하다. 또한 식 3.11은 AD가 사용되는 CaC_2의 양이고, EF가 이 사용과 관련된 배출계수일 경우 적용될 수 있다. Tier 1 방법에서, 아세틸렌 생산에 사용되는 모든 CaC_2가 CO_2배출을 일으킨다고 가정하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법

Tier 2 방법은 카바이드 생산과 생산물에 함유된 탄소의 양에 대한 공장 수준의 자료를 사용한다. 또 CaC_2의 경우, 용접의 용도로 사용된 아세틸렌 생산을 위한 CaC_2사용에 대한 자료도 필요하다. 생산과 사용에 의한 배출량은 기본배출계수를 사용한 식 3.11을 통해 산정될 수 있다. 아세틸렌이 또 다른 장소에서 CaC_2로부터 생산되고, 이러한 목적을 위해 사용되는 CaC_2의 양이 알려져 있지 않은 경우, 이 사실을 문서화 하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 3 방법

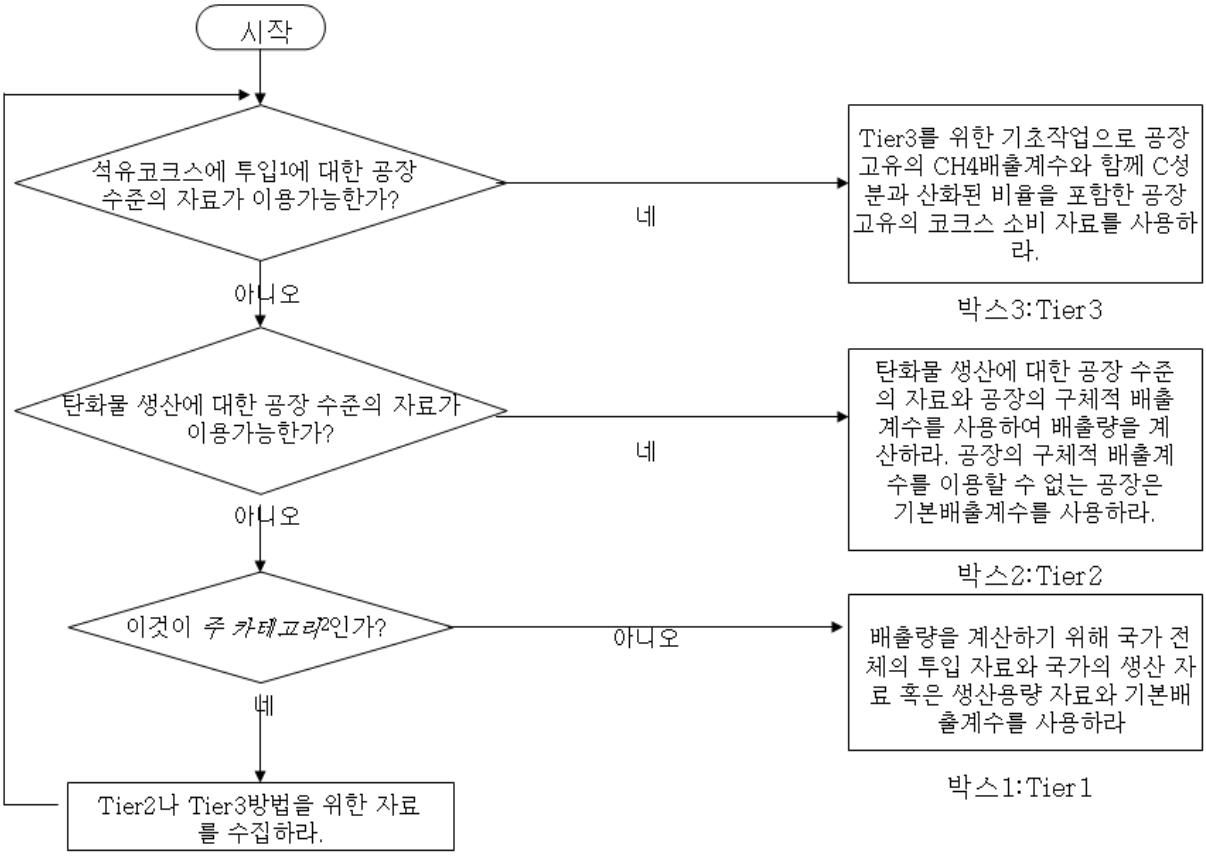
Tier 3 방법은 가능한 한 CCF와 COF와 함께 석유코크스 투입에 대한 공장 수준의 생산 자료를 필요로 한다. 또 대안적으로 사용될지도 모르는 CCF와 COF에 대한 국가의 고유 에너지 부문 값가 사용될 수도 있다. 생산물의 탄소함유량에 대한 공장 수준의 정보도 또한 필요하다.

CaC_2의 경우, 공장수준의 배출계수가 필요한 것처럼 용접의 용도로 사용된 아세틸렌 생산을 위한 CaC_2사용에 대한 자료도 요구된다. 또 아세틸렌이 또 다른 장소에서 CaC_2로부터 생산되고, 이러한 목적을 위해 사용되는 CaC_2의 양이 알려져 있지 않은 경우, 이 사실을 문서화 하는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 게다가 CH_4에 대한 공장수준의 배출계수도 수집되는 것이 필요하다. 식 3.11은 각 공장의 배출량을 산정하는 데에 적용될 수 있고 이러한 산정치의 합은 국가의 전체 배출량이 될 것이다.

생산 자료는 보고 목적으로만 수집되어야 하고 배출량 계산을 위해 사용되어서는 안 된다. 아세틸렌 생산 자료가 사용에 의해 분해될 수 없을 때, Tier 3 방법을 이용한 국가의 인벤토리 작성자에

게는 그런 상황이 발생하는 지점에서 어떤 배출량이라도 설명하는 것이 장려된다. 예를 들어, 용접의 용도로 사용된 아세틸렌의 배출량은 국가의 고유 배출계수를 사용하여 아세틸렌의 사용지점에서 설명되어져야 한다. 비슷한 접근이 아세틸렌의 다른 사용에 대해서도 이어져야 한다.

그림 3.5 카바이드 생산 시 발생되는 CO_2와 CH_4 배출량의 산정을 위한 의사결정도



주 :
1. '투입자료'란 원료소비자료이다.
2. 주 카테고리와 의사결정도의 이용을 위해 제1권 4장의 방법론적 선택과 주 카테고리의 확인(제한된 자원과 관련된 4.1.2절도 참고)을 참고하라.

3.6.2.2 배출계수의 선택

Tier 1 방법

Tier1 방법은 석유코크스가 산정에 사용될 때 생산물 속 탄소함유량과 CCF, COF에 대한 기본값을 사용한다. 대안적으로 탄소화합물이 사용될 때의 Tier1 방법은 표 3.7과 3.8에 나와 있는 적절한 기본배출계수를 사용한다. 두 경우 모두, CaC_2에 대한 배출계수가 적용된다.

Tier 2 방법

Tier1방법과 달리, Tier2방법은 생산물 속 탄소함유량을 제외한 기본배출계수 값을 사용한다. 또

이 때는 공장 수준의 자료가 필요하다.

Tier 3 방법

국가의 고유 에너지 부문 값을 사용할 수 있는 경우, Tier3방법은 석유코크스의 CCF와 COF를 제외한 모든 변인에 대한 공장 수준의 자료를 필요로 한다. 만약 그것이 공장 내에서 생산되고, CaC_2에 대한 공장 수준의 배출계수가 용접의 용도를 위해 아세틸 생산에 사용된다면, 이것은 석회에 대한 공장 수준의 배출계수를 포함하게 된다.

탄화규소 생산에서의 CO_2

화학량론적 반응에서 계산되는 것보다 탄화규소 생산 공정 시 더 많은 탄소가 필요하다. 여분의 탄소는 공정 중 산화되고, 재로 남는 것도 얼마 되지 않는다(Raaness, 1991). 코크스 속 탄소 함유량에 대한 노르웨이공장의 전형적 기본값은 97%이며, 생산물 속 탄소 함유량은 35%이다. 이는 전형적인 배출계수가 2.3톤의 CO_2/사용된 석유코크스의 양(톤)이거나, 혹은 2.62톤의 CO_2/생산된 카바이드의 양(톤)이라는 것을 함축한다.

탄화규소 생산에서의 CH_4

노르웨이공장에서의 측정은 10.2kg의 CH_4 / 석유코크스의 양(톤)이나 11.6kg의 CH_4 /생산된 카바이드의 양(톤)을 배출계수로 제시하고 있다.

표3.7
탄화규소 생산 시의 CO_2 와 CH_4 배출량에 대한 계수 기본값

공정	배출계수 (톤 CO_2/톤 raw material used)	배출계수 (kg CH_4/톤 raw material used)	배출계수 (톤 CO_2/톤 carbide produced)	배출계수 (kg CH_4/톤 carbide produced)
탄화규소 생산	2.30	10.2	2.62	11.6

출처 : *국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 1996 IPCC 가이드라인, 제3권, p.221*(IPCC, 1997)

탄화칼슘 생산에서의 CO_2

배출계수는 원료(석유코크스)의 사용과 물질밸런스 접근을 사용하는 탄화칼슘의 생산으로부터 얻을 수 있다. 탄화칼슘 제조과정에 사용되는 석회석은 약 98%의 $CaCO_3$을 함유하고 있고 어디에서나 설명될 수 있다. 1750kg의 석회석(혹은 950kg의 CaO), 640kg의 석유코크스 그리고 20kg의 탄소전극은 1톤의 탄화칼슘을 만들기 위해 필요한 양이다.

배출량 산정을 위한 기본 배출계수는 표3.8에 포함되어 있다.

표3.8
탄화칼슘의 생산과 사용에서 발생하는 CO_2 배출량에 대한 기본계수

공정	기본배출계수 (톤 CO_2/톤 raw material used)	기본배출계수 (톤 CO_2/톤 carbide produced)
석유코크스 사용	1.70	1.090
생산물의 사용	not relevant	1.100

출처 : *국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 1996 IPCC 가이드라인, 제3권, p.222*(IPCC, 1997)

석유코크스의 단계의 경우, 화학량론적 반응으로부터 계산된 이론적 배출계수는 표에서 보여주는 값보다 더 낮다. 여분의 탄소는 공정 중 산화되며, 제시된 배출계수는 노르웨이 공장에서 원료의 실제 사용으로부터 계산되어진다. 아세틸렌 사용에 대한 배출계수는 탄화칼슘의 실제 탄소함유량(화학양론적인 것이 아님)을 통해 계산된다.

CO_2배출량은 탄화칼슘으로부터 디시아노디아미드(dicyanodiamide)를 생산할 때 가스를 이용함으로써 더 낮아질지도 모른다(Olsen, 1991).

3.6.2.3. 활동도 자료의 선택

Tier 1 방법

Tier 1 방법은 카바이드 생산 시 사용되는 석유코크스에 대한 자료를 필요로 한다. 이러한 자료는 국가통계청이나 카바이드와 석유코크스 생산자를 대표하는 산업 및 무역 기관으로부터 얻을 수 있다.

Tier 2 방법

Tier 2 방법을 필요한 활동도 자료는 생산된 카바이드와 용접의 용도를 위해 아세틸렌 생산에 사용된 CaC_2의 양에 대한 공장수준의 자료를 포함한다.

Tier 3 방법

Tier 3 방법은 석유코크스 투입량과 용접의 용도를 위해 아세틸렌 생산에 사용된 CaC_2의 양을 포함한 모든 변인에 대하여 공장 수준의 활동도 자료를 필요로 한다.

Tier 2 방법은 개별 공장과 회사의 활동도 자료의 수집을 필요로 한다. Tier 1 방법에서는, 카바이드나 석유코크스 생산과 관련하여 국가통계청이나 산업 및 무역 기관으로부터 제공받은 활동도 자료가 사용되어야만 한다. 그러나 만약 공장이나 회사의 고유 자료가 충분하다면, 그 자료가 배출량을 산정하기 위해 사용될 수 있다.

3.6.2.4 완전성

카바이드 생산 공장은 각 나라마다 일반적으로 알려져 있다. 결과적으로 카바이드 생산 자료는 국가 통계 내에 출판되지는 않는다 할지라도, 국가 통계 데이타베이스 차원에서 이용하거나 혹은 수집될 수 있다. 석유코크스 소비 자료는 카바이드 생산 공장이나 코크스 생산자 혹은 무역가로부터 직접 얻을 수 있다. 활동도 자료와 배출량 산정은 CaC_2로부터 생산되는 아세틸렌이 반드시 CaC_2가 생산되는 똑같은 공장에서 생산되지 않을 수도 있기에 복잡해질 수 있다. 이것은 배출량이 발생한 지점에서 산정되는 CaC_2의 사용에서 기인한 배출량일 경우, 더 높은 tier 방법을 사용할 때 설명될 필요가 있다. 예를 들어서 용접의 용도로 사용되는 아세틸렌의 경우, 아세틸렌이 배출량인 CaC_2와 다른 지점에서 생산된다면 생산 후 짧은 시간 동안 사용될 가정 하에, 이유가 그 아세틸렌의 생산지점에서 설명되어야만 하는 것이다.

Tier 3 방법에 대한 공장 보고 부분 자료가 있거나 Tier 2에서 Tier 3로의 변화가 있는 나라에서, 변화기간 동안의 설비에 관련하여 Tier 3를 사용한 배출량을 보고하는 것은 어려울지 모른다. Tier3 방법 하에서의 자료가 모든 공장에서 유용하지 않을 경우, Tier 2방법이 남은 공장에서 이용

될 수 있다. 또한 Tier 2 방법 하에서의 자료가 공장의 일부분에서만 보고되거나, Tier 1에서 Tier 2로의 변화가 존재하면, 보고 하지 않는 공장에 의해 나타나는 생산의 몫을 결정하거나, 변화기간 동안 완전성을 보증하도록 Tier 1을 사용하여 남은 배출량을 산정하는 데에 이 정보를 사용할 수 있다.

3.6.2.5 일관된 시계열 개발

시계열에 따라 매년 똑같은 방법을 사용해 카바이드 생산에 의한 배출량을 산정해보는 것도 좋다. 만약 시계열에 따른 모든 기간에 대해 더 엄격한 방법을 지원하기에 자료가 충분치 않으면, 제1권 5장에서 제시된 가이드라인에 따라 이 차이를 재계산해보는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

3.6.3 불확도 평가

3.6.3.1 배출계수의 불확도

일반적으로, CO_2기본배출계수는 비교적 불확실한데 이는, 실제 산업규모의 카바이드 생산공정이 이론적 화학 반응의 화학량론과 다르기 때문이다. 또 CH_4에 대한 배출계수의 불확도는 원료(석유코크스)에 존재하는 수소함유 휘발성 화합물의 다양한 변이 때문에 야기되는데, 이는 다양한 제조업자들에 의해 사용되고 생산 공정 시 발생하는 매개변인도 다양하기 때문이다. 불확도 값을 다른 출처에서 얻을 수 없을 때에는, ±10%의 기본값을 사용할 수 있다.

기본값과 관련된 불확도보다 더 낮아야만 하는 공장 수준에서의 불확도 산정치를 구하는 것도 *우수실행(good practice)*이 된다.

3.6.3.2 활동도 자료의 불확도

활동도 자료를 공장에서 직접 구했을 때, 불확도 산정치는 생산자로부터 얻을 수 있다. 이것은 석유코크스와 사용된 석회석 그리고 카바이드 생산 자료의 불확도 산정치를 다 포함한다. 국가통계청이나 산업 및 무역 기관에서 획득한 자료는 대개 불확도 산정치를 포함하고 있지 않다. 그래서 샘플오차에 대한 정보를 얻을 수 있는 지에 대해 국가통계청에 자문을 구하는 것도 좋겠다. 국가통계청이 생산시설로부터 카바이드 생산 자료를 수집했을 경우, 국가적 통계치의 불확도는 공장수준의 협의에서 만들어진 불확도와 다를 것이라 예상되지 않는다. 불확도 값을 다른 출처에서 얻을 수 없으면, ±5 % 정도의 기본값이 사용될 수도 있다.

3.6.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

3.6.4.1 품질보증 및 품질관리

제1권 6.11절에 명시된 국가의 배출량 인벤토리 산정치를 산출하기 위해 요구되는 모든 정보를 문서화하여 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 제1권 6장에서 명시된 품질관리 검사를 수행하고 전문가가 배출량 산정치를 검토하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 또 이 배출원범위에서 배출량을 결정하기 위해 더 높은 tier 방법이 사용된다면, 더 광범위한 품질관리 검사와 품질보증 절차를 적용할 수도 있다. 인벤토리 작성자에게 제1권 4장에서 확인된 주 카테고리를 위해 더 높

은 tier QA/QC를 사용할 것을 추천한다.

제1권의 가이드라인과 더불어, 이 배출원범위와 관련된 구체적 절차는 밑에 명시된다.

다른 접근법을 사용한 배출량 측정값과의 비교
만약 Tier 2 방법(공장 고유의)이 사용된다면, 인벤토리 작성자는 그 배출량 산정치를 국가적 수준의 활동도 자료(Tier 1)를 사용해 계산된 산정치와 비교해야만 한다. 또한 그들은 똑같은 방법도 다양하게 변형해 계산된 배출량 산정치를 비교하는 것이 좋을 듯하다.

이러한 비교의 결과는 내부문서화를 위해 기록되어야만 하고 모순에 대해 설명도 포함되어 있어야 한다.

배출계수의 검토
인벤토리 작성자는 국가의 여러 가지 계수가 IPCC와 값과 비례하여 적정하다는 것을 보증하기 위해, 총체적인 국가의 배출계수들을 IPCC 기본배출계수들과 비교해야만 한다. 이와 똑같은 절차(IPCC 기본값과의 비교)가 공장 고유의 배출계수에도 또한 적용되어야 한다. 국가 혹은 공장 차원의 고유계수와 기본계수 간에 차이가 존재하는 이유는 설명되고 문서화 되어야 하는데, 특히 그들이 상황의 차이를 나타낸다면 더욱 그래야 한다.

공장수준의 자료 검사
공장 고유의 자료에 대해, 인벤토리 작성자는 그들이 실수를 반영하는지, 다른 측정 기술을 사용했는지, 원료 상에 존재하는 실재의 차이가 야기한 일인지, 혹은 운용조건이나 기술에 의한 것인지를 확증하기 위해 공장 간의 불일치를 검토해야만 한다.

인벤토리 작성자는 활동도 자료와 배출계수가 세계적으로 인정받고 증명된 측정방법에 일치하여 개발되었는지를 보증해야만 한다. 만약 개별 공장의 특정 배출 측정이 수집된다면, 인벤토리 작성자는 그 측정이 국가적으로 혹은 세계적으로 인정받는 기준에 따라 이루어진 것인지도 확실히 해야 한다. 측정의 실행이 이 기준보다 떨어지는 수준이면, 이 배출계수와 활동도 자료의 사용은 신중히 평가되고 불확도도 재고되어야 하며 자격도 문서화해야 한다.

전문가의 검토
인벤토리 작성자는 검토과정에서 카바이드와 석유코크스 생산에 관련된 중요한 산업 및 무역 기관을 포함시켜야 한다. 이 과정은 조사 전개의 초기단계부터 시작되어야 하는데, 이는 발전을 위한 투입과 방법의 검토 그리고 자료 획득을 제공하기 위한 것이다.

특히 제 삼자의 검토는 초기 자료 수집과 전사, 계산과 문서화 등과 관련된 모든 배출원범위에 있어 유용할 수 있다.

3.6.4.2 보고 및 문서화

제1권 6.11절에 명시된 국가의 배출량 인벤토리 산정치를 산출하기 위해 요구되는 모든 정보를 문서화하여 보관하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

3.7 이산화티타늄의 생산

3.7.1 서론

이산화티타늄(TiO_2)은 가장 일반적으로 쓰이는 백색안료 중 하나로서, 종이, 플라스틱, 고무(rubber), 도자기, 직물, 바닥재, 인쇄잉크 등 다방면에 필요한 도료 제조에 사용된다(Austin, 1984;Lowenheim and Moran, 1975). TiO_2를 약 4억 톤 정도 생산하며 상당한 양의 chloride route가 사용 된다 가정할 때, 이산화탄소(CO_2)의 배출은 상당할 것이며, 이는 온실가스 인벤토리 내에서 설명되어야 할 부분이다. sulphate route 생산이 비교적 안정을 찾은 1970년 이후, chloride route에 의한 국제적 생산은 거의 8배 정도 증가했다(Kirk-Othmer, 1999; p.2017). 생산물들을 특별히 구분 지을 필요가 없다면, 일반적으로 이산화티타늄 제품을 일반적으로 이산화티타늄이라고 한다. 특히 이 논의는 티탄슬래그와 합성 루틸(synthetic rutile)(>90 % TiO_2), 그리고 rutile TiO_2에 적용된다.

3.7.2 방법론적 이슈

TiO_2는 예추석(anatase) TiO_2와 금홍석(rutile) TiO_2 이렇게 두 가지로 생산되는데, TiO_2의 형태는 결정구조와 최종 생산물의 순도에 따라 달라진다. 예추석 TiO_2는 티탄철석(본래 제1철을 함유한 티탄산염(FeO.TiO2))을 황산과 함께 침지시키거나 황산염(sulphate) 공정을 통해 혹은 티탄슬래그를 통해 생산될 수 있다. 산분해 루트(acid digestion route)에 대한 기초 반응식은 다음과 같다 (Lowenheim and Moran,1975p.814) :

$$FeTiO_3 + 2H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + TiO.SO_4 + 2H_2O$$
$$TiO.SO_4 + 2H_20 \rightarrow TiO_2.H_2O + H_2SO_4$$
$$TiO_2.H_2O + heat \rightarrow TiO_2 + H_2O$$

황산염 루트 공정은 중요성을 지니는 온실가스 배출량의 생산을 야기하지 않는다.

TiO_2 생산 시 사용되는 세 가지의 공정이 온실가스 배출량을 야기하는데, 그 세 가지는 전기로에서의 티탄슬래그 생산과 Becher 공정을 사용한 합성 금홍석의 생산 그리고 염화물(chloride) 루트를 통한 금홍석 TiO_2의 생산이다.

예추석 TiO_2의 생산을 위해 사용되는 티탄슬래그는 티탄철석을 용해하는 전기로를 통해 만들어진다. 전기로의 용해작업이 티탄철석 속에 포함된 불순물인 제2철을 환원시킬 경우, 티탄슬래그가 산성 환원과정에 사용될 필요는 없다. 금홍석 TiO_2는 공정 중 사용된 환원제로부터 발생된 예추석 TiO_2 공정 배출량의 후속 과정을 통해 생산된다.

Becher 공정이 사용될 겨우, 합성 금홍석의 생산은 CO_2 배출을 야기하는데, 이 공정은 티탄철석 속의 산화철을 금속성 철(metallic iron)로 환원시킨 다음, 그것을 다시 산화철로 산화시킨다. 또 이 과정 중에 이산화티타늄이 약 91-93%의 순도를 지닌 합성 금홍석으로 분리된다(Chemlink, 1997). 흑탄은 환원제로 사용되고, 이 때 발생하는 CO_2는 산업 공정 배출량로 처리되어야 한다.
금홍석 TiO_2를 생산하기 위한 주요 방법은 염화물 루트이다. 금홍석 TiO_2는 사염화티타늄($TiCl_4$)을 생산하기 위해 금홍석 원석이나 합성 금홍석에 열탄소 염소처리 방법을 사용할 때 생산된다. 또 $TiCl_4$의 산화작용은 다음 반응에 따라 TiO_2를 발산시킨다(Kirk-Othmer, 1999; p.2017).

$$2TiO_2 + 4Cl_2 + 3C \rightarrow 2TiCl_4 + 2CO + CO_2$$
$$TiCl_4 + O_2 \rightarrow TiO_2 + 2Cl_2$$

여분의 공기 속에 있던 더 많은 CO전환을 통해 CO_2에 투입된 C가 완전히 전환된다는 가정과 화학량론에 근거하여, CO_2 배출계수는 TiO_2 1톤당 CO_2 0.826톤 이하가 될 수 없다(이는 TiO_2 1mole 당 CO_2 1.5mole임을 기초로 한 것임).

3.7.2.1 방법의 선택

배출량은 환원제의 양이나 열탄소 투입과 관계가 있기에, 이산화티타늄 생산 시 발생하는 CO_2를 계산하는 일반적 접근은 생산물에 상관없이 똑같다. 그림 3.6의 의사결정도에 나와 있는 것처럼, 우수실행(good practice)의 선택은 국가의 상황에 따라 달라진다. TiO_2 생산 시 공정 배출량로 발생하는 이산화탄소는 주로 티탄슬래그 생산 시 일어나는 anode carbon 산화과정이나 Becher 공정을 사용해 합성 루틸(synthetic rutile)을 생산할 때 발생하는 석탄의 산화과정 그리고 chloride route를 통한 rutile TiO_2 생산 공정에서의 석유코크스 산화과정, 이런 세 가지의 산화과정에 의해 발생한다.

방법은 이용 가능한 공장 수준의 자료 정도에 따라 분류된다.

Tier 1 방법

Tier1 방법은 국가 통계청에서 획득한 활동도 자료에 의해 증가된 산출물 단위의 기본배출계수를 사용한다.

식 3.12
Tier 1 방법에서 티탄슬래그, 합성 금홍석과 TiO_2 생산 시 발생하는 CO_2 배출량

$$E_{CO2} = \sum (AD_i \bullet EF_i)$$

여기서:

E_{CO2} = CO_2 배출, 톤

AD_i = 티탄슬래그, 합성 루틸(synthetic rutile) 혹은 rutile TiO_2(생산물i)의 생산, 톤

EF_i = 티탄슬래그, 합성 루틸(synthetic rutile) rutile TiO_2(생산물i)생산단위 당 CO_2 배출, CO_2톤/생산물 톤

Tier 2 방법

식 3.13
Tier2방법에서 티탄슬래그, 합성 금홍석과 TiO_2 생산 시 발생하는 CO_2 배출량

$$E_{CO2} = \sum (AD_i \bullet CCF_i \bullet COF_i \bullet 44/12)$$

여기서:

E_{CO2} = CO_2 배출, kg

ADi = 환원제의 양 혹은 열탄소 투입i, GJ

CCF_i = 환원제의 탄소함량계수 혹은 열탄소 투입i, kg C/GJ

COF_i = 환원제에 대한 탄소산화계수 혹은 연탄소 투입i, fraction

정확성을 위해, 공장수준에서 공장 운영자로부터 얻은 모든 자료 투입량을 식 3.13에 적용하는 것도 좋다.

공장 수준의 정보를 이용할 수 없을 때, *우수실행(good practice)*은 표 3.9에 나와 있는 것처럼 합성 금홍석 혹은 금홍석 TiO_2를 위한 기본 CO_2 배출계수를 제공해주는데, 티탄슬래그를 위한 기본계수는 공장 수가 적은 관계로 이용할 수 없다.

박스 3.6

이중계산 (DOUBLE COUNTING)

이중계산을 피하기 위해, 환원제로 사용된 탄소전극과 석탄 그리고 chloride route 공정에 사용된 석유코크스의 양은 에너지 부문의 에너지, 비에너지 사용 부분에 보고된 양에서 차감되어야 한다.

3.7.2.2 배출계수의 선택

Tier 1 방법

공장 수준의 정보를 이용할 수 없을 때, 기본계수를 사용하는 것도 좋다. 이 기본값은 종종 자료의 중앙치나 평균점(전문가 분석에 의해 결정된)을 나타낸다. 그들이 특정 공장의 배출률을 대표하는 정도는 알려져 있지 않다. 생산물에 의한 기본계수는 표3.9에서 제공되는데, 이 값은 오로지 공장 고유의 자료를 이용할 수 없는 경우에만 사용해야 한다. 기본계수는 CO_2의 탄소 함유량이 완벽하게 전환됨을 가정하며, 산출 단위 당 환원제나 열탄소 투입 산정치에 근거한다.

Tier 2 방법

공장 수준의 자료는 산화티탄 생산에서의 CO_2배출량을 계산하는 데에 가장 정확한 자료를 제공한다. Tier3 방법에서, 산화된 탄소의 비율과 함께 환원제의 탄소 함유량과 열탄소 투입양은 배출된 CO_2의 양을 얻기 위한 중요한 배출계수 변수이다.

표3.9

산화티탄 생산을 위한 기본계수 (생산물 1 톤당 CO_2(톤))

생산물	배출계수와 각각의 불확도 (CO_2 톤, 생산물 톤)
티탄슬래그[1]	이용할 수 없음
합성 루틸(synthetic rutile)[2]	1.43 (± 10%)
Rutile형 이산화티타늄(chloride route)[3]	1.34 (± 15%)

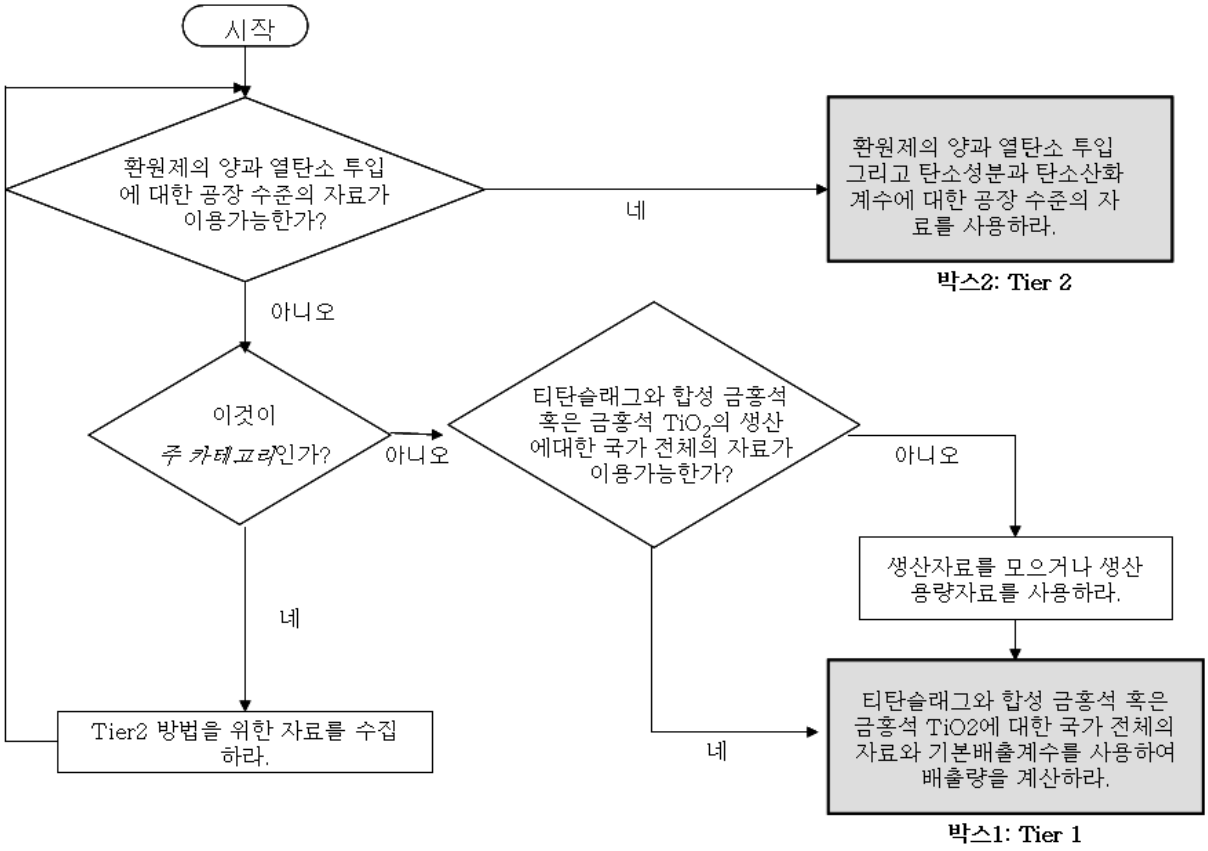
출처 :

[1] 공장이 두 곳 밖에 없기 때문에 기본배출계수는 이용할 수 없고 또 그 자료도 기밀이다. 개별 공장이 국가적 온실가스 인벤토리에서 공장 고유의 배출량 산정치를 포함해보는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

[2] Iluka Resources에서 제공된 자료에서 구함

[3] EIPPCB로부터 개정됨(2004a; p.99).

그림 3.6 이산화티타늄 생산 시 발생되는 CO_2 배출량의 산정을 위한 의사결정도



주 :

1. 주 카테고리와 의사결정도의 이용을 위해 제1권 4장의 방법론적 선택과 주 카테고리의 확인(제한된 자원과 관련된 4.1.2절도 참고)을 참고하라.

3.7.2.3. 활동도 자료의 선택

Tier 2 방법의 사용이 가능한 세부적 수준의 활동도 자료를 수집하는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 그 방법을 적용할 때, 활동도 자료 때문에 부정확한 배출계수가 증가되는 것을 막기 위해 생산물 간 분명한 차이를 두는 것이 필수적이다.

Tier 1 방법

Tier 1 방법은 티탄슬래그와 합성 금홍석, 금홍석 TiO_2의 국가적 생산 자료를 필요로 한다. 만약 국가 수준의 활동도 자료를 이용할 수 없으면, 기본계수를 사용하여 산정된 배출량과 함께 생산용량에 관한 정보가 사용될 수 있다. 80% ±10%의 용량이용계수(범위는 70-90%)를 국가 전체의 생산 용량에 곱하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법

Tier 2 방법을 위해 요구되는 공장 수준의 활동도 자료는 전체 환원제 사용량과 전체 탄소 전극 소비량 그리고 전체 열탄소 투입량이다. 또한 전체적인 티탄슬래그 생산과 합성 금홍석의 생산 그리고 금홍석 TiO_2 생산에 대한 자료를 수집하는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 생산 자료의 수집은 시간과 관련된 산출 대비 투입량을 비교하게 해주며, 일관된 시계열을 보증하는 데에 안전한 토대를 제공한다. 공장 수준의 배출계수를 사용할 때, 공장 수준의 생산 자료를 수집하는 것도 *우*

*수실행(good practice)*이다. 전형적인 공장 수준의 활동도 자료는 정확한 정보를 소유하는 것에 대한 경제적 가치 때문에 ±2%수준으로 정확하다고 가정된다. 공장 수준의 자료를 이용할 수 없을 때에는 국가적으로 수집된 생산 자료가 사용될 수 있다.

3.7.2.4 완전성

이산화티타늄 생산을 위한 전체영역은 티탄슬래그와 합성 금홍석, 금홍석 TiO_2를 포함한 모든 배출원에서 모든 배출량을 설명하는 것까지 해당된다. CO_2배출량은 주요 공정 배출량이다. 이 배출원 카테고리로부터 NO_X, CO, SO_2의 배출량을 포함하기 위해 제1권 7장 : 일반적 가이드라인과 보고에서 제공되는 가이드라인을 참고하라.

3.7.2.5 일관된 시계열 개발

배출량 계산법이 바뀔 때마다 언제든 CO_2 배출량은의 모든 것은 다시 계산되어야만 한다(예를 들어, 만약 인벤토리 작성자가 기본값의 사용을 공장 수준에서 결정된 실제 값의 사용으로 변화시킨다면 모든 것을 다시 계산해야 되는 것이다). 만약 시계열에 따른 모든 시간의 것에 대해, 생산 테이터를 포함한 공장 고유의 자료를 이용할 수 없다면, 현재의 공장 자료가 이전 년도의 배출량을 재계산하기 위해 어떻게 사용되어질 수 있는 지를 고려해야만 한다. 공장 운영이 실질적으로 변하지 않았다는 가정 하에, 현재 공장 고유의 배출계수를 이전 년도의 생산 자료에 적용하는 것도 가능할지 모른다. 재계산을 할 때에는 배출 경향의 어떤 변화도 진짜임을 확실히 해야 하며 절차에 있어서도 인위적 변화를 두어서는 안 된다. 제1권 5장에서 제공된 가이드라인에 따라 시계열을 재계산해보는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

3.7.3 불확도 평가

3.7.3.1 배출계수 불확도

기본값에 대한 불확도는 전문가의 판단에 근거한 산정치이다. 기본값과 관련된 불확도보다 더 낮아야만 하는 공장 수준에서의 불확도 산정치를 구하는 것도 *우수실행(good practice)*이 된다.

3.7.3.2 활동도 자료 불확도

활동도 자료를 공장에서 직접 구했을 때, 불확도 산정치는 생산자로부터 얻을 수 있다. 이것은 환원제의 사용과 열탄소 투입, 생산 자료의 불확도 산정치를 다 포함한다. 국가통계청에서 획득한 자료는 대개 불확도 산정치를 포함하고 있지 않다. 그래서 샘플오차에 대한 정보를 얻을 수 있는지에 대해 국가통계청에 자문을 구하는 것도 좋겠다. 국가 통계청이 이산화티타늄 생산 시설을 모집단으로 하여 자료를 수집했을 경우, 국가적 통계치의 불확도는 공장수준의 협의에서 만들어진 불확도와 다를 것이라 예상되지 않는다. 불확도 값을 다른 출처에서 얻을 수 없으면, ±5 % 정도의 기본값이 사용될 수도 있다.

3.7.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

3.7.4.1 품질보증 및 품질관리

제1권 6장에서 명시된 품질관리 검사를 수행하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 또 배출량을 결정하기 위해 더 높은 tier 방법이 사용된다면, 더 광범위한 품질관리 검사와 품질보증 절차를 적용할 수도 있다. 인벤토리 작성자에게 제1권 4장에서 확인된 주 카테고리를 위해 더 높은 tier QA/QC를 사용할 것을 추천한다.

배출계수의 비교

인벤토리 작성자는 산정된 배출계수가 Tier 1 방법을 위해 제공된 기본배출계수의 범위 안에 존재하는 지 확인해야만 하며, 배출계수가 화학공정 분석을 통해 얻어진 값과 일치하는 지도 확실히 해야 한다. 예를 들어, 염화물 루트 공정을 통한 금홍석 TiO_2의 CO_2 생성량은 생산된 금홍석 TiO_2 1톤 당 CO_2가 0.826톤 이하여서는 안 된다. 만약 배출계수가 산정 범위를 벗어난다면, 그 차이를 설명할 수 있는 공장의 특별한 환경을 평가하고 문서화하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

만약 개별 공장의 배출 측정이 수집된다면, 인벤토리 작성자는 그 측정이 국가적으로 혹은 세계적으로 인정받는 기준에 따라 이루어진 것인지도 확실히 해야 한다. 그 공장에서 사용 중인 QC 절차와 QC계 획도 즉시 참고해야 하는데, 측정의 실행이 QC 기준과 일치하지 않으면 인벤토리 작성자는 그 자료의 사용을 재고해야 한다.

3.7.4.2 보고 및 문서화

제1권 6.11절에 명시된 국가의 배출량 인벤토리 산정치를 산출하기 위해 요구되는 모든 정보를 문서화하여 보관하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 국가의 인벤토리 보고에서 모든 자료를 포함시키는 것은 실용적이지 않다. 그러나 인벤토리는 사용된 방법의 요약을 포함해야 하며, 보고된 배출량 산정치가 명백함과 그들의 계산 절차가 다시 확인될 수 있도록 자료 출처에 대한 참고문헌을 포함하고 있어야 한다.

공장 고유의 자료 검사

다음에 이어지는 공장 고유의 자료는 배출량 산정치에 대해 적절한 감사가 요구된다.

- 탄소전극 소비(티탄슬래그), 석탄 환원제 사용(합성 금홍석), 열탄소 투입(금홍석 TiO_2), 티탄슬래그 생산, 합성 금홍석 생산, 금홍석 TiO_2생산 등을 포함한 활동도 자료
- 환원제의 탄소 함유량(탄소전극과 석탄)과 열탄소 투입(석유코크스), 그리고 공정 중 산화된 비율 등을 포함한 배출계수 자료
- 계산과 산정 방법
- 가정의 목록
- 공장 고유의 측정 및 측정 결과에 대한 문서화

일반적으로, 생산과 공정의 자료는 특히 국가 내에 공장의 수가 적을 경우 공장 운영자가 소유한다고 인식된다. 자료의 수집(집합)을 포함해 적절한 기술을 적용하고 기밀인 자료의 보호를 확실히 하는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

3.8 소다회 생산

3.8.1 서론

소다회(탄산나트륨, Na_2CO_3)는 유리 제조, 비누와 세정제, 펄프와 종이 생산, 물 처리 등을 포함한 많은 산업에 원료로 사용되는 백색의 결정체이다. 이산화탄소(CO_2)는 소다회로부터 배출되고, 이 배출량은 제3권 2장에서 논의된 것처럼 관련된 이용 산업 하에서 배출원으로 설명되고 있다. CO_2는 또한 소다회 제조에 사용되는 산업 공정에 따라 배출되는 것과 더불어 생산 과정 중에 배출되기도 한다.

소다회 생산 시 발생하는 CO_2 배출량은 제조공정에 따라 실질적으로 달라지는데, 4가지의 다른 공정은 소다회를 생산하기 위해 상업적으로 이용될 수 있다. 이 공정 중 모노수화물(monohydrate), 세스퀴탄산나트륨(sodium sesquicarbonate)(trona), 직접 탄화(direct carbonation) 이렇게 세 가지는 천연공정으로 언급되고, 네 번째인 솔베이법(Solvay process)은 합성공정으로 분류된다. 탄산칼슘(석회암)은 솔베이법에서 CO_2의 배출원으로 사용되는데, 석회암과 다른 탄산염의 다양한 사용처는 제3권 2장에서 논의된다.

3.8.2 천연 소다회 생산

세계적인 생산량의 약 25%가 천연공정으로 언급되는 천연 나트륨 탄산염베어링(bearing)퇴적물을 통해 생산된다. 이 생산 공정 중에, 트로나(Trona)(천연 소다회를 만들어 내는 중요한 광석)는 로터리 킬른 속에서 소성되고, 화학적으로 천연 소다회로 변형된다. 이산화탄소와 물은 이 공정의 부산물로 생성된다. 이산화탄소 배출량은 다음 화학 반응에 기초한다.

$$2Na_2CO_3.NaHCO_3.2H_2O\ (Trona) \rightarrow 3Na_2CO_3\ (Soda\ Ash) + 5H_20 + CO_2$$

3.8.2.1 방법론적 이슈

방법의 선택

방법의 선택은 국가의 상황에 따라 달라진다. 배출량은 산출에 근거한 접근(산출 단위 당 배출량)이나 투입에 근거한 접근(투입 단위 당 배출량)을 통해 산정될 수 있으나 자료를 이용할 수 있다면 투입에 근거한 접근을 사용하는 것이 좋다.

방법은 이용 가능한 공장 수준의 자료 정도에 따라 분류되는데, Tier1 방법은 기본값과 국가 통계에 기초하고, Tier2 방법은 완성된 공장 수준의 투입 혹은 산출자료와 공장 고유의 배출계수에 기초한다. 만약 CO_2 배출량에 대한 모니터링과 직접적 측정이 있다면, 이것은 Tier3 방법과 동등해질 것이다.

Tier 1 방법

천연 소다회 생산은 CO_2를 배출하는데, 이는 소다회를 생산하기 위한 트로나($Na_2CO_3.NaHCO_3.2H_2O$)의 소성(Calcination)을 통해 이루어진다. 위에서 제시된 화학 반응에 따르면, 1톤의 이산화탄소를 생산하기 위해 트로나는 10.27톤이 든다. 따라서 트로나를 사용한 천연 소

다회 생산에서, 이산화탄소 배출량은 다음 공식처럼 트로나의 투입이나 천연 소다회 산출로 계산될 수 있다.

식 3.14
Tier1방법에서 소다회 생산 시 발생하는 CO_2 배출량

$$E_{CO2} = AD \bullet EF$$

여기서:

E_{CO2} = CO_2 배출량, 톤

AD = 사용된 트로나 양이나 생산된 소다회의 양, 사용된 트로나(톤) 혹은 생산된 소다회(톤)

EF = 트로나 투입 혹은 천연 소다회 산출 단위 당 배출계수, 톤 CO_2/톤 of 트로나 혹은 톤 CO_2 / 생산된 천연 소다회 톤:EF_{Trona}=0.097톤 CO_2/ 톤 of 트로나,$EF_{Soda\ Ash}$ =0.138톤 CO_2/ 생산된 천연 소다회 톤

완벽함을 추구하기 위해 이용할 수 있는 국가 통계치를 평가하는 것도 좋다. *우수실행(good practice)*의 선택은 그림 3.7 : 천연 소다회 생산 시 CO_2 배출량의 산정을 위한 의사결정도에 나와 있듯 국가의 상황에 따라 달라진다. 만약 트로나 투입의 순도에 대한 자료가 없다면, 그것을 90%라고 가정하고, 식 3.14에 나와 있는 배출계수를 조정하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

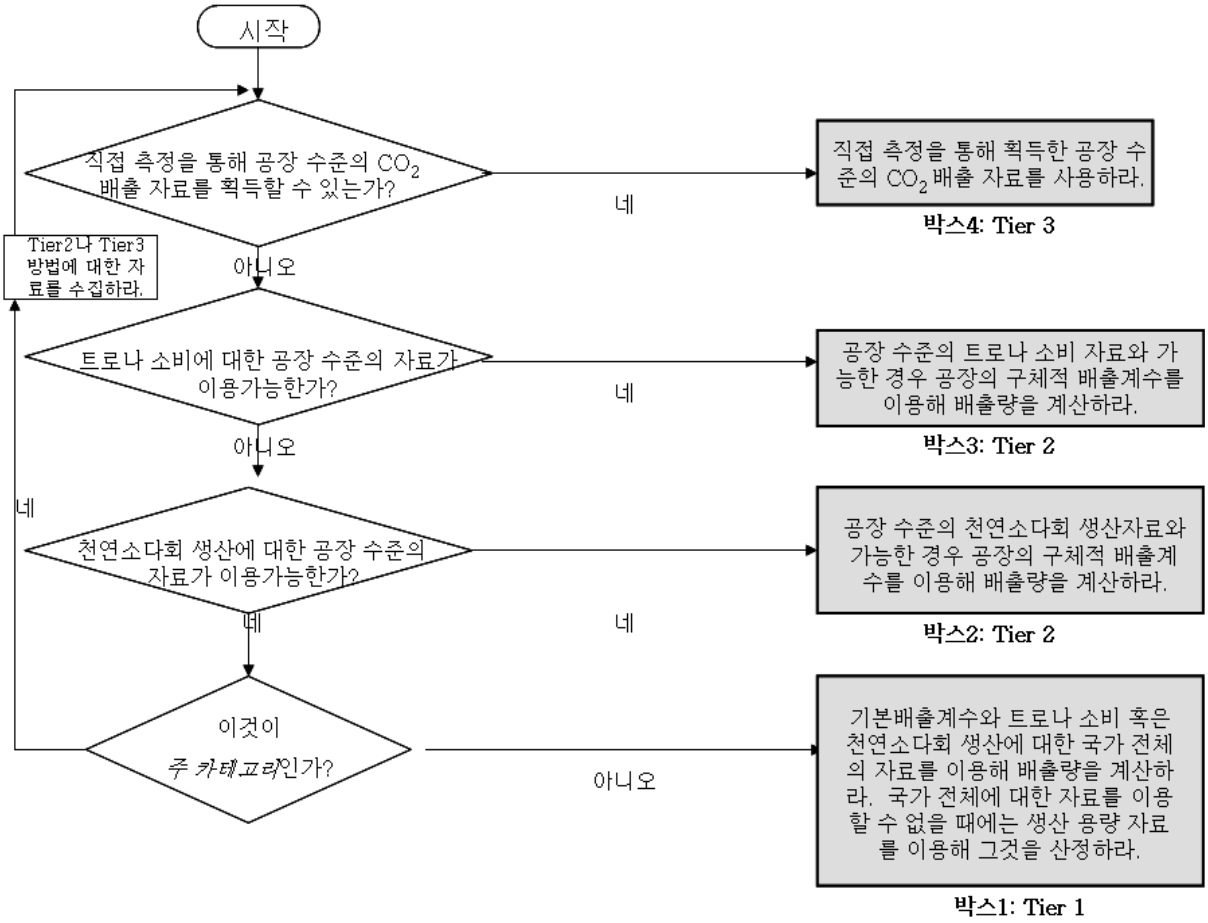
Tier 2 방법

Tier2 방법을 사용하기 위해서는 트로나 투입이나 소다회 산출에 대한 공장 고유의 배출계수와 함께, 국가 내에 존재하는 개별 공장의 트로나 소비나 천연 소다회 생산에 대한 완성된 자료를 수집하는 것도 필요하다. 개별 공장의 CO_2 배출량은 식 3.14를 변형시켜 사용해 계산될 수 있다. 공장 고유의 배출계수를 이용할 수 없는 공장에서는 식 3.14가 제공하는 기본배출계수가 사용될 수도 있다. 전체 CO_2 배출량은 모든 공장의 배출량 합계가 된다.

Tier 3 방법

Tier3 방법은 직접 측정을 통해 얻은 공장 수준의 CO_2 배출량 자료를 사용한다. 전체 CO_2 배출량은 모든 공장의 배출량 합계가 된다.

그림 3.7 천연 소다회 생산 시 발생되는 CO_2 배출량의 산정을 위한 의사결정도



주 :
1. 주 카테고리와 의사결정도의 이용을 위해 제1권 4장의 방법론적 선택과 주 카테고리의 확인(제한된 자원과 관련된 4.1.2절도 참고)을 참고하라.

배출계수의 선택

Tier 1 방법

Tier 방법은 식 3.14에 제시된 기본계수를 사용하는데, 기본배출계수는 생산된 소다회와 트로나로부터 얻은 정제된 세스퀴탄산나트륨 사이의 화학량론 비율에서 얻을 수 있다. 소다회가 정제된 세스퀴탄산나트륨의 소성에 의해 생산될 경우, 그들은 현재 사용되고 있는 천연 생산 공정에 기초한다.

Tier 2 방법

Tier2 방법은 천연 소다회 산출 단위나 트로나 투입 단위에 해당하는 공장 수준 배출계수를 필요로 한다. 공장 수준의 배출계수는 트로나 투입과 천연 소다회 산출의 부분 순도를 반영해야만 하는데, 공장 수준 배출계수의 유도 과정에서 이것을 계산에 넣는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

활동도 자료의 선택

Tier2 방법의 사용이 가능한 세부적 수준의 활동도 자료를 수집하는 것도 *우수실행(good practice)* 이다. 그 방법을 적용할 때, 활동도 자료 때문에 부정확한 배출계수가 증가되는 것을 막기 위해 생산물 간 분명한 차이를 두는 것이 필수적이다.

Tier 1 방법

Tier1 방법은 트로나의 국가적 소비와 천연 소다회의 국가적 생산에 관련된 자료를 필요로 한다. 만약 국가 수준의 활동도 자료를 이용할 수 없으면, 기본계수를 사용하여 산정된 배출량과 함께 생산용량에 관한 정보가 사용될 수 있다. 80% ±10%의 용량이용계수(범위는 70-90%)를 국가 전체의 생산 용량에 곱하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법

Tier2 방법을 사용하기 위해서는 활동도 자료가 공장 수준에서 수집되어야 하는데, 가장 중요한 자료는 소다회 생산에 사용되는 트로나의 양과 개별 공장에서 생산된 천연 소다회의 양이다. 배출량이 트로나 투입에서 비롯되었다면 소다회 생산이 계산에 사용되지 않겠지만, 시간과 관련된 산출 대비 투입량을 비교하고, 일관된 시계열을 보증하는 데에 안전한 토대를 제공하기 위해 이 자료를 수집하고 보고하는 일은 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

완전성

활동도 자료(예를 들면 트로나 이용)의 완전성은 *우수실행(good practice)*을 위한 중요한 사항이다. 그러므로 완전성을 위해 이용 가능한 국가 통계치를 평가하는 것도 좋다. 만약 공장 수준의 자료를 이용할 수 있다면, 이 자료를 수집해 이용 가능한 국가 수준의 자료와 함께 그 결과를 검사해 보는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 이 실행방법은 중요한 소다회 생산자가 혹시 포함되지 않은 것은 아닌지를 평가할 수 있게 해주고, 국내의 모든 생산 공정이 고려되었는지도 보증해 준다. 만약 공장 수준의 자료를 이용할 수 없다면, 완전성의 목적을 위해 생산용량자료와 함께 배출량을 산정하기 위한 국가 통계치를 사용하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

일관된 시계열 개발

시계열에 따라 매 해마다 똑같은 방법으로 소다회 배출량을 계산하는 것도 좋으며, 만약 시계열에 따른 모든 기간에 대해 더 엄격한 방법을 지원하기에 자료가 충분치 않으면, 제1권 5장에서 제공된 가이드라인에 따라 이 차이를 재계산해보는 것도 *우수실행(good practice)*이 될 것이다.

3.8.2.2 불확도 평가

배출계수 불확도

화학량론 비율은 정확한 숫자이고, 투입과 산출의 100% 순도를 가정하며 기본배출계수의 불확도를 무시한다. 그러나 기본계수는 트로나 투입이나 소다회 산출의 부분적 순도를 계산에 넣지 않기에 배출량에 대한 일관된 과대평가가 예상된다. 앞에서도 언급했듯, 트로나 투입의 순도 관련 자료를 이용할 수 없다면 그것을 90%라 가정하고 식 3.14에 나와 있는 배출계수를 조정하는 것도 좋다. 공장 수준의 자료에 근거해 불확도 산정치를 개발하는 것도 좋다.

활동도 불확도

공장에서 활동도 자료를 얻었을 경우, 불확도 산정치는 생산자로부터 얻을 수 있다. 이것은 사용된 트로나와 소다회의 불확도 산정치를 포함할 것이다. 국가통계청에서 획득한 자료는 대개 불확도 산정치를 포함하고 있지 않다. 그래서 샘플오차에 대한 정보를 얻을 수 있는 지에 대해 국가통계청에 자문을 구하는 것도 좋겠다. 국가 통계청이 소다회 생산 시설을 모집단으로 하여 자료를 수집했을 경우, 국가적 통계치의 불확도는 공장수준의 협의에서 만들어진 불확도와 다를 것이라 예상되지 않는다. 불확도 값을 다른 출처에서 얻을 수 없으면, ±5 % 정도의 기본값이 사용될 수도 있다.

3.8.2.3. 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

품질보증 및 품질관리

제1권 6장에서 명시된 품질관리 검사를 수행하고 전문가가 배출량 산정치를 검토하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 또 이 배출원범위에서 배출량을 결정하기 위해 더 높은 tier 방법이 사용된다면, 제1권에서 명시된 추가적 품질관리 검사와 품질보증 절차를 적용할 수도 있다. 인벤토리 작성자에게 제1권 4장에서 확인된 주 카테고리를 위해 더 높은 tier QA/QC를 사용할 것을 추천한다.

다른 접근법을 사용한 배출량 산정값과의 비교

만약 상향식(bottom-up) 접근이 사용된다면, 인벤토리 작성자는 그 배출량 산정치를 하향식(top-down) 접근을 사용해 계산된 산정치와 비교해야만 한다. 이러한 비교의 결과는 내부문서화를 위해 기록되어야만 하고 모순에 대해 설명도 포함되어 있어야 한다.

보고 및 문서화

제1권 6.11절에 명시된 국가의 배출량 인벤토리 산정치를 산출하기 위해 요구되는 모든 정보를 문서화하여 보관하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 국가의 인벤토리 보고에서 모든 자료를 포함시키는 것은 실용적이지 않다. 그러나 인벤토리는 사용된 방법의 요약과 자료 출처에 대한 레퍼런스, 그리고 산정치를 재생산하기 위해 필요한 모든 정보를 포함해야 한다.

배출량과 더불어, 계산(트로나 이용; Trona Utilisation)에 사용되는 활동도 자료와 유도과정에서 사용된 모든 가정과 함께 상응하는 배출계수를 보고하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

내부적으로 일치하는 배출량 시계열을 보존하기 위해, 국가의 방법이 변화될 때마다 전체 시계열을 재계산하는 것도 *우수실행(good practice)*이다. 만약 어떤 생산에 대해서도 기밀성이 문제가 된다면, 산정치는 보안을 유지할 수 있는 최소한의 정도로 수집될 수 있다.

3.8.3 솔베이법을 통한 소다회 생산

세계적인 소다회 생산의 약 75%가 염화나트륨을 통해 만들어진 합성 회(ash)이다. 솔베이법에서, 염화나트륨 수용액, 석회석, 야금 코크스, 암모니아는 소다회의 생산을 유도하는 일련의 반응에 사용되는 원료이다. 그러나 암모니아는 재생되고, 아주 작은 양만 손실된다. 솔베이법과 관련된 일련의 반응들은 다음과 같이 설명된다.

$$CaCO_3 + heat \rightarrow CaO + CO_2$$
$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$
$$2NaCl + 2H_2O + 2NH_3 + 2CO_2 \rightarrow 2NaHCO_3 + 2NH_4Cl$$
$$2NaHCO_3 + heat \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$$
$$Ca(OH)_2 + 2NH_4Cl \rightarrow CaCl_2 + 2NH_3 + 2H_2O$$

위의 전체적 반응은 다음과 같이 요약될 수 있다 :

$$CaCO_3 + 2NaCl \rightarrow Na_2CO_3 + CaCl_2$$

위에 제시된 일련의 반응들 중, CO_2는 두 가지의 열분해 공정에서 생성된다. 생성된 CO_2는 수집되어 압축되고, 식염수(aqueous NaCl)와 암모니아의 혼합물에서 소비를 위해 솔베이 측진탑으로 옮겨진다. CO_2가 부산물로 생성되기는 하지만, CO_2는 재생되어 탄산화 단계에서의 사용을 위해 재활용된다. 따라서 이론에서 이 공정은 중립적이며 이 말인즉슨 CO_2 생성은 흡수(uptake)와 같다는 뜻이다.

실제에서, 일부의 CO_2는 솔베이법을 통한 생산 중에 대기 중으로 배출되는데, 이는 화학량론적으로 요구되는 양보다 더 많은 CO_2가 생산되기 때문이다. 여분의 CO_2는 야금 등급 코크스와 함께 석회석을 소성하면서 발생한다. 석회석은 무게로 약 7%의 석회석이 있을 때 코크스와 결합된다. 소다회 공장의 입장에서 CO_2배출량을 산정할 때에는 전체 화학 공정에서 CO_2의 전반적 밸런스에 근거해야만 한다. 인벤토리를 위해 밸런스의 단순한 버전이 사용될 수 있는데, 이는 CO_2배출량이 탄소코크의 화학량론적 산화과정에서 야기된다는 가정이 포함된 것이다. 솔베이 암모니아 소다회 생산법은 화학산업 활동이고, 배출량은 산업 공정과 생산물 사용(IPPU)부문에서 보고되어야만 한다.

박스 3.7

이중계산 (DOUBLE COUNTING)

이중계산을 피하기 위해, 소다회 생산 공정에서 발생하는 CO_2배출량은 **IPPU 부문**에서 설명하고, **에너지 부문**에는 포함하지 말아야 한다. 생산 과정에서 사용되는 코크스는 코크스의 비에너지 사용으로 **에너지 부문**에서 생략되어야 한다.

3.8.3.1 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

에너지 부문의 솔베이법에 야금 등급 코크를 사용하면서 생기는 배출량이 들어있는 것은 이 배출량을 산정하기 위한 방법론이 산업 공정과 생산물 사용(IPPU)에서 제공되지 않는다는 것을 의미한다. 그러나 솔베이법을 통한 소다회 생산 관련 자료는 수집되어 대조의 과정을 거쳐야 하는데, 이는 솔베이법에 의한 소다회 생산의 모든 자료를 기록, 보고, 보관 하여 소다회와 관련된 국가의 통계와 이 자료가 일치하는 지를 보증하기 위해서이다.

품질보증 및 품질관리(QA/QC)

제1권 6장에서 명시된 품질관리 검사를 수행하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 또 제1권에서 명시된 추가적 품질관리 검사와 품질보증 절차를 적용할 수도 있다. 인벤토리 작성자에게 제1권 4장에서 확인된 주 카테고리를 위해 더 높은 tier QA/QC를 사용할 것을 추천한다.

보고 및 문서화

제1권 6.11절에 명시된 국가의 배출량 인벤토리 산정치를 산출하기 위해 요구되는 모든 정보를 문서화하여 보관하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 국가의 인벤토리 보고에서 모든 자료를 포함시키는 것은 실용적이지 않다. 그러나 인벤토리는 사용된 방법의 요약과 자료 출처에 대한 레퍼런스, 그리고 산정치를 재생산하기 위해 필요한 모든 정보를 포함해야 한다.

3.9 석유화학 제품과 카본 블랙 생산

3.9.1 서론

석유화학산업은 천연가스등의 화석연료나 나프타 등의 석유정제품 등을 원료(feedstock)처럼 사용한다. 이 과에서는 메탄올과, 에틸렌, 프로필렌[2], 2염화에틸렌(에틸렌 다이클로라이드), 에틸렌 옥사이드, 아크릴로니트릴 등을 생산하면서 배출되는 양을 측정하기 위한 가이드라인을 제공하고 있다. 이 석유 화학제품들은 전 세계적 생산량과 이와 관련된 온실가스배출이 상대적으로 매우 크기 때문에 자세히 다뤄질 것이다.
그러나 포함된 화합물들은 석유화학공정산업을 대표한다고 볼 수는 없다. 이외에도 스티렌 생산 공정 등의, 적은 양의 온실가스를 배출하는 다른 석유화학공정들이 많이 존재하며 이들에 대한 자세한 가이드라인은 제공되지 않는다.

또한 본문에서는 카본블랙의 생산에 대해 다룬다. 카본블랙은 석유화학제품으로 여겨지지 않으나 그 생산 공정에 석유화학제품 원료(feedstock)가 사용된다. 카본블랙 생산으로부터 배출되는 양은 석유화학공정으로부터 배출되는 양보다 적으나 특정 국가들에서 매우 중요하다.

메탄올, 에틸렌, 프로필렌, 이염화에틸렌 (에틸렌 다이클로라이드), 에틸렌 옥사이드, 아크릴로니트릴 카본블랙의 생성을 위한 생산라인에 사용되는 연료의 예는 첨부 에 3장9절에 포함이 될 것이다.

할당 및 보고 (Allocation and reporting)
석유화학산업과 카본블랙산업에서 기본적인 화석연료들(천연가스, 석유, 석탄)은 석유화학제품과 카본블랙 생산에서 비 연료 목적으로 사용된다. 이런 기본적인 화석연료의 사용은 열을 내기 위한 탄화수소(hydrocarbon) 부분의 연소와 이차연료(off gases)의 생산을 포함할 수도 있다.

원료(feedstock)로부터 얻어진 연료의 연소 배출은 IPPU부문의 연료분리장치에 할당되어야 한다. 그러나 연료가 연료분리장치가 아니라 공정외부로 전달이 되면 배출은 반드시 보고되어야 한다. 그림 1.1에서 볼 수 있듯이, 화학산업 (2B1-2B10)과 화학공정과 이번 권의 제 1장에 있는 생산물 사용 배출원 장치 등이 이러한 산업으로 분류된다. 연료의 에너지 이외의 용도에 대한 내용은 이번 권의 제1장과 5장에서 더 자세히 다뤄질 것이다.

국가 에너지 통계는 에너지 생산을 위해 화석연료(천연가스, 기름, 석탄 등)와 이차연료(산업공정 발생 가스)의 전체 연소를 포함할 수 있다. 만일 석유화학 산업에서 사용되는 연료가 국가 에너지 통계에 포함되는지 조사하는 것이 중요하다. 만일 이것이 그 경우라면, 이중 계산을 피하기 위해 계산된 에너지 부문 배출량에서 석유화학공정에 의한 배출을 감해야 한다. 이것은 특히 기본적인 일차 정제원료 소비가 국가 에너지 통계에 보고되기도 하는 에틸렌과 메탄올에 특히 적절하다

이산화탄소 수집장치는 설치되어 공장에서 사용되어야 하며 더 상위 tier 배출 계산상에서 수집된 이산화탄소를 제거하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 기본적인 가정은 이산화탄소 수집 및 저장 (CCS) 이 일어나지 않는 것이다. 이산화탄소 수집을 계산하는 방법은 어떤 것이든지 공정에서

[2]프로필렌에 대한 별도의 인벤토리 방법이 없다는 것에 주의하자. 프로필렌은 에틸렌 생산의 공동 생산물로 가정한다.

수집된 이산화탄소의 배출이 연소과정과 연소와 연관된 공정을 모두에 있다는 것을 반영하여야 한다. 연소와 공정에 의한 배출이 독립적으로 보고될 경우에, 인벤토리 작성자는 이산화탄소의 같은 양이 이중으로 계산되지 않도록 확인하여야 한다. 이러한 경우에, 전체적으로 수집된 이산화탄소의 양은 가급적 에너지연소와 IPPU 배출원 카테고리의 비율면에서 생성된 CO_2 양에 부합하도록 보고되어야 한다. 이산화탄소 수집 및 저장에 관한 더 자세한 정보는 제3권 1.2.2절에서 언급될 것이며, 수집과 저장에 관한 더 상세한 내용은 제2권 2.3.4절에서 기술될 것이다.

석유화학 공정은 수집된 이산화탄소를 원료(feedstock)로서 그 밖의 장소에서 사용할 수도 있고, 이산화탄소는 또한 석유화학공정에서 수집될 수도 있다. 이것은 이중 계산 가능한 가능성을 창출할 수도 있다. 예를 들어, 일부 메탄올 공장이 자른 산업공정에서 수집된 부산물 이산화탄소를 원료로 메탄올 생산을 위해 사용할 수 있다. 이중 계산을 피하기 위해 수집된 이산화탄소는 수집된 공정에서 배출량으로서 보고되어선 안 된다.

메탄올

전 세계적으로 거의 대부분의 메탄올은 천연가스의 제 구성하는 과정에 의해 만들어진다. 이 재형성과정과 반응으로의 이동은 이산화탄소와 일산화탄소, 수소등의 '합성 가스' 를 생산한다. 천연가스에서 메탄올로의 생산공정은 메탄올과 부산물인 이산화탄소, 일산화탄소, 수소를 합성가스로부터 만들어낸다. 천연가스나 다른 연료로부터 메탄올을 생산하는 데는 몇 가지 전형적인 재합성과정, 조합형 재합성, 그리고 부분적인 산화공정 등 다른 공정들이 있다. 특정 연료에서 메탄올을 생산하기 위한 공정흐름도식은 3.9의 첨부에서 제공된다(첨부 3.9A). 공정 설명은 아래 박스 3.8에서 제공된다.

박스 3.8

메탄올 공정 설명

전형적인 개질 공정

하나의 개질 유닛이나 일차-이차 개질유닛을 포함하는 증기개질과 메탄올 합성을 포함한다. 전체적인 식은 :

증기 개질	이동 반응	메탄올 생산
$CH_4+H_2O \rightarrow CO+3H_2$ $C_nH_n+nH_2O \rightarrow nCO+(m/2+n)H_2$	$CO+H_2O \rightarrow CO_2+H_2$	$CO+2H_2 \rightarrow CH_3OH$ $CO_2+3H_2 \rightarrow CH_3OH+H_2O$

증기개질/이동반응	메탄올 생산
$2CH_4+3H_2O \rightarrow CO+ CO_2 +7H_2$	$CO+ CO_2 +7H_2 \rightarrow 2CH_3OH+2H_2+H_2O$

이 공정에서의 수소와 메탄(CH_4)을 포함하는 메탄올 공정의 정화가스, 그리고 비메탄 휘발성유기화합물(NMVOC)은 일반적으로 메탄올 생산 공정 내에서 에너지 회수를 위해 공정을 위한 공정 증기나 전기를 생산하려는 목적으로 재생되고 연소된다. 전통적인 개질공정은 메탄올 생산 공정에 대한 보충 원료로서 다른 산업공정으로부터 수집된 CO_2를 이용하기도 한다.

조합형 개질 공정

조합형 개질 공정은 전형적인 증기 개질 공정과 촉매 부분산화공정을 병합한 것이며 부분적 산화 화학반응식은:

메탄올 증기 개질 반응	원료 산화 반응
$CH_4+1/2O_2 \rightarrow CO+2H_2 \rightarrow CH_3OH$	$CH_4+O_2 \rightarrow CO_2+2H_2$

조합형 개질 공정은 수소와 일산화탄소, 이산화탄소간의 비율이 전형적인 개질공정에 의한 것보다 더 조화된 합성 가스를 생산하며, 에너지 회복을 위한 수소가스 증기를 생산하지 않는다. 이 공정을 메탄올 공정내의 에너지 복구를 위해 연소되는 메탄을 포함한 정화가스를 생산한다.

다른 생산 공정들

메탄올은 기름, 석탄, 또는 석유화학연료의 부분산화반응이나 석탄의 합성가스로의 반응에서 생산 될 수 있다. 이러한 연료나 공정들은 전세계적 메탄올 생산의 매우 작은 부분을 차지한다.

에틸렌

거의 모든 에틸렌은 석유화학연료의 증기 분해방식에 의해 만들어진다. 에틸렌은 석유화학공장에서 석유화학연료의 증기 분해나 분해에 이은 석유의 정제공정과정의 다른 공정에 의해 생성될 수 있다. 에틸렌 생산을 위한 증기 분해 방식은 이와 더불어 프로필렌과 부타디엔 등을 이차 산물로 만들어낸다. 증기 분해 공정은 박스 3.9.에 설명되어 있다.

박스 3.9

에틸렌 공정 설명

증기 크래킹

에틸렌 생산에 대한 기본적인 화학반응식은 다음과 같다.

에탄의 에틸렌으로 탈수소화
$C_2H_6 \rightarrow C_2H_4+H_2$

에탄올 생산을 위한 증기 분해에 사용될 원료의 형태와 조합은 지역마다 다양하며 에탄과 프로판, 부탄, 나프타, 가스 오일, 다른 석유화학 원료 등을 포함한다. 미국에서 대부분의 에틸렌은 에탄의 증기 분해에 의해 생산되지만 유럽이나 한국, 일본에서는 대부분 나프타의 증기 분해에 의해 생산된다.

에틸렌 생산을 위한 석유화학원료의 증기분해는 또한 프로필렌, 부타디엔, 아로마틱 화합물 등의 다른 고부가가치 석유화학산물을 생산한다. 전세계적으로 대부분의 프로필렌은 증기분해나 석유정제공장의 액체촉매 분해장치로부터 에틸렌 생산의 부산물로 제조된다. 나프타를 이용한 증기분해는 가장 큰 프로필렌 제조의 배출원이라 할 수 있다. 촉매에 의한 프로판의 탈수소화반응에 의한 프로필렌의 제조을 위한 다른 공정기술들도 있다. 이번 과에서 배출량의 산출방법은 증기분

해장치의 에틸렌과 프로필렌의 생산에 대해서만 적용하고, 다른 에틸렌이나 프로필렌의 생산 기술에는 적용하지 않는다는 것을 숙지하자. 또한 증기분해공정은 공정 중에 수소와 메탄, 그리고 에너지 획득을 위해 연소되는 탄소 4개의 탄화수소를 부산물로 생산한다.

(Houdek, 2005: 3-4쪽, 그림 1 참조)

에틸렌다이클로라이드(2염화에탈렌)와 비닐클로라이드 모노머(염화비닐단일체)

전세계적으로 대부분의 에틸렌이염(ethylene dichloride, 1,2-염화에탄) 은 에틸렌의 직접적인 염화나 산화염화 방식이나 두 가지 공정의 조합에 의해 생산된다. 이의 생성을 위한 흐름도면이 첨부 3.9A에 제공된다. 에틸렌 다이클로라이드와 비닐클로라이드 모노머의 생산에 대한 공정 설명이 박스 3.10에 나와 있다. 이염화에틸렌(dichloroethylene)과 1—2-dichloroethene 은 다른 화합물이다.

박스 3.10

에틸렌다이클로라이드(2염화에틸렌)와 염화비닐 모노머 공정 설명

직접적 염소화와 산화염화 공정

직접적인 염소화공정은 에틸렌과 클로린의 기체상태 반응을 포함한다. 산화염소화공정은 에틸렌과 염화수소와 산소의 기체상태반응을 포함한다. 에틸렌다이클로라이드는 이후에 염화비닐 모노머와 염화수소로 분해된다. 산화염소화공정은 에틸렌 연료의 직접적인 산화반응으로부터 생성된 부산물인 이산화탄소를 포함한 가스제거 공정을 생산한다.

기본적인 화학반응식은 다음과 같다.

직접적 염소화	산화염소화반응	염화에틸렌>염화비닐
$C_2H_4 + Cl_2 \rightarrow C_2H_4Cl_2$	$C_2H_4 + \frac{1}{2}O_2 + 2\ HCl \rightarrow C_2H_4Cl_2 + H_2O$ $[C_2H_4 + 3\ O_2 \rightarrow 2\ CO_2 + 2\ H_2O]$	$2C_2H_4Cl_2 \rightarrow 2\ CH_2CHCl + 2\ HCl$

조화형 공정(balanced process)

2염화에틸렌을 생산하기위한 직접적인 염소화공정과 염화비닐 모노머를 생산하기 위한 2염화에틸렌의 증기분해공정의 병합은 부수적으로 염화수소를 생산한다. 염화산소화 공정은 염화수소를 위한 흡수원을 제공한다. 그러므로 2염화에틸렌과 염화비닐 모노머의 생산은 직접적인 염소화 공정과 염화산소와 공정이 합쳐져 조화된 공정이 이루어질 수 있다. 혼합형 공정은 또한 직접적인 에틸렌 원료의 산화의 부산물인 이산화탄소를 포함한 벤트 가스를 생산한다.

기본적인 화학반응식은 다음과 같다.

염화에틸렌-염화비닐 모노머 반응	원료산화반응
$2C_2H_4 + Cl_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow 2\ CH_2CHCl + H_2O$	$[C_2H_4 + 3\ O_2 \rightarrow 2\ CO_2 + 2\ H_2O]$

염화에틸렌 생산을 위한 직접적인 염소화공정과 염화산소화공정은 에틸렌 원료의 이용에 있어서 100% 효과적이지는 않다. 에틸렌 원료의 3%(?)는 2염화에틸렌으로 변환되지 않고 이산화탄소(염

화산소화공정의 직접적인 산화에 의해)나 다른 염소화된 탄화수소(산화염소화공정이나 직접적인 염소화공정)로 변환된다. 다른 염소화된 탄화수소를 포함하는 배출 가스 공정은 일반적으로 대기 중으로 배출하기 전에 처리된다. 염소화된 탄화수소들은 열에 의한 소각공정이나 촉매 소각 공정에서 이산화탄소로 변화된다. 대부분의 2염화에틸렌/염화비닐 모노머공장들은 소각기 배출 가스와 공정 배출 가스로부터 에너지를 얻는다.

에틸렌 옥사이드

에틸렌 옥사이드 (C_2H_4O)는 에틸렌과 산소를 촉매와 반응시켜서 제조된다. 에틸렌 원료의 직접 산화에 의한 부산물인 이산화탄소는 재활용되는 탄산염 용액을 사용한 벤트 흐름 공정에서 제거되고, 회수된 이산화탄소는 대기 중으로 배출되거나 다른 용도(음식 생산 등)로 사용될 수 있다. 산소는 공기나 공기에서 정제된 순수 산소로 공급될 수도 있다. 에틸렌 옥사이드 생산을 위한 원료부터의 공정 흐름도는 첨부 3.9A에 제공된다. 공정 설명은 아래 박스 3.11에 제공된다.

박스 3.11

에틸렌 옥사이드 공정 설명

에틸렌에서 에틸렌 옥사이드와 모노에틸렌 글리콜 생산을 위한 기본적인 화학반응식은 다음과 같다.

에틸렌 옥사이드 반응	원료 산화반응	모노에틸렌 글리콜 생산
$C_2H_4 + ½O_2 \rightarrow C_2H_4O$	$C_2H_4 + 3\ O_2 \rightarrow 2\ CO_2 + 2\ H_2O$	$C_2H_4O + H_2O \rightarrow HO\text{-}\ C_2H_4\ \text{-}\ OH$

에틸렌 옥사이드 반응과 부산물 반응의 비율은 생산된 에틸렌 옥사이드의 톤 당 소비된 에틸렌 톤으로 표현되는 에틸렌 반응공정의 선택성을 규정한다. 혼합된 에틸렌 옥사이드 반응과 이산화탄소 부산물 반응은 발열반응으로 열을 생산하고 이것은 그 공정을 위해 필요한 증기를 생산하기 위해 사용된다. 에틸렌 옥사이드 공정은 또한 다른 액체와 배출 가스 부산물(에탄 같은)을 생상하고 이들은 공정 중에 필요한 에너지를 얻기 위해 연소된다. 공정으로부터 생산되는 이산화탄소와 다른 부산물의 양과 공정으로부터 생산되는 증기의 양은 그 공정의 선택성에 의해 좌우된다.

에틸렌 옥사이드는 글리콜과 글리콜 에테르, 알코올, 아민등의 제조 원료로 사용된다. 전 세계적으로 에틸렌 옥사이드의 약 70%가 모노에틸렌 글리콜을 포함하여 글리콜 제조에 사용된다.

아크릴로니트릴

전세계적으로 90% 이상의 아클리로니트릴(시안화 비닐)은 프로필렌과 암모니아(NH3), 산소가 촉매에 의해 직접적인 암모니아 산화반응 방식을 통해 만들어진다. 이 공정은 오하이오 표준정유회사(the Standard Oil Company of Ohio)의 이름을 따서 SOHIO 공정이라고도 일컬어진다. 아크릴로니트릴은 또한 프로판의 암모니아 산화반응(ammoxidation)에 의해서나 프로판과 과산화수소의 반응에 의해 바로 제조될 수 있다. 프로판-과산화물의 직접적인 반응 공정은 최근에 British Petroleum (BP)와 다른 제조사들 (DOE, 2000) 에 의해 상용화되었다. 그러나, 프로판을 원료로 하는 아크릴로니트릴 생산에 대한 공정 자료는 아직까지 유용한 것이 없다. 그러므로 배출측정법은

이 공정에 대해서만 제공된다. 프로필렌으로부터 아클리로니트릴 생산을 위한 공정 흐름도는 첨부 3.9A에 제공될 것이고, 공정 설명은 박스 3.12에 제공될 것이다.

박스 3.12

아크릴로니트릴 공정 설명

SOHIO 공정

SOHIO 공정은 화합물 급의 프로필렌, 암모니아, 산소가 촉매제에 의해 촉매되는 유동층반응을 포함한다. 촉매제는 중금속산화물(bismuth, molybdenum)의 혼합물이다. 이 공정은 아크릴로니트릴을 일차 산물로 생산하고, 아세토니트릴(시안화메틸)과 시안화수소(HCN)를 이차 산물로 생산한다. 주요 생산물인 아크릴로니트릴의 공정 산출량은 부분적으로 사용된 촉매의 유형과 공정 구성에 따라 달라진다. 암모니아 산화반응 공정 또한 부산물로 CO_2, CO, 또 프로필렌 원료의 직접산화에 의한 용수를 생산해 내며, 암모니아 산화반응 공정에서의 부가적 반응으로부터 다른 탄화수소가 생산된다.

아세토니트릴과 시안화수소는 흡수에 의해 아크릴로니트릴로부터 분리되고, 시안화수소는 공장에서 다른 생산물의 제조에 사용되거나 생산물로서 판매될 수 있다. 사용되지 않거나 판매되지 않은 시안화수소는 에너지 회수나 flare를 위해 연소될 수 있다. 아세토니트릴 또한 생산물로서의 판매를 위해 회수될 수 있으나 주로 에너지 회수와 flare를 위해 사용되는 경우가 더 일반적이다. CO_2, CO, 질소, 용수, 미반응 프로필렌 그리고 다른 탄화수소를 포함하고 있는 주요 흡수장치 벤트에 의한 배출 가스는 플레어되거나(flared) 에너지 회수와 함께 혹은 에너지 회수 없이도 열산화반응이나 촉매산화반응의 유닛(unit)에서 처리된다.

아세토니트릴의 무거운(heavy) 잔유 액체 - 시안화수소 - 아크릴로니트릴 흡수 분리 공정 또한 에너지 회수나 재활용을 위해 연소될 수 있다. 아크릴로니트릴과 다른 비메탄 탄화수소들 또한 저장 탱크를 포함한 다양한 공정 벤트로부터 배출된다. 이런 다양한 공정 벤트들은 에너지 회수를 위해 플레어되거나(flared) 수집 혹은 연소될 수 있다.

암모니아 산화반응에 의한 아크릴로니트릴 생산을 위한 기본적인 화학식은 다음과 같다.

아크릴로니트릴 반응 $CH_2=CHCH_3 + 1.5\ O_2 + NH_3 \rightarrow CH_2=CHCN + 3\ H_2O$	시안화수소 반응 $CH_2=CHCH_3 + 3\ O_2 + 3\ NH_3 \rightarrow 3\ HCN + 6\ H_2O$
아세토니트릴 반응 $CH_2=CHCH_3 + 1.5\ O_2 + 1.5\ NH_3 \rightarrow 1.5\ CH_3CN + 3\ H_2O$	원료 산화 $C_3H_6 + 4.5\ O_2 \rightarrow 3\ CO_2 + 3\ H_2O$ $C_3H_6 + 3\ O_2 \rightarrow 3\ CO + 3\ H_2O$

아크릴로니트릴에 대한 프로필렌의 암모니아 산화반응은 프로필렌 원료의 이용 면에서 100% 효율적이지 않다. 프로필렌 원료의 70% 정도는 아크릴로니트릴로 전환된다. 프로필렌 원료의 85% 정도는 주요 생산물인 아크릴로니트릴이나 이차 생산물인 아세토니트릴 혹은 시안화수소로 전환된다. 프로필렌 원료의 잔여물은 암모니아 산화반응 공정에서 원료의 직접산화에 의해 바로 CO_2로 전환될 수도 있고, 암모니아 산화반응 공정에서의 부가적 반응을 통해 다른 탄화수소로 전환될 수도 있다.

카본블랙 (Carbon Black)

전 세계적으로 거의 모든 카본 블랙은 'furnace black' 공정을 사용하는 석유, 석탄 원료로부터 생산된다. 카본 블랙 생산의 공정 설명은 박스 3.13에서 제공된다. 노(furnace) 블랙 공정은 공정에 필요한 에너지를 제공하기 위해 카본 블랙 원료의 일부분이 연소되는 부분연소 공정을 말한다. 카본 블랙은 또한 '채널블랙'공정과 '램프블랙'공정 등, 다른 석유 원료나 석탄 원료의 부분적 산화공정이나 천연가스나 아로마틱 오일의 부분 산화('채널 블랙 공정')에 의해 바로 생산될 수 있다. 카본 블랙은 또한 아세틸렌 함유 원료(feedstock)('아세틸렌 블랙 공정')의 열분해나 다른 탄화수소의 열분해('열분해 공정')에 의해 생산될 수 있다. 전체 카본 블랙 생산량의 약 95 %는 'furnace black'공정에 의해서 이루어지고 나머지 5 %는 다른 공정에 의해 이루어진다.

생산된 전체 카본 블랙의 약 90 %는 타이어나 고무 산업('고무 블랙'이라 칭함)에 사용되고 나머지는 염료관련 분야(잉크 등)를 비롯한 다른 분야(탄소 건전지 등)에 사용된다. 카본 블랙은 노(furnace) 블랙, 열 블랙, 아세틸렌 카본 블랙, 채널 블랙, 램프 블랙 공정 등에 의해 생산될 수 있으며 이러한 공정은 아래 박스 3.13에 기술되어 있다. 어떤 원료에서 노(furnace) 블랙 공정을 통한 카본 블랙 생산까지의 흐름은 첨부 3.9A에 나와 있다.

박스 3.13

카본 블랙 생산 공정 설명

노(furnace) 블랙 공정

노(furnace) 블랙 공정은 정유 공정이나 야금용 코크스 생산공정의 부산물로서 생기는 아로매틱 중유인 '카본 블랙 원료('카본 블랙 오일'이라고도 함)'로 생산된다. 석유나 석탄으로부터의 원료의 경우, 카본 블랙 원료인 '일차 원료'는 '이차 원료'(일반적으로 천연 가스, 오일)에 의해 가열된 로(furnace)로 주입된다. 천연가스와 카본 블랙 원료의 일부는 산화되어 열을 제공하여 나머지 카본 블랙 원료의 열분해를 통한 카본 블랙을 생산한다. 노(furnace) 블랙 공정에서 생긴 벤트 가스는 CO_2, 와 CO, 황화합물, CH_4, NMVOC 등을 포함한다. Tail gas의 일정 부분은 일반적으로 연소되어 하위 카본 블랙 생산물 건조에 필요한 열을 낸다. 남아있는 tail gas는 에너지를 얻기 위해서 연소되거나, 불타거나 방치되어 공기 중으로 배출되기도 한다.

열 블랙 공정

카본 블랙은 기체 상태의 탄화수소나 노(furnace) 생산 과정에서 공기 없이 (진공상태의) 원자화된 석유 오일의 열분해에 의해 생산된다. 카본 블랙의 원료는 보통 천연 가스나 카본 블랙 제조 공정에서 발생한 오프 가스 등의 이차 원료에 의해 가열된 한 쌍의 로(furnace)에 유입된다. 하나의 로(furnace)가 이차 원료에 의해 가열되는 동안 다른 하나의 로(furnace)에는 카본 블랙 원료가 주입된다. 이 공정의 효율은 대략 공급된 전체 탄소의 45 % (또는 사용된 카본 블랙 원료의 40 %) 이고 에너지 이용은 약 280 MJ/생산된 카본 블랙 kg 이다.

아세틸렌 블랙 공정

카본 블랙은 또한 아세틸렌이나 아세틸렌을 함유한 light 탄화수소를 예열된 반응기에 주입함에 의해 발열 공정 중에 분해되어 생산된다. 전체 아세틸렌 생산은 단지 매년 4000 에 불과하다. 이 공정에서 얻어진 카본 블랙은 이론적으로 약 95-99 % 정도 된다. 아세틸렌 블랙은 약 99.7%의 탄소이다.

다른 생산 공정들

채널 블랙 공정은 운반 기체(코그 오븐 가스, 수소, 메탄 등)와 함께 로(furnace)에서 연소 증발된 카본 블랙원료의 부분 산화를 포함한다. 이 공정에 의한 카본 블랙 생산은 고무-등급 카본 블랙 생산을 위한 탄소 공급의 60 %를, 염료 급 카본 블랙의 10-30 %를 충당한다.

램프 블랙 공정은 얇은 팬에서 카본 블랙 원료를 연소시키는 것이다. 수율이나 에너지소비에 대한 자료들은 아직 충분치 않으며 전 세계적 카본 블랙 생산의 미미한 정도를 차지한다.

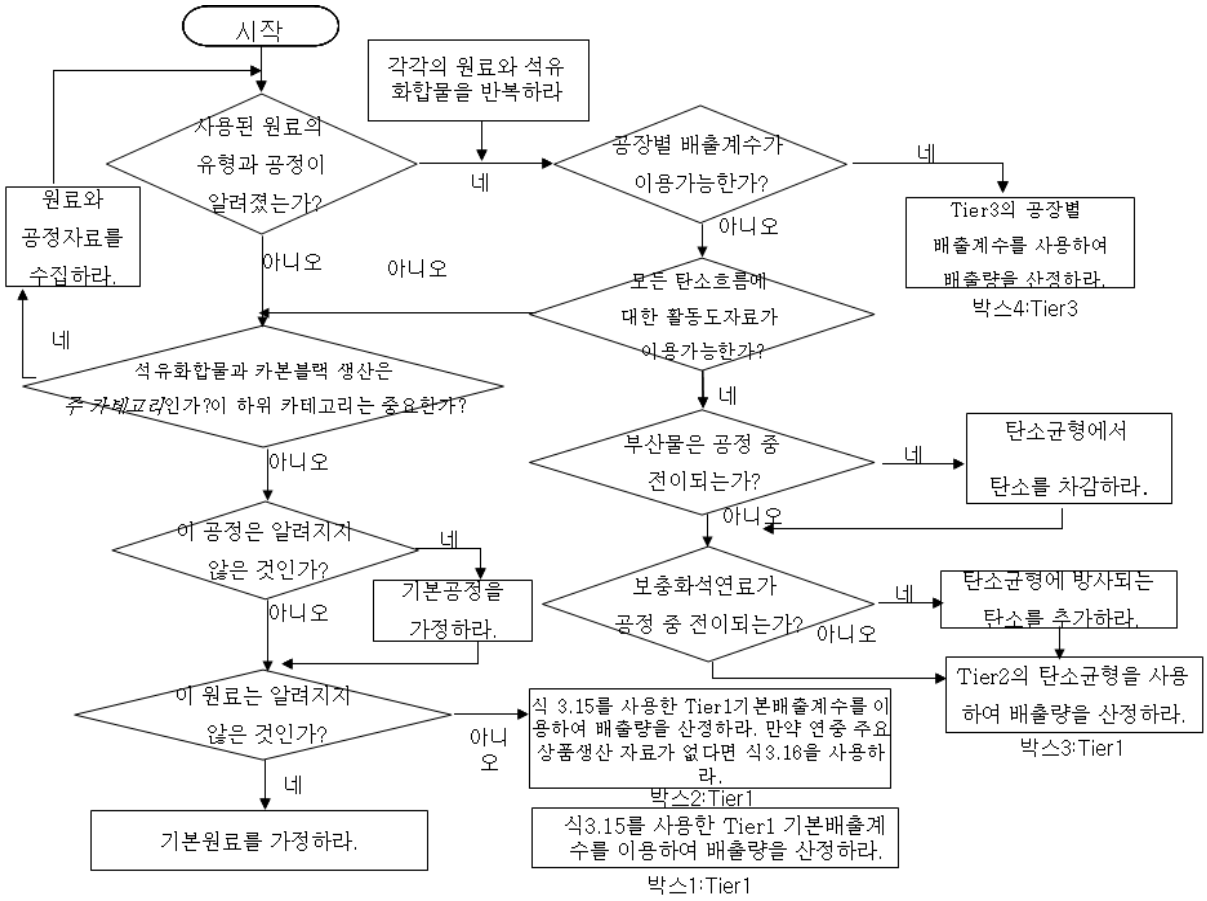
(Kirk Othmer, 1992)

3.9.2. 방법론적 이슈들

3.9.2.1. 방법의 선택

석유화학제품과 카본 블랙의 생산에 의한 배출은 사용된 공정과 원료에 따라 다양하다. 그러므로 방법을 선택하는 것은 각각의 생산물과 사용될 공정, 연료에 대해 각각 이루어져야 한다. 세 가지 방법론적 tier가 자료에 바탕을 두고 제공될 것이다. 방법은 국가 환경에 따라 달라질 수 있으며, 그림 3.8, 3.9에 의사결정도가 제공된다.

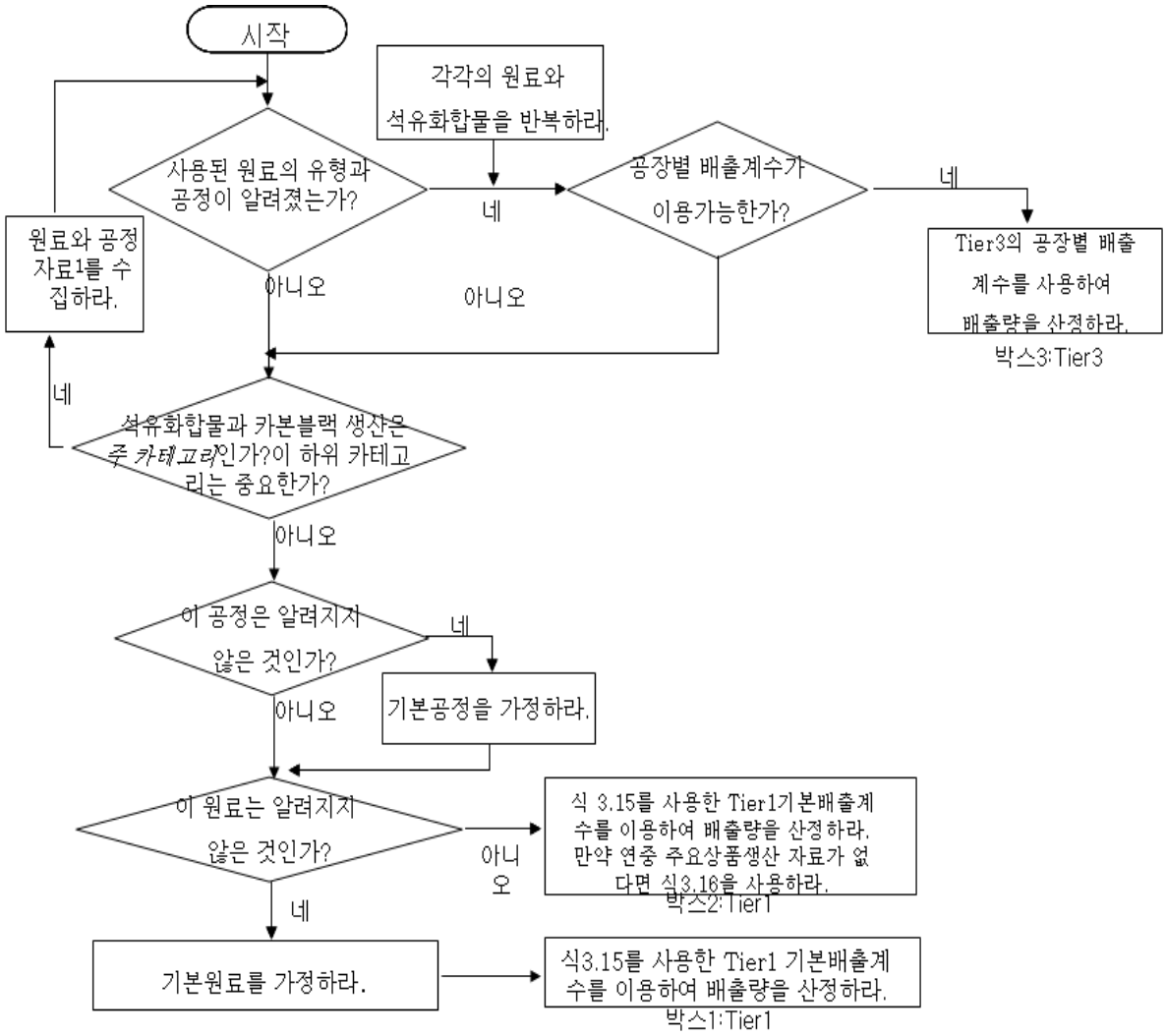
그림 3.8 석유 화학과 카본 블랙 산업에서 발생된 CO_2 배출량의 산정을 위한 의사결정도



주:

1. 제1권 4장, "방법론적 선택과 주요 카테고리의 규정"을 참고 (한정된 자료에 대해서는4.1.2절을 참고)

그림 3.9 석유 화학과 카본 블랙 산업에서 발생된 메탄 배출량의 산정을 위한 의사결정도



주:

1. 제1권 4장, "방법론적 선택과 주요 카테고리의 규정"을 참고 (한정된 자료에 대해서는 4.1.2절을 참고)

2. CH_4 배출량 산정을 위한 방법에는 Tier2방법이 없다는 것에 주목하라. Tier2방법은 전체원료 카본 물질수지방법인데, 이는 전체 탄소배출량(CO_2)의 양을 산정하는 데 적용될 수 있으나 CH_4 배출량에는 적용되지 않는다.

Tier 3 방법론은 공장 단위 CO_2 와 CH_4 배출을 산출하기 위해서 사용된다. Tier 3 방법은 석유화학 공정에서 공장 고유 자료에 따라 달라진다. Tier 2 방법은 CO_2에 대해서만 적용 가능한 질량 물질수지 접근 방식이다. Tier 2 방법을 사용하면, 일차 및 이차 원료의 탄소가 공정으로 넘어가는 과정이 mass balance 계산식에 포함된다. 일차 원료에서 공정으로의 탄소 흐름은 발열과 이차 연료(오프 가스 등)의 생산을 위한 탄화수소 부분의 연소 과정을 포함한다. Tier 2 방법론을 적용시키기 위해 일차 및 이차 원료의 공정으로의 흐름과 일차 및 이차 산물의 흐름은 규정되어야 하고 공정내의 에너지를 위해 연소된 부산물의 흐름과 공정 이외의 곳으로 전달된 부산물의 흐름도 규정되어야 한다.

이산화탄소

이산화탄소의 배출을 위해 방법을 선택하기 위해서 필요한 의사결정도는 그림 3.8에 나와 있다. Tier1과 Tier2, Tier 3의 방법들은 이 부분에서 설명될 것이다.

Tier 1 생산물-근거 배출계수법

Tier 1 배출계수 방법론은 석유 화학 공정과정 내 탄소 흐름에 대한 공장 고유자료나 활동도 자료가 존재하지 않을 때 CO_2배출을 측정하는데 적용된다. Tier 1 배출계수법은 각각의 탄소 함유 원료가 석유 화합물 생산 공정으로 소비되는 것에 대한 활동도 자료가 없어도 가능하다. 단지 생산물의 양에 관한 활동도 자료만 있으면 된다. Tier 1 방법론은 석유화학 공정에 의해 생산될 수도 있는 일산화탄소나 NMVOC 배출에 의한 탄소 양을 고려하지 않는다. 이 절에서는 석유화학제품 생산 공정에 대한 식을 카본 블랙 생산에도 적용한다.

Tier 1 방법은 각 일차 석유화학제품(메탄올, 에틸렌, 2염화에틸렌, 에틸렌 옥사이드, 아크릴로니트릴 등)과 카본 블랙의 생산에 대해서 식 3.15에서 알 수 있듯이, 각 석유화학제품에 대한 활동도 자료와 공정 고유 배출계수에 기초해 배출량을 계산한다.

식 3.15
Tier 1 CO_2 배출 계산

$$ECO_{2i} = PP_i \bullet EF_i \bullet GAF / 100$$

여기에서,

$ECO_{2,i}$ = 석유화학제품 i 의 생산으로부터 배출된 CO_2 , 톤

PP_i = 연간 석유화학제품 i 생산량, 톤

EF_i = 석유화학제품 i 의 CO_2 배출계수, 배출된 CO_2 톤 / 생산물 톤

GAF = 지역적 조정 계수(에틸렌 생산에 대한 Tier 1의 CO_2 배출계수는 표 3.15를 참고), %

에틸렌 생산에 있어서 Tier 1 CO_2 배출계수는 서유럽의 에틸렌 증기 분해방식에 대한 자료에 기초해 고안되었다. 지역적 조정계수들은 증기 분해 방식의 효율에 있어서 지역적 다양성을 설명하기 위해 Tier 1 배출계수에 적용된다. 지역적 조정 계수들은 단지 에틸렌 생산에만 적용된다.

만약 연간 일차 생산물의 제조에 대한 활동도 자료가 충분하지 않다면, 일차 산물의 생산은 식 3.16에서처럼, 원료 소비로부터 산정될 수 있다.

식 3.16

일차 생산물의 제조 계산식

$$PP_i = \sum_k \left(FA_{i,k} \bullet SPP_{i,k} \right)$$

여기에서

PP_i = 연간 생산 톤

$FA_{i,k}$ = 석유화학제품 i 의 생산을 위해 소비된 원료 k 의 연간 소비 톤

$SPP_{i,k}$ = 석유화학제품 i의 고유 일차 생산물의 생산 계수와 원료k의 톤, 일차 산물의 생산 톤 /소비된 연료 1톤

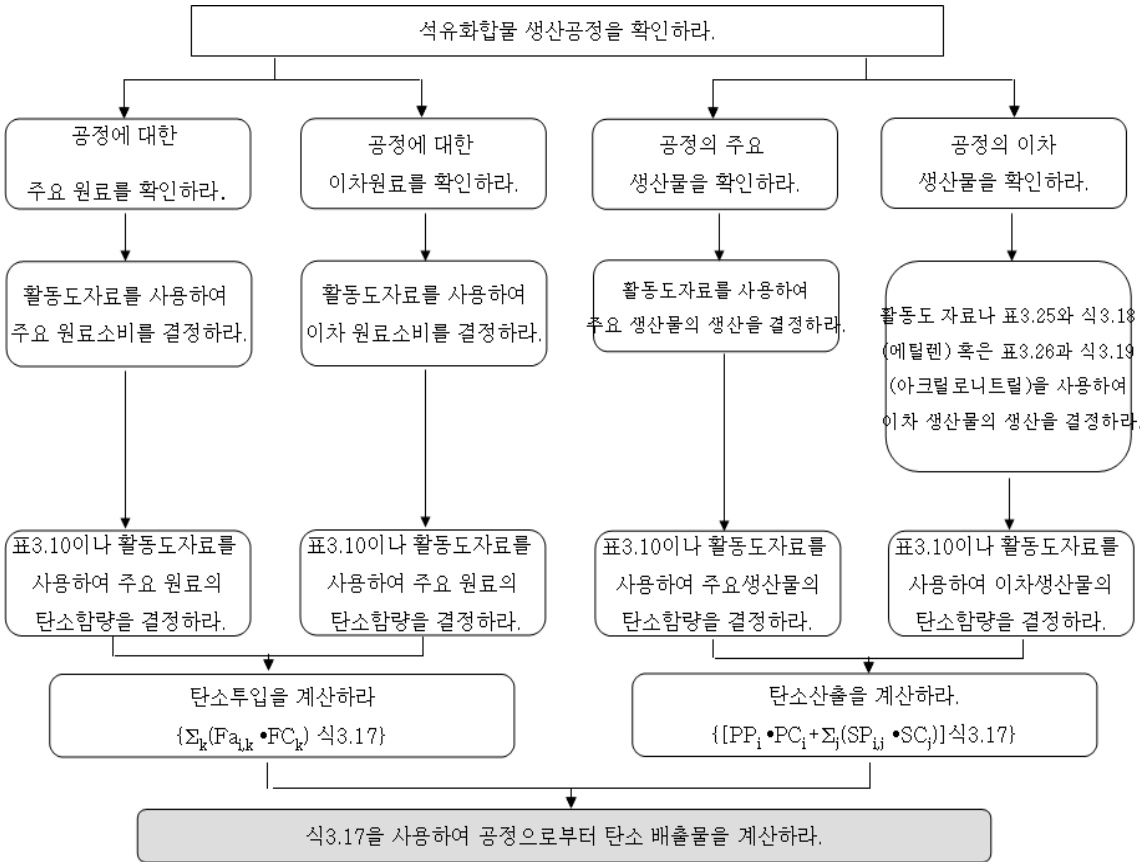
식 3.15나 3.16은 각 석유화학 공정에서 알려진 원료에 대해 분리되어 적용될 수 있다. 그림 3.8의 박스 1에서처럼, Tier 1 배출량 산출은 식3.15를 이용하기도 하는 반면에 그림 3.8의 박스 2는 식

3.15나 3.15, 3.16 모두를 사용할 수도 있다. 식 3.15는 연간 일차 생산물의 생산 자료가 충분한 석유화학 공정의 경우에 단독으로 사용되기도 한다. 그렇지 않은 경우에 원료 소비 자료가 있다면, 식 3.16이 연간 일차 산물의 생산량을 계산하는데 사용될 수 있고, 이것이 식 3.15에 적용되어 배출량을 산출하는데 사용된다.

Tier 2 전체 원료 탄소 수지 방법

Tier 2 방법은 원료 고유의, 공정 고유의 탄소수지에 기초한 접근 방식이다. 이 방식은 원료 소비와 일차, 이차 산물의 생산과 분해에 대한 활동도 자료가 있는 경우에 적용이 가능하다. 모든 탄소의 흐름에 대한 활동도 자료가 Tier 2 방법론에 적용하기 위해 필요하다. 메탄올과 2염화에틸렌, 에틸렌 옥사이드, 아크릴로니트릴, 카본 블랙 생산 공정에 대한 원료와 생산물 흐름을 보여주는 공정 흐름도의 예는 3.9절의 첨부에 제공된다. 증기 분해 공정에 의한 에틸렌의 생산을 위해 필요한 가능한 원료와 생산물의 수는 공정 흐름도 보다 원료-생산물간의 매트릭스(matrix)에 의해 더 잘 설명된다. 에틸렌 생산에 대한 원료-생산물 매트릭스는 3.9.2.3.의 표 3.25에 포함되어 있다. Tier 2 방법에 대한 흐름도는 그림 3.10에 나와 있다.

그림 3.10 Tier 2 탄소 물질수지 흐름도



Tier 2 방법은 일차, 이차 원료로서 생산 공정에 유입된 전체 탄소량과 석유화학제품으로 공정에서 나오는 탄소 양간의 차이를 계산한다. 이 일차, 이차 원료와 일차, 이차 생산물의, 이들에 의해 회수된 탄소 함량의 차이는 CO_2로 계산된다. Tier 2의 물질수지 방법론은 공정에 유입된 모든 탄소는 일차, 이차 생산물이나 CO_2로 전환된다는 가정에 기초한다. 이것은 CO나 CH_4, NMVOC로 변환되는 공정에 유입된 어떤 탄소도 물질수지 계산식의 목적으로 CO_2배출로 가정된다.
전체적인 Tier 2 방법론에 대한 물질수지 식은 식3.17이다.

식 3.17

전체적인 Tier 2 방법론에 대한 물질수지식

$$ECO2_i = \left\{ \sum_k \left(FA_{i,k} \bullet FC_k \right) - \left[PP_i \bullet PC_i + \sum_j \left(SP_{i,j} \bullet SC_j \right) \right] \right\} \bullet 44/12$$

여기에서

$ECO2_i$ =석유화학제품 *i*의 생산으로 배출된 CO2, 톤

$FA_{i,k}$ = 석유화학제품 *i*를 생산하기 위해 사용된 원료*k*의 연간 소비량, 톤

FC_k = 원료 1톤 당 사용된 원료*k*의 탄소 함유량, 톤

PP_i = 일차 석유화학제품 *i* 연간 생산량, 톤

PC_i =생산물 1톤 당 일차 석유화학제품 *i*의 탄소 함유량, 톤

$SP_{i,j}$ = 석유화학제품 *i*의 생산 공정으로부터 생산된 이차 생산물*j*의 연간 생산량, 톤
[메탄올이나 2염화에틸렌, 에틸렌 옥사이드, 카본 블랙 공정에서 SPi,j 값이 영인 경우는 이 공정에서 이차 산물이 없기 때문이다. 에틸렌과 아크릴로니트릴 생산에 대해서는 식 3.18과 식 3.19에서 이차 산물에 대한 SPi,j 값을 계산하는 것을 볼 수 있다.]

SC_j = 생산물 1톤 당 이차 산물*j*의 탄소 함유량, 톤

에틸렌과 아크릴로니트릴의 생산에 있어서, 공정중에 일차 및 이차 산물이 제조된다. 만일 이 공정에 의한 이차 생산물의 양에 대한 자료가 없다면, 이것은 식 3.18과 3.19에서처럼, 일차 원료 소비에 대한 기본값을 적용시켜 산정할 수 있다.

식 3.18

일차 생산물[에틸렌]로부터 이차생산물의 생산 계산

$$SP_{Ethylene,j} = \sum_k \left(FA_{Ethylene,k} \bullet SSP_{j,k} \right)$$

여기에서,

$SP_{Ethylene\ ,j}$ =에틸렌 생산에 의한 연간 이차 생산물*j*의 생산량, 톤

$FA_{Ethylene\ k}$ =에틸렌 생산을 위한 원료*k*의 연간 소비량, 톤

$SSP_{j,k}$ =소비된 원료 1톤 당 이차생산물*j*와 원료*k* 톤에 대한 이차 생산물 고유의 생산계수

식 3.19

일차 생산물[아크릴로니트릴]로부터 이차생산물의 생산 계산

$$SP_{Acrylonitrile,j} = \sum_{k} \left(FP_{Acrylonitrile,k} \bullet SSP_{j,k} \right)$$

여기에서,

$SP_{Acrylonitrile,j}$ =아크릴로니트릴 생산에 의한 이차생산물*j*의 연간 생산량, 톤

$FP_{Acrylonitrile,k}$ =원료*k* 에 의한 아크릴로니트릴의 연간 생산량, 톤

$SSP_{j,k}$ =생산된 아크릴로니트릴 1톤 당 이차생산물*j*와 원료*k* 톤에 대한 이차 생산물 고유의 생산계수

주의: 대부분의 경우에 하나의 원료(프로필렌)이 아크릴로니트릴의 생산에 사용된다.

원료와 생산물의 탄소 함유량

원료와 석유화학 공정 산물의 탄소 함유량은 표 3.10에 원료나 산물 1톤 당 탄소 톤 단위로 열거되어 있다. 순수물질(메탄올 등)의 탄소 함유량은 화학식에서 산정될 수 있다. 다른 원료나 산물(카본 블랙 원료나 카본 블랙 등)의 탄소 함유량은 문헌 정보에서 산출 할 수 있다. 대표적인 화석원료(천연가스, 나프타 등)의 탄소 함유량은 2권 1장의 표 1.3에서 확인할 수 있으나 화석원료의 탄소 함유량은 나라와 지역에 따라 다양하므로 국가 에너지 통계 자료나 생산물 지표 또는 국가 표준에 의해 알맞게 구할 수 있다.

Tier 3 공장 고유 배출의 직접 산출

가장 단순하고 *우수실행(good practice)*은 석유화학제품 생산 공정으로부터 CO_2배출을 산정하기 위해 공장 고유의 자료를 이용하는 것이다. Tier 3 방법을 적용하기 위해 공장 고유의 자료 또는 측정값이 필요하다. 석유화학 공정에 의한 배출은 원료로부터의 배출이나 가열을 위해, 또는 생산공정에 필요한 열에너지를 제공하기 위해 연소된 공정 부산물에 의해, 그리고 폐기 가스로부터 배출된 CO_2을 포함한다. 이 배출량은 식 3.20에서 식3.22까지를 이용해 산출된다.
석유화학 공정에 의한 전체적인 CO_2배출은 식 3.10를 이용해 산정된다

식 3.20

Tier3 하에서의 CO_2 배출량 계산식

$$ECO2_i = E_{Combustion,i} + E_{Process\ Vent,i} + E_{Flare,i}$$

여기에서,

$ECO2_i$ = 석유화학제품 *i* 생산에 의해 배출된 CO_2, 톤

$E_{Combustion,i}$ = 석유화학제품 *i* 의 생산 공정을 위한 열, 열에너지를 제공하기 위해 연소된 부산물이나 원료에 의해 배출된 CO_2

$E_{Process\ Vent,i}$ = 석유화학제품 *i* 의 생산과정에서 공정 분출에 의해 배출된 CO_2

$E_{Flare,i}$ = 석유화학제품 *i* 의 생산과정에서 폐기된 폐기 가스로 배출된 CO_2

$E_{combustion}$ 과 E_{flare} 는 공장 고유의 또는 국가 순 발열량값이 있어야 하는 식 3.21과 식3.22에 의해 주어진다. 연료의 탄소 함량과, 연소 산화 계수와 탄소에서 CO_2로 전환되는 상수에 의해 배출

계수가 산출된다. 만일 배출계수가 알려지지 않았다면, 기본값이 2권 1장의 표 1.4를 참고하면 된다. 탄소 함량은 2권 1장의 표 1.3에 있다. 공정 분출에 있어서 인벤토리 작성자는 CO_2를 직접적으로 측정하거나 산출해야 하기 때문에 이에 대한 공식은 더 이상 제공되지 않는다.

식 3.21

원료 연소를 통한 Tier 3 하에서의 CO_2 배출량 계산

$$E_{Combustion,i} = \sum_k \left(FA_{i,k} \bullet NCV_k \bullet EF_k \right)$$

여기에서,

$FA_{i,k}$ = 석유화학제품 i 생산을 위해 소비된 양, 톤

NCV_k= 원료k의 전체 열량 값, TJ/ CO_2

(주의:2권 1장의 표 1.2에서는 전체 열량값이 TJ/kg의 단위를 사용한다.)

EF_k = 원료k의 CO_2 배출계수, CO_2 양(톤)/TJ

식 3.22

연소 가스에 의한 Tier 3 하에서의 CO_2 배출량 계산

$$E_{Flare,i} = \sum_k \left(FG_{i,k} \bullet NCV_k \bullet EF_k \right)$$

(주의:2권 1장의 표 1.4에서 CO_2배출계수는 kg/TJ이다)

여기에서,

$FG_{i,k}$ = 석유화학제품 i 생산 중에 태운 가스k의 양, 톤

NCV_k =태운 가스k의 전체 열량값, TJ/톤

(주의:2장 1절의 표 1.2에서 전체 열량값은 TJ/kg으로 표현되어 있음)

EF_k =태운 가스k의 CO_2 배출계수, CO_2양 (톤)/TJ

(주의:2장 1절 표 1.4에서 CO_2 배출계수들은 kg/TJ 로 나와있음)

표 3.10 석유 화학 원료와 생산물의 고유 탄소 함량	
물질	탄소(원료나 생산물 1톤 당 탄소 톤)
아세토니트릴	0.5852
아크릴로니트릴	0.6664
부타디엔	0.888
카본 블랙	0.970
카본 블랙 원료	0.900
에탄	0.856
에틸렌	0.856
2염화에틸렌(에틸렌디클로라이드)	0.245
에틸렌글리콜	0.387
에틸렌옥사이드	0.545
시안화수소	0.4444
메탄올	0.375
메탄	0.749
프로판	0.817
프로필렌	0.8563
염화비닐 모노머	0.384
주의 : 천연가스와 나프타에 대한 탄소함유값은 나라와 지역에 따라 다양하다. 석유화학제품 원료로서 사용될 수 있는 천연가스와 나프타 그리고 다른 주요 연료들에 대한 진발열량Net calorific values (NCV)은 제2권 1장: 에너지, 표 1.2에 포함되어 있다. 원료 탄소 함유량은 제2권 1장: 에너지의 표 1.3에 포함되어 있다.	

메탄

CH_4 배출에 대한 방법을 결정하기 위한 결정도는 그림 3.9에 있다. CH_4에 대한 Tier 1과 Tier 3 방법은 여기에서 설명될 것이다. CH_4 배출에 적용 가능한 Tier 2는 없다.

Tier 1 생산물에 기초한 배출계수법

석유화학 공정에서 CH_4 배출은 탈루 배출과(또는) 공정 배출에 의한 배출이 가능하다. 탈루 배출은 플랜지나 밸브, 다른 공정기구로부터 이루어진다. 공정배출에 의한 배출은 태울 때 폐기 가스의 불완전연소나 에너지 회수 시스템으로부터 이루어진다. Tier 1 방법을 사용한 CH_4 배출은 비산 CH_4 배출에 대해서는 식 3.23을, 공정 배출 배출에 대해서는 식 3.24를, 전체 CH_4 배출에 대해서는 식 3.25를 사용하여 산정할 수 있다. 만일 석유화학 공정에 대한 연간 일차 생산물 생산 자료가 없고 원료 소비자료가 있다면, 식 3.16을 적용시켜 연간 일차 산물의 생산을 산정하여 이 값을 식 3.23과 식 3.24에 대입시켜 배출을 알아낼 수 있다.

식 3.23

Tier1 하에서의 CH_4 탈루 배출량 계산

$$ECH4_{Fugitive,i} = PP_i \bullet EFf_i$$

식 3.24

Tier2 하에서의 CH_4 공정 배출 배출량 계산

$$ECH4_{Process\ Vent,i} = PP_i \bullet EFp_i$$

식 3.25

Tier1 하에서의 CH_4 전체 배출량 계산

$$ECH4_{Total,i} = ECH4_{Fugitive,i} + ECH4_{Process\ Vent,i}$$

여기서,

$ECH_{4\ Total,i}$ = 의한 전체 CH_4 배출, kg

$ECH_{4\ Fugitive,i}$ = 석유화학제품 *i* 생산에 의한 CH_4 탈루 배출, kg

$ECH_{4\ Process\ Vent,i}$ = 석유화학제품 *i* 생산에 의한 공정 배출에 의한 CH_4 배출, kg

PP_i = 석유화학제품 *i*의 연간 생산량, 톤

EF_{fi} = 석유화학제품 *i*에 대한 CH_4 탈루 배출계수, kg (CH_4)/생산물 1 톤

EF_{pi} = 석유화학제품 *i*의 공정배출에 의한 CH_4 배출계수, kg (CH_4)/생산물 1 톤

Tier 2 전체 원료 탄소 수지법

전체 원료의 탄소 물질수지법은 CH_4 배출에는 적용되지 않는다. 전체 탄소 물질수지법은 전체 탄소 배출을 공정에서 산정하지만 직접적으로 CO_2나 CH_4, CO, NMVOC 등으로 배출된 전체 탄소 배출량 산출이 되지 않기 때문이다.

Tier 3 공장 고유 배출의 직접 산정

Tier 3방법은 계속적 또는 기간에 의한 공장 고유의 측정값에 기초한다. 석유화학공정에 의한 배출은 원료나 생산 공정을 위해 연소되는 공정 부산물로부터 배출되는 CH_4와 공정 배출, 연소된 폐기 가스에 의해 배출된 CH_4 를 포함한다. 만일 메탄이 직접 공기중으로 배출된다면 이것은 배출을 억제할 것이다. 공정 배출에 의해 배출된 CH_4는 또한 flares나 에너지 회수장치에서 연소될 수도 있다. 공장 위 대기 중 또는 연기 기둥 내 VOC 농도를 직접 측정하는 것은 CH_4 탈루 배출을 산정하기 위해 선호하는 활동도 자료이지만 그런 자료는 가능하지 않다. 대기 측정은 일반적으로 비싸고, 대부분 지속적인 측정이 가능하지 않고, 오히려 단기적, 기간적 측정 프로그램이 공장 고유의 배출계수를 산출하기 위한 기초로 사용될 자료를 얻기 위해 사용된다. 그런 측정 프로그램의 결과들은 다른 공장 공정 매개변수들과 연관되어 측정 기간 동안 배출을 산정할 수 있게 한다. 공장 배기가스 흐름에서 직접 VOC와 CH_4 농도를 측정하고, 공장 밸브나 이음세 또는 관련된 장비에서 종합적인 누출 감지 프로그램을 사용해 VOC와 CH_4의 지산 배출을 직접 측정하는 방법은 CH_4 배출에 대한 Tier 3 계산법을 고안하기 위해 필요한 공장 고유의 활동도를 억지 위해 사용될 수 있다. 그러나 공장 고유의 누출 감지 프로그램은 CH_4 의 탈루 배출자료를 CH_4 를 배출하는 모든 적정 공장 설비에 제공해야만 한다. 마찬가지로 굴뚝(stack)과 벤트(vent)에 대한 공장 고유의 측정 자료는 Tier 3 배출 계산을 위한 기초를 제공하기 위해 공장에서 굴뚝과 벤트를 통한 CH_4 배출원의 대부분을 포함할 필요가 있다.

공정 굴뚝과 벤트를 통한 CH_4 배출은 배기 가스 내 CH_4 농도를 직접 측정하거나, 배기 가스에서 측정된 전체 VOC 농도의 한 성분으로 산출될 수도 있다. 공장 설비(밸브, 이음새 등)에서의 CH_4 지산 배출은 종합적인 공장 고유의 누출 감지 프로그램과 설비 목록을 제공하는 공장 고유의 누출 감지 자료와 공장 설비 목록을 통해 산출될 수 있어서, 이 프로그램은 모든 적절한 CH_4 배출 공장 설비에 대한 CH_4 지산 배출자료를 제공한다. 마찬가지로, 굴뚝과 벤트에 대한 공장 고유의 측정값은 Tier 3 배출 계산을 위해 필요한 기초를 제공하기 위해 공장에서 굴뚝과 벤트를 통한 CH_4 배출원의 대부분을 반영할 필요가 있다

탈루 배출의 측정값은 또한 공장 바로 위의 대기 중이나 연기 기둥 바로 아래에서 CH_4의 농도에 기초할 수 있다. 그런 대기측정 자료는 일반적으로 전체 공장에서 배출을 측정하지만, 다른 원인에 의한 것들과 구별하지 않다. 연기 기둥 주변의 CH_4 농도뿐 아니라 바람의 속도도 측정되어야 한다. 배출은 식 3.26을 이용해 구할 수 있다.

식 3.26

대기 측정 자료에 기초한 Tier3 하에서의 CH_4 배출량 계산

$$CH4_{Emissions} = \int_t \left[\left(C_{total\ VOCs} \bullet CH_4\ fraction - CH_4 background\ level \right) \bullet WS \bullet PA \right]$$

여기에서,

$CH4_{Emissions}$ = 공장 전제 CH_4 배출, $\mu g/s$

$C_{total\ VOCs}$ = 공장의 VOC 농도, $\mu g/m^3$

CH_4 fraction = 전체 VOC농도 중 CH_4 부분 (fraction), fraction

CH_4 background level = 배경 위치에서 에워싼 CH_4 농도, $\mu g/m^3$

WS =공장 바람 속도, m/s

PA =연기 기둥 면적, m^2

주의: $\int_t$ 는 시간에 따라 가산되어야 하는 양을 의미한다.

Tier 3 방법론은 인벤토리 작성자에게 지역 고유의 CH_4 배출을 계산하기 위해 대기 측정이나 다른 특별한 형태의 직접적인 측정 수행을 요구하지 않는다. 이것은 대기 측정보다 공장 고유의 누출 감지 자료와 공장 고유의 굴뚝과 벤트 배출 자료를 확보하기가 더 용이할 것이기 때문이다. 그러나 만일 대기 측정 자료가 있다면 그 자료는 Tier 3 CH_4 배출 을 산출하기 위해서 또는 다른 계산식을 증명하기 위해서 사용될 수 있다. 대기 측정 자료가 누출 감지 자료와 굴뚝, 벤트 배출 자료보다 더 정확한 공정 CH_4 배출값을 제공할 수도 있다. 공장은 CH_4 배출을 산정하기 위해 i) 식 3.26 이나 ii)식 3.27, 3.28, 3.29를 사용할 수 있다. 공정 벤트 배출은 간헐적인 지속적으로 모니터되고 있다고 가정한다. 계산방법은 자료의 형태나 종류에 따라 다양하며 어떤 분리된 식도 공정의 벤트 배출식을 제공하지 않는다.

공장 고유의 누출 감지 자료와 공장 특유의 굴뚝 및 벤트 배출 자료에 기초한 석유화학공정의 전체적인 CH_4 배출은 식 3.27을 사용하여 산정된다.

식 3.27

Tier 3 하에서의 CH_4 배출량 계산식

$$ECH4_i = E_{Combustion,i} + E_{Process\ Vent,i} + E_{Flare,i}$$

여기에서,

$ECH4_i$ =석유화학제품 i 의 생산에 의한 전체 CH_4 배출, kg

$E_{Combustion,i}$ =석유화학제품 i 생산공정을 위해 연소된 원료나 부산물에 의한 CH_4 배출, kg

$E_{Process\ Vent,i}$ =석유화학제품 i 생산 중 공정 배출에 의한 CH_4 배출, kg

$E_{Flare,i}$ =석유화학제품 i 생산 중에 폐기 가스 연소에 의한 CH_4 배출, kg

$E_{combustion}$과 E_{flare}는 공장 고유의, 또는 국가 전체 열량값 자료가 사용되어야 하는 식 3.28과 3.29에 의해 구할 수 있다

식 3.28

원료 연소에 따른 Tier3 하에서의 CH_4 배출량 계산

$$E_{Combustion,i} = \sum_k \left(FA_{i,k} \bullet NCV_k \bullet EF_k \right)$$

여기에서,

$FA_{i,k}$ = 석유화학제품 i 생산을 위해 소비된 원료k의 양, 톤

NCV_k = 원료k의 전체 열량값. TJ/톤

(주의: 제2권의 1장, 표 1.2에는 전체 열량값이 TJ/kg단위로 표시되어 있다.)

EF_k = 원료k의 CH_4 배출계수, kg/TJ

식 3.29

flare 가스에 의한 Tier3 하에서의 CH4 배출량 계산

$$E_{Flare,i} = \sum_k \left(FG_{i,k} \bullet NCV_k \bullet EF_k \right)$$

여기에서,

$FG_{i,k}$ = 석유화학제품 i를 생산하는 동안 태운 가스k의 양, 톤

NCV_k = 태운 가스k의 전체 열량값, 톤

(주의:2권 1장의 표 1.2에는 전체 열량값이 TJ/kg단위로 표시되어 있다.)

EF_k = 태운 가스k의 CH_4 배출계수, kg/TJ

3.9.2.2. 배출계수의 선택

이 절에서는 Tier 1 방법을 위한 배출계수에 대한 내용을 다룬다. Tier 2방법은 물질수지 원리 (mass balance principle) 에 기초한 것이고, Tier 3방법은 공장 고유의 자료에 기초한 것이다 그러므로, Tier 2, Tier3 방법에 적용 가능한 기본배출계수는 없다.

표 3.11

Tier1에서 석유 화합물 생산 시 기본 원료와 공정

석유화학 공정	기본 원료	기본 공정
메탄올	천연 가스	일차 개량기가 없는 일반적인 증기개량기
에틸렌	북아메리카, 남아메리카, 오스트레일리아-에탄 다른 대륙-나프타	증기 분해 증기 분해
2염화에틸렌/염화비닐 모노머	에틸렌	EDC 와 VCM 생산이 병합된 공장에 대한 조화 공정
에틸렌옥사이드	에틸렌	촉매 산화, 공기 공정, 열처리

아크릴로니트릴	프로필렌	에너지 회수나 연소를 위해 사용되는 이차 산물과의 직접 암모니아 산화반응
카본 블랙	카본 블랙 원료와 천연가스	열처리와 노(furnace) 블랙 공정

Tier 1

석유화학제품에 의한 CO_2와 CH_4 배출에 있어서 Tier 1 배출계수는 아래에 나와 있다. CO_2배출에 대한 Tier 1 배출계수는 CO나 CH_4, NMVOC등으로 배출된 탄소를 포함하지 않는다. 석유화학공정으로부터의 CH_4배출에 대한 별도의 Tier 1 배출계수가 제공된다. Tier 1 배출계수는 일산화탄소나 NMVOC 배출에 대해서는 제공하지 않는다.

Tier 1방법은 원료나 석유화학제품 생산을 위해 적용된 공정을 규정하기 위한 활동도 자료가 없을 때 '기본' 원료와 '기본' 공정을 선택하도록 한다. 표3.11은 각각의 석유화학공정에 대한 기본 원료와 기본 공정을 제시한다. 어떤 나라에서 석유화학제품을 생산하기 위해 사용된 고유 공정과 원료를 고려하는 활동도 자료가 없는 경우에 표3.11에 규정된 기본 공정과 기본 원료, 이 절의 이어지는 표에 규정된 관련 Tier 1 배출계수가 석유화학제품 생산 공정에 의한 CO_2배출을 산출하기 위해 사용된다. 만일 국가 고유의 자료가 있다면, 국가 고유의 배출계수가 기본배출계수를 대신해 사용되기도 한다.

메탄올

이산화탄소 배출

메탄올 생산을 위해 증기 개질과 부분 산화공정에서 이루어진 CO_2배출은 표3.12에 있는 기본 공정 원료 배출계수나 원료 고유, 공정 고유의 배출계수를 메탄올 생산, 공정 유형, 공정 원료에 대한 활동도 자료에 적용시켜 산정할 수 있다. 기본배출계수는 일차 개량 없는 일반적인 증기 개질 공정을 사용하고, 천연 가스 원료를 사용하는 네 곳의 메탄올 송장에서 보고한 공장 고유의 CO_2 배출자료의 평균에 기초한 것이다. 기본 CO_2배출계수를 산출하기 위해 사용된 배출 자료는 뉴질랜드, 칠레, 캐나다, 뉴질랜드에 있는 일반적인 메탄올 공장에서 보고한 것이다. 표에 있는 배출계수들은 공정 원료에 의해 발생하는 CO_2배출과 증기 개질 공정내에 연소된 원료로부터 생산된 CO_2배출을 모두 포함한다. 표 3.13은 전체 원료 소비를 생산된 메탄올 1톤 당 GJ의 단위로 표 3.12에 있는 다양한 메탄올 생산 공정 유형과 원료에 대한 내용을 요약한 것이다.

전통적인 개질 공정은 하나의 개량기나 일차와 이차 개량기를 말한다. 배출계수는 개량기 수에 따라 다르다. Lurgi는 메탄올 공정 기술을 제안하였고, 표3.12에 나와 있는 여러 일반적인 개질 공정 기술에 대한 배출계수를 보고해왔다. 메가급 메탄올 공장의 생산용량은 일반적으로 하루 당 5000톤 이상이다. Lurgi 일반 공정 기술에 의한 배출계수는 고유공정 기술이 알려져 있을 경우에만 적용되어야 한다. 그렇지 않으면, 일차 개량기가 없는 일반 증기 개질에 대한 것이나 일차 개량기가 있는 일반 증기 개질 공정에 대한 배출계수가 적용되어야 한다.

메탄올 생산을 위한 일반적인 증기 개질 공정은 암모니아 생산공정과 통합될 수 있다. 통합된 메탄올과 암모니아 생산공정에 대한 배출계수는 고유공정 기술이 알려진 경우에만 사용되어야 한다.

표 3.12
메탄올 생산에 있어서의 CO_2 배출계수들

	생산된 메탄올 1 톤 당 CO_2톤				
공정 유형 원료	**천연가스**	**천연가스와 CO_2**	**오일**	**석탄**	**갈탄**
일반적인 증기 개질, 일차 개량기 없음(a) (기본 공정, 천연 가스 기본 원료)	0.67				
일반적인 증기 개질, 일차 개량기 있음(b)	0.497				
일반적인 증기 개질, Lurgi 공정(c1)	0.385	0.267			
일반적인 증기 개질, Lurgi 저압공정(c2)	0.267				
병합된 증기 개질, Lurgi 병합 공정(c3)	0.396				
일반적인 증기 개질, Lurgi 메가 메탄올 공정(c4)	0.310				
부분 산화 공정(d)			1.376	5.285	5.020
일반적인 증기 개질, 병합된 암모니아 생산	1.02				

Nat. gas + CO_2 원료공정은 메탄올 1톤당 CO_2 원료 02-0.3톤 임에 근거한다.
이 표의 배출계수는 표3.13에 있는 원료소비값으로부터 계산된다(이는 다음에 오는 원료의 탄소함유값과 가열값에 기초한다):
Natural Gas: 56 kg CO_2/GJ 48.0 GJ/톤
Oil: 74 kg CO_2/GJ 42.7 GJ/톤
Coal: 93 kg CO_2/GJ 27.3 GJ/톤
Lignite: 111 kg CO_2/GJ
이 표에 대한 불확도 값은 표3.27에 포함되어 있다.

자료출처: (a) Struker, A, and Blok, K, 1995; Methanex, 2003: (b) Hinderink, 1996: (c1 - c4) Lurgi, 2004a; Lurgi, 004b; Lurgi, 2004c:(d) FgH-ISI, 1999

표 3.13
메탄올 생산에 있어서의 원료 소비 계수들

	생산된 메탄올 1 톤 당 CO_2톤				
공정 유형 원료	**천연가스**	**천연가스와 CO_2**	**오일**	**석탄**	**갈탄**
일반적인 증기 개질, 일차 개량기 없음(a) (기본 공정, 천연 가스 기본 원료)	36.5				
일반적인 증기 개질, 일차 개량기 있음(b)	33.4	29.3			
일반적인 증기 개질, Lurgi 공정(c1)	31.4				
일반적인 증기 개질, Lurgi 저압공정(c2)	29.3				
병합된 증기 개질, Lurgi 병합 공정(c3)	31.6				
일반적인 증기 개질, Lurgi 메가 메탄올 공정(c4)	30.1				
부분 산화 공정(d)			37.15	71.6	57.6

Nat. gas + CO2 원료공정은 메탄올 1톤당 CO2 원료 02-0.3톤 임에 근거한다.

자료출처: (a) Struker, A, and Blok, K, 1995; Methanex, 2003: (b) Hinderink, 1996: (c1 - c4) Lurgi, 2004a; Lurgi, 004b; Lurgi, 2004c :(d) FgH-ISI, 1999
이 표에 대한 불확도 값은 표3.27에 포함되어 있다.

메탄 배출

Methanex 는 1996년 그들의 기후변화 실행 계획서 (Methanex, 1996)에서캐나다의 두 메탄올 생산 공장으로부터 구한 CH_4배출을 보고했다. Methanex는 메탄올 생산에 의한 CH_4배출은 개량기나 통합보일러(pakage boiler), 메탄올 증류기, 미정제 메탄올저장고에서 일어날 수 있다고 보고했다. 공장에 의한 CH_4배출은 공장에 의한 온실가스 전체 배출의 약 0.5~1% 정도 차지하지만, 공장 설

비의 유지나 운영 제어 정도에 따라 다양하다고 보고되어 있다. 두 보고하는 연수에 대해 보고된 평균 배출계수는 생산된 메탄올 1 톤당, 2.3kg 의 CH_4이다. 두 보고하는 연수가 높을수록, 메탄올 1 톤당 2.3kg의 CH_4가 메탄올 생산에 대한 CH_4 의 기본배출계수로 적용되어야 한다. 0.1kg/tone 이하의 CH_4배출은 노르웨이의 Tjeldbergodden메탄올 공장에서 보고된 바 있다.

에틸렌

이산화탄소 배출

증기분해방식에 의한 에틸렌 생산으로부터 CO_2 배출은 표3.14에 있는 원료 고유의 배출계수와 생산된 에틸렌의 활동도 자료를 사용해 산정될 수 있다. 별도의 배출계수는 증기 분해 공정에서 원료와 부수적인 에너지 소비를 통한 CO_2 배출에 대해 표 3.14에서와 같이 제공된다. 그러나 원료와 부수적인 에너지 소비에 의한 CO_2 배출은 산업공정 배출로 위에서 언급되었던 보고 협약(reporting convention) 에 따라 보고되어야 한다. 기본배출계수는 서부 유럽의 증기 분해기 작동에 관련된 공장 고유의 자료로부터 얻을 수 있다. 배출계수는 나라와 지역에 따른 증기 분해 장치의 에너지 효율성 차이를 설명하기 위해 표3.15에 있는 기본 지역적 적응계수를 적용하여 보정될 수 있다. 표3.11에 나와 있는 것처럼, 북미와 남미지역, 호주에서 사용되는 증기분해장치의 원료는 에탄이고 다른 대륙은 나프타라는 것을 주의하자.

이러한 기본배출계수는 태워 사라지는 CO_2배출을 포함하지 않는다. 노르웨이의 잘 운영되는 공장에서 전체 배출의 약 7%가 태워서 사라지는 양이다. 나프타나 프로판, 부탄 등의 원료를 사용하는 증기 분해 공정은 에너지가 안정해서 어떤 다른 원료를 사용하지 않고, 따라서 이 원료 이외의 다른 부수적인 원료 소비와 연관된 CO_2배출이 없다고 가정한다.

표 3.14
Tier1에서 증기 분해에 의한 에틸렌 생산 시 CO_2 배출계수들

	생산된 에틸렌 1 톤 당 CO_2톤					
원료	나프타	가스오일	에탄	프로판	부탄	그외
에틸렌(전체 공정과 에너지 원료 사용)	1.73	2.29	0.95	1.04	1.07	1.73
-공정 원료 사용	1.73	2.17	0.76	1.04	1.07	1.73
-보조 연료(에너지 원료)사용	0	0.12	0.19	0	0	0

자료출처: Neelis, M., Patel, M., and de Feber, M., 2003, 표 2.3, Page 26.
에틸렌 생산에 대한 기본 원료는 표3.11에서 확인된다. 배출계수는 flare에서의 보충연료사용을 포함하지 않는다.
다른 원료는 나프타원료처럼 똑같은 생산물 산출을 하게 될 것이라 가정되어진다.
이 표에 대한 불확도 값은 표3.27에 포함되어 있다.

표 3.14에 있는 배출계수는 증기 분해 방식에 의해 생산된 에틸렌의 양에 대해서만 활동도 자료가 존재하는 경우에 사용될 수 있다. 증기 분해는 다중 산물 공정으로서 에틸렌과 프로필렌, 부타디엔, 아로매틱스, 그외 다른 고부가가치 화합물을 생산한다. 표3.14의 기본배출계수에는 특정 생산물이 섞여있다는 고유의 가정을 한다. 표3.14의 각 배출계수에 대한 기본 산물 혼합물은 3.9.2.3절의 에틸렌 증기 분해원료-생산물 매트릭스에서 규정한다. 원료와 생산물 매트릭스는 증기 분해 공정에서 생산된 에틸렌과 프로필렌, 다른 탄화수소 산물들에 대한 기본값을 원료 1 톤당 생산된 각 생산물의 무게(kg) 단위로 정의한다. 표3.14의 증기 분해에 대한 배출계수를 얻기 위해서 증기분해 장치의 전체 공정 중 CO_2배출을 에틸렌의 생산으로 나눈다. 즉, 에틸렌은 증기 분해 공정에서 배출된 전체 CO_2배출을 산정하기 위한 참고값으로 선택된 것이다. 표3.14의 배출계수를 에틸렌 생산량으로 곱하면, 에틸렌 생산에 의한 것뿐 아니라 증기 분해 공정에 의해 생산된 프로필렌과 부타

디엔, 아로매틱스, 모든 다른 화합물에 의한 CO_2배출 전부를 말한다. 그러므로 표 3.14의 기본배출계수는 증기 분해 공정에 의한 에틸렌 생산과 연관된 CO_2배출만이 아니라 전체 증기 분해 공정에 의한 CO_2배출을 말한다.

표 3.15
Tier1에서 증기 분해에 의한 에틸렌 생산 시 CO_2 배출계수에 대한 지역적 보정계수 기본값

지역	보정 계수	주의
서부 유럽	100%	표3.14의 값은 서부 유럽 증기 분해장치에서 얻은 자료를 토대로 함.
동부 유럽	110%	러시아를 포함하지 않음
일본과 한국	90%	
아시아, 아프리카, 러시아	130%	일본과 한국이외의 아시를 포함
북아메리카, 남아메리카, 오스트레일리아	110%	

자료출처: 보정계수는 Mr. Roger Matthews in personal communication to Mr. Martin Patel, May 2002에 의해 제공된 자료에 근거하였다.
이 표에 대한 불확도 값은 표3.27에 포함되어 있다.

메탄배출

에틸렌 생산을 위해 사용된 에탄과 나프타의 증기 분해에 대한 CH_4의 기본 탈루 배출계수는 전체 VOC 배출계수와 EMEP/CORINAR 배출 목록 가이드라인 (EEA, 2005)으로부터 구한 VOC 종류 내역으로부터 구할 수 있다. 전체적으로 휘발성 유기화합물의 증기분해에 의한 배출은 원료가 나프타일 경우에 유럽 자료에 기초해 생산된 에틸렌 1 톤당 5 kg으로 추정되고, 원료가 에탄일 경우에 미국 자료에 기초해 생산된 에틸렌 1 톤당 10 kg의 VOC로 추정된다. 전체 VOC 배출계수에서 나프타의 증기 분해에 의한 전체 CH_4배출은 일차적으로 누출 손실이겠지만 VOC 종류 내역으로부터, 생산된 에틸렌 1 톤 당 3kg으로 산출되고, 에탄의 분해에 의한 전체 CH_4배출은 그 종류 내역(species profile) 으로부터 나프타의 분해에 의한 이들 값(생산된 에틸렌 1 톤 당 6kg)의 두 배로 산출된다. 그러나 이러한 계수들은 나프타에 대해서는 에틸렌 1 톤 당 5 kg VOC, 에탄에 대해서는 에틸렌 1 톤당 10kg VOC인 전체 VOC 배출계수가 각각 하나의 보고값에 기초하기 때문 불확실할 수도 있다. 에탄과 나프타이외의 원료를 이용한 증기 분해에 의해 배출된 CH_4는 나프타의 증기 분해에 대한 EMEP/CORINAIR 자료에서 산정된 것과 같은 것으로 가정되어 왔다.
발표된 자료는 에틸렌 생산에 있어서 보고된 CH_4 배출계수가 매우 다양함을 보여준다. 유럽플라스틱 산업의 플라스틱 제조 유럽 연합(APME, the European Association of Plastics Manufacturers) Eco-profile은 Olefins Production에 대한 APME-Eco-Profile (Boustead, 2003a)에서 참조했듯이, 생산된 에틸렌 1 톤당 2.9kg 의 CH_4 이라는 배출계수를 보고하고 있다. 에틸렌 증기분해 공정 운영에 대한 CH_4 배출계수는 15개의 유럽 증기 분해장치의 수명 주기분석에 기초한다. 배출이 에틸렌 1 톤당 CH_4 0.14kg 이하인 경우는 노르웨이 에틸렌 공장(SFT 2003b)에서 직접 측정값에 기초해 산출되고, 0.03kg 이하인 경우에는 온실가스 배출과 흡수원, 2003의 산출(AGO, 2005)에 대한 호주 방법론에서 보고한 회사 자료에 기초한다. 다른 유럽 및 호주 증기 분해장치 작성자들은 공장 고유의 CH_4 배출을 표3.16 (DSM, 2002; Qenos, 2003; Qenos, 2005)에 보고된 값의 약 10% 정도로 보고했다. 그러므로 표 3.16의 배출계수들은 공장 고유의 자료가 있는 에틸렌 증기 분해 공장의 CH_4배출을 산정하는데 사용되어서는 안된다. 이런 경우에는, 공장 고유의 자료와 Tier 3방법이 사용되어야 한다. 다양한 공정 원료에 대한 기본 CH_4 배출계수는 표 3.16에 있다. 에틸렌 생산에 대한 기본 원료는 표 3.11에 규정되어 있다.

표3.16 에틸렌 생산에 대한 기본 메탄 배출계수들	
원료	**생산된 에틸렌 1 톤당 CH_4 kg**
에탄	6
나프타	3
다른 원료들	3
자료출처: EEA, 2005(EMEP/CORINAIR 배출량 인벤토리 가이드라인) 이 표에 대한 불확도 값은 표3.27에 포함되어 있다.	

염화에틸렌과 염화비닐 모노머

이산화탄소 배출

표3.17은 직접 염소화 공정과, 산화염소화 공정, balanced process 등에 의한 2염화에틸렌과 염화비닐 모노머 생산 공정에 대한 배출계수를 보여준다. CO_2 배출계수는 대형 유기 화학 산업(Large Volume Organic Chemical Industry) 분야에서 가장 좋은 기술에 대한 통합오염예방 및 제어(Integrated Pollution Prevention and Control, IPPC) 참고문헌(유럽 IPPC Bureau, 2003년 2월 이 절에서는 IPPC LVOC BAT Document 로 언급됨)에 보고된 유럽 공장의 공장 고유의 CO_2배출자료 평균으로부터 구한다. 표 3.11에 제시된 대로, 기본 공정은 통합된 VCM 생산공장과 EDC 생산을 위해 조화된 공정이다. 각 공정에 대한 전체 CO_2 배출계수는 2염화에틸렌 공정 배출에서의 불연소 CO_2배출과 2염화에틸렌 공장 연소원으로부터의 연소 CO_2배출을 포함한다. 공장 연소원 배출계수는 공정 폐기 가스와 폐기 가스 열 소각기내 보조 원료의 연소를 말한다. 연소에 연관된 배출계수는 flares에 의한 배출은 포함하지 않는다. 표 3.17의 연소에 연관된 배출계수는 산화염소화 공정용 공장의 자료를 토대로 한 것이지만, 직접 염소화나 balanced process용 공장의 배출에도 적용할 수 있을 것으로 여겨진다. 2염화에틸렌과 염화비닐 모노머 생산 공정에 대한 원료 연소 계수는 표 3.18에 제공된다. EDC 생산에 대한 PlasticsEurope EcoProfiles(Boustead, 2005)은 8개의 유럽 공장의 자료에 근거를 두어, 생산된 EDC 1 톤당 0.306 톤의 에틸렌이 사용됨을 보여준다.

표 3.17의 CO_2 배출계수는 생산된 EDC 1 톤당 CO_2의 톤과 생산된 VCM 1 톤당 CO_2톤 단위를 사용하는 데 이것이 부가적인 것임이 아님을 숙지해야 한다. 두 CO_2배출계수는 모두 통합된 EDC/VCM 생산 공정에 적용되지만, EDC 1 톤당 CO_2배출 으로로 표현된 계수는 EDC 생산 활동도 자료에 의한 것인 반면에 VCM 관련 계수는 VCM 생산 활동도 자료에 근거한 것이다. 적용될 CO_2 배출계수는 EDC 생산이나 VCM 생산에 대한 활동도 자료 중 어느 것이 가능한가에 좌우될 것이다. 마찬가지로, 표 3.18의 원료 소비 계수는 생산된 EDC 1톤당 소비된 에틸렌의 톤, 생산된 VCM1 톤당 소비된 에틸렌의 톤 단위로 표시되어 있으며 부수적인 것이 아니다. 적용될 원료 소비 계수는 EDC나 VCM 중 적용 가능한 자료가 무엇인가에 의해 좌우된다.

표 3.17
Tier 1에서의 2염화에틸렌/염화비닐 모노머 공정 시 CO_2 배출계수들

공정 유형	EDC 1톤당 배출된 CO_2 톤	VCM 1톤당 배출된 CO_2 톤
직접 염소화 공정		
불연소 공정 배출	무시할 만한 배출	무시할 만한 배출
연소 배출	0.191	0.286
전체 CO_2 배출계수	0.191	0.286
염화산소화 공정		
불연소 공정 배출	0.0113	0.0166
연소 배출	0.191	0.286
전체 CO_2 배출계수	0.202	0.302
balanced process(기본 공정)		
불연소 공정 배출	0.0057	0.0086
연소 배출	0.191	0.286
전체 CO_2 배출계수	0.196	0.294

여러 유럽 생산 공장에 대한 EDC 및 VCM 생산으로부터의 CO_2 배출량에 대한 수치는 IPCC LVOC BAT 문서(European IPCC Bureau, 2003)의 표 12.6 및 12.7에 제시되어 있다. 이 값들은 EDC 및 VCM 생산에 대한 CO_2 배출계수를 계산하기 위하여 평균화되어 있다. CO_2 관리 장치가 도입되고 공정으로부터의 CO_2 배출량이 0으로 보고된 하나의 EDC 공장은 평균 배출계수에 포함되지 않는다.

자료출처: European IPPC Bureau, 2003 (IPPC LVOC BAT Document, 표 12.6, 12.7 자료)
이 표에 대한 불확도 값은 표3.27에 포함되어 있다.

표 3.18
Tier1에서의 2염화에틸렌/염화비닐 모노머 공정 시 원료소비 계수

공정 유형	EDC 1 톤당 에틸렌 톤	VCM1 톤당 에틸렌 톤
직접 염소화 공정	0.290	
염화산소화 공정	0.302	
balanced process	0.296	0.47

자료출처: European IPPC Bureau, 2003 (IPPC LVOC BAT Document, 12.3.1절, pp 299-300, 12.1절, 표 12.3 pp. 293)
이 표에 대한 불확도 값은 표3.27에 포함되어 있다.

메탄 배출

2염화에틸렌/염화비닐모노머 balanced process에 대한 EMEP/CORINAIR '종류 내역 (specis profile)'은 연소원에 의한 CH_4 배출 이외의 공정에 의한 CH_4 배출이 없다는 것을 알 수 있다. EMEP/CORINAIR 종류 내역은 누출 손실이나 저장고, 취급에 의한 VOC 배출에는 CH_4가 포함되지 않음을 보고하고 있다. 또한 EMEP/CORINAIR는 balanced process에 의한 전체VOC 배출의

2%가 연소 배출원으로부터이고, CH_4는 전체 VOC 배출의 1.2% 정도 차지한다고 보고한다. 그러므로 2염화에틸렌/염화비닐 모노머 생산에 의한 불연소 CH4배출은 고려하지 않아도 된다고 가정할 수 있다.

2염화에틸렌/염화비닐 모노머 생산공정에서 천연가스 등 부가적 원료 연소에 의한 CH_4배출은 천연 가스 연소에 대한 원료 소비 및 CH_4 배출계수에 대한 활동도 자료에서 구할 수 있다. 병합된 염화에틸렌/염화비닐 모노머 생산 공정에 대한 천연 가스 소비는 네덜란드 생산공장에선 생산된 VCM 1톤당 110.1 Nm^3의 천연 가스로, 독일의 공장에서는 126.4Nm^3로 추산된다. 두 값의 평균은 VCM 1톤당 118.3 Nm^3 의 천연가스가 된다. 병합된 EDC/VCM 생산 공정에 대한 CH_4 배출계수는 두 유럽 공장의 천연가스의 연소 및 소비량인 1 GJ 당 5g의 CH_4이라는 CH_4 배출계수에 기초한다. 병합된 생산 공정의 기본 CH_4 배출계수는 표3.19에 제공된다. 이러한 기본배출계수는 표준-단독 EDC생산 공장에 적용시킬 수 없다. 만일 천연 가스의 소비 활동도 자료가 있다면 기본배출계수를 사용하기보다는 CH_4 배출계수, 5 g CH_4/GJ 가 직접 활동도 자료에 적용될 수 있다.

표3.19
Tier1에서의 2염화에틸렌/염화비닐공정 시 기본 CH_4 배출계수

공정 유형	생산된 VCM 1 톤당 CH_4 의 kg
병합된 EDC/VCM 생산 공장	0.0226

자료출처: European IPPC Bureau, 2003 (IPPC LVOC BAT Document, 12.3.1절, 표 12.4, p.300); EEA, 2005 (EMEP/CORINAIR 배출량 인벤토리 가이드라인, 유기 화학 산업 공정 (Bulk Production) 1, 2염화에틸렌과 염화비닐(Balanced Process), Activity 040505, February 15, 1996, 3.4절, pp. B455-3, and 표 9.2, B455-5).

에틸렌 옥사이드

이산화탄소 배출

에틸렌 옥사이드 생산에 의한CO_2배출은 에틸렌 옥사이드 생산에 대한 활동도 자료에 의해 도출된 배출계수와 공정 유형 및 촉매 선택에 대한 활동도 자료에 의해 산출될 수 있다. 공기 공정에 의한 CO_2배출과 촉매의 선택성 범위 내 산소 공정에 의한 CO_2배출에서의 계수들이 표 3.20에 나와 있다. 공기 공정과 산소 공정에 대한 기본배출계수는 IPPC LVOC BAT Document 에 제공된 공정 고유의 촉매 특이성 자료로부터 산정된다. 공정 유형과 공정 촉매 선택을 반영하는 특이적 자료는 표 3.20에서 배출계수를 선택하기 위해 필요하다. 화학량적인 원리를 사용하는 촉매의 선택성에서 고안되며, 공정에서 배출되는 CH_4와 NMVOC의 배출이 매우 적어 무시할 수 있을 정도이고, 에틸렌 원료에 포함된 모든 탄소가 에틸렌 옥사이드나 CO_2로 배출된다고 가정한다. 표3.20의 배출계수들은 섬광에 의한 배출을 포함하지 않는다.

표3.20에서처럼, 공기 공정에 대한 기본배출계수는 기본 공정 촉매 선택성의 70%에 기초해서, 그리고 산소 공정에 대한 기본배출계수는 75%에 기초해서 산출된다. 만일 공정 유형이나 촉매 선택성에 대한 활동도 자료가 없다면 공기 공정과 70%의 촉매 선택성을 대표로 사용한다. 만일 산소 공정을 사용한다고 규정할 자료가 있고, 산소 공정에 대한 촉매 선택성에 대한 활동도 자료가 없다면 표 3.20에 있는 산소 공정에 대한 기본 촉매 선택성 75%를 사용해 배출계수를 산출해야 한다.

표 3.20
에틸렌 옥사이드 생산 원료 소비와 CO_2배출계수들

공정 유형	촉매 선택성	원료 소비 (톤 ethylene/ 톤 ethylene oxide)	배출계수 (톤 CO_2/ 톤 ethylene oxide)
공기 공정[기본 공정]	기본(70)	0.90	0.863
	75	0.85	0.663
	80	0.80	0.5
산소 공정	기본(75)	0.85	0.663
	80	0.80	0.5
	85	0.75	0.35

자료출처: European IPPC Bureau, 2003 (IPPC LVOC BAT Document, 9.2.1절, p.224, 9.3.1.1절, p. 231, 표 9.6)

메탄배출

에틸렌 옥사이드 생산에 대해 IPPC LVOC BAT document 는 에틸렌 옥사이드 배출과 정제 공정 배기 가스 증기, 탈루 배출원에 대한 CH_4 배출계수 (생산된 에틸렌 옥사이드 1 톤당 메탄 kg 수의 단위)를 보고하였다. IPPC LVOC BAT document 에 보고된 CH_4 배출계수는 유럽의 에틸렌 옥사이드 공장의 이산화탄소 제거 통기(vent) 전과 후에 대한 것이었다. 또한 네덜란드의 두 에틸렌 옥사이드 공장에 대한 CH_4 배출계수도 보고되었다. 에틸렌 옥사이드 생산에 의한 CH_4 배출계수들은 이들 자료의 평균을 구하여 산정되었다. CH_4 배출은 표 3.21의 배출계수를 에틸렌 옥사이드 생산에 대한 활동도 자료에 적용함으로서 산정될 수 있다. 에틸렌 옥사이드 생산에 대한 기본 CH_4 배출계수는 어떠한 열 처리 공정도 가정하지 않는다.

표 3.21
에틸렌 옥사이드 생산 Tier 1 CH_4 배출계수들

공정 유형	생산된 에틸렌 옥사이드 1 톤당 CH_4 kg
열처리 공정 없음(기본계수)	1.79
열처리	0.79

자료출처: European IPPC Bureau, 2003 (IPPC LVOC BAT Document, 표 9.6, p.233; 표 9.8, p.236; 표 9.9, p.236).

아크릴로니트릴

이산화탄소 배출

프로필렌의 직접 암모니아 산화반응에 의한 아크릴로니트릴 생산공정에서 배출되는 공정 배출 CO_2는 표 3.22에 있는 배출계수를 사용하여 아크릴로니트릴 생산 활동도 자료로부터 산정될 수 있다:

표 3.22 아크릴로니트릴 생산에 의한 CO_2 배출계수들	
공정 유형 프로필렌의 직접 암모니아 산화반응	생산된 아크릴로니트릴 1 톤당 CO_2톤
에너지 회수 및 flare로 타버린 이차 산물들(기본)	1.00
에너지 회수 및 flare로 타버린 아크릴로니트릴	0.83
생산물로 회수된 아크릴로니트릴과 시안화수소	0.79
자료출처: European IPPC Bureau, 2003 (IPPC LVOC BAT Document, 11.3.1.1절, 표 11.2, p.274 and 11.3.1.2절, p.275)	

표 3.22의 배출계수들은 약 70%인 일차 생산물 수율에 의해 생산된 아크릴로니트릴 1 톤당 프로필렌 원료 1.09톤의 평균 프로필렌 원료 소비 계수 값에 의해 고안된 것이다. 기본 CO_2 배출계수는 프로필렌의 이차 산물로의 변환을 생산된 아크릴로니트릴 1 톤당 약 18.5 킬로그램으로, 프로필렌의 이차 산물인 시안화수소로의 변환을 생산된 아크릴로니트릴 1 톤당 105 킬로그램으로 하여 산출하고, 또한 IPPC LVOC BAT document(European IPPC Bureau, 2003)에 보고된 공정 고유의 아크릴로니트릴 수율 자료와 공정 고유의 원료 소비 자료에 기초한다. 하지만 아크릴로니트릴 생산 공정은 더 많거나 적은 양의 이차 산물을 생산하도록 변형되어 운영될 수 있다는 것을 인지하자. 기본 CO_2 배출계수는 생산 공정에서 이차 산물(아크릴로니트릴과 시안화수소)과 주 흡수배출 가스의 산물에 의한 탄화수소가 에너지를 위해 타거나 CO_2로 불타사라지는 것이지, 생산물로 회수되거나 연소처리 없이 공기 중으로 배출되지 않는다는 가정에 기초한 것이다. CO_2 배출계수는 공정 폐기 가스 에너지 회수나 flare 시스템에 의한 어느 부수적인 원료 (천연 가스 등)의 연소로부터 배출된 CO_2를 포함하지 않는다.

만일 이차 생산물이 판매용으로 회수되는지에 대한 활동도 자료가 없다면 이차 산물이 에너지를 위해 연소되거나 CO_2로 불타버리고, 일차 생산물 공정 수율은 70%라는 것을 가정한다.

이차 생산물(아크릴로니트릴과 시안화수소)이 판매용으로 회수되고, 에너지나 CO_2로 연소되지 않는 공정 유형에 대해서는 일차 및 이차 생산물의 전체 공정 수율이 85%이다.

만일 프로필렌 원료소비에 대한 활동도 자료가 없다면, 이것은 아크릴로니트릴 생산 활동도 자료를 기본 원료 소비 계수인 생산된 아크릴로니트릴 1 톤당 1.09 프로필렌 원료 소비량에 적용시켜 구할 수 있다.

메탄 배출

유럽 플라스틱 제조연합 (European Association of Plastics Manufacturers (APME)) 수명 주기 분석 보고서 (Life-Cycle Analysis Report (Boustead, 1999))에 따르면, 아크릴로니트릴에 대한 수명 주기 분석 자료 요약서는 생산된 1 톤의 아크릴로니트릴에 대해 0.18 kg의 CH_4 배출이 이루어진다고 보고한다. 이 공정에 대한 CH_4 배출계수는 독일, 이탈리아, 영국에서 1990년부터 1996년까지 수집된 유럽 아크릴로니트릴 공장에서의 수명 주기 분석 자료에 기초한 것이다. 이것은 또한 기본 배출계수를 아크릴로니트릴 생산 자료에 적용시켜 산정할 수도 있다.

카본 블랙

이산화탄소 배출

카본 블랙 생산에 의한CO_2배출은 공정 및 원료 고유의 배출계수를 카본 블랙 생산 활동도 자료에 적용하여 산정할 수 있다. 노(furnace) 블랙 공정, 열 블랙 공정, 아세틸렌 블랙 공정 및 연관된 원료에 대한 별도의 배출계수가 표 3.23에 나와 있고, 일차 및 이차 원료에 대한 별도의 배출계수가 제공된다.

일차 및 이차 카본 블랙 원료에 대한 값 범위는 대형 비유기화합물 고형 및 다른 산업 (Large Volume Inorganic Chemicals solid and others Industry)에 있어서 가능한 최고 기술(Best Available Techniques)에 대한 병합된 오염 예방 제어 (Integrated Pollution Prevention and Control, IPPC) Reference Document 의 표 4.11에 나와 있다(European IPPC Bureau, June 2005; 본 내용에서는 the Draft IPPC LVIC BAT Document 로 표시됨). 표 3.23의 CO_2 배출계수들은 범위 값의 평균값에 기초한다. 일차 및 이차 원료 소비는 카본 블랙 원료의 탄소 함량에 대한 평균값을 이용해 탄소 소비로 변환된다. CO_2 배출계수는 공정으로의 탄소(일차 및 이차 원료들) 주입과 공정으로부터의 탄소 배출(카본블랙) 로부터 평균 카본 블랙 내 탄소 함유량을 사용해 산정할 수 있다.

표 3.23
Tier1에서의 카본 블랙 생산 시 CO_2 배출계수들

공정 유형	카본 블랙 1 톤당 CO_2 톤		
	일차 원료	이차 원료	전체 원료
노(furnace) 블랙(기본공정)	1.96	0.66	2.62
열 공정	4.59	0.66	5.25
아세틸렌 공정	0.12	0.66	0.78
자료출처: European IPPC Bureau, 2005 (Draft IPPC LVIC BAT Document, 표 4.11 자료)			

메탄 배출

카본 블랙 생산 공정에 의한 CH_4배출은 표 3.24에 제공된다. 카본 블랙에 대한 draft IPPC LVIC BAT document 는 생산 공정에서 연소되지 않은 tail gas 의 CH_4함량을 보고하였고, tail gas의 생산 비율(속도)를 산정하였다. 생산된 카본 블랙 1 톤당 10,000 Nm3의 tail gas 와 보고된 CH_4의 평균 농도 값인 0.425 % (부피)로 산정했을 때 제어되지 않은 CH_4 배출계수는 생산된 카본 블랙 1 톤당 28.7 kg이 된다. 카본 블랙 공정 flare 시스템에 대한 연소 효율은 the Draft IPPC LVIC BAT Document 에서 일산화탄소는 99.8 %로 보고되었고, 같은 효율을 CH_4배출에 적용하기로 한다. 연료 조절을 적용시킨 후의 카본 블랙 생산에 대한 CH_4 배출계수는 생산된 카본 블랙 1 톤당 0.06 kg 이 된다. 회사 자료에 기초한 전체 CH_4 배출계수가 카본 블랙 1 톤당 0.11kg 이라고 the Australian Methodology for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks, 2003에 보고되었다(AGO,2005.). 독일의 카본 블랙 공장 세 곳에서 BAT 을 사용한 폐기 가스의 연소 이후의 측정 자료를 토대로 일반적인 CH_4 배출계수를 0.03으로 보고하였다 (Thermische Nachverbrennung als Stand der Technik.).

표 3.24 카본 블랙 생산에 대한 Tier 1 CH_4 배출계수들	
공정 유형	**생산된 카본 블랙 1 톤당CH_4의 kg (카본 블랙 공정 tail gas)**
열 처리(기본 공정)	0.06
자료출처: European IPPC Bureau, 2005 (Draft IPPC LVIC BAT Document, 표 4.8, p.209; 표 4.10, p.213, 4.3.2.3절, p.210).	

Tier 2

Tier 2 방법론은 물질 수지 계산식을 토대로 하기 때문에 이 방법에 연관된 배출계수는 존재하지 않는다.

Tier 3

Tier 3방법을 위해서는 공장 고유의 배출이 CO_2에 대해선 식 3.20에서 3.22까지, CH_4에 대해선 식 3.26이나 식 3.27에서 3.29까지의 식을 사용하여 산정할 수 있다. 배출계수는 측정치가 지속적이지 않을 때 값들 간의 배출 산정을 위해 연간 생산에 연계될 수 있다.

3.9.2.3. 활동도 자료의 선택

활동도 자료를 구하기 위한 자료 수집의 일반적인 면들이 제1권 2장에서 다뤄질 것이다. Tier 3 방법을 사용할 때 공장 고유의 활동도 자료는 생산 공장에서 구해야 한다. 가스 탄소 함유량의 분석과 함께, 증기 분해 장치와 flare 시스템 장치로의 전체 흐름에 대한 직접 측정은 배출 측정을 위한 가장 정확한 토대를 제공할 것이다.

공장 고유의 에너지 수지와/또는 탄소 수지는 또한 공장 고유의 배출계수를 구하기 위해 사용될 수 있다. 공장 경계를 통과하는 에너지와 탄소의 흐름의 다양성은 이 자료를 더 중요하게, 하지만 훨씬 덜 중요한 접근 방식으로 만든다. 원료 소비 자료는 구하기 어려울 수도 있는 반면, 판매와 국가 통계자료는 그 화합물의 대략적인 생산 부피를 알려줄 것이다.

메탄올

메탄올 생산에 의한 CO_2배출은 고유의 원료(천연 가스 등) 소비량과 생산물(메탄올) 활동도 자료, 탄소 물질수지 식에 의해 산정될 수 있다.

에틸렌

에틸렌 생산에 의한 CO_2배출은 고유 원료 소비와 생산물 활동도 자료, 탄소 물질수지 계산에 의해 산정될 수 있다. 에틸렌 생산 공정에 대한 완전한 물질수지와 Tier 2 방법론을 위해서, 모든 원료와 생산물, 일차 및 이차 생산물의 처리가 활동도 자료를 이용해 규정되어야 한다. 증기 분해 공정에 의한 에틸렌 생산에 대한 활동도 자료가 있지만, 이차 생산물 생산에 대한 자료가 없을 경우에 이차 산물의 생산은 표 3.25와 식 3.18을 이용해 산정할 수 있다. 그러나 이러한 기본계수의 사용은 증기 분해장치의 작동이 지역고유의 조건에 따라 다양하기 때문에 모든 일차 및 이차 산물에 대한 고유의 활동도 자료를 사용하는 것보다 덜 정확하며, 계산의 불확도를 증가시킬 것이다. 예를 들어 독일의 증기 분해장치의 작동에 대해 보고된 지역 고유의 자료는 정상 가동 조건에서의 탄화수소의 손실이 탄화수소 원료 1 톤당 8.5kg 정도(BASF, 2006) 되는 반면에 표 3.25에 나

와 있는 탄화수소 손실에 대한 기본값은 탄화수소 원료 1 톤당 5kg 이다. 모든 이차 산물에 대한 활동도 자료가 여의치 않은 경우에 Tier 1 방법이 Tier 2대신 적용될 수 있다.
증기 분해 공정에 의한 이차 생산물은 석유화학공장이나 석유정제소로 회수, 전달되어 재활용이나 증기 분해공정내 원료로 재사용되고 또는 에너지를 얻기 위해 연소된다. 일반적으로 C4 + 이차 생산물은 원료로 재사용되거나 에너지를 얻기위한 재료 재활용을 위해 회수된다(BASF, 2006). 에너지를 얻기 위한 이차 산물의 연소에 의해 생기는CO_2배출의 배분은 이 권의 1장 박스 1.1에 설명되어 있다. 만일 C4+ 이차 산물의 처리에 대한 활동도 자료가 없다면 C4+이차 생산물이 또다른 재료 재사용을 위한 공정에 회수전달된다고 가정한다. 만일 증기 분해 공정에 의한 CH_4배출처리에 대한 자료가 없다면CH_4가 증기 분해 공정내에서 에너지를 얻기 위해 연소되었고 공정에서 CO_2로 배출되었다고 가정한다.

석유 화학 산업에서 운영되는 증기 분해장치는 인접한 석유 정제소에서 직접 에틸렌 생산 공정을 위해 석유화학 원료를 얻을 수 있다. 원료와 공정 운영 조건에 따라 증기 분해장치는 인접한 정제소로 더 많은 공정을 위해 되돌려지는 탄화수소 부산물의 '백플로우(backflows)'를 일으키기도 한다. 석유 정제소의 백플로우에 의한 어떤CO_2배출도 증기 분해를 통한 에틸렌 생산 공정에 대한 CO_2 배출계수에 포함되지는 않지만, 공정에 대한 탄소의 흐름분석과 원료에서 고려된다.

표 3.25
에틸렌 증기 분해 원료-생산물 매트릭스

	원료 1 톤당 생산물 kg					
생산물 원료	**나프타**	**가스오일**	**에탄**	**프로판**	**부탄**	**그외**
고부가가지 화합물	645	569	842	638	635	645
에틸렌	324	250	803	465	441	324
프로필렌	168	144	16	125	151	168
부타디엔	50	50	23	48	44	50
아로매틱스	104	124	0	0	0	104
원료급 산물과 백플로우	355	431	157	362	365	355
수소	11	8	60	15	14	11
메탄	139	114	61	267	204	139
재활용후에탄과 프로판	0	0	0	0	0	0
다른 C4	62	40	6	12	33	62
C5/C6	40	21	26	63	108	40
C7+ non-aromatics	12	21	0	0	0	12
<430C	52	26	0	0	0	52

>430C	34	196	0	0	0	34
Losses	5	5	5	5	5	5
계	1000	1000	1000	1000	1000	
자료출처: Neelis, M; Patel, M; de Feber, M; Copernicus Institute, April 2003, 표 2.2, p.24						

2염화에틸렌과 염화비닐 모노머

2염화에틸렌과 염화비닐 모노머 생산에 대한 CO_2배출은 고유 원료(에틸렌) 소비와 생산물(2염화에틸렌) 생산 활동도 자료, 탄소 물질수지 식에 의해 산정될 수 있다.

에틸렌 옥사이드

에틸렌 옥사이드에 생산에 의한 CO_2배출은 고유 원료(에틸렌) 소비와 생산물(에틸렌 옥사이드) 생산 활동도 자료, 탄소 물질수지 식에 의해 산정될 수 있다.

아크릴로니트릴

이차 산물(아세토니트릴과 시안화수소)의 생산에 대한 활동도 자료를 구할 수 없는 경우에 표3.26의 기본값과 식3.19를 일차 생산물에 대한 활동도 자료에 적용시켜 이차 산물의 생산을 산출할 수 있다.

표 3.26
아크릴로니트릴 공정에 대한 이차 산물 생산 계수들

이차 산물	아크릴로니트릴 생산 1 톤당 이차 산물 kg
아세토니트릴	18.5
시안화수소	105

주의: 이 표에서 이차생산물의 생산계수는 프로필렌 원료에 의한 아크릴로니트릴 생산에 근거한다. 프로필렌이 아닌 다른 원료가 사용될 경우에, 이 표의 계수는 적용되지 못한다. 공정별 계수는 프로필렌이 아닌 다른 원료에 의해 아크릴로니트릴이 생산될 경우, Tier2 물질수지접근에 적용하기 위하여 개발될 필요가 있다.
자료출처: European IPPC Bureau, 2005 (IPPC LVOC BAT 문서, 11.3.4절, p.27)

만일 아세토니트릴 생산물 회수를 고려하는 활동도 자료가 없다면 생산물로 회수되지 않고 에너지 획득을 위해CO_2로 연소된다고 가정할 수도 있다. 만일 아세토니트릴 주 흡수벤트 가스의 열처리를 고려한 활동도 자료가 없다면 벤트 가스가 열적으로 처리되어CO_2로 연소되고 대기중으로 무절제하게 배출되지 않는다고 가정할 수 있다.

카본 블랙

카본 블랙 생산에 의한 CO_2배출은 고유한 일차 원료(카본 블랙 원료)와 이차원료(천연 가스 등)의 소비와 생산물(카본 블랙) 생산 활동도 자료, 탄소 물질수지 식에 의해 산정될 수 있다.

3.9.2.4. 완전성

석유화학제품과 카본 블랙 공정에 의한 CO_2 배출을 산정하는데 있어서 IPPU나 에너지 부문에서 이중 계산하거나 빠뜨리는 등의 위험이 있을 수 있다. 석유화학 공장과 카본 블랙 공장은 메탄과 비메탄 탄화수소 부산물을 생산하는데 이러한 것들은 .에너지를 위해 연소될 수 있고 이러한 에너지 회수는 다른 원료나 좀 유사한 목록화에 의해 국가 에너지 통계에 보고될 수 있다. 만일 다른 원료 연소에 의한 CO_2 배출이 에너지 획득을 위해 연소된 산업 공정 배출 가스를 포함한다면 에너지 통계나 석유화학제품 생산에 대한 CO_2 배출 산정에 어느 정도 보정이 CO_2 배출의 이중 산정을 피하기 위해 필요하다.

메탄올

메탄올을 바이오 (재생이 가능한) 원료로부터 생산할 수 있다. 그런 바이오메탄올은 메탄올 국가 생산 통계에 합산되기도 하는데 이것은 메탄올 생산 활동도 자료에 대한 보정 없이는 화석 원료 (천연 가스 등)에 의해 만들어진 메탄올로부터의 CO_2 배출이 과다 산정될 수 있다.

에틸렌

석유정제 공정이나 증기 분해 이외의 석유 화학 공정에 의한 에틸렌 생산이 있을 수 있다. 그런 에틸렌은 에틸렌 국가 생산 통계에 합산되기도 하며, 이로 인해 에틸렌 생산 활동도 자료에 보정이 이루어지지 않으면 증기 분해 방식에 의한 에틸렌으로부터의CO_2 배출이 과다 산정될 수 있다.

2염화에틸렌과 염화비닐모노머

2염화에틸렌은 염화비닐 모노머와 다른 산물을 제조하기 위해 사용되는 석유화학제품의 중간산물이다. 2염화에틸렌은 병합된 EDC/VCM 공장에서 바로 염화비닐 모노머로 전환되기도 하기 때문에 2염화에틸렌의 생산에 대한 활동도 자료가 완벽하지 않을 수도 있다. 그러므로 염화비닐 모노머 생산에 대한 활동도 자료가 2염화에틸렌 활동도 자료보다 산업 포괄하는 측면에 있어서 더 완벽한 경우일 수 있다. 그러나2염화에틸렌에 대한 자료 대신 염화비닐 모노머 활동도 자료를 사용하는 것은 2염화에틸렌 모두가 염화비닐 모노머 제조에 사용되는 것이 아니기 때문에 완전성과 연관된 문제가 있다. 그러므로 염화비닐 모노머에 대한 활동도 자료에 다른 생산물의 생산을 위한 2염화에틸렌의 사용을 설명하는 보정이 이루어져야 한다. 북아메리카와 유럽에 대한 자료에 따르면, 염화비닐 이외의 생산물을 위한 2염화에틸렌의 사용은 전체 2염화에틸렌 생산의 약 5% 정도 차지한다.

에틸렌 옥사이드

에틸렌 옥사이드는 에틸렌 글리콜과 다른 생산물을 제조하기 위해 사용되는 중간 석유화학제품이다. 에틸렌 옥사이드 생산을 위한 활동도 자료는 에틸렌 옥사이드가 병합된 EO/EG 공장에서 직접 에틸렌 글리콜로 변환될 수도 있기 때문에 완벽하지 않을 수 있다. 에틸렌 옥사이드는 또한 병합된 공장에서 또다른 산물들(아민, 에테르 등)로 변환될 수도 있다. 전 세계적 에틸렌 옥사이드 생산의 70%만 에틸렌 글리콜 제조에 사용되기 때문에 에틸렌 옥사이드로부터 화합물 생산에 대한 활동도 자료는 에틸렌 옥사이드 생산 활동도 자료보다 산업 포괄적 측면에서 더 완벽하지 않을 수 있다.

카본 블랙

동물 블랙과 뼈 블랙등의 바이오 (재생이 가능한) 원료로부터 생산된 카본 블랙의 양은 적을 수 있다. 그런 바이오 원료에 의한 카본 블랙은 카본 블랙 국가 생산 통계에 포함될 수 있고, 따라서 화석원료에 의한 카본 블랙으로부터 배출된 CO_2의 과잉으로 산정될 수 있다. 또한 화학 산업내에서 보다는 오히려 석유정제소의 물리적 경계내 카본 블랙의 생산이 있을 수 있다. 석유 정제소에서 생산된 카본 블랙은 국가 카본 블랙 생산 통계에 합산되기기 때문에 여기서의 CO_2배출은 산업 공정 배출로서 화학 산업내에서의 카본 블랙 생산에 의한 다른 배출과 함께 보고되어야 한다.
카본 블랙 원료 소비 활동도 자료에 대해서 완전성이 덜할 수 있다. 석탄 타르 생산물, 폐기 가스, 아세틸렌에 의한 카본 블랙 원료 활동도 자료는 가능하지 않을 수도 있고, 따라서 만일 더 높은 Tier 탄소 수지 접근이 이루어진다면 카본 블랙 생산에 의한 CO_2 배출을 적게 산정될 것이다.

3.9.2.5. 일관된 시계열 개발

석유화학제품과 카본 블랙의 생산으로부터의 배출은 같은 Tier 과 같은 유형의 활동도 자료를 사용하여 수년동안 산정되어야 한다. 공장 고유의 측정 활동도 자료를 사용한 석유화학제품과 카본 블랙 생산에 의한 배출을 시간 순으로 구성하는 것은 가장 정확한 현재 배출을 제시할 것이다. 그러나 flare나 탈루 배출상의 활동도 자료는 지난 기간동안 가장 얻을 수 없을 것 같은 자료이다. 만일 어떤 기술 개선도 최근 측정값에 기초한 공장 고유의 배출계수를 산정하는데 사용되지 않았다면, 석유화학제품의 생산과 관련된 자료가 합리적인 결과를 제공할 수도 있다. 석유화학제품 생산은 하나 이상의 화합물을 생산하는 산업체로 병합되거나, 인접한 산업 공장과의 에너지 또는 화합물 흐름을 교환하거나, 카본 블랙은 석유 정제소에서 생산될 수도 있다. 원료 소비를 토대로 시간 서열을 구성할 때 활동도 자료가 매년 시간 순으로 똑같은 흐름을 포함하는 것인지 확인하는데 매우 주의해야 한다. 다시, 최근 공장 고유의 Tier 2에 의한 배출 산정에 의해 구한 배출계수들을 사용하는 Tier 1유형의 산정은 탄소 수지 계산식을 사용할 수 있다. 한 해내 그리고 연간 생산된 일차 및 이차 화합물의 변이와 원료의 선택에 있어서의 차이를 발견하기 위한 조사는 이루어져야 한다. 배출 계산상의 차이를 재구성하고 재계산하는 것은 제1권 5장에 가이드라인을 따라야 한다.

3.9.3. 불확도 평가

각 공정에 적용 가능한 배출계수와 활동도 자료에 대한 불확도 평가는 이 절에서 이야기된다. 앞부분의 표에 있는 배출계수와 활동도자료들의 불확도 범주는 표3.27에 요약되어 있다.

메탄올

메탄올 생산에 있어서 배출계수의 불확도는 대부분 생산된 메탄올의 양과 더 높은 Tier 방법론에 있어서 연간 기준으로 소비된 천연 가스와 다른 원료의 양을 포함하는 활동도 자료를 결정하는 어려움과 연관되어 있다. 천연 가스와 다른 원료의 소비는 메탄올 생산을 위한 소비에 대한 계산없이, 단지 국가 에너지 통계에 연간 단위로 보고될 수도 있다. 만일 천연 가스 소비 활동도 자료를 구할 수 없다면, 더 높은 Tier 탄소수지 접근 보다 배출계수에 의한 접근이 적용가능하다. 만일 활동도 자료가 메탄올 생산을 위한 다른 원료의 소비에 대해 유용하지 않다면 모든 국가 메탄올 생산이 천연 가스 원료에 의한 것이라고 가정할 수 있다.그러나 이 가정은 어느 정도 불확도를 높일 것이다. 더욱이 CO_2를 생산 공정에서 보조 원료로 사용하는 메탄올 생산 공장에서 연간 CO_2 원료 소비에 대한 활동도 자료가 유용하지 않을 수도 있다.

에틸렌

에틸렌 생산에 관한 활동도 자료의 불확도는 증기 분해 공정 원료(에탄, 나프타 등)와 공정 산물(에틸렌, 프로필렌 등)의 유형과 양, 특성을 결정하는데 있는 어려움과 연관되어 있다. 원료 소비와 생산물의 제조는 에틸렌 생산에 대한 원료의 소비나 증기 분해 공정에서의 어떤 예외도 없이 단지 연간 단위로 국가 에너지 통계나 상품 통계로만 보고될 수도 있다. 에틸렌 생산에 대한 탄소 수지 계산을 수행하는 것은 고유원료의 소비와 증기 분해공정의 고유 산물 생산에 대한 활동도 자료의 유용성에 좌우된다. 만일 국가 연간 에틸렌 생산에 대한 활동도 자료만 있다면 국가지역에 대한 기본 원료를 이용, 기본배출계수가 적용될 것이다. 이 경우에 원료 분석은 기본 원료에 대한 수율 계수표를 적용시켜 이루어진다. 그러나 원료에 대한 배출계수와 수율 계수의 다양성을 고려하면, 고유 원료 소비 자료의 부재가 배출 산정과 원료 분석에 의미있는 불확도를 야기시킬 수 있는 것이다. 만일 고유 원료 소비에 대한 활동도 자료가 있다면 그래서 별도의 배출산정과 원료 분석이 각 원료에 대해 수행된다면, 불확도는 감소한다. 그러나 이상적으로 고유 원료 소비와 소유 산물 생산에 대해 활동도 자료가 존재한다면 더 높은 Tier 탄소수지 계산식이 이루어질 수 있다.
불확도의 또 다른 원인은 석유화학 공장에서 [인접한] 석유 정제소로의 증기 분해 산물의 역행과 부산물에 의한 에너지 회수와 연소의 흐름을 포함한 증기 분해 방식의 에틸렌 공정 유형의 다른 세부 사항을 결정하는 데 있어서의 어려움과 연관되어 있다. 정제소로의 역행에 대한 활동도 부재는 원료 분석의 불확도를 더할 것이다.

이염화에틸렌과 염화비닐 모노머

2염화에틸렌에 대한 불확도의 원인은 생산에 적용된 고유 공정을 결정하고, 원료 ㅅ비에 대한 활동도 자료를 결정하는 데 있어서의 어려움을 포함한다. 만일 2염화에틸렌 생산에 대한 활동도 자료만 이용가능하다면 배출 산정은 balanced process 산물 수율 계수와 공정에 대한 기본배출계수를 사용해 수행될 수 있다. 그러나 염화산소화 공정과 직 산화공정, balanced process에 대한 배출계수와 수율계수의 다양성을 고려하면 공정에 의한 고유 에틸렌 원료소비 자료의 부재는 배출 산정에 중요한 불확도를 초래한다.

에틸렌 옥사이드

에틸렌 옥사이드 생산에 있어서 불확도의 근원은 에틸렌 옥사이드 생산에 대한 에틸렌 원료의 소비 활동도 자료를 결정하는데 있어서의 어려움이다. 만일 에틸렌 소비 활동도 자료가 없으면, 더 높은 Tier 탄소수지 접근보다 배출계수 접근만이 가능하다. 만일 국가 연가 에틸렌 옥사이드 생산량에 대한 활동도 자료가 있다면, 기본 생산물 수율 계수가 가정되어 그의 배출계수가 적용될 것이다. 이런 경우에 원료 분석은 기본 산물 수율 계수를 적용하여 수행된다. 그러나 보고된 생산물의 수율 계수와 에틸렌 공정에 대한 배출계수의 다양성을 고려하면, 고유 에틸렌 원료 소비자료의 부재는 배출 산정에 중요한 불확도를 더할 것이다.

아크릴로니트릴

아크릴로니트릴 생산에 있어서 불확도의 근원은 생산을 위한 고유 공정 유형을 결정하는데 있어서의 어려움과 공정에서 프로필렌 원료 소비에 대한 활동도 자료, 아크릴로니트릴과 아세토니트릴의 생산에 대한 활동도 자료를 결정하는데 있어서의 어려움을 말한다. 만일 아크릴로니트릴의 활동도 자료만 구할 수 있다면, 배출 산정은 기본 공정 구성(아세토니트릴 회수가 없다고 가정하는)과 그에 대한 배출계수를 사용하여 수행할 수 있다. 그러나 아세토니트릴이 공정에서 회수되지 않는 다는 가정은 배출과 원료 계산에 의미 있는 불확도를 부여해서 아크릴로니트릴 공정에서 배출

의 과대산정과 원료 흐름의 과소산정을 초래할 수 있다. 아크릴로니트릴 생산 공정에서의 아크릴로니트릴과 아세토니트릴에 대한 국가 생산 활동도 자료는 회수된 아세토니트릴로부터 국가 아크릴로니트릴 생산의 배율에 대한 공정 고유의 배출계수를 적용하도록 할 수 있다. 그러나 이상적인 것은 아크릴로니트릴 생산 공정에 의한 프로필렌 소비와 아크릴로니트릴, 아세토니트릴, 시안화수소의 생산에 대한 활동도 자료로 더 높은 Tier 방법을 적용시켜 불확도를 줄이는 것이다.

카본 블랙

카본 블랙 생산의 활동도 자료에서 불확도는 카본 블랙 공정에서 일차와 이차 원료의 유형과, 양, 특성을 결정하는 어려움과 카본 블랙 생산에 사용된 공정의 유형을 결정하는 어려움, 공정에서 카본 블랙 생산의 특성을 결정하는 어려움으로부터 나온다. 일차와 이차 원료 소비와 카본 블랙 생산은 연간 에너지 통계와 산업 통계상에 생산 공정 상의 어떤 손실도 없는 것으로 가정되어 보고될 수도 있다. 대부분 세계적 카본 블랙의 생산은 노(furnace) 블랙 공정에 의한 것으로 만일 원료 소비 활성 자료가 없다면 모든 카본 블랙 생산은 불확도를 야기하지 않고 노(furnace) 블랙 공정으로 가정될 수 있다.

또한 일차 카본 블랙 원료 소비에 대한 활동도 자료가 유용하지 않다면, 석유 정제소에서 생산된 석유 관련 원료인지 철 코크 생산에 의한 석탄 타르 원료인지에 대한 설명없이 '카본 블랙 원료'라는 일반적 용어로 자료가 보고될 수도 있다. 다른 일차 카본 블랙 원료(아세틸렌 등)에 대한 활동도 자료가 유용하지 않을 수도 있다. 또한 고유 활동도 자료가 카본 블랙 생산에 사용된 다른 이차 원료(코크 오븐 가스 등)에 대해 적용가능하지 않을 수도 있다. 고유의 일차 및 이차 원료 소비 자료의 부재는 원료 분석에 대한 불확도를 증가시킨다.

카본 블랙 생산에 탄소수지 계산식을 수행가능성은 일차 및 이차 원료의 소비와 특성에 관한 활동도 자료의 유용성에 좌우된다. 만일 단지 국가 연간 카본 블랙 생산에 대한 활동도 자료만 구할 수 있다면 기본 원료 특성과 생산물 효율을 이용해 배출계수가 적용될 것이다. 그러나 원료 특성과 근원의 다양성을 고려할 때 원료 고유의 소비와 성분 활동도 자료는 배출과 원료 계산에 큰 불확도를 가중시킬 것이다. 만일 고유 원료 소비와 특성 활동도 자료, 연관된 카본 블랙 생산 활동도 자료가 사용될 수 있으면 별도의 탄소수지와 원료 분석이 각 원료와 공정에 대해 더 높은 Tier 방법을 사용해 수행될 수 있으므로 불확도가 줄어들 것이다.

불확도 범주

각 공정에 대한 Tier 1 배출계수와, Tier 2 활동도 자료, Tier 3 활동도 자료의 불확도 범주가 표 3.27에 제공된다. 자료의 출처나 불확도를 산정하기 위해 사용된 전문 판단자료는 각 계수와 활동도 자료마다 표에 규정되어 있다. 전문 판단 자료의 인용은 가능한 자료의 범위를 평가하는 데 사용되었다. 많은 경우에 공정 고유 자료가 몇 공장에 대해서만 유용하였고, 비교적 불확도의 범주가 큰 것은 자료가 매우 적고, 석유화학제품 및 카본 블랙 공장에서 예상되는 공정 유형과 원료 사용 효율성이 다양하기 때문이다.

표 3.27
배출계수 및 활동도 자료에 대한 불확도 범위

방법	참고	계수	불확도범위	출처
Tier 3		모든 물질에 대한 가스 연소 샘플과 함께 원료소비를 직접 측정	- 5 to + 5 %	2005년 1월 국가 산업에 대한 논의에 기초한 3.9절의 주요저자에 의한 판단
Tier 1	표3.12	메탄올 생산 배출 CO_2계수들	-30% to +30%	3.9절의 주요저자에 의한 판단
Tier 1	표3.13	메탄올 생산원료 소비계수들	-30% to +30%	3.9절의 주요저자에 의한 판단
Tier 1		메탄올 생산에 대한 메탄 배출계수들	-80% to +30%	메타넥스 공장 자료에 근거한 3.9절의 주요저자에 의한 판단
Tier 1	표3.14	에틸렌생산에 대한 CO_2 배출계수들	-30% to +30%	IPPC LVOC BAT 문서, 그림 7.10,
Tier 1	표3.15	에틸렌생산에 대한 CO_2 배출의 지역조정 계수들	-10% to +10%	3.9절의 주요저자에 의한 판단
Tier 1	표3.16	에틸렌 생산에 의한 CH_4 배출계수들	-10% to +10%	3.9절의 주요저자에 의한 판단
Tier 1	표3.17	2염화에틸렌/염화비닐 생산 공정배출 CO_2 배출계수들	-20% to +10%	IPPC LVOC BAT 문서, 표 12.6 and 12.7
Tier 1	표3.17	2염화에틸렌/염화비닐 생산에 의한 CO_2 배출계수들	-50% to +20%	IPPC LVOC BAT 문서, 표 12.6 and 12.7
Tier 1	표3.18	2염화에틸렌/염화비닐 모노머 공정 원료 소비계수들	-2% to +2%	IPPC LVOC BAT 문서, 12.3.1 절 p. 300
Tier 1	표3.19	2염화에틸렌/염화비닐모노머 공정 CH_4 배출계수들	-10% to +10%	IPPC LVOC BAT 문서, 12.3.1 절, 표 12.4, p. 300
Tier 1	표3.20	에틸렌 옥사이드 생산원료 소비와 CO_2 배출계수들	-10% to +10%	3.9절의 주요저자에 의한 판단
Tier 1	표3.21	에틸렌 옥사이드 생산에 의한 CH_4 배출계수들	-60% to +60%	IPPC LVOC BAT 문서, 표 9.6, p. 233; 표 9.8, p. 236; 표 9.9, p. 236
Tier 1	표3.22	아크릴로니트릴 생산에 의한 CO_2 배출계수들	-60% to +60%	IPPC LVOC BAT 문서, 11.3.1.1 절, 표 11.2, p. 274.
Tier 1		아크릴로니트릴 생산에 의한 CH_4 배출계수들	-10% to +10%	Boustead, 2003b (유럽 플라스틱 산업 방법론I의 Eco-Profiles . APME을 위해 준비된 Boustead 조고 , 2003년 7월, p. 40)
Tier 1	표3.23	카본 블랙 생산에 의한 CO_2 배출계수들	-15% to +15%	IPPC LVIC BAT 문서 초안, 표 4.11, p. 214
Tier 1	표3.24	카본 블랙 생산에 의한 CH_4 배출계수들	-85% to +85%	IPPC LVIC BAT 문서초안, 표 4.8, p. 209
Tier 2	표3.25	에틸렌 증기 크래킹의 원료-생산 매트릭스	-10% to +10%	3.9절의 기여저자에 의한 판단
Tier 2	표3.25	아크릴로니트릴 생산 공정을 위한 이차 생산물 생산계수	-20% to +20%	3.9절의 주요저자에 의한 판단

3.9.4. 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

3.9.4.1. 품질보증 및 품질관리

배출계수 및 활동도 자료에 대한 품질보증 및 관리는 질을 개선하거나 배출계수 산출의 불확도를 더 잘 이해하기 위한 방법을 포함한다. 이것은 제1권 6장에 개괄적으로 설명된 Tier 1 방법에 대한 품질관리 관리를 수행하기 위해 *우수실행(good practice)*이다. 만일Tier2 와 Tier 3 방법이 배출을 결정하는데 사용된다면 더 심도 있는 질 관리 평가 및 품질보증방법이 적용 가능하다. 인벤토리 작성자는 제1권 4장에서 규정한대로 중요한 카테고리에 대한 더 높은 Tier QA/QC를 사용할 것이 장려된다.

Tier 1과 Tier 2 방법의 활동도 자료의 평가

Tier 1과 Tier 2방법은 모두 석유화학제품과 카본 블랙의 생산과 원료 소비에 대하 활동도 자료의 적용이 가능한 가에 좌우된다. 이러한 활동도 자료는 국가의 전체 경제적 생산물과, 새로운 석유화학물 생산 용량, 또는 다른 유사한 요소들의 중요한 변화를 제외하고는 연간 10% 이상의 증감을 보이는 변이를 기대해서는 안된다. 만일 활동도 자료가 그 이상으로 변화한다면, 이것은 그 차이를 설명하기 위해 국가 고유의 조건을 평가하고 문서화하는데 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 1 방법에 배출계수의 평가

석유화학제품과 카본 블랙 생산에 대한 나라 고유의 배출계수를 구해서 Tier 1방법에 적용시키는 인벤토리 작성자는 산출된 배출계수가 기본배출계수와 이 가이드라인에 있는 Tier 1에 대해 제공된 공정 고유의 배출계수 사이에 있는지를 평가해야 한다. 만일 배출계수가 이 가이드라인에서 보고한 계수의 범위 밖에 있다면 이유(공정 유형이 이 가이드라인에 보고된 배출계수에 대한 것과 다른지 원료가 이 책에서 고려하고 있지 않은 특별한 물질인지)를 조사해야만 한다. 인벤토리 작성자는 나라 고유의 배출계수가 공정 화학 분석에 의해 도출된 값과 일치하는지를 확인해야 한다. 예를 들어 천연 가스에서 메탄올의 생산에 대해, 배출계수를 이용해 산정된 것처럼, 생산된 CO_2의 탄소 함량은 천연 가스 원료의 탄소 함량과 메탄올 생산물의 탄소 함량간의 차이와 거의 대략적으로 일치해야 한다. 만일 배출계수가 산정된 범위 밖에 있다면 이것은 그 이유를 설명할 수 있는 공장 고유의 조건을 조사하여 문서화하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 또한 이 가이드라인에 포함된 Tier 1 방법으로부터의 배출계수를 사용하는 인벤토리 작성자에게 있어 *우수실행(good practice)*은 배출계수가 적용된 나라의 석유화학제품과 카본 블랙 생산 공정의 특징이 배출계수의 특징과 부합하는 지를 평가하기 위해 품질관리 평가를 수행하는 것이다.

Tier 2 방법에 의한 물질수지 계산식 평가

Tier 2 물질수지법을 적용하는 것은 공정 흐름의 정의와 특성에 좌우된다. Tier 2 방법에 있어서, 모든 탄소를 포함한 공정 흐름을 규정하지 못하거나, 흐름 속도, 공정 흐름의 탄소 함량의 특성을 잘못 규명하면 실제 CO_2의 배출과 산정된 CO_2의 배출간의 중요한 격차가 생길 수 있다. Tier 2 물질수지 계산 결과의 질은 일반적으로 많은 양의 활동도 자료는 Tier 1보다 Tier 2에 적용되어야 하기 때문에Tier 1 산정 결과보다는 활동도 자료의 질에 의존적이다. 그러므로 Tier 2에 적용된 각 활동도 자료의 질과 Tier 2에 적용사기 전의 활성동 자료의 완전성을 평가하고 문서화하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 만일 자료 질이나 완전성이 Tier 2방법에 적용되기에 적절하지 않다면 Tier 1 방법에 적용되어야 한다.

Tier 3 방법에 의한 공장 고유 자료의 평가

Tier 3 방법은 공장 고유의 배출 자료를 토대로 한 것이다. 인벤토리 작성자가 재고에 사용된 공장 고유의 배출 산정의 감사를 수행하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 이것은 공장 고유의 자료가 공장 배출을 대표하고 있는지에 대한 평가를 포함하고, 만일 특정 공장에 대한 공장 고유의 자료가 국가 재고에 적용된다면, 공장 고유의 자료가 석유화학제품과 카본 블랙 생산 공정에 대해 그 나라 전체를 대표하는지 평가해야 한다. 공장 고유 자료의 감사는 다음 항목에 대한 평가를 포함한다.

- 공장 고유의 측정 방법에 대한 문서
- 공장 고유의 측정 결과에 대한 문서
- 배출 산출법과 계산식들
- 공정 원료와 생산물
- 배출 계산에 사용된 활동도 자료
- 공정 기술과 유형에 대한 문서
- 가정한 내용 목록

만일 공장 고유의 자료가 있는 특정한 공정이 같은 석유화학제품(만일 원료나 공정 유형이 다르다면 등)을 생산하는 나라의 다른 공장들을 대변하지 않는다면 공장 고유의 자료는 전체 재고에 적용되어서는 안 되고 단지 그 특정 공장의 자료에만 적용되어야 한다. 만일 배출 측정값이 각 공장에서 수집된다면 인벤토리 작성자는 그 측정값들이 인지된 국가 또는 국제적 표준에 따라 이루어졌는지 확인해야 하며, 품질관리 방법은 배출계수에 적용되어야 한다. 공장에서 사용된 품질관리 방법은 직접 참고 되어야 하고 품질관리 계획에 포함되어야 한다. 만일 측정 방법이 품질관리 표준에 부합되지 않거나 측정 방법과 결과가 적당히 문서화될 수 없다면, 인벤토리 작성자는 공장 고유 자료의 사용을 재고해야 한다.

3.9.4.2. 보고 및 문서화

석유 화학 공정에 의해 생산된 배출 가스(off-gas)의 연소에 의한 연소 배출은 생산하여 산업공정 배출로 보고하는 IPPU 부문 배출원 카테고리에 포함된다. 그러나 IPPU 부문 배출원 카테고리에 의해 생산된 배출 가스가 얼마만큼이든 다른 IPPU 부문에서 연소되거나 에너지 부문 배출원 카테고리내에서 연소되면, 이어지는 배출이 산업 공정 배출이 아니라 원료 연소 배출로 보고된다. 이것은 만일 연소배출이 배출 가스가 생산된 IPPU 부문 배출원 카테고리 내에서 연소된다면 배출은 산업 공정 배출로 IPPU 부문 배출원 카테고리로 분류되어 보고된다는 것을 의미한다. 그러나 그 배출 가스(off-gas)가 공정밖 다른 IPPU 부문 배출원 카테고리나 에너지 부문의 배출원 카테고리로 전달된다면 배출 가스의 연소에 의한 배출은 배출원 카테고리내의 원료 연소 배출로 보고된다. 전체 배출 가스의 연소에 의한 전체 배출이 산정될 때, 에너지 부문과 다른 IPPU 부문 배출원 카테고리로 전달되어 보고된 양은 명확하게 정량되어야 한다. 만일 나라 고유의 배출계수가 구해졌다면, 연관된 자료들은 어떻게 배출계수가 구해졌고, 배출계수 산정에 적용되었는지를 배출계수와 계산식의 근간이 되는 생산 공정 유형에 대한 보고와 함께 제공해야만 한다.

메탄올

생산된 메탄올의 양과 소비된 천연 가스의 양, 보조 원료로 소비된 CO_2양은 유용할 때 보고될 것이다. 만일 기본배출계수가 사용된다면 이것은 보고문서에 명시되어야 하고 기본 공정 유형이 사용되지 않은 경우엔 메탄올 생산 공정 유형이 명시되어야 한다.

에틸렌

에틸렌 생산에 소비된 각 원료의 양과, 생산물로 회수된 에틸렌과 다른 일차 산물의 양,은 가능할 때 보고되어야 한다. 만일 기본배출계수가 사용된다면 이것은 보고서에 명시되어야하고, 나라/지역에 대한 기본 공정 유형이나 원료를 사용하지 않는다면 이에 대한 자료가 보고서에 명시되어야 한다.

2염화에틸렌

2염화에틸렌의 생산량과 이를 위해 소비된 원료의 양이 가능할 때 보고되어야 한다. 만일 기본배출계수를 사용한다면 이를 보고서에 명시해야 하고, 기본 공정 유형을 사용하지 않을 경우에 그 유형에 대해 보고하여야 한다.

에틸렌 옥사이드

에틸렌 옥사이드의 생산량과 이를 위해 소비된 원료의 양이 가능할 때 보고되어야 한다. 만일 기본배출계수를 사용한다면 이를 보고서에 명시해야 하고, 기본 공정 유형을 사용하지 않을 경우에 그 유형에 대해 보고하여야 한다

아크릴로니트릴

아크릴로니트릴의 생산을 위해 소비된 프로필렌 원료의 양과 생산된 아크릴로니트릴, 아세토니트릴, 시안화수소의 양은 가능할 때 보고되어야 한다. 만일 기본배출계수를 사용한다면 이를 보고서에 명시해야 하고, 기본 공정 유형을 사용하지 않을 경우에 그 유형에 대해 보고하여야 한다

카본 블랙

카본 블랙의 생산량과 소비된 일차 및 이차 각 원료들의 양과 특성이 가능할 때 보고되어야 한다. 만일 기본배출계수를 사용한다면 이를 보고서에 명시해야 하고, 기본 공정 유형을 사용하지 않을 경우에 그 유형에 대해 보고하여야 한다

첨부 3.9A 원료-생산물 흐름도

그림 3.11 :메탄올 생산에 대한 원료-생산물 흐름도

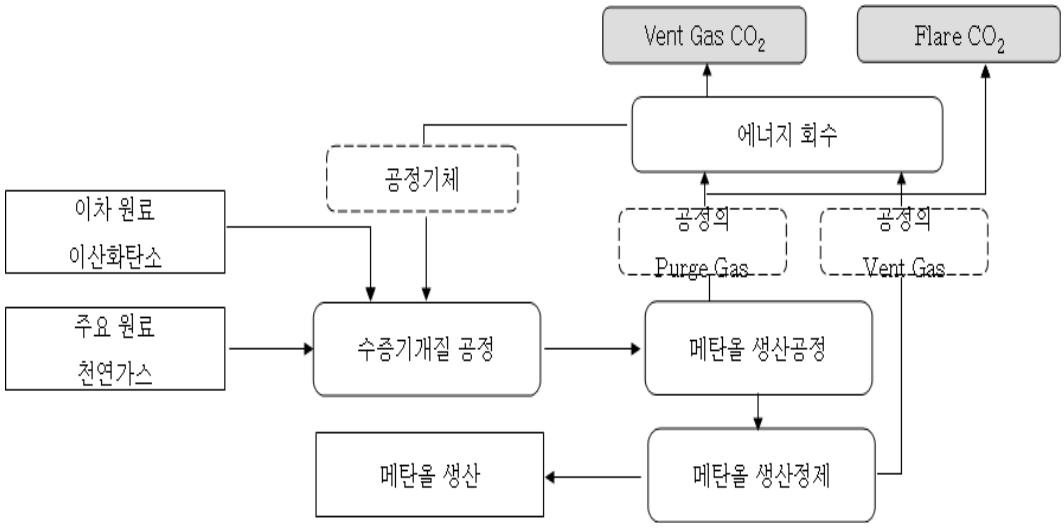


그림 3.12 : 2염화에틸렌 생산에 대한 원료-산물 흐름도

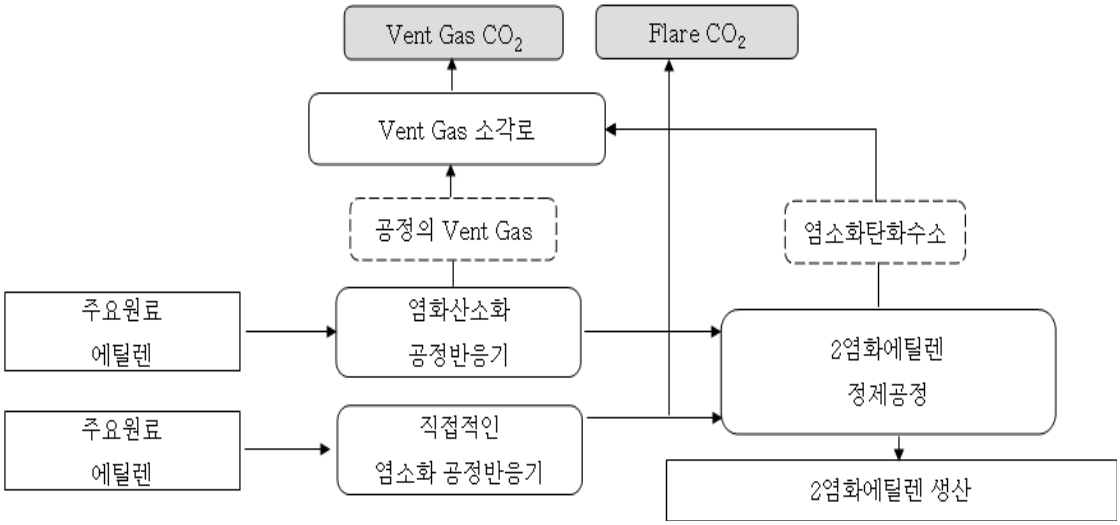


그림 3.13 : 에틸렌 옥사이드 생산에 대한 원료-생산물 흐름도

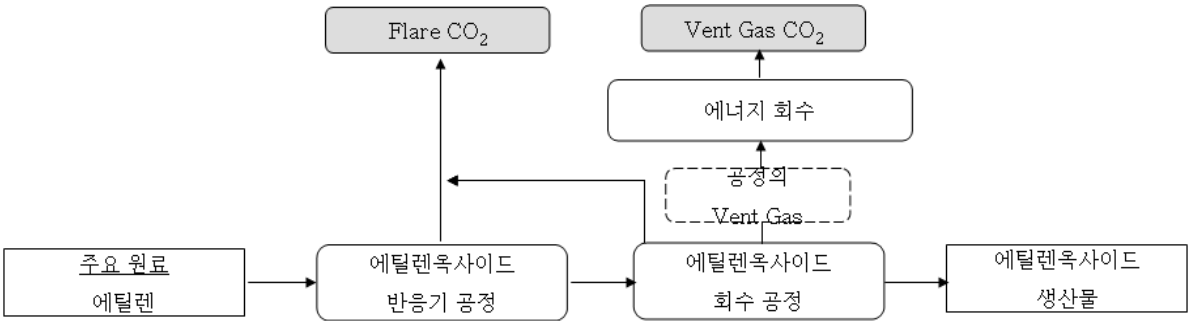


그림 3.14 : 아크릴로니트릴 생산에 대한 원료-생산물 흐름도

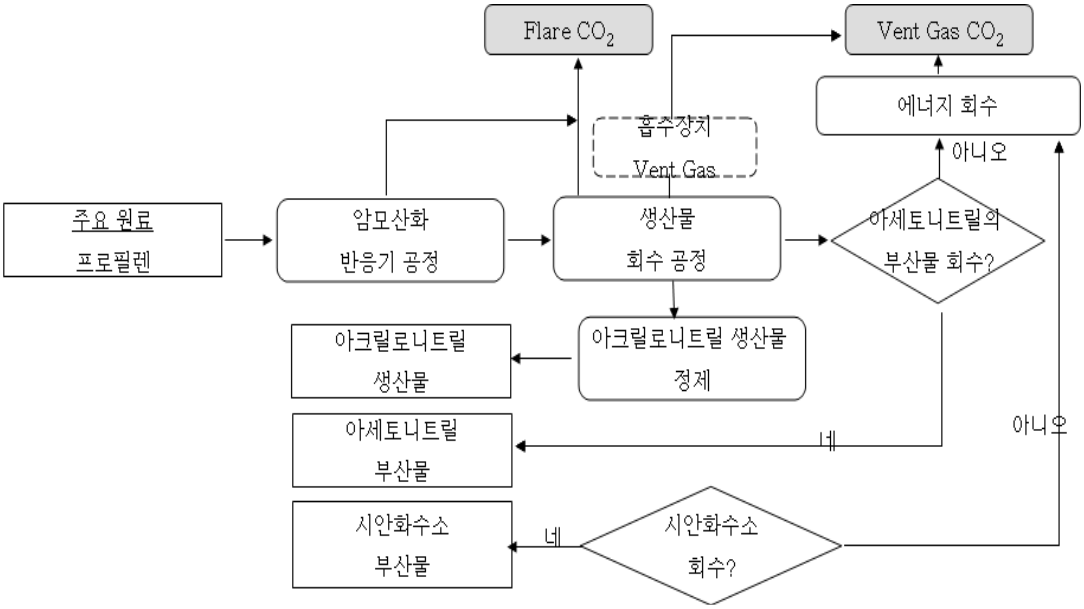
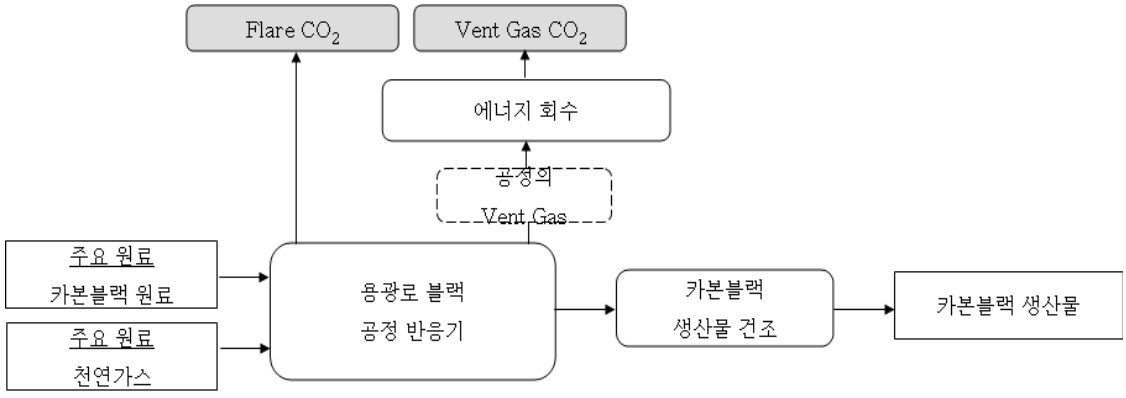


그림 3.15 : 카본 블랙 생산에 대한 원료-생산물 흐름도



3.10 불소화합물 생산

3.10.1. HCFC-22 생산에 의한 HFC-23 배출

3.10.1.1. 서론

트리플로루메탄(HFC-23 또는 CHF3)은 클로로디플로루메탄 (HCFC-22 or CHClF2)[3] 제조과정의 부산물로 생산된다. HFC-23(그리고 다른 HFCs과 PFCs, SF6) 같은 물질은 수용성(산성이나 중성, 염기성) 액체세탁공정에 의해 잘 제거되지 않아서 대기 중으로 배출될 것이다. 1990년 HCFC-22 공장에서 배출된 HFC-23이 감면 측정 없이, 많아야 약 HCFC-22 생산의 4% 정도였다고 산정된다 (U.S. EPA, 2001). 전세계적으로 몇 개의 HCFC-22 공장이 있고 별도의 HFC-23 배출의 지점 배출원이 있다. 여기에 설명된 방법이 불소화된 온실가스의 부산물 배출에 적용될 수 있는 반면에 HFC-23에 대해서는 특별히 기록되어 왔다. 일반적, '탈루 배출'에서 불소화된 부산물의 배출에 대한 방법론은 3.10.2절에서 다뤄진다.

3.10.1.2. 방법론적 이슈

방법의 선택

HCFC-22 공장에서 HFC-23 배출 산정에 대한 두 가지 측정 방식이 있다. IPCC(2000)와, DEFRA(2002a 과 2002b), EFCTC(2003), UN(2004)에 언급되어 있듯이 이들은 Tier 2와 Tier 3으로의 변환이 다음에 기술되어 있다. 이러한 방법 중 하나를 사용하여 국가 배출은 각 기구들의 배출의 합으로 표현된다. Tier 1(기본) 방법은 각각의 공장에 적용될 수 있거나 만일 분해에 의한 어떤 감소도 없다면, 전체 HCFC-22의 국가 배출에 적용할 될 수 있다. HFC-23 배출에 대한 설명이 단순한 기계적인 것이 아니라면 가장 적당한 방법과 계수를 이용하기 위해서 HFC-23의 생산 및 배출을 담당하는 공정 운영에 관한 자료가 필요하다. 그러므로 가능한 한 필요한 자료를 얻기 위해 공장 운영자들과의 관계를 형성하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 1방법은 생산된 HCFC-22의 양에 대한 기본배출계수를 적용함에 의해 얻어지므로 상대적으로 간단하다. 이 방법은 공장 단위나 국가 단위에 적용될 수 있다. Tier 2와 Tier 3 방법은 공장에서 얻은 자료에만 의존적이기 때문에 단지 공장 단위의 계산에만 가능하다. Tier 3 자료가 일부 공장에서 얻을 수 있는 경우에 Tier 1과 Tier 2 방법은 나머지 자료에 대한 것을 모두 포함할 수 있도록 적용될 수 있다.

한 나라의 모든 HCFC-22 공장에서 구한 측정 매개변수의 합계를 산출하여 국가 배출을 계산하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. Tier 3 공장 배출 측정은 가장 정확하고 다음은 공장 효율성에 기초한 Tier 2 측정값이다. 직접 측정은 각 제조 설비의 고유 조건을 반영하기 때문에Tier 1보다 훨씬 더 정확하다. 좋은 사업 활동을 위해 운영되는 시설은 정기적인 운영의 측면에서 정기적, 주기적으로 최종 공정 벤트나 공정 내의 샘플을 얻기 때문에 대부분의 경우에 Tier 3 산출을 준비하기 위해 필요한 자료는 존재해야 한다. Tier 1(기본) 방법은 공장 고유자료가 없는 경우에만 사용되어야 하며 이 하위카테고리는 주 카테고리내의 중요한 것으로 규정되지 않는다(제1권 4.2절 참고). 최적화 공정을 사용하는 현대 공장은 이러한 최적화의 일환으로 HFC-23생성 자료의 정확성을 유지할 필요가 있다.

[3] HCFC는 몇몇 다른 적용부분에서 냉각제로, 거품 제조의 혼합성분으로, 합성 폴리머의 제조를 위해선 화학원료로 사용된다.

*우수실행(good practice)*의 선택은 국가 환경에 좌우된다. 그림 3.16의 의사결정도는 이 가이드라인의 방법들을 국가 고유의 환경에 적응하는 데 있어서 *우수실행(good practice)*들을 설명한다.
배출을 감소시키는 방법은 별도의 설비에서 HFC-23의 분해 공정을 포함하고, 이 경우에 배출은 단지 분해 설비가 공정안에 포함되지 않아야 일어난다. Tier 방법은 생산된 HFC-23의 양에 대한 산출을 제공하고, 최대로 배출된 생산의 분배는 분해설비가 운영되지 않는 시간에 좌우된다. HFC-23 분해와 같은 감소 기술을 사용하는 설비에 대해 감소 효율성에 대한 증명이 일반적으로 수행된다. 모든 공장의 공정 기록에 의해 감소가 증명된 국가 계산으로부터 감소된 HFC-23 배출을 감하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 1

Tier 1 방법에서는 각 설비(Montreal Protocol에 보고된 대로 분산 사용과 Ozone Secretariat에 별도로 보고된 원료 사용에 대한)에서 이루어진 전체HCFC-22 생산으로부터 HFC-23의 생산(그리고 가능한 배출)을 계산하기 위해 기본계수가 사용된다. 식 3.30을 참고하라.

식 3.30

기본계수를 사용한 HCFC-22로부터 생산된 Tier 1 계산

$$E_{HFC-23} = EF_{default} \bullet P_{HCFC-22}$$

여기에서,

E_{HFC-23} =HCFC-22 생산에 의한 HFC-23 부산물의 배출, kg
$EF_{default}$ =HFC-23 기본배출계수, kg HFC-23/kg HCFC-22
$P_{HCFC-22}$ =전체 HCFC-22 생산, kg

이 방법은 공장 고유의 측정값이 유용하지 않은 경우에 적당하고, 이 때 기본 조건은 모든 측정된 HFC-23의 생산이 대기 중으로 배출된다는 것이다.

Tier 2

Tier 2방법에서는, HFC-23 배출계수가 공정 효율성 기록에서 도출되어 식 3.31에서 제시된 계산식에 사용된다. 이것은 물질수지 접근 방식이고 HCFC-22의 예상 생산량과 실제 생산량 사이의 차이를 계산하여 그 차이를 원료 물질과 생산물(HCFC-22)의 손실, HFC-23 등의 부산물로의 전환에 대비하는 것이다. 이러한 매개변수들은 각 공장마다 다르기 때문에 국가 자료에 각 설비 보고시 별도로 관리되어야 한다.

식 3.31

공정효율로부터 구한 계수를 사용하여 생산된 HCFC-22로부터의 HFC-23 Tier 2 계산

$$E_{HFC-23} = EF_{calculated} \bullet P_{HCFC-22} \bullet F_{released}$$

여기에서,

E_{HFC-23} =HCFC-22 생산에 의한 부산물 HFC-23의 배출, kg
$EF_{default}$ =HFC-23의 계산된 배출계수, kg HFC-23/kg HCFC-22

$P_{HCFC-22}$ =전제 HCFC-22 생산, kg
$F_{released}$ =처리되지 않고 대기 중으로 배출된 연간 분류, 분류

배출계수는 탄소 효율성(식3.32)과 불소 효율성(식 3.33)에 의해 산출될 수 있고, 식3.31에서 사용된 값은 적절하게 문서화될 수 있는 우선시 되는 고려사항 (둘 중 하나의 효율성 측정 불확도가 훨씬 낮거나)이 없다면 정상적으로 이 두 값의 평균이 되어야 한다. 탄소와 불소 수지 효율성의 연간 평균은 잘 관리되고 있는 HCFC-22 공장의 특징이 되며, 보통 공장 운영자에게 적용가능하며 공정 회계 기록의 검사에 의해 얻어진다. 유사하게 만일 벤트 처리 시스템이 있다면 운영되는 시간의 길이와 HCFC-22 공장에서의 벤트 흐름의 처리가 기록으로 남아있어야 한다.
전체 HCFC-22 생산은 가능한 분산 사용을 위해 판매되거나 화학원료로 사용된 물질을 포함한다.

식 3.32

탄소수지 효율에 의한 HFC-23 배출계수의 계산

$$EF_{carbon\_balance} = \frac{(100 - CBE)}{100} \bullet F_{efficiency\ loss} \bullet FCC$$

여기에서,

$EF_{carbon\_balance}$ =탄소수지 효율에 의해 산출된 HFC-23 배출계수, kg HFC-23/kg HCFC-22
CBE =탄소수지 효율, %
$F_{efficiency\ loss}$ =HFC-23에 대한 효율성 감소 계수, 비율
FCC =이 화합물의 탄소 함량 계수(=0.81), kg HFC-23/kg HCFC-22

그리고

식 3.33

불소수지 효율에 의한 HFC-23 배출계수의 계산

$$EF_{fluorine\_balance} = \frac{(100 - FBE)}{100} \bullet F_{efficiency\ loss} \bullet FFC$$

여기에서,

$EF_{fluorine\_balance}$ =블소수지 효율에 의한 HFC-23 배출계수, kg HFC-23/kg HCFC-22
FBE =불소수지 효율, %
$F_{efficiency\ loss}$ =HFC-23에 대한 효율 손실 계수, 분류
FFC =이 화합물의 불소 함량 계수(=0.54), kg HFC-23/kg HCFC-22

HFC-23에 대한 효율 손실을 부여하는 계수는 각 공장에 고유한 값이고, 만일 이 계산법이 사용된다면 계수는 공정 운영자에 의해 도출되었어야 한다. 기본적으로 값은 1이고 모든 효율성의 손실은 HFC-23의 공동 생산에 의해 일어난다는 것이다. 사실, 이것은 일반적으로 가장 중요한 효율성 손실이고 원료나 생산물의 손실보다 훨씬 크다.
탄소와 불소 함량에 대한 계수는 HFC-23과 HCFC-22의 분자 구성에 의해 계산되어 모든 HCFC-22 공장에 탄소에 대해서는 0.81, 불소에 대해서는 0.54로 같이 사용된다.

Tier 3

Tier 3 방법은 잠정적으로 가장 정확하다. 여기에 제공된 Tier 3 방법은 동일한 결과를 유도하고 그들간의 선택은 각 설비에 대해 유용한 자료에 의해 이루어진다. 각 경우에 있어서 국가 배출은 공장 고유 배출의 합이고, 각 값은 배출된 가스 흐름이 대기 중으로 배출되는(직접적이고 지속적으로-Tier 3에서처럼, 또는 배출과 연관된 공정 매개변수들의 지속적인 조사에 의해-Tier 3b에서처럼, 또는 반응기 생산 흐름내의 HFC-23 농도를 지속적으로 측정함으로서-Tier 3C) 조성과 흐름 속도를 계산하기 위해 Tier 3 방법을 사용하여 계산된다.

식 3.34

개별 공정 흐름에 의한 HFC-23의 배출을 Tier 3a에 의해 계산 (직접법)

$$E_{HFC-23} = \sum_i \sum_j \int_t C_{ij} \bullet f_{ij}$$ **[$\int_t$ 은 시간에 대해 합해져야 되는 양을 의미한다]**

여기에서,

E_{HFC-23} =전체 HFC-23 배출: 각 공장에서 배출된 흐름의 무게**f**와 농도**C**의 모든 공장*i*, 흐름*j*의 합은 시간*t*으로 병합된다. (각 공정 흐름에서 즉시 일어나는 HFC-23 배출을 계산하기 위해 식 3.37을 참고하라)

또는 프록시 방법이 사용된다.

식 3.35

개별 공정 흐름에 의한 HFC-23의 배출을 Tier 3b에 의해 계산 (프록시 법)

$$E_{HFC-23} = \sum_i \sum_j \int_t E_{ij}$$ **[$\int_t$ 은 시간에 대해 합해져야 되는 양을 의미한다]**

여기에서,

EHFC-23 =전체 HFC-23 배출: **Ei,j** 는 프록시 방법에 의해 결정된 공장과 흐름에 의한 배출이다. (각 공정 흐름에서 HFC-23 배출을 계산하기 위해 식 3.38을 참고하라)

또는 반응기 산물 흐름내 HFC-23의 농도가 사용된다.

식 3.36

개별 공정 흐름에 의한 HFC-23의 배출을 Tier 3c에 의해 계산

(반응기 산물의 관찰에 의해)

$$E_{HFC-23} = \sum_i \int_t C_i \bullet P_i$$ **[$\int_t$ 은 시간에 대해 합해져야 되는 양을 의미한다]**

여기에서,

E_{HFC-23} = 전체 HFC-23 배출: **Pi**는 공장 *i* 의 반응기에서 HCFC-22 생산물의 무게 흐름이고, **Ci** 는 공장 *i* 에서 HCFC-22 생산물에 대한 상대적인 HFC-23의 농도이다.(공정 내 측정에 의한 각 설비의 HFC-23 배출을 계산하기 위해 식 3.40을 참고하라)

Tier 3a

Tier 3a 방법은 각 공장의 벤트 농도와 흐름 속도를 여러 번 또는 지속적으로 측정한 값을 토대로 하는 것이다. 그래서 대기로 배출된 양은 흐름 성분의 무게 농도와 전체 흐름의 속도(무게 농도와 양립할 수 있는 단위의), 흐름이 일어날 시간 길이의 수학적 결과 값이다.

식 3.37

개별 공정 흐름에서 '즉석' HFC-23의 배출을 Tier 3a에 의해 계산 (직접적 방법)

$$E_{ij} = C_{ij} \bullet f_{ij} \bullet t$$

여기에서,

E_{ij} =공장 *i*에서 공정 흐름 *j*에 의한 '즉석' HFC-23의 배출, kg

C_{ij} =공장 *i*에서 공정 흐름 *j*에 의한 실제 배출된 가스 흐름의 HFC-23의 농도, kg HFC-23/kg gas

f_{ij} =공장 *i*에서 공정 흐름 *j*에 의한 가스 흐름의 무게 흐름(일반적으로 부피로 측정되어 표준 공정 기술 방법을 사용해 무게 흐름으로 변환됨), kg gas/hour

t =이 매개 변수들이 측정되어 상수로 남아있는 동안의 시간 길이, hours

만일 화학 원료로 사용되기 위해 벤트 흐름에서 HFC-23이 일부라도 회수되어 분해된다면, 이것은 배출에서 제외되어야 한다. 배출될 수도 있는 용도로 회수된 물질은 만일 그 배출이 7장에서 소개된 방법에 의해 계산된 양에 포함이 된다면 여기에서 제외시킬 수 있다. 배출은 이 tier 에 의해 바로 측정되기 때문에 Tier 3b, Tier 3c에서와 같은 회수된 물질에 대한 별도의 용어가 불필요하다.

배출된 HFC-23의 전체 양은 이런 측정된 즉석 배출 값의 연간 합계가 된다. HFC-23을 제거하기 위한 분해기에서 벤트 흐름이 공정을 거치는 기간은 이 계산식에 포함되지 않는다. 만일 각 설비 내에서 분해된 양을 계산할 필요가 있다면 운영자가 이것을 공장 운영시간과 배출 시간(위의 *t*)사이의 차이를 토대로 계산해야한다.

Tier 3b

많은 경우에, 측정값은 지속적이지 않고, 집중 공정 조사 중이나 공장 시험 중에 이루어져, 그 결과가 정상적인 공장 운영 중의 배출을 계산하는데 프록시를 제공하기 위해 사용되기도 한다. 이 경우에 부산물의 배출 속도는 더 쉽게(혹은 정확하게) 원료 흐름 속도 등의 측정 가능한 매개 변수와 연관된다. 시험은 다음의 조건을 충족시켜야 한다.

-측정값의 공장 상위의 측정에 영향을 미쳐 배출과 생산 간의 관계를 무효화할 수 있는 주요 공정 설계나 구성, 작동상의 주요한 변화가 없어야 한다.

-배출과 공장 운영 속도의 관계는 시험 중에 불확도와 함께 설정되어야 한다.

거의 모든 경우에 공장 운영 속도는 프록시에 적절하고, 배출된 HFC-23의 양은 현재 공장 운영 속도와 벤트 플로우가 배출되는 시간의 길이에 좌우된다.

식 3.38

개별 공정 흐름에서 HFC-23의 배출을 Tier 3b에 의해 계산 (프록시 법)

$$E_{ij} = S_{ij} \bullet F_{ij} \bullet POR_{ij} \bullet t - R_{ij}$$

여기에서,

E_{ij} =공장 *i*의 벤트 흐름*j*에서 HFC-23 배출 무게, kg

S_{ij} =공정 운영 속도와 같은 프록시 유닛 당 공장 *i*의 벤트 흐름*j*에서 표준 HFC-23의 배출 무게, kg/'unit'

F_{ij} =실제 공장 운영 속도에 있어서의 배출 속도에 대한 측정된 표준 배출 속도의 연관 점 계수. 많은 경우에 생산된 fraction은 운영속도에 민감하지 않고 이는 단위체이다(예를 들어, 배출 속도는 운영 속도에 비례한다). 다른 경우에 배출 속도는 운영 속도의 더 복잡한 함수이다. 모든 경우에 Fi는 공장 시험 중 다양한 운영 속도에서 HFC-23의 생산량을 측정하여 계산되어야 한다. 운영 속도에 배출을 연결하는 간단한 함수는 시험가동으로부터 결정될 수 없고, 프록시 방법은 적당하고 지속적인 관찰이 바람직하다고 고려하지 않는다.

POR_{ij} =공장 *i*의 벤트 흐름*j*에 적용되는 평균 시간 *t* 에 대한 현재 공정 운영 속도, 'unit /hour'. 이 변수의 단위는 표준 배출 속도를 계산하는 공장시험과 현재 진행 중인 운영 배출의 계산(아래 식 3.39에 설명된) 간에 일관적이야 한다.

t =연간 배출이 지속된 실제 전체 시간, 또는 공정이 수시간 동안 지속적으로 운영되지 않는다면 기간. 연간 배출은 그 해 모든 기간의 합이 된다. 분해 시스템에서 벤트 흐름이 처리되는 기간은 여기에 계산되지 않는다.

R_{ij} = 공장 *i*의 벤트 흐름*j*에서 화학원료로 사용하기 위해 회수되어 분해되는 HFC-23의 양, kg. 잠재적으로 배출될 수도 있는 용도로 회수된 물질들은 만일 이 권의 7장에 나와 있는 ODS 치환을 위한 방법에 의해 계산된 양에 포함된다면, 여기에 계산될 수도 있다.

식 3.39

프록시 방법에 의한 표준 배출의 Tier 3b 계산

$$S_{T,ij} = C_{T,ij} \bullet f_{T,ij} / POR_{T,ij}$$

여기에서(각 시험 T에 대해),

S_{ij} = 공장 *i*의 벤트 흐름*j*에서 HFC-23의 표준 배출 무게, kg/'unit'(식 3.38의 계수와 함께 사용가능한)

$C_{T,ij}$ = 시험 중 공장 *i*의 벤트 흐름 *j*에서 HFC-23의 평균 무게 분류 농도, kg/kg

$f_{T,ij}$= 시험 중 공장 *i*의 벤트 흐름 *j*에서의 평균 무게 흐름 속도, kg/hour

$POR_{T,ij}$ =시험 중 공장 *i*의 벤트 흐름 *j*에서 프록시 양 (공정 운영속도 등), 'unit'hour. 'unit'은 공장 *i*의 벤트 흐름 *j*에 적용된 프록시 양에 좌우된다. (예를 들어,원료의 kg/hour 나 m3/hour of feedstock).

Tier 3c

HCFC-22의 양에 대한 상대적인 반응시스템의 생산에 있어서 HFC-23의 농도를 관찰하는 방법은 상대적으로 간단하다. 이것은 관찰된 농도와 만들어진 HCFC-22의 흐름 무게의 수학적 결과값을 이용, 배출된 HFC-23의 양을 산출하는데 필요한 근간을 제공한다. 만일 배출을 감소시키기 위한 벤트 처리가 없다면 이것은 간단한 절차이다. 그러나 감소가 있다면, 직접 가스배출이나 수용성 흐름의 가스 배출을 포함해 대기 중으로 배출될 수 있는 모든 흐름에 실제 처리한다는 것을 반드시 보여주어야 한다. 후자는 특히 분해 설비를 거치지 않을 수도 있다. 만일 모든 가능한 벤트 흐름이 처리되지 않는다면 이 방법은 사용될 수 없다.

식 3.40

공정 내 측정에 의한 개별 설비에서의 HFC-23의 배출 Tier 3c 계산

$$E_i = C_i \bullet P_j \bullet t_F - R_i$$

여기에서,

E_i =각 설비i 에 의한 HFC-23의 배출, kg

C_i =설비 i의 반응기 생산의 HFC-23의 농도, kg HFC-23/kg HCFC-22

P_i =설비i에서 이 농도가 적용되는 동안의 HCFC-22 생산물의 무게, kg

t_F =HFC-23 이 분해되기보다 실제 대기 중으로 배출되는 동안의 분류 구간, 분류

R_i =설비 i에서 화학 원료로 사용되어 분해된 HFC-23의 양, kg

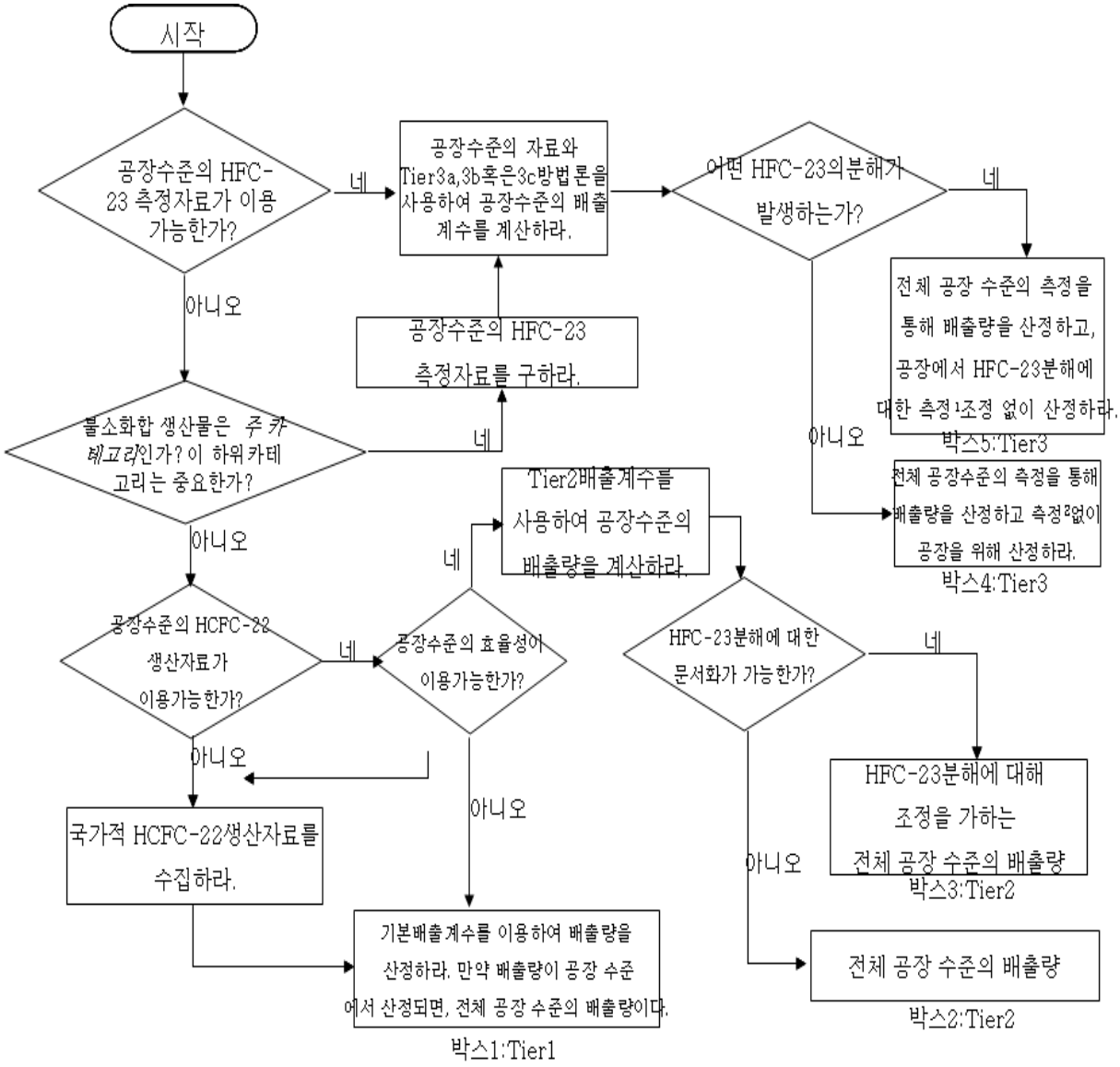
잠재적으로 배출될 수도 있는 용도로 회수된 물질은 배출량이 이 권의 7장에 있는 방법으로 계산된 양에 포함된다면 여기에 계산되어야 한다.

대기로 배출된 HFC-23의 전체 양은 각 배출 기간과 반응 시스템에 의한 양의 합계이다.

확학 원료로 사용되기 위해 회수된 HFC-23는 여기에서 계산된 전체 양에서 제외되어야 한다.

요약하자면, Tier 1 방법은 상대적으로 기본배출계수를 생산된 HCFC-22의 양에 적용시키는 방법을 포함하여 상대적으로 간단하다. 이 방법은 공장이나 국가 단위의 자료에 적용될 수 있다. Tier 2와 Tier 3 방법은 공장 단위의 계산식에만 적당하다. Tier 3 자료를 구할 수 있는 공장의 경우에 Tier 1과 Tier 2방법은 완벽한 자료를 위해 남아 있는 잔량에 적용될 수 있다. 국가 배출에 있어서의 불확도는 각 배출원의 불확도가 부여된 생산과 표준 통계 기술을 이용해 계산 될 수 있다. 방법에 상관없이, 감소된 배출은 각 공장의 총계 값에서 국가 계산에 합산되기 전에 전체 배출을 결정하기 위한 총 산출 값에서 제외되어야 한다.

그림 3.16 HCFC-22 생산에 의한 HCF-23 배출량을 위한 의사결정도 (혹은 불소화합 생산물로 부터 나온 유사한 부가적 배출량)



주 :

[1]. 주 카테고리와 의사결정도의 이용을 위해 제1권 4장의 방법론적 선택과 주 카테고리의 확인(제한된 자원과 관련된 4.1.2절도 참고)을 참고하라.

[2]. 만약 몇 몇 공장에서 Tier3자료가 이용가능하다면, Tier1이나 Tier2방법은 완전한 범위를 확실히 하기 위한 나머지에 적용될 수도 있다.

가능하다면 Tier 3방법을 사용하는 것이 좋다. 직접 측정은 각 제조 설비에 대한 고유 조건을 반영하기 때문에 Tier 1보다 분명 훨씬 더 정확하다. 대부분의 경우, Tier 3 산출을 위해 필요한 자료는 이용할 수 있어야만 하는데, 이는 좋은 사업 실행을 위한 운영 설비가 일반적 운영의 일부로서 최종 공정 배출이나 공정 자체 내에서 규칙적으로 혹은 주기적으로 샘플링을 수행하기 때문이다. HFC-23 분해 등의 감소 기술을 사용하는 설비에 대해서는 감소 효율에 대한 증명이 주기적

으로 이루어진다. Tier 1(기본) 방법은 단지 공장 고유의 자료가 없는 경우나 하위카테고리가 주 카테고리 내 중요한 부분으로 규정되지 않은 경우에만 사용되어야 한다. (제1권 4.2절 참고)

배출계수의 선택

샘플 채취의 지역과 횟수에 따라 Tier 3 방법에서도 몇 가지 선택가능한 측정법들이 있다. 일반적으로 HFC-23 배출의 직접 측정은 가장 정확성을 제공하지만, 생산 공정 지역내의 지속적이고, 빈번한 변수의 측정은 더 실용적이고 동등하게 정확할 수 있다. 모든 경우에 측정의 횟수는 공정의 다양성을 대변할 수 있을 정도로 충분해야 한다(촉매의 수명 동안..등). 측정 횟수에 대한 문제는 제1권 2장에서 다뤄진다.

공장 고유의 측정이나 샘플 채취가 가능하지 않고 Tier 1방법이 사용되는 경우에, 기본배출계수는 어떤 저감 방법도 없다고 가정하고 사용되어야 한다. 1995년 이전에 운영중인 공장에 대해서 배출계수는 0.04kg HFC-23/kg HCFC-22(4%) (IPCC, 1996; USEPA, 2001). 이것은 기본값으로 측정자료가 없는 경우에 사용되고, HFC-23의 회수와 분해가 없는 전형적인 HCFC-22 공장으로부터의 HFC-23 배출량을 설명한다. 이 값은1978-1995 기간 중의 HFC-23 농도의 대기 관찰과 일관성이 있다 (Oram *et al.*,1998). 이들은 전세계적 평균 배출이 어느 정도의 HFC-23이 회수되어 할론1301로 전환 될 때 생산된 전체 HCFC-22 양의 2% 정도와 비슷함(McCulloch, 1992) 을 보여주었고, 이 감소는 의미있게 생산되는 나라에서 요구되는 방식이다.

공정 최적화에 의해 생산을 0.014에서 0.03kg HFC-23/kg HCFC-22 (1.4 to 3 %) 까지 줄일 수 있지만 완벽하게 HFC-23의 생산을 제거하는 것은 가능하지 않다 (IPCC,2000). 더욱이, 감소 정도는 공정 설계와 경제적 환경(HFC-23을 줄이기 위한 측정이 공정 배출을 종종 줄이기도 한다)에 매우 의존적이다. 최적화된 공정에서 HFC-23 생산과 배출은 비슷하게 측정될 것이다 그런 측정 없이 공정 운영을 최적화하는 것은 가능하지 않기 때문에 기본값은 각 공장에 대한 내용에 있어서 의미가 없다. 그러나 기술의 상태는 각 공장의 최적화에 의해 진보되었고, 그 기술은 최근 공장 설계에 반영되어 기본배출계수 0.03 kg HFC-23/kg HCFC-22 (3 %). 을 제시하게 되었다. 이 기본값은 매우 큰 불확도(50% 범위)를 가진다. 더 정확한 관리를 위해서 실제 배출은 Tier 2와 Tier 3 방법에 의해 결정되어야 하고 만일 필요하다면 이 책의 7장에 있는 가이드라인을 사용해 이전 년도에 대입해 볼 수 있다.

표 3.28
HFC-23 기본배출계수들

기술	배출계수 (kg HFC-23/kg HCFC-22 produced)
오래되고, 최적화되지 않은 공장(10940년대~1990/1995년대)	0.04
최근에 설계되었고, 최적화되지 않은 공장	0.03
전세계적 배출 평균(1978-1995)[4]	0.02
비교 : *최적화된 큰 공장 - HFC-23의 측정을 요구 (Tier 3)* *HFC-23의 효과적인 회수, 분해가 가능한 공장 (Tier 3)*	 *0.014까지 감소* *0 까지 감소*

[4] 전세계적 평균은 대기중 HFC-23 농도의 변화로부터 구한다. HCFC-22 생산의 0~4%이상 범위 내의 공장 배출은 구별하지 않는다.

박스 3.14

공장 측정 횟수

연간 HFC 배출량의 산정에 있어서, 정확성과 정밀성은 흐름 속도 측정의 정확성과 명확한 흐름 측정이 전체 배출량을 대표할 수 있는 정도와 함께 샘플의 수(샘플 수집 횟수)에 좌우된다. 생산 공정은 완전히 정적인 것이 아니기 때문에, 공정의 다양성이 클수록, 공장은 더 자주 측정할 필요가 있다. 일반적인 규칙으로, 샘플 획득 및 분석은 공장이 어느 공정상의 변화를 거칠 때마다 반복되어야 한다. 샘플 획득 횟수를 결정하기 전에, 공장은 정확성에 대한 목표를 설정해야 하고 그 목표를 달성하기 위해 필요한 샘플의 수를 결정하는 통계학적 수단을 사용해야 한다. 예를 들어, HCFC-22 생산자의 연구는 일일 일회의 샘플획득이 매우 정확한 연간 계산을 위해 충분하다. 정확성에 대한 목표는 필요하다면 다시 교정되어 가능한 리소스를 취하도록 한다(RTI, Cadmus, 1998).

활동도 자료의 선택

Tier 1 방법을 사용할 때, 생산 자료는 직접 생산자로부터 구해야 한다. 생산자들이 유량계를 사용하여 배송 무게나 부피-시간-밀도의 측정값을 포함해 그들의 생산 수준을 결정하는 몇 가지 방법들이 있다. 이 자료는 판매용이나 원료로 내부에서 사용하기 위해서이거나, 그 해 모든 HCFC-22의 생산을 설명해야만 하고 공장에서는 어떻게 HCFC-22 생산 속도가 결정되는지를 설명해야만 한다. 몇 몇 경우에 생산자들은 공장 생산 자료가 확실한지를 고려할 것이다. 국가 수준의 활동도 자료에 대해 HCFC-22 생산 자료의 보고는 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)에 의거 요구된다.

완전성

각 나라에는 HCFC-22 공장이 매우 적기 때문에 완벽한 샘플 자료를 얻는 것이 가능해야만 하고, 각 공장 운영자가 공정 효율을 관찰하여 HFC-23의 손실을 도출해서Tier 2 방법을 적용할 수 있도록 하는 표준 방법이다. HFC-23을 감소시키기 위해 사용된 열 산화제의 분해 효율은 일반적으로 높지만(>99%) 이 지점에서 불소 온실가스의 배출로 여겨진 양을 확인하기 위해서 탈출 가스의 조성을 확정하는 것이 중요하다.

일관된 시계열 개발

HCFC-22 생산에서 HFC-23의 배출은 전 시간대에 대해 같은 방법과 적당한 배출계수를 사용해 계산되어야 한다. 만일 어느 시간대의 자료가 Tier 3 방법에 적용될 수 없다면, 이러한 차이는 제1권 5장에서의 가이드라인에 따라 채워져야 한다.

3.10.1.3. 불확도 평가

Tier 1

불확도가 측정과 통계에서 유래되는 다른 Tier과 달리, Tier 1 불확도는 전문가 판단을 통해 이루어지며, 다른 제조 설비에서의 배출상의 다양성에 대한 지식에 기초한 Tier 1에 대해 약 50%의 오차가 간주된다. 이 정도의 오차는 활동도에 있어서의 불확도를 완전히 메우기에 충분하다.

Tier 2

Tier 2결과에 있어서의 불확도는 탄소와 불소 불확도가 같다고 가정하고, 생산 무게양과 효율성에 있어서의 각각의 불확도의 합계에 의해 계산된다. 탄소와 불소 효율의 불확도가 충분히 다른 경우 (물질 차이가 배출 계산의 차이를 일으킬 만큼 큰 경우) 더 낮은 불확도 값이 전 계산을 통해 사용되어야 한다.

Tier 2에 의해 도출된 불확도 값은 Tier3에 의해 예상되는 값보다 훨씬 크지만, 수량화할 수 있다. 전형적으로 약 4%의 HFC-23을 생산하는 공장에 대해서 탄소 효율성은 95% 정도이고, 불소의 효율성은 92%이다. 이러한 효율성은 1% 내에서 측정될 수 있고, Tier 2 HFC-23계산의 오차는 20% 이하일 것이다. 이정도 정확성에 대한 효율 산출은 엄밀한 평가 방법을 요구하고, 판매용 모든 원료와 생산물은 설비 주입과 배출시 무게를 측정해야 한다. 그런 제도는 전체 활동도에 대한 예상되는 정확성을 정할 수 있다. 무게에 의한 생산량의 좋은 평가와 측정과 함께, 활동도의 오차를 1% 이하로 줄이는 것은 가능해야 한다.

Tier 3

HFC-23에 대해 Tier 3 방법은 측정된 Tier 2나 Tier 1 기본 방법보다 훨씬 정확하다. 벤트 흐름내 규칙적인 Tier 3 샘플획득은 HFC-23 배출에서 95%의 신뢰도로 1-2%의 정확성을 확보할 수 있고, Tier 3(프록시)결과의 불확도는 유사할 수 있다. 모든 경우에 이런 방법은 배출계수나 활동도에 의존하지 않을 수 있고, 불확도를 다시 나누는 개념은 가치가 없기 때문에, 불확도는 주입된 매개변수의 불확도로부터 통계적으로 계산될 수 있다.

계산값의 불확도는 다양성의 계수(%)로 표현되고, 각 흐름의 경우에 측정된 농도와 흐름속도에 대한 불확도와 흐름 동안의 불확실성의 결과인 불확도가 있을 것이다. 병합된 불확도는 분석되어 결정할 수 있고, 제1권 3장에서 설명된 표준 방법을 사용해 계산되어야 한다.

3.10.1.4. 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

품질보증 및 품질관리

품질관리 평가와 배출 계산의 전문가 검수를 제1권 6장에 기술한대로 수행하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 제1권 6장에 기술한대로 부수적인 품질관리 평가와 품질보증 방법은 또한 더 높은 Tier 방법이 이 배출원 카테고리에서 배출을 결정하기 위해 사용될 때 특히 적용가능하다. 인벤토리 작성자는 제1권 4장에 규정된 것처럼 주 카테고리에 대한 더 높은 tier QA/QC 를 사용하도록 권장된다.

제1권에서의 가이드라인뿐 아니라, 이 하위 배출원 카테고리에 적당한 고유의 방법이 아래에 기술되어 있다.

다른 접근을 사용한 배출계수의 비교

인벤토리 작성자는 보고된 배출 계산을 tier 1 기본계수와 생산 자료를 사용해 결정된 것에 대해 비교해야만 한다. 만일 나라 생산 자료만 구할 수 있다면, 이들은 합쳐진 공장 배출을 국가 기본 계산과 비교해야 한다. 만일 중요한 정도의 차이가 비교를 통해 발견된다면, 다음의 질문들에 대해 대답이 준비되어야 한다.

1. 각 공장 계산의 어느 부분이라도 비정확성이 있는 곳이 있는가?(극대 outlier 가 비합리적인 배출량을 설명하는가 등)

2. 그 공장의 고유 배출계수가 다른 공장의 그것들과 매우 다른가?

3. 공장 고유의 생산 속도가 발표된 국가 단위 생산 속도와 일관성이 있는가?

4. 제어 효과나 생산물이 보고된 방식 혹은 문서화되지 않은 가정 등과 같이 중요한 차이에 대한 어떤 설명이 존재하는가?

직접 배출 측정 관리

- 인벤토리 작성자는 공장 측정값에 대해 국제적으로 공인된 표준 방법을 이용해야 한다. 만일 측정 방법이 이 기준에 부합하지 않으면, 이러한 배출계수의 사용은 주의 깊게 평가되어야 한다. 이것은 또한 측정과 QA/QC에 높은 표준이 적용되는 지역에서 배출 계산의 불확도는 하향 조정되기도 한다.
- 각 공장의 QA/QC 공정은 샘플 수와 획득 횟수가 공정 자체의 다양성에 부합하는지 보증할 수 있는지를 평가받아야 한다.
- 가능한 지역에서, 인벤토리 작성자는 모든 측정된, 계산된 자료가 다른 시스템의 측정, 계산과 비교를 함으로서 증명해야 한다. 예를 들어 공정 내의 배출 측정은 기간마다 벤트 흐름의 측정에 의해 증명될 수 있다. 인벤토리 작성자는 감소 시스템의 유용성과 효율을 증명해야 한다.

보고 및 문서화

제1장 6.11절에 기술된 것처럼, 국가 배출 재고 분석 산출을 위해 필요한 모든 정보를 문서화해서 정리하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.
이러한 배출원 카테고리에 적당한 특별한 몇 가지 문서와 보고서의 예가 다음에 제공된다.

- 완벽하게 투명한 보고를 하기 위해, HCFC-22 생산에 의한 HFC-23의 배출은, 다른 HFC 배출에 포함되기 보다는, 분리된 항목으로 보고되어야 한다.
- 문서는 다음을 포함해야만 한다.

  (i) 방법적 설명

  (ii) HCFC-22 공장 수

  (iii) HCFC-22 생산(생산자가 여럿이라면);

  (iv) 저감 기술의 존재

  (v) 공정 설명, 운영 매개 변수 그리고

  (vi) 연관된 배출계수들

신뢰성

- Tier 2와 Tier 3 방법의 사용은 HFC-23의 공장 배출이 HCFC-22 생산으로부터 별도로 보고됨을 의미한다. HFC-23 배출과 HCFC-22 생산을 분리(de-coupling)함으로써 HFC-23에 관한 배출 자료는 상업기밀(commercial confidence)로 간주되지 않는다. 이는 개별 제조설비의 상세한 기밀지식 없이는 HCF-22의 생산 수준이 드러나지 않기 때문이다.

- Tier 1방법을 국가 전체 HCFC-22의 생산에 적용하면, 보고된 HFC-23의 배출로부터 계산될 수 있고, 만일 셋 이하의 생산자가 있다면 그 생산량 자료는 믿을 수 있는 사업정보로 고려될 수 있다. 그런 경우에 신뢰성을 보호할 수 있는 단계를, 예를 들어 모든 HCFC-22 배출의 합산 등을 통해 수행해야 한다. 투명한 이유로, 합산이 있을 때마다 HCFC-22 생산에 대한 질적 토의가 포함되어야 한다.
- 국가 배출이 각 설비에 의한 값의 합으로 계산된다면 이들은 다른 방법으로 계산되었던 것이면, 이들 자료만으로 HCFC-22 생산을 다시 계산할 수 없고, 신뢰도를 고려할 문제들이 없어야 한다.

3.10.2. 다른 불소화합물 생산에 의한 배출

3.10.2.1.서론

온실가스를 포함하야 많은 불소 화합물들은 불소화합물 제조의 부산물로 생산되어 대기중으로 배출될 수 있다. 예를 들어, 최근 국가 재고 인벤토리에서 중요한 부산물인 SF_6와 CF_4, C_2F_6, C_3F_8, C_4F_{10}, C_5F_{12}, C_6F_{14} 배출이 불소화합물 공장에서 보고되었다(UNFCCC, 2005). 다른 예는 CFC-11와 12 의 생산에 의한 부산물, CF_4 또는 핵 연료 주기의 우라늄헥사플로르의 생산에 의한 SF6 등의 부산물 배출을 포함한다.

화합물, 또는 연관된 화합물 (HCFC-22로부터 HFC-23의 생산은 3.10.1에서 특별히 다뤄진다)의 생산 중에 만들어지는 부산물의 배출이 생산과 분배 중에 일어난다. 생산되는 물질의 배출이 또한 있을 수 있다 소위'탈루 배출'. 부산물과 탈루 배출은 같은 방식으로 계산된다. 이 절에서는, 사용과 연관된 배출은 소비에 연관된 배출로 계산하면서 특별히 언급하지 않는다.(이 권의 4.5,6,7,8장을 참고). 전형적으로 불소화합물은 다양한 기술과 공정을 포함한 화학 공정[5] 중에 배출될 수 있다.

- 불소 화합물 용액과 폴리머 생산에 사용된 공정 끝내기
- 불소 용액을 만들기 위한 테트라불소에틸렌의 광산화반응
- SF_6 생산에 자주 사용되는 직접 불소화
- C_2F_6와 CF_4, HFC 134a, 245fa 등과 같이 낮은 온도에서 끓는 PFC 만들기 위한 할로겐 교환 공정
- 직접 불소화에 의한 NF_3 제조
- 우라늄 헥사플루르 생산
- 테트라플로르에틸렌과 헥사플로르프로필렌 같은 불소 모노머 생산
- 불소화합물 농약 생산
- 불소화합물 마취제 생산

3.10.2.2. 방법론적 이슈

[5] 이 목록은 설명되어 있다.

방법의 선택

그림 3.17에서 보여준 의사결정도를 사용해 방법을 선택하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 만일 카테고리 2B9불소 화합물 생산이 핵심으로 규정된다면, 이 하위카테고리는 중요하다고 판단되고, 인벤토리 작성자는 배출이 부분적 화합물의 생산에 의해 주로 이루어지는지를 고려해야 하고, 이러한 화합물 생산에 대한 보다 정교한 자료 수집 노력에 초점을 두어야 한다. 이러한 불소화된 온실가스의 주요 생산자들의 수는 매우 적다: SF6의 경우에 전세계적으로 약 6개의 회사가 약 10개의 생산 설비를 갖추고 있다(Preisegger, 1999). 특히 경제 개발에 따라 더 적은 수의 생산자들이 가까운 미래에 생길 것이다. 그러나 국가 생산자들의 조사는 수집하기 어려워서는 안 된다.

Tier 1

Tier 1 방법에 의하면, 기본배출계수 또는 특정한 국가의 환경에서 도출된 유사한 수는 국가 생산과 연관된 각 HFC와, PFCs, SF6, 다른 불소화된 온실가스의 배출을 계산하는데 사용될 수 있다.

식 3.41

생산과 연관된 배출의 Tier 1 계산

$$E_k = EF_{default,k} \bullet P_k$$

여기에서,

E_k =불소화 온실가스*k*의 생산-연관된 배출, kg

$EF_{default,\ k}$ =기본배출계수

P_k =불소화 온실가스*k*의 전체 생산, kg

고유성분 자료를 보고하면서 생기는 신뢰도의 문제는 각 HFC나, PFC, SF6의 전제 국가 배출에 대한 숫자를 제공함으로써 넘길 수 있다. 이것은 만일 자료가 제3 그룹에 의해 수집되어 전체로만 보고된다면 이것이 용이해 질 수 있다.

Tier 2

HCFC-22 공장에서 HFC-23의 배출에 적용할 공정 효율에 기초한 방법은 다른 유형의 공장보다 가치가 낮다. 이것은 부분적으로 이들 다른 부산물 배출에 의해 예상되는 비효율성이 낮기 때문이다 효율성 측정의 불확도는 부산물 배출계수보다 더 큰 편이다. 더욱이 부산물의 범위는 공정 비효율성(HCFC-22가 주요 부산물인 경우와 달리)을 담당한다. 그러나 생산 효율성 자료는 각 공정에 대해 존재하며, 더 정밀한 계산이 없는 경우에 공정 비효율성으로부터 계산된 배출의 양은 이 배출계수가 주 카테고리내 중요한 하위 카테고리 안에 포함이 되든 안 되든 질적 결정에 사용될 수 있다(이런 경우에Tier 3이 특화되어 있다.).

Tier 3

Tier 3방법은 잠재적으로 가장 정확한 계산이고, 어느 감소 기술 적용 이후에 대기로 실제 배출된 가스 흐름의 구성과 흐름 속도를 계산하기 위해 표준방법을 사용하여 결정된 각 불소화된 온실가스 부산물의 공장 고유의 배출 합계이다. 이 경우에,

식 3.42

생산과 연관된 배출의 Tier 3 직접 계산

$$E_k = \sum_i \sum_j \int_t C_{ijk} \bullet f_{ijk}$$ [$\int_t$ 는 시간에 대해 합해져야만 하는 양을 의미한다]

여기에서,

E_k = 불소화된 온실가스 *k* 의 전체 생산 연관된 배출: 모든 *i* 공장의 합계, 각 공장 모든 *j* 흐름 배출된 무게 흐름 **f**와 시간 *t*에 병합된 농도 **C.**

또는 프록시 방법이 사용되어, 예를 들어 부산물의 배출 속도가 더 쉽게(또는 정확하게) 측정 가능한 원료의 흐름 속도와 같은 매개변수로 3.10.1절의 식 3.35에서 설명된 것처럼 보정된다.

식 3.43

생산과 배출의 Tier 3 프록시계산

$$E_k = \sum_i \sum_j \int_t E_{ijk}$$ [$\int_t$ 는 시간에 대해 합해져야만 하는 양을 의미한다]

여기에서,

E_k = 온실가스 *k* 의 전체 생산 연관된 배출

$\mathbf{E_{ijk}}$ = 각 공장과 프록시 방법에 의해 결정된 흐름에서의 불소화된 온실가스 *k* 배출(3.10절의 식3.38, 3.39에 설명된 것임)

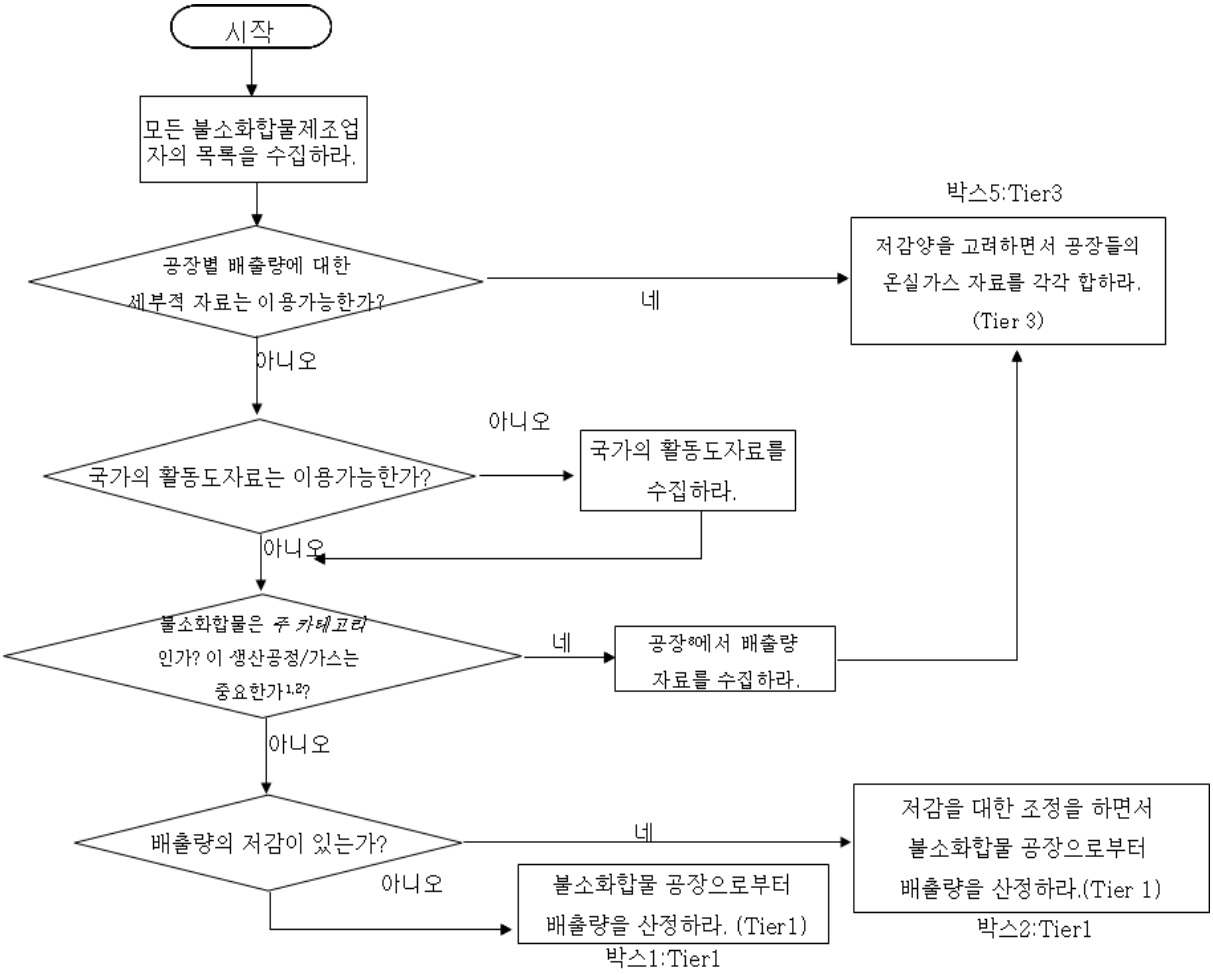
일반적으로 흐름은 부피로 측정되고, 이상 기체법, 온도, 압력, 성분을 토대로 무게 흐름(kg/hour)으로 변환되어야 함을 주의하라. 마찬가지로 농도도 알맞은 단위로 변환되어야 한다(kg/kg 등).
이 경우에 흐름 속도와 농도 그리고 지속 시간은 감소 기술이 운영되고 있을 때와 그렇지 않을 때에 별도로 계산되어야 하고, 실제 배출되는 것만 합산되어 보고되어야 한다.

배출계수의 선택

Tier 2와 Tier 3은 배출계수에 좌우되지 않는 반면에, Tier 3은 대기 중으로 배출된 각 물질의 양 측정값에 좌우된다. Tier 1에 대해서, 측정 감소가 없으면, 기본배출계수는 생산의 0.5% 이고, 물질의 이동이나 전달에 의한 손실을 고려하지 않아서 AFEAS(2004)에 제공된 자료를 토대로 HFCs와 PFCs에 대해 제안된다. 잠재적으로 배출될 수 있는 물질의 종류는 많다. 그러나 AFEAS 자료는 특정 불소화합물의 생산 공정 중에 손실된 화합물 성분이 대체로 이상적인 불소화합물과 마찬가지의 복사에너지를 가진다는 것을 보여주었다. 따라서 중요한 카테고리내의 중요하지 않은 하위 카테고리의 배출원에 대해서 비산, 부산물 배출이 같고, 0.5 % 배출계수에 포함된다.
SF6의 경우에, 독일의 경험을 토대로 생산된 SF6의 전체 양의 0.2%의 배출계수가 고도로 정제된 SF6가스(전자 설비나 절연창 등)를 사용하지 않는 나라에 대해 제안된다(Preisegger, 1999). 일본에서의 경험을 토대로, 주로 고도로 정제된 SF6가스를 사용하는(반도체 제조 등) 나라에서는 회수실린더에 남아있는 가스(사용되거나 재활용되지 않는 'heel' 등)를 처리하는 동안 취급 손실 때문에 기본배출계수가 8%가 되어야 한다(Suizu, 1999). 만일 국가 자료가 존재한다면 이것은 특히 여기에 특별히 열거되어 있지 않은 다른 물질에 대해 특히 사용되어야 한다.
기본배출계수는 어떠한 측정의 감소도 없다는 조건에 기초한다. 만일 대기 중으로 배출된 가스의 양이 예를 들어 벤드 흐름의 열 산화에 의해 감소한다면, 배출된 양은 산화제의 분해 손실과 사용

된 시간의 길이를 설명할 수 있도록 보정되어야 한다. HFC-23의 분해 사실에 기초해 100%의 기본 분해 효율이 제안되지만, 분해 공정의 온라인 시간은 배출상에 더 큰 효과를 가질 것이므로 기록되어야 한다.

그림 3.17 탈루 배출과 부산물 배출에 적용 가능한 생산공정으로부터 불소화된 온실가스 배출량을 위한 의사결정도



주 :

1. 주 카테고리와 의사결정도의 이용을 위해 제1권 4장의 방법론적 선택과 주 카테고리의 확인(제한된 자원과 관련된 4.1.2절도 참고)을 참고하라.
2. 이것이 주 카테고리인지 아닌지를 정하기 위해 이 부분에서 Tier2 방법론이 사용될 수도 있다. 그러나 3.10.2.2절에서 설명한대로, 이것은 Tier2를 위한 유일한 사용처이다.
3. 자료는 기밀을 유지하기 위해 제 삼자에 의해 국가 연구로서 수집될 수 있다.

활동도 자료의 선택

다시, 측정값을 토대로 한 활동도 자료는 Tier 3과 2 산출에 있어서 별다른 역할이 없다. Tier 1에 대한 활동도 자료는 생산된 원하는 불소화합물의 연간 무게이다.

재활용
사용된 가스의 재활용은 새로운 가스의 생산자나 다른 재활용 회사에 의해 수행된다. 배출은 오래된 가스를 다루거나 정제하고, 재생된 가스를 다루는 동안에 일어난다. 고유의 배출계수가 없다. 그러므로 새 생산처럼 똑같은 기본계수를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

완전성
일부 인벤토리 작성자가 더 작은 생산자, 특히 재활용회사를 규정하는 것은 어려운 일일 수 있다. 그러나 이러한 불소화된 온실가스의 국가 물질수지를 토대로 산출된 최초 계산값은 그런 정도의 배출과 연관된 생산이 전체 국가 배출에 공헌할 정도는 되어야 한다.

일관된 시계열 개발
생산 공정에서 생긴 불소화합물의 부산물과 탈루 배출은 전 시간별 적당한 배출계수에 대해 같은 방법을 사용해 산출되어야 한다. 만일 어느 해동안의 자료에 Tier 3을 적용할 수 없다면 이러한 차이는 제1권 5장에 제공된 가이드라인에 따라 채워져야 한다.

3.10.2.3. 불확도 평가

Tier 1에 대해서 활동도 자료에 대한 불확도는 보고하는 나라에 대해 결정될 필요가 있고, 통계적으로 배출계수에서의 불확도와 병합되어야 한다. 일반적으로 잘 운영되는 체제에서는 정밀한 자료기록이 되고 생산이 무게에 의해 측정된다는 가정 하에 활동도 자료에 대한 기본 불확도는 1% 범위 내에 있어야 한다. 실제 배출계수는 기본값의 과다에서 '0' 내에 있을 수 있다. 기본배출계수의 기본 불확도는 약 100%에 대해 예로 0.5 % 안팎(%)으로 정한다.
Tier 3 배출에 대해서는, 측정의 불확도가 개별적으로 결정되어 (표준 통계 방법을 사용해) 병합되어 계산에 대한 전체 불확도를 제공해야 한다. 방법은 HCFC-22에서 HFC-23의 생산에 대해 기술된 것과 동일하다. Tier 2 방법론에서 효율성의 측정과 개별 화합물의 손실 확인이 평가되어야 한다. 이들은 Tier 3에 의한 것보다 더 큰 불확도를 양산할 수 있으므로 Tier 2의 적용은 부산물 불소화합물 배출이 주 카테고리에서 중요한 세부카테고리인가에 대한 평가에 국한될 수 있다.

3.10.2.4. 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

품질보증 및 품질관리

제1권 6장에 설명된 것처럼 배출 계산의 전문가 검토와 품질관리 평가를 수행하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 부수적인 품질관리 평가와 품질보증 과정은 또한 특히 더 높은 Tier 방법이 이 카테고리의 원인에 의한 배출을 결정하는데 사용된다면 적용될 수 있다. 인벤토리 작성자는 제1권 4장에 명시된 주요 카테고리에 대한 고도의 Tier QA/QC 사용을 권장한다.

다른 접근법을 사용한 배출량 산정값과의 비교
인벤토리 작성자는 국가 생산 자료와 제안된 기본배출계수에 기초한 생산자 단위의 자료에 의한 산출을 비교해야만 한다. 이들은 생산자와 연계되어 설명할 수 없는 차이가 있는지를 결정하기 위해 중요한 차이점을 조사해야 한다.

보고 및 문서화

한정된 제조사들이 있을 경우 확실성에 대한 문제들이 제기되곤 한다. 이런 경우에는 모든 국가 배출에 대한 보고를 더 많이 모으는 것이 필요하다. 만일 설문 반응이 공공 정보로부터 오지 않을 경우 설문 자료를 제 3 그룹에 의해 검토 받는 것이 자료 증명을 위한 노력의 일환으로 필요할 수 있다.

제1장 6.11절에 나와 있듯이, 국가 배출 인벤토리 산출을 위해 필요한 모든 정보를 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 국가 인벤토리 보고에 모든 문서를 포함하는 것은 실용적이지 않다. 그러나 인벤토리보고서는 보고된 배출량 산정치의 투명성을 확보하고 계산과정을 재검해볼 수 있도록 사용방법과 참고문헌은 포함해야 한다.

참고문헌

3.2 - 3.8절

Ashford, R.D. (1994). Ashford''s Dictionary of Industrial Chemicals, Wavelength Publications Ltd, London England.

Austin, G.T. (1984). Shreve''s Chemical Process Industries, Fifth Edition, McGraw-Hill, Inc., USA.

Babusiaux, P. (2005). Note on production of Glyoxal and Glyoxylic acid, Clariant, Lamotte, France.

Bockman, O. and Granli, T. (1994). ''Nitrous oxide from agriculture''. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, Supplement No. 12. Norsk Hydro Research Centre, Porsgrunn, Norway.

Bouwman, A.F., van der Hoek, K.W. and Olivier, J.G.J. (1995). ''Uncertainties in the global source distribution of nitrous oxide''. *Journal of Geophysical Research*, 100:D2, pp. 2785-2800, February 20, 1995.

Burtscher, K. (1999). Personal communication between Kurt Burtscher of Federal Environment Agency of Austria and plant operator of chemical industry in Linz, Austria, 1999.

Chemlink (1997). Website http://www.chemlink.com.au/titanium.htm. Chemlink Pty Ltd ACN 007 034 022. Publications 1997.

Choe J.S., Gook, P.J. and Petrocelli, F.P. (1993). Developing N2O abatement technology for the nitric acid industry. Paper presented at the 1993 ANPSG Conference, Destin, Florida, USA, 6 October, 1993.

Cook, P. (1999). Personal communication between Phillip Cook of Air Products and Chemicals, Inc., USA, and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. March 5, 1999.

Cotton, F.A. and Wilkinson, G. (1988). Advanced Inorganic Chemistry, 5th Edition, ISBN 0-471-84997-9. Wiley, New York, USA.

de Beer, J., Phylipsen, D. and Bates, J. (2001). Economic Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change: Economic Evaluation of Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Emission Reductions in Industry in the EU - Bottom-up Analysis, Contribution to a Study for DG Environment, European Commission by Ecofys Energy and Environment, AEA Technology Environment and National Technical University of Athens.

Environment Canada (1987). Review of the Canadian Fertiliser Industry and Evaluation of Control Technology, Conservation and Protection Report EPS 2/AG/1.

EFMA (2000a). European Fertilizer Manufacturers'' Association, Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry: Production of Ammonia, Booklet No. 1 of 8, European Fertilizer Manufacturers'' Association, Brussels.

EFMA (2000b). European Fertilizer Manufacturers'' Association, Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry: Production of Nitric Acid, Booklet No. 2 of 8, European Fertilizer Manufacturers'' Association, Brussels.

EFMA (2000c). European Fertilizer Manufacturers'' Association, Best Available Techniques for

Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry: Production of Urea and Urea Ammonium Nitrate, Booklet No. 5 of 8, European Fertilizer Manufacturers'' Association, Brussels.

EIPPCB (2004a). European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals, Ammonia, Acids and Fertilisers Industries, Draft March 2004, European Commission Directorate General JRC, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Spain.

EIPPCB (2004b). European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals-Solid and Others Industry, Draft August 2004, European Commission Directorate General JRC, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Spain.

Hocking, M. B. (1998). Handbook of Chemical Technology and Pollution Control, Academic Press USA.

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

Japan Environment Agency (1995). Study of Emission Factors for N2O from Stationary Sources.

Kirk-Othmer (1999). Concise Encyclopedia of Chemical Technology, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc. USA.

Lowenheim, F.A. and Moran, M.K. (1975). Faith, Keyes, and Clark''s Industrial Chemicals, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc. USA.

Olivier, J. (1999). Personal communication between Jos Olivier of National Institute of Public Health and the Environment (RIVM), The Netherlands and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. February 2, 1999.

Olsen, S.E. (1991). Kalsiumkarbid og CO2, STF34 A91142. SINTEF.

Perez-Ramirez, J., Kapteijn, F., Shoffel, K. and Moulijn, J. A. (2003). ''Formation and control of N2O in nitric acid production: Where do we stand today?'', *Applied Catalysis B: Environmental 44, pp.117-131, Elsevier Science B.V. Raaness, O. (1991). Silisiumkarbid og CO*2, STF34 A91134. SINTEF 1991.

Reimer, R.A., Slaten, C.S., Seapan, M., Koch, T.A. and Triner, V.G. (1999). ''Implementation of Technologies for Abatement of N2O Emissions Associated with Adipic Acid Manufacture. Proceedings of the 2nd Symposium on Non-CO2 Greenhouse Gases (NCGG-2), Noordwijkerhout, The Netherlands, 8-10 Sept. 1999, Ed. J. van Ham et al., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 347-358. Reimer, R., (1999a). Personal communication between Ron Reimer of DuPont, USA and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. February 8, 1999.

Reimer, R., (1999b). Personal communication between Ron Reimer of DuPont, USA and Heike Mainhardt of ICF, Inc., USA. May 19, 1999. Reimschuessel, H. K. (1977). ''Nylon 6 Chemistry and Mechanisms'', Journal of Polymer Science:

Macromolecular Reviews, Vol. 12, 65-139, John Wiley & Sons, Inc.

Scott, A. (1998). ''The winners and losers of N2O emission control''. Chemical Week, February 18, 1998.

Thiemens, M.H. and Trogler, W.C. (1991). ''Nylon production; an unknown source of atmospheric nitrous oxide''. Science, 251, pp. 932-934.

U.S. EPA (1985). Criteria Pollutant Emissions Factors. Volume 1, Stationary Point and Area Sources. AP-42 4th Edition (and Supplements A and B). U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, USA.

van Balken, J.A.M. (2005). Personal communication from J.A.M. van Balken (European Fertilizer Manufacturers Association). SECTION 3.9

AGO (2005). Australian Methodology for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks 2003: Industrial Processes, Australian Government, Department of the Environment and Heritage, Australian Greenhouse Gas Office, 2005, Table 4, Page 18.

BASF (2006). Personal Communication from Silke Schmidt, BASF Aktiengesellschaft, Ludwidshafen, Germany to Robert Lanza, ICF Consulting, Inc., Washington, DC, USA, January 9, 2006.

Boustead, I. (1999). Eco-Profiles of Plastics and Related Intermediates, published by APME, Brussels, 1999.

Boustead, I. (2003a). Eco-Profiles of the European Plastics Industry: Olefins. A Report for the European Association of Plastics Manufacturers (APME), Brussels, July 2003, Table 7, Page 9.
http://www.apme.org/dashboard/business_layer/template.asp?url=http://www.apme.org/media/public_do
cuments/20030820_114355/olefinsreport_july2003.pdf&title=Microsoft+Word+%2D+olefins%2Edoc&k euze1=&keuze2=&keuze3=&invulstrook=olefin+AND+eco%2Dprofile

Boustead, I. (2003b). Eco-Profiles of the European Plastics Industry, Methodology: A Report for APME, Brussels, July 2003.
http://www.apme.org/media/public_documents/20010817_141031/method.pdf

Boustead, I. (2005). ETHYLENE DICHLORIDE: A report by I Boustead for The European Council of Vinyl Manufacturers (ECVM) & PlasticsEurope, March 2005.

DOE (2000). Energy and Environmental Profile of the U.S. Chemical Industry, U.S. Department of Energy Office of Industrial Technologies, May 2000, Section 3.1.4, Page 92.

DSM (2002). DSM Responsible Care Progress Report 2001; Safety, Health and Environmental Management at DSM, 2002

EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook - 2005, European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site see: http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en

European IPPC Bureau (2005). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Inorganic Chemicals (LVIC) - Solid and Others Industry, EK/EIPPCB/LVIC-S_Draft_2, Draft, June 2005. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

European IPPC Bureau (2003). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical (LVOC)

Industry, February 2003. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

FgH-ISI (1999). Fraunhofer-Institut f□r Systemtechnik und Innovationsforschung. C-Str□me Absch□tzung der Material -Energie und CO2 Str□me f□r Modellsysteme in Zuzammenhang mit dem nichenergetishen Verbrauch, orientiert am Lebensweg - Stand und Szenarienbetractthung, Karlsrue, 1999. Cited in Neelis, M; Patel, M; de Feber, M; 2003. Improvement of CO2 Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands. Report Number NW&S-E-2003-10, Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society, Utrecht, The Netherlands, April 2003

Hinderink, et al. (1996). Exergy Analysis with Flowsheeting Simulator - II Application Synthesis Gas Production from Natural Gas, Chemical Engineering Science, Volume 51, No. 20, Page 4701-4715, 1996. Cited in Neelis, M; Patel, M; de Feber, M; 2003. Improvement of CO2 Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands. Report Number NW&S-E-2003-10, Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society, Utrecht, The Netherlands, April 2003

Houdek, J.M., Andersen, J. (2005). “"On Purpose“" Propylene - Techology Developments, UOP LLC. Presented at the ARTC 8th Annual Meeting, Kuala Lumpur, April 29, 2005, Figure 1, Page 3 and Page 4.

Kirk Othmer (1992). Encyclopedia of Chemical Technology, 4th Edition, Volume 4, 1992. Carbon Black. Page 1054.

Lurgi (2004a). Lurgi Mega Methanol. Lurgi Oel-Gas-Chemie

Lurgi (2004b). Integrated Low Pressure Methanol Process: Synthesis Gas Production by Combined Reforming of Natural Gas or Oil Associated Gas. Lurgi Oel-Gas-Chemie.
http://www.lurgi-oel.de/lurgi_oel/english/nbsp/main/info/methanol_combined_reforming.pdf

Lurgi (2004c). Integrated Low Pressure Methanol Process: Synthesis Gas Production by Conventional Steam Reforming of Natural Gas or Oil Associated Gas. Lurgi Oel-Gas-Chemie.
http://www.lurgi-oel.de/lurgi_oel/english/nbsp/main/info/methanol_conventional_reforming.pdf

Methanex (1996). Methanex Corporation Climate Change Voluntary Challenge and Registry Program Action Plan, September 1996.
http://www.vcr-mvr.ca/registry/out/C969-METHANEX-W52.PDF

Methanex (2003). Global Environmental Excellence Report 2002, Methanex Corporation, 2003

Neelis, M., Patel, M. and de Feber, M. (2003). Improvement of CO2 Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands, Report Number NW&S-E-2003-10, Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society, Utrecht, The Netherlands, April 2003.

Qenos (2003). Annual Report on Manufacturing Operations at Qenos Olefins, Plastics, Resins, and Elastomers Sites to Altona Complex Neighborhood Consultative Group, April 2003, Qenos Pty. Ltd.

Qenos (2005). 2004 Annual Report on Manufacturing Operations at Qenos Olefins, Plastics, Resins, and Elastomers Sites to Altona Complex Neighborhood Consultative Group, April 2005, Qenos Pty. Ltd.

SFT (2003a). Self-reporting of emissions to the Norwegian Pollution Control Authority based on direct measurements at Statoil Tjeldbergodden Methanol Plant. (In Norwegian).

SFT (2003b). Self-reporting of emissions to the Norwegian Pollution Control Authority based on direct measurements at Nordetyl ethylene Plant. (In Norwegian).

Struker, A. and Blok, K. (1995). 부문studie organische chemie, National Energy Efficiency Data Informatie Systeem (NEEDIS), Patten, December 1995. Cited in Neelis, M; Patel, M; de Feber, M; 2003. Improvement of CO2 Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands, Report Number NW&S-E-2003-10, Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society, Utrecht, The Netherlands, April 2003

3.10.1 절

Defra (2002a). Protocol C1: Measurement of HFCs and PFCs from the Manufacture of HF, CTF, HCFC-22, HFC-125 and HFC-134a, in Guidelines for the Measurement and Reporting of Emissions by Direct Participants in the UK Emissions Trading Scheme, UK Department for Environment, Food and Rural Affairs, Report No. UKETS(01)05rev1, Defra, London, 2002.

Defra (2002b). Protocol C9: Measurement of HFCs and PFCs from Chemical Process Operations, UK Department for Environment, Food and Rural Affairs, as above, London, 2002.

EFCTC (2003). Protocol for the Measurement of HFC and PFC Greenhouse Gas Emissions from Chemical Process Operations, Standard Methodology, European Fluorocarbon Technical Committee, Cefic, Brussels, 2003.

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

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

McCulloch A. (1992). Global Production and Emissions of Bromochlorodifluoromethane and Bromotrifluoromethane (Halons 1211 and 1301), Atmos. Environ., 26A(7), 1325-1329.

Oram D.E., Sturges, W.T., Penkett, S.A., McCulloch, A. and Fraser, P.J. (1998). Growth of fluoroform (CHF3, HFC-23) in the background atmosphere, Geophys. Res. Lett., 25(1), 35-38.

RTI, Cadmus, (1998). ''Performance Standards for Determining Emissions of HFC-23 from the Production of HCFC-22'', draft final report prepared for USEPA, February 1998.

UN (2004). Approved baseline methodology, ''Incineration of HFC 23 waste 흐름s'', AM0001/Version 02, CDM - Executive Board, United Nations Framework Convention on Climate Change, 7 April 2004

U.S. EPA (2001). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-1999. United States Environmental Protection Agency, Report No. EPA 236-R-01-001, Washington, U.S.A., 2001.

3.10.2 절

AFEAS (2004). Production, Sales and Estimated Atmospheric Emissions of CFCs, HCFCs and HFCs, Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study, Arlington, U.S.A., 2004. Available at www.afeas.org.

Preisegger, E. (1999). Statement on experiences of Solvay Fluor und Derivate GmbH, Hannover, Germany regarding an emission factor at the IPCC expert group meeting on Good practice in Inventory Preparation, Washington D.C. Jan, 1999.

Suizu, T. (1999). Partnership activities for SF6 gas emission reduction from gas insulated electrical equipment in Japan. Proc. Joint IPCC/TEAP Expert Meeting on 옵션s for the Limitation of Emissions of HFCs and PFCs, Petten, Netherlands, 26-28 May 1999. ECN, Petten.

UNFCCC (2005). Belgium''s Greenhouse Gas Inventory (1990-2003), National Inventory Report 2005, submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change, April 2005.
http://unfccc.int/national_reports/첨부_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/2761. php.

제4장

금속 산업 배출

저자

4.1 절
Jerry Marks (미국)

4.2 절
Jonathan Lubetsky (미국) 그리고 Bruce A. Steiner (미국)

4.3 절
Tor Faerden (노르웨이), Jonathan S. Lubetsky (미국), Tor Lindstad (노르웨이), Sverre E. Olsen (노르웨이), Gabriella Tranell (노르웨이)

4.4 절
Jerry Marks (미국), William Kojo Agyemang-Bonsu (가나), Mauricio Firmento Born (브라질), Laurel Green (호주), Halvor Kvande(노르웨이), Kenneth Martchek (미국), 그리고 Sally Rand (미국)

4.5 절
Gabriella Tranell (노르웨이) 그리고 Tom Tripp (미국)

4.6 절
Jonathan S. Lubetsky (미국) 그리고 Jerry Marks (미국)

4.7 절
Jonathan S. Lubetsky (미국)

부저자

4.2 절
Robert Lanza (미국)

4.4 절
Vince Van Son (미국), Pablo Alonso (프랑스), Ron Knapp (호주), Stephane Gauthier (캐나다), Michel Lalonde (캐나다), Hezio Avila de Oliveira (브라질), 그리고 Chris Bayliss (영국)

목 차

4 금속 산업 배출 4.9
4.1 서론 4.9
4.2 철, 강, 야금 코크스 생산 4.10
4.2.1 서론 4.13
4.2.2 방법론적 이슈 4.19
4.2.2.1 방법의 선택: 야금 코크스 생산 4.19
4.2.2.2 방법의 선택: 철과 강의 생산 4.21
4.2.2.3 배출계수의 선택 4.27
4.2.2.4 활동도 자료의 선택 4.32
4.2.2.5 완전성 4.33
4.2.2.6 일관성 있는 시계열 개발 4.34
4.2.3 불확도 평가 4.35
4.2.4 품질보증(QA)/ 품질관리 (QC), 보고 및 문서화 4.35
4.2.4.1 품질보증(QA)/ 품질관리 (QC) 4.35
4.2.4.2 보고 및 문서화 4.36
4.3 합금철 생산 4.38
4.3.1 서론 4.38
4.3.2 방법론적 이슈 4.39
4.3.2.1 방법의 선택 4.39
4.3.2.2 배출계수의 선택 4.44
4.3.2.3 활동도 자료의 선택 4.47
4.3.2.4 완전성 4.47
4.3.2.5 일관성 있는 시계열 개발 4.47
4.3.3 불확도 평가 4.47
4.3.3.1 배출계수 불확도 4.48
4.3.3.2 활동도 자료 불확도 4.48
4.3.4 품질보증(QA)/ 품질관리 (QC), 보고 및 문서화 4.48
4.3.4.1 품질보증(QA)/ 품질관리 (QC) 4.48
4.3.4.2 보고 및 문서화 4.49
4.4 일차 알루미늄 제조 4.51
4.4.1 서론 4.51
4.4.2 방법론적 이슈 4.51

4.4.2.1 일차 알루미늄 생산 과정에서의 CO_2 배출량에 대한 방법론의 선택..... 4.51
4.4.2.2 일차 알루미늄 생산 공정에서의 CO_2 배출계수 선택 방법..... 4.55
4.4.2.3 PFCs에 대한 방법론의 선택..... 4.59
4.4.2.4 PFCs 배출계수 선택..... 4.64
4.4.2.5 활동도 자료의 선택..... 4.65
4.4.2.6 완전성..... 4.66
4.4.2.7 일관성 있는 시계열 개발..... 4.66
4.4.3 불확도 평가..... 4.67
4.4.3.1 배출계수 불확도..... 4.67
4.4.3.2 활동도 자료의 불확도..... 4.68
4.4.4 품질보증(QA)/품질관리(QC), 보고 및 문서화..... 4.68
4.4.4.1 품질보증(QA)/ 품질관리(QC)..... 4.68
4.4.4.2 보고 및 문서화..... 4.69
4.5 마그네슘 생산..... 4.71
4.5.1 서론..... 4.71
4.5.2 방법론적 이슈..... 4.73
4.5.2.1 방법의 선택..... 4.73
4.5.2.2 배출계수의 선택..... 4.78
4.5.2.3 활동도 자료의 선택..... 4.80
4.5.2.4 완전성..... 4.81
4.5.2.5 일관성 있는 시계열 개발..... 4.81
4.5.3 불확도 평가..... 4.82
4.5.4 품질보증(QA)/품질관리(QC), 보고 및 문서화..... 4.83
4.5.4.1 품질보증(QA)/품질관리(QC)..... 4.83
4.5.4.2 보고 및 문서화..... 4.84
4.6 납 생산..... 4.86
4.6.1 서론..... 4.86
4.6.2 방법론적 이슈..... 4.87
4.6.2.1 방법의 선택..... 4.87
4.6.2.2 배출계수의 선택..... 4.89
4.6.2.3 활동도 자료의 선택..... 4.91
4.6.2.4 완전성..... 4.91
4.6.2.5 일관성 있는 시계열 개발..... 4.91
4.6.3 불확도 평가..... 4.91

4.6.3.1 배출계수 불확도..... 4.92
4.6.3.2 활동도 자료 불확도..... 4.92
4.6.4 품질보증(QA)/품질관리(QC), 보고 및 문서화..... 4.92
4.6.4.1 품질보증(QA)/품질관리(QC)..... 4.92
4.6.4.2 보고 및 문서화 그리고 문서..... 4.93
4.7 아연 생산..... 4.95
4.7.1 서론..... 4.95
4.7.2 방법론적 이슈..... 4.96
4.7.2.1 방법의 선택..... 4.96
4.7.2.2 배출계수의 선택..... 4.97
4.7.2.3 활동도 자료의 선택..... 4.98
4.7.2.4 완전성..... 4.99
4.7.2.5 일관된 시계열 개발..... 4.100
4.7.3 불확도 평가..... 4.100
4.7.3.1 배출계수 불확도..... 4.100
4.7.3.2 활동도 자료 불확도..... 4.100
4.7.4 품질보증(QA)/품질관리(QC), 보고 및 문서화..... 4.101
4.7.4.1 품질보증(QA)/품질관리(QC)..... 4.101
4.7.4.2 보고 및 문서화..... 4.101
참고 문헌..... 4.103

식

식4.1 코크스 생산으로부터 나온 배출량들 (Tier 1)..... 4.19
식4.2 현지 코크스 생산 로부터 나온 배출량들 (Tier 2)..... 4.20
식4.3 외부 코크스 생산 로부터 나온 배출량들 (Tier 2)..... 4.20
식4.4 철과 강 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 1)..... 4.23
식4.5 선철이 강으로 제조 되지 않은 상태의 CO_2 배출 (Tier 1)..... 4.23
식4.6 직접환원철 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 1)..... 4.23
식4.7 소결물 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 1)..... 4.23
식4.8 펠렛 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 1)..... 4.24
식4.9 철과 강 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 2)..... 4.24
식4.10 소결물 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 2)..... 4.24

식4.11 직접환원철 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 2)..... 4.26
식4.12 소결물 제조에서의 CH_4 배출 (Tier 1)..... 4.27
식4.13 선철이 강으로 제조 되지 않은 상태의 CH_4 배출 (Tier 2)..... 4.27
식4.14 직접환원철 제조에서의 CH_4 배출 (Tier 2)..... 4.27
식4.15 Tier 1 방식의 의한 합금철 제조에서부터의 CO_2 배출..... 4.39
식4.16 Tier 2 방식의 의한 합금철 제조에서부터의 CO_2 배출..... 4.40
식4.17 Tier 3 방식의 의한 합금철 제조에서부터의 CO_2 배출..... 4.41
식4.18 Tier 1 방식에 의한 합금철 제조에 기인한 CH_4 배출..... 4.43
식4.19 합금철 (reducting agent) 환원제의 탄소 함량 4.45
식4.20 양극 그리고/또는 페이스트(paste) 소비로부터의 CO_2 배출량(Tier 1)..... 4.53
식4.21 Prebaked 양극 소비로부터의 CO_2 배출 (Tier2 와 Tier3 방법)..... 4.53
식4.22 피치 휘발성 물질 연소에서의 CO_2 배출 (Tier2 와 Tier3 방법)..... 4.54
식4.23 bake로 포장재에서의 CO_2 배출 (Tier2 와 Tier3 방법)..... 4.54
식4.24 페이스트 소비(paste consumption)에서의 CO_2 배출량 (Tier2 와 Tier3 방법)... 4.55
식4.25 PFC 배출 (Tier 1 방법)..... 4.61
식4.26 기울기 방법에 의한 PFC 배출량 (Tier 2 및 Tier 3 방법)..... 4.62
식4.27 과전압 방법에 의한 PFC 배출 (Tier2 와 Tier3 방법)..... 4.62
식4.28 1차 마그네슘 생산으로 인한 CO2 배출량 (TIER 1)..... 4.74
식4.29 1차 마그네슘 생산으로 인한 CO2 배출량 (TIER 2)..... 4.74
식4.30 마그네슘 주조로 인한 SF6 배출 (TIER 1)..... 4.75
식4.31 마그네슘 주조로 인한 SF6 배출량 (TIER 2)..... 4.75
식4.32 납 생산으로 인한 CO_2 배출량 (Tier 2)..... 4.88
식4.33 아연 생산으로 인한 CO_2 배출 4.96
식4.34 아연 생산으로 인한 CO_2 배출(Tier 1)..... 4.96

그 림

그림 4.1 통합된 철 및 강 생산에 관한 주요 공정의 실례..... 4.12
그림 4.2 코크스 생산 과정의 실례 (에너지 부문 카테고리 1A의 배출량 보고)..... 4.15
그림 4.3 소결물 제조 과정의 실례..... 4.16
그림 4.4 선철 제조 과정의 실례..... 4.17
그림 4.5 강 제조 과정의 실례..... 4.18
그림 4.6 야금 코크스 생산에서의 CO_2 배출량 산정..... 4.21
그림 4.7 철 및 강 생산으로 인한 CO_2 배출량 산정을 위한 의사결정도..... 4.22

그림 4.8 철 및 강 생산으로 인한 CH_4 배출량 산정 의사 결정도..... 4.22
그림 4.9 야금 합금철 생산으로 인한 CO_2 배출량 산정을 위한 의사 결정도..... 4.41
그림 4.10 야금 합금철 생산으로 인한 CH_4 배출량 산정을 위한 의사 결정도..... 4.42
그림 4.11 1차 알루미늄 생산으로 인한 CO_2 배출량 계산을 위한 의사 결정도..... 4.51
그림 4.12 일차 알루미늄 생산으로 인한 PFC 배출량 계산에 대한 의사 결정도..... 4.62
그림 4.13 일차 마그네슘 생산 공정에서 원료 물질의 소성(calcination)로 인한 CO_2 배출량을 산정하기 위한 의사 결정도..... 4.75
그림 4.14 마그네슘 공정에서의 SF_6 배출량을 산정하기 위한 의사 결정도..... 4.76
그림 4.15 납 생산으로 인한 CO_2 배출량 산정을 위한 의사 결정도..... 4.86
그림 4.16 아연 생산으로 인한 CO_2 배출량의 산정에 대한 의사 결정도..... 4.99

표

표 4.1 코크스 생산과 철과 강 생산에서의 CO_2 배출계수 Tier 1 기본 값..... 4.28
표 4.2 코크스 생산과 철과 강 생산에서의 CH_4 배출계수 Tier 1 기본 값..... 4.30
표 4.3 코크스 생산과 철과 강 생산에서 Tier 2 재료별 탄소 함량 계수..... 4.31
표 4.4 불확도 범위..... 4.35
표 4.5 합금철 생산(CO_2 (톤)/생산량 (톤))을 위한 일반적인 CO_2 배출계수..... 4.43
표 4.6 합금철 생산(CO_2 (톤)/환원제 (톤))을 위한 CO_2 배출계수..... 4.44
표 4.7 CH_4 배출계수 기본값(CH_4 (kg) /생산량 (톤))..... 4.45
표 4.8 CH_4 배출계수(CH_4 (kg) /생산량 (톤))..... 4.46
표 4.9 불확도 범위..... 4.47
표 4.10 페이스트(paste) 소비나 양극에서부터의 이산화탄소 계산을 위한 Tier1 기술별 배출계수..... 4.55
표 4.11 prebake cells(CWPB와 SWPB)로부터의 CO_2 배출량을 위한 Tier 2와 Tier3 방법에 사용된 변수들에 대한 자료 출처 및 불확도..... 4.56
4.12 피치 휘발성물질 연소(CWPB 와 SWPB)로부터의 CO_2 배출량을 위한 Tier 2와 Tier3 방법에 사용된 변수들에 대한 자료 출처 및 불확도 매개변수..... 4.56
표 4.13 bake 용광로 포장 물질(CWPB 와 SWPB)로부터의 CO_2 배출 식에 대한 Tier 2와 Tier3의 자료 출처 및 불확도 매개변수..... 4.57
표 4.14 Soderberg cell (VSS 와 HSS)로부터의 CO_2 배출 식에 대한 Tier 2와 Tier3의 자료 출처와 불확도 매개변수..... 4.58
표 4.15 Cell 기술에 의한 알루미늄 제조 과정에서부터의 PFC 배출 계산식에 대한 배출계수와 불확도 범위 기본값 (Tier 1 방법)..... 4.63

표 4.16 Cell 기술에 의한 알루미늄 제조 과정에서부터의 PFC 배출 계산식에 대한 기술별 슬로프와 과전압 계수 기본값 (tier 2 방법)..... 4.64
표 4.17 Tier에 의한 알루미늄 제조에서 나온 CO_2와 PFC 배출 식에 대한 정보 제공을 위한 우수실행(good practice)..... 4.69
표 4.18 마그네슘 제조와 주조 과정에 관련된 GHG 배출 가능성..... 4.70
표 4.19 금속별 1차 마그네슘 생산에 대한 배출계수..... 4.77
표 4.20 마그네슘 주조 과정에 대한 SF6 배출계수(Tier 1)..... 4.78
표 4.21 배출원과 로 유형에 따른 납 생산량에 대한 일반적인 CO_2 배출 계수..... 4.88
표 4.22 납 생산량에 대한 금속별 탄소 함량(kg 탄소/kg)..... 4.89
표 4.23 불확도 범위..... 4.91
표 4.24 아연 제조를 위한 tier1 CO_2 배출계수..... 4.96
표 4.25 불확도 범위..... 4.99

박 스

박스 4.1 이 절에 쓰인 단어/기호의 정의..... 4.39
박스 4.2 양극 효과 설명..... 4.59

4 금속 산업의 배출

4.1 서론

다음에 이어질 4.2절부터 4.7절은 금속 생산물의 제조로 인한 온실가스 배출에 대해 산정하는 데에 길잡이가 될 것이다.

- 4.2절은 철(iron)과 강(steel) 및 야금 코크스(metallurgical coke) 생산 시 발생하는 배출을 다룬다.
- 4.3절은 합금철(ferroalloy) 생산 시 발생하는 배출을 다룬다.
- 4.4절은 알루미늄 생산 시 발생하는 배출을 다룬다.
- 4.5절은 마그네슘 생산 시 발생하는 배출을 다룬다.
- 4.6절은 납 생산 시 발생하는 배출을 다룬다.
- 4.7절은 아연 생산 시 발생하는 배출을 다룬다.

이산화탄소는 공정의 반응물이자 공정의 야금 반응을 유도하는 열원으로서 많이 사용된다. 이 때 발생하는 이산화탄소는 서로 밀접하게 관련될 수 있으므로, 이번 장과 제2권의 에너지 부문에서 다루어지고 있는 이산화탄소의 배출량은 이중계산하거나 빠뜨리지 않도록 유의해야 한다. 이산화탄소 포집 기술은 각 금속공장에 있어야 하며, 포집된 이산화탄소량은 더 높은 수준의 tier 배출량 계산식에서 감해져야 한다. 어떠한 기술로 이산화탄소를 포집하든 간에, 공정 과정에서 포집된 이산화탄소의 배출량은 연소 및 공정과정과 연관되어 있음을 고려해야 한다. 연소와 배출과정을 분리하여 보고해야 할 경우에는, 예컨대 철과 강 생산과 같은 경우에 인벤토리 작성자는 동일한 양의 CO_2를 이중계산하지 않도록 검토해야 한다. 이러한 경우에 포집된 CO_2의 총량은 에너지 연소와 이 배출원에서 생산된 CO_2의 양을 비율화시킨 IPPU 카테고리와 일치할 수 있도록 보고해야 한다. 이에 대한 대표적인 가정은 CO_2 포집 및 저장(CCS)이 발생하지 않는다는 것이다. CO_2 포집 및 저장에 대한 추가 정보는 제3권의 1.2.2절과 제2권의 2.3.4절에 자세히 언급되어 있다.

4.2 철, 강, 야금(metallurgical) 코크스 생산

강 생산은 메탄(CH_4), 이산화탄소(CO_2), 아산화질소(N_2O)를 배출시킨다. 이 장에서는 이산화탄소(CO_2)와 메탄(CH_4) 배출량[1]을 산정하는 데에 지침이 될 것이다.

철강 산업은 아래와 같이 구성되어 있다.

- 1차 시설은 철과 강 생산
- 2차 시설은 철강 산업
- 철 생산 시설
- 야금 코크스 공장 offsite 생산

표 4.1은 일관된 공정과 철 생산 주요 과정에 대해 나타낸다. 즉, 야금 코크스, 소결물(sinter production), 펠렛(pellet) 생산, 철광석 공정, 철 주조, 제강, 강 주조, 기타 용도의 고로와 코크스로 가스의 연소를 보여준다.

주요 과정은 보통 전로(basic oxygen steelmaking furnaces; BOFS)와 고로(blast furnaces)를 가지고, 때때로 평로(open hearth furnaces; OHFs)도 있는 "통합 시설(integrated facility)"로 불리는 시설 하에서 이루어진다. 생산 일부 과정은 다른 감독(예를 들면, 코크스 외부 생산 시설) 책임 하의 외부 지역에서 흔하게 이루어진다.

일부 국가에서는 철강 생산과 통합되지 않는 코크스 생산 시설들이 있을 수 있다(예: 외부 시설). 이 장은 완전성과 일관성을 확보하기 위해, 코크스 생산에서 나온 모든 메탄(CH_4) 와 이산화탄소(CO_2) 배출량을 측정하는 작업의 지침이 될 것이다. 내부 코크스 생산 부산물들(예를 들면 코크스로 가스, 코크스 브리즈)이 종종 철강 생산에 사용될 때, 국가에서는 코크스 외부 시설과 내부 시설에서 나온 배출량을 더 높은 수준의 Tier 하에서 별도로 측정해야 한다.

제1차와 제2차 제강

철강 생산은 철광석을 이용한 통합 시설에서, 혹은 재활용한 고철들로부터 제2 시설에서 생산된다. 통합 시설은 전형적으로 전로(BOFS) 및 고로를 가지고 있고 일부 경우에는 평로(OHFs)가 있다. 고로에 의해 생산된 선철(pig iron)로부터 전로를 이용해서 원철(raw steel)이 생산되고 완성된 철강 제품으로 공정된다. 선철는 직접 철 제품으로 만들어질 수 있다. 제2차 제강은 전기로(electric arc furnaces; EAFs)에서 일어난다. 2003년에 BOF방식은 세계 철강 생산의 약 63%를 차지했고, EAFs는 33%를 차지했다. OHF 생산방식은 남은 4%를 차지했지만 현재는 감소 추세이다.

철 생산

철을 생산하는 것은 현지에 있는 통합시설이나, 고로와 BOFs를 가지고 있는 외지 시설에서 생산

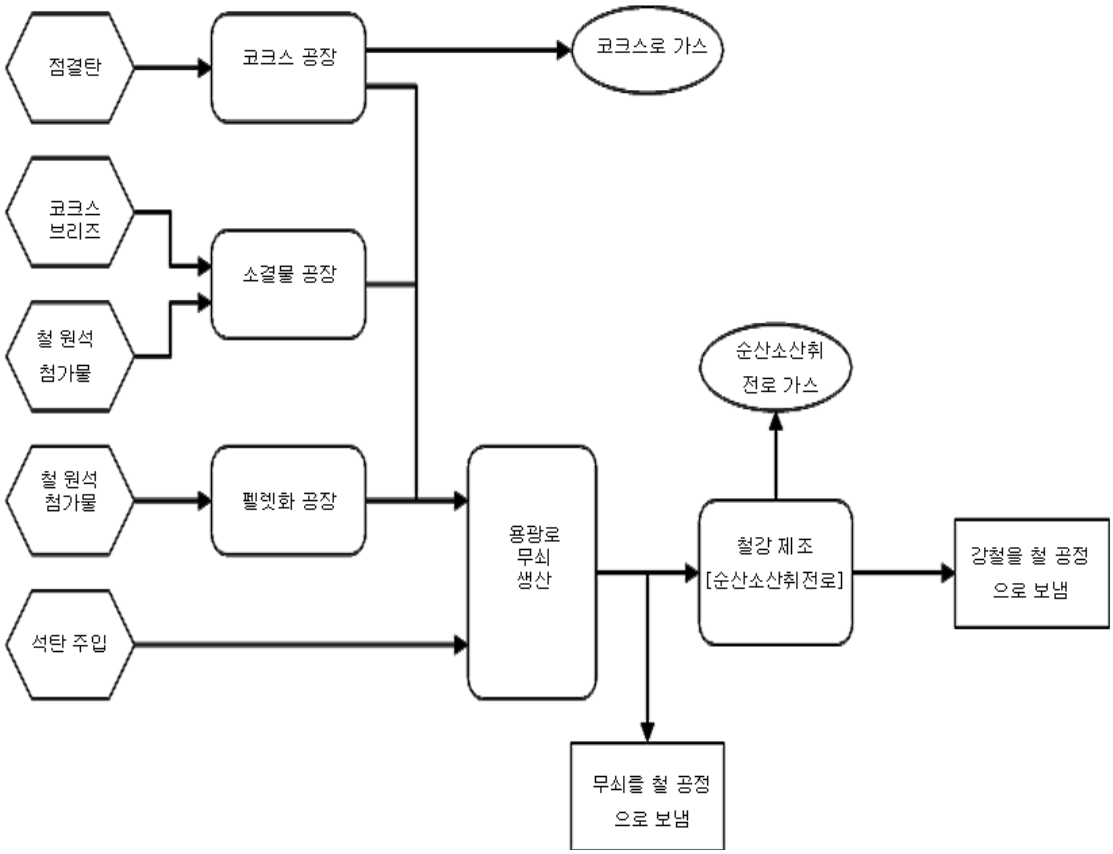
[1] NO_2 배출량 측정 방법은 없다. 배출량들이 너무 적지만 국가들은 측정량을 계산할 수 있고 국가들은 모은 자료를 기반으로 자기 국가에 맞는 방법을 개발, 제공 했다.

한다. 또 철은 고로로 통과하는 과정 외에도, 직접 환원 공정(direct reduction process)을 통해서도 생산된다. 직접 환원은 철광물질 환원에서 고체 상태인 금속 1000°C 미만에서 그 과정을 거쳐야 한다.

야금 코크스 생산

야금 코크스 생산은 화석 연료의 에너지 사용으로 인식되므로, 배출량 결과는 에너지 부문 카테고리 1A에 제출되어야 한다. 해당 방법은 제 3권에 서술되어 있다. 그 이유는 종합제철 생산 시에 비에너지와 에너지에서 나온 배출량을 측정하기 위한 활동도 자료에 많은 공통점이 있기 때문이다. 이 배출원 카테고리에 있는 모든 연료의 소모는 소결물, 펠렛화 공장, 고로에 대한 투입으로 보지 않으며, 에너지 부문에서 다루어지고 보고된(제2권: 에너지 참조) 연료 소모로 가정한다.

그림 4.1 통합된 철 및 강 생산에 관한 주요 공정의 실례*



* "Savilla 공정: 산업의 환경적인 수행에 관한 도구" Stuttgart, 2000년 4월 6~7일, 철 및 강의 생산에 관한 BREF-BAT에 대한 결론, Dr. Harald Schoenberger, 지방 주정부 관리 Freiburg, 2000년 4월.(Schoenberger, 2000)

4.2.1 서론

야금 코크스 생산(Metallurgical Coke Production)

야금 코크스는 기본적으로 고로에서 철을 만들 때 사용된다. 또한 코크스는 다른 야금 과정-주철, 야금철 합금철, 납과 아연 제품들과 석회석과 마그네슘을 만드는 킬른에 사용된다. 야금 코크스는 높은 온도에서 석탄의 탄화, 주로 원료탄에서 얻어진 고체 제품이다. 수분 및 휘발성 물질의 함유량은 낮은 편이다. 원료탄(coaking coal)은 코크스 생산에 적합한 고로 충전물의 품질을 가진 역청탄(bituminous coal)을 말한다. 총발열량(Gross calorific Value)은 무수무회 기준에서 23,865 Kj/kg (5,700 kcal/kg) 보다 더 크다. 코크스로 가스는 철강 생산을 위한 야금학적 코크스 생산시 나온 부산물이다. 4.2 그림에서는 코크스 생산과정과 CH_4 및 CO_2 배출을 나타낸다.

코크스로 가스는 코크스로를 뜨겁게 하기 위해서 연소되거나 종합 제철소로 옮겨지고 소결물과 생산 과정에 쓰여 진다. 코크스로 가스는 또한 외부로 옮겨져서 에너지 자원으로 쓰인다. 제철공정 과정 중 고로 안에서 코크스 연소는 고로 가스를 생산한다. 고로 가스는 회수되어지고 제철 종합 공장에서 현지 코크스 공장으로 옮겨지고 그리고 코크스로를 뜨겁게 하기 위해 연소되거나 혹은 소결물 생산을 위해서 쓰여 진다. 코크스 연소와 코크스로 가스는 코크스 생산 중에서 나오는 CH_4와 CO_2 배출량의 주된 배출원이다.

소결물 생산(Sinter Production)

철광석과 다른 철을 함유 하는 원료들은 고로로 들어가기 이전에 소결물 공장에서 덩어리 형태로 종합제철소에 존재한다. 소결물 공장의 원료(feedstock)는 좋은 철광석, 첨가물(석회와 감림석) 그리고 하류 철(downstream iron)과 제강 과정에서 나온 (예를 들면 고로 가스 청소에서 나온 가루들) 철로 감싸진 재활용 재료들을 포함한다. 코크스 브리즈(Coke breeze; 입자 크기가 5 mm 보다 작은 코크스로)는 가장 흔하게 소결물 공장에서 공정 과정을 위해 쓰여 진다. 코크스 브리즈는 현지 코크스로 제철 광장에서 생산되어지거나 외지 코크스 생산 업자들로부터 구입 할 수 있다. 종합 제철 생산시, 고로 가스나 코크스 가스가 생산되어져서 소결물 공장에서 사용된다. 소결물 공장 활동은 코크스 브리즈와 다른 투입 물질의 산화에서 이산화탄소를 배출시킨다. 소결물 공장에서 나온 배기가스(off-gas) 또한 메탄과 다른 탄환수소를 포함한다.

펠렛 생산(Pellet Production)

펠렛은 아주 높은 온도에서 철을 가지고 있는 원료 (예를 들면 좋은 광석과 첨가물)에서 9-16 mm 구로 형성된다. 이 과정은 원료를 부수기, 말리기, 둥글게 갈기 그리고 열처리 방식을 포함한다. 펠렛 공장은 주로 철광산 근처나 항구에 있지만 또한 제철 시설의 부분으로 현지(onsite)에 있을 수도 있다. 천연가스나 석탄은 펠렛 공장에서 연료로 사용 될 수 있다: 제철 시설에 있는 펠렛 공장은 코크스로 가스를 연료로 쓴다. 공정을 위한 에너지 소모와 CO_2 배출량은 철광석의 질과 공정에 쓰이는 다른 원료들에 따라서 정해진다. 또한 CO_2 배출량은 탄소 함량과 공정에 쓰이는 연료의 발열량에 따라서 그 양이 정해진다.

철 주조와 코크스의 역할(Iron Making and Role of Coke)

철강 공업의 의한 대부분의 CO_2 배출은 철 생산, 더 자세히 말하면 탄소를 이용해서 철광석을 철

로 만들 때와 관련이 있다. 표 4.4는 철 주조 과정과 배출원을 제시한다. 탄소를 야금적 원료탄에서 나온 코크스 형태로 야금 고로에 공급한다(그리고 또한 나무나 다른 형태의 탄소에서부터 나온 목탄 형태로 공급할 수 있다). 철 생산 과정에서 탄소는 이중 목적의 역할을 가진다. 1차적으로는 환원제의 역할로써 산화철을 철로 바꾸고 또한 2차적으로 탄소와 산소의 발열 과정에서 열을 제공 하는 에너지원으로써의 역할도 한다. 고로 가스는 코크스 연소 과정에서 고로에서 생산된다. 보통은 회수되고 공장 안에서 연료의 일부로 쓰이고 다른 철강 공업 과정에서 쓰이거나 발전소에 소각된다. 고로 가스는 또 회수되어가지고 제철소에서 현지 코크스 공장으로 옮겨져서 코크스 제조 가만 안에서 에너지를 발생하기 위해서 태워진다. 고로 가스는 또한 외부로 옮겨지고 고로 안에서와 고로가스가 고로 내 분사 공기를 가열하기 위해 연소될 때 에너지원으로 쓰인다. 전로가스(Oxygen steel furnace gas)는 전로(basic oxygen furnace, BOF) 안에서 철을 생산할 때 부산물로 얻어진다. 고로 안에서 쓰이는 모든 탄소들은 IPPU 배출량으로 보아야 한다. 또한 철은 직접 환원 공정(direct reduction process)을 통해서 생산될 수 있다.

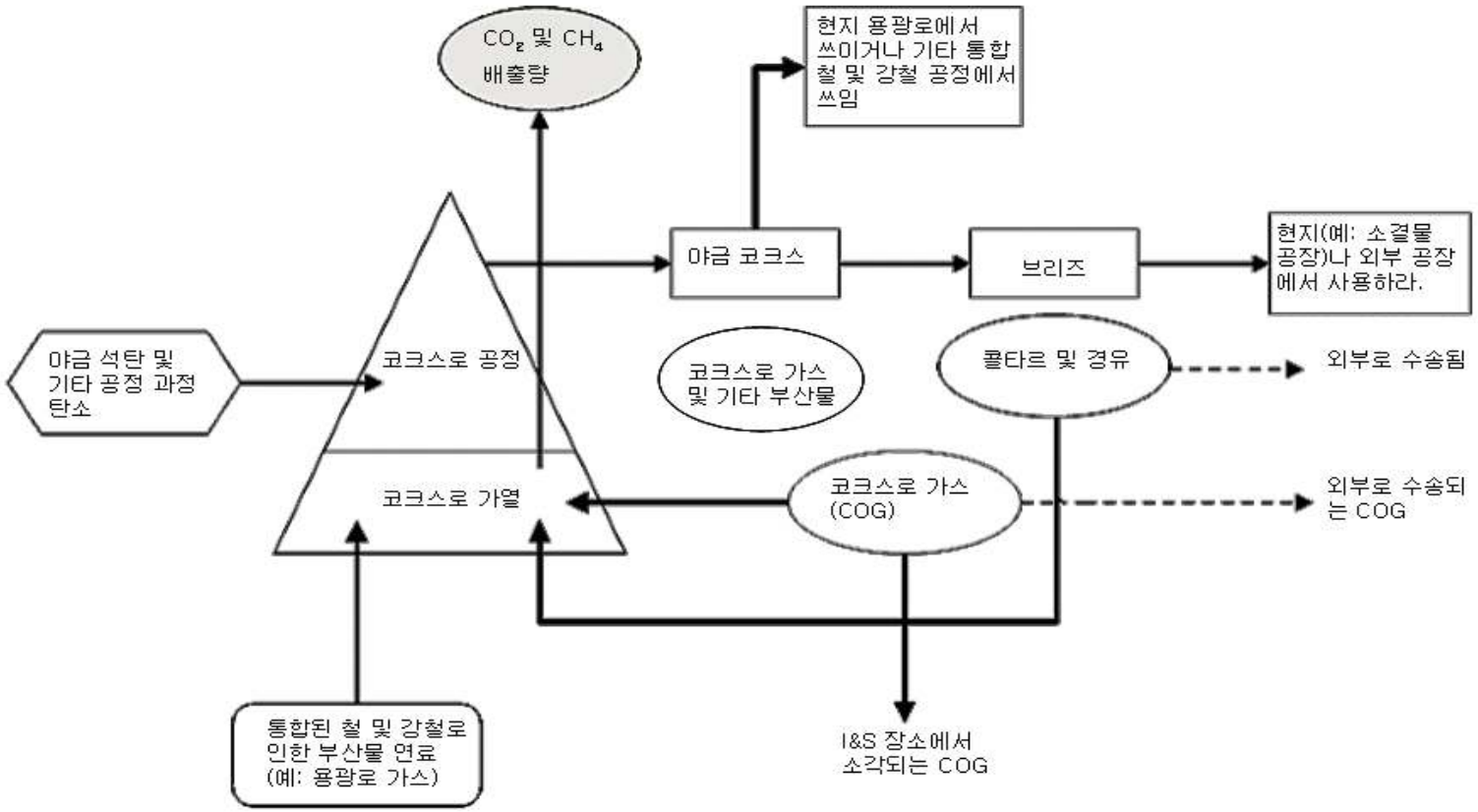
1000˚C 보다 낮은 공정에서, 직접 환원은 철 금속 환원을 고체 상태인 금속성 철로 바꾼다. 직접 환원된 철(directly reduced iron; DRI)이라고 불리는 고체 상태인 제품은 직원 환원 공정을 통해서 생산된다. 직접 환월철은 탄소 함량이 2% 미만이다. 직접 환월철은 전기 아크 제강 노선에서 고철들을 대신해서 보통 쓰여지고 또한 고로 철을 만들기 위한 원료(feedstock)로 쓰인다. 제품들이 저장되거나 옮겨질 때에 직접 환월철은 HBI(hot briquetted iron)로 불리는 연탄으로 녹여진다. 인벤토리 작성 준비자는 에너지 소모와 연료의 탄소 함량(예를 들면 천연가스나 석탄)을 이용하여 이 공정들로부터의 CO_2 배출량을 산정할 수 있다.

제강(Steelmaking)

BOF 안에서 철강 생산은 70-90%의 용선(molten iron)과 10-30%의 고철(steel scrap)을 충전하는 것으로부터 시작한다. 탄소 함량을 낮추는 동안 충전물(charge)을 녹이는 발열 반응을 만드는 고순도 산소는 철에 있는 탄소와 합쳐진다. 고로에서 나온 철은 3-4%의 탄소 함량을 가지고 있는데 이를 제련, 합금을 통해 원하는 철강 급인 1%로 낮쳐야 한다.

EAF 안에 있는 철강 생산은 탄소 전극을 통해서 전기 에너지를 통해서 녹인 100% 재활용한 고철을 충전함으로써 시작된다. 그리고 제련, 합금을 통해서 원하는 철강 급을 생산한다. EAFs는 현지 공장에 위치하나, 그들의 기본적인 재료 의존, 즉 주원료로 철이 아닌 고철을 원료로 삼기 때문에 독립적으로 가동한다. EAF 과정은 고철을 녹이는 주요 과정중 하나이고 산화물을 줄이는 것은 아니다. 탄소의 역할은 고로나 BOF 과정에 비해 그렇게 크지 않다. 대다수의 고철 충전 EAF에서 CO_2 배출량은 탄소 전극의 소비와 주로 연관된다. EAFs에서 쓰여진 모든 탄소와 다른 철강 제조 과정은 IPPU 배출 과정과 관련이 있다고 보인다. 그림 4.5는 철강 제조 과정과 방출의 원인을 보여준다.

그림 4.2 코크스 생산 과정의 실례 (에너지 부문 카테고리 1A의 배출량 보고)



주:
굵은 선은 통합 철 및 강에 대한 현지 코크스 생산에서만 적용된다. 점선은 '외부 공정'에 대한 물질의 수송에 적용된다. '외부 공정'은 현지로 카테고리화되는 통합 철 및 강 생산 공정은 포함하지 않는다.

그림 4.3 소결물 제조 과정의 실례

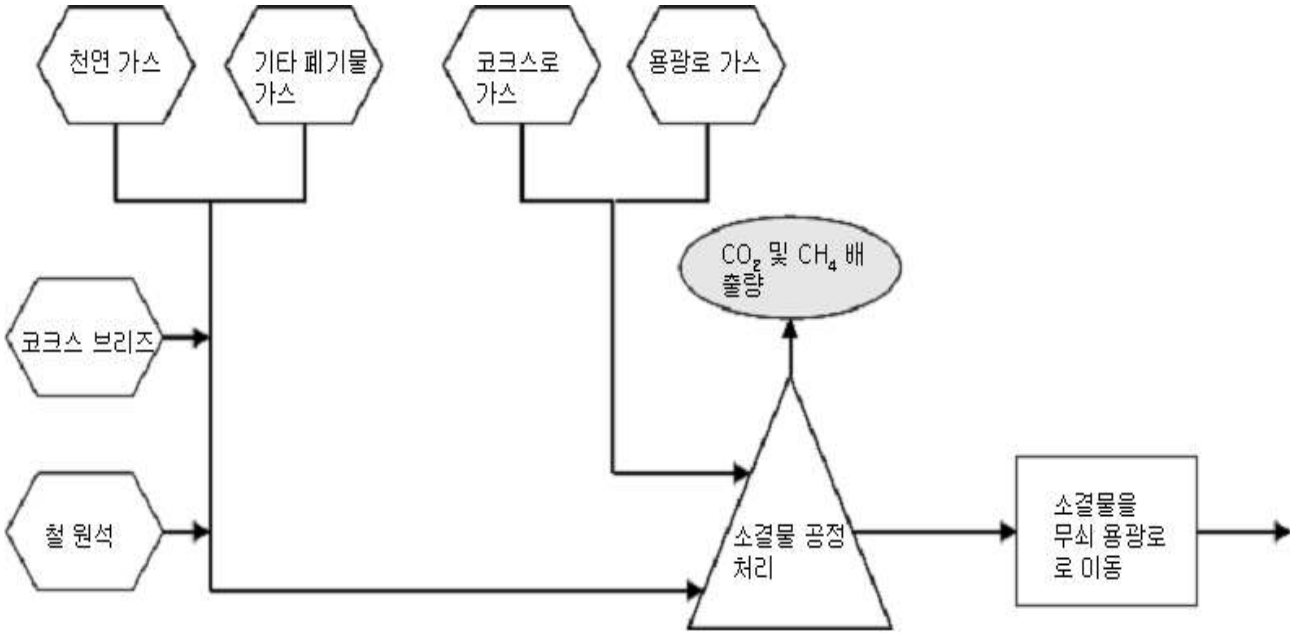


그림 4.4 선철 제조 과정의 실례

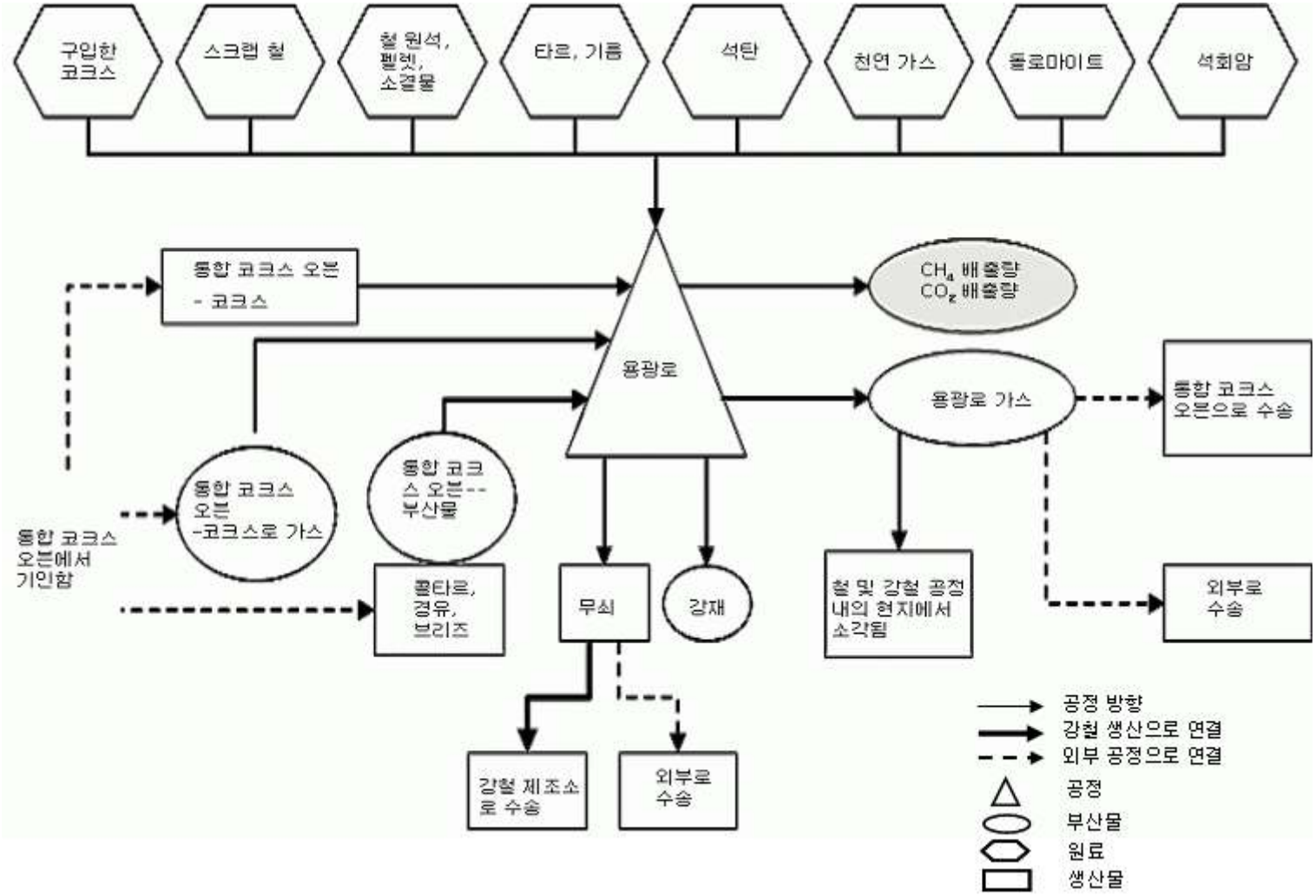
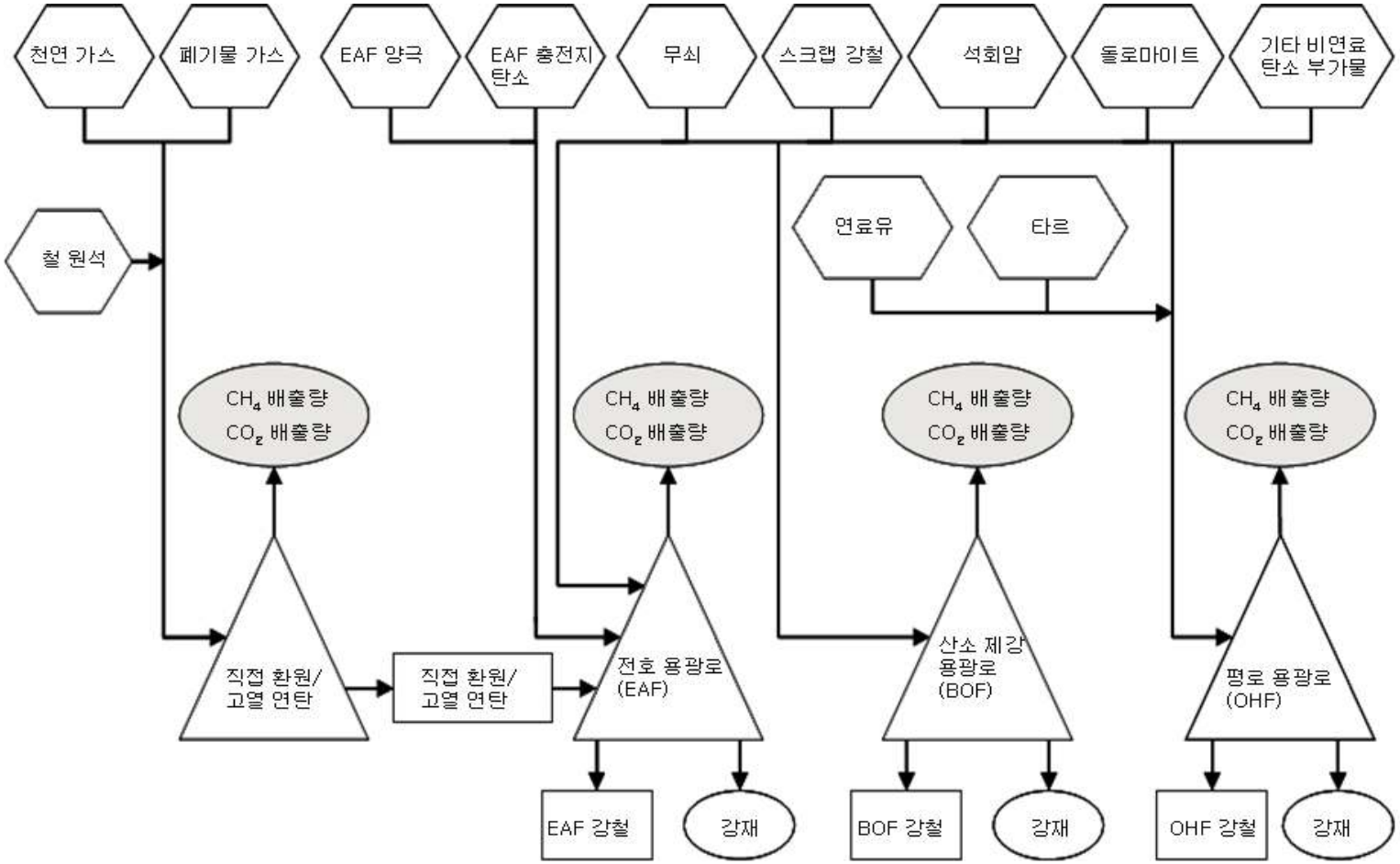


그림 4.5 철강 제조 과정의 실례



4.2.2 방법론적 이슈

4.2.2.1 방법의 선택: 야금 코크스 생산

IPCC 가이드라인는 코크스 생산에서 나오는 CO_2 배출량 측정을 위한 3개 Tiers와 CH_4 배출량 측정을 위한 2개 Tiers의 개요를 설명한다. CO_2 배출량 측정을 위한 *우수실행(good practice)*의 선택은 그림 4.6 야금학적 코크스 생산에서의 CO_2 배출 산정시의 의사결정도 상의 국가 상황에 따라 달라진다. CH_4 배출량을 측정하는 경우에는, 그림 4.8에 있는 의사결정도를 활용해야 한다.

야금 코크스는 제철소 현지에서 생산되거나 아니면 다른 시설에서 생산된다. Tier 1 방법은 국가 코크스 생산에 적용한 배출계수를 이용해서 모든 코크스 생산량을 계산한다.

Tier 2 은 현지와 외부를 구분한 CO_2 배출량 측정 방법 이다. 그것은 소비량 공정 재료(예를 들면, 원료탄 소비량, 생산된 코크스량, 콜타르 제품들의 생산량) 을 위해 국가 활동 자료 사용한다. 위에선 언급한 것처럼, Tier2 방법은 CH_4 배출량에 적합하지 않다. Tier3 방법은 각 공장의 CO_2/ CH_4 배출량 자료가 필요하거나 각 공장의 활동 자료가 필요하다.

TIER 1 방법 생산량에 기반한 배출계수

식 4.1은 모든 코크스 생산에서 나온 배출량을 계산한 것이다. Tier 1 방법은 모든 코크스가 제철 생산 시설 현지에서 만들어지고 그리고 사용되었다고 가정한다. Tier 1 방법은 코크스 생산의 톤 값에 기본(default) 배출계수를 곱한다. 배출량들은 에너지 부문에 제공되어야 한다.

식 4.1
코크스 생산으로부터 나온 배출량들 (TIER 1)

$E_{CO_2} = Coke \bullet EF_{CO_2}$ and $E_{CH_4} = Coke \bullet EF_{CH_4}$ =(에너지 부문에 제출되어야함)

여기서:

E_{CO_2} 와 E_{CH_4} = 코크스 생산 시 나온 CO_2/CH_4 배출량, CO_2 톤 혹은 CH_4 톤
Coke = 국가 내에서 생산된 코크스 양, 톤
EF = 배출계수, CO_2 (톤)/코크스 양 (톤) 혹은 CH_4 (톤)/코크스양 (톤)
주의: Tier1 방법은 모든 코크스로 부산물들이 외부로 옮겨지고, 모든 코크스로 가스들은 에너지 복구를 위해서 현장에서 소각된다고 가정한다.

TIER 2 방법

Tier 2 방법은 국내 통계가 비통합 코크스와 통합 코크스 생산 투입, 배출량을 활용할 수 있는 경우에, 사용할 수 있다. Tier 2는 가정을 하기보다는 실제 값들을 이용하기 때문에 Tier 1 보다 정확하게 측정하는 방법이다. 식 4.2와 식 4.3에서 나타난 바와 같이, Tier 2는 따로 현지에서 나온 CO_2 배출량과 외부에서 배출한 CO_2 배출량을 계산한다. 중복되는 자료들이 존재하기 때문에 이러한 분리 작업이 이루어지는 것이며, 이는 현지 코크스 생산시 나오는 방출량과 철강 생산시 나오는 배출량을 측정하기 위해 필요하다.

식 4.2
현지 코크스 생산 로부터 나온 배출량들 (TIER 2)

$$E_{CO2,\,energy} = \left[CC \bullet C_{CC} + \sum_a \left(PM_a \bullet C_a \right) + BG \bullet C_{BG} - CO \bullet C_{CO} - COG \bullet C_{COG} - \sum_b \left(COB_b \bullet C_b \right) \right] \bullet \frac{44}{12}$$

여기서:

$Eco_2Energy$= 에너지 구역에서 제출된 현지 코크스 생산 시 나온 CO_2 배출량, 톤

CC = 제철 생산 시설에서 코크스 생산시 쓰인 원료탄 양, 톤

PMa = 또 다른 가공 a 재료의 양 (톤), (예를 들면, 천연가스, 연료유, 현지 코크스 사용량, 현지 코크스 생산, 제철 생산 시설의 소결물 생산이나 명시되지 않은 것들)

PMa = 분리된 용어로 목록화되지 않고(예컨대 천연 가스, 연료유) 현지 코크스 생산과 철, 강 생산 시설에서의 코크스와 소결물 생산에서 소비되는, 기타 공정 물질 a의 양, 톤

BG = 코크스로에서 사용된 고로 가스 량, m^3 (혹은 톤이나 GJ 로 쓸수 있음. 단위 환산은 Volume 2: 에너지랑 같이 일정하여야 된다)

CO = 현지 제철소에서 생산된 코크스 량, 톤

COG = 외지로 옮겨진 코크스로 가스 양 m^3 (혹은 톤이나 GJ로 사용할 수 있음. 단위 환산은 제2권 <에너지>와 일관되어야 한다.)

COEb = 코브 오븐 부산물 b 량, 외부 혹은 다른 시설로 옮겨짐, 톤.

Cx = x값의 탄소 함량, 톤 C/(x 원료 유닛) [예를들면, 톤 C/ Tonne]

외지에서 코크스 생산시, 인벤토리 작성자는 식 4.3을 이용해야 한다. 전체 배출량은 공장에서 쓰인 식 4.2랑 식 4.3통해 구해진 배출량들의 총합이다.

식 4.3
외부 코크스 생산 로부터 나온 배출량들 (TIER 2)

$$E_{CO2,energy} = \left[CC \bullet C_{CC} + \sum_a \left(PM_a \bullet C_a \right) - NIC \bullet C_{NIC} - COG \bullet C_{COG} - \sum_b \left(COB_b \bullet C_b \right) \right] \bullet \frac{44}{12}$$

여기서:

ECO2, energy= 에너지 구역에서 제출된 외부 코크스 생산에서 나온 CO_2 배출량, 톤

CC= 비통합 코크스 시설에 쓰인 원료탄 양, 톤

PMa= 원료탄이 아닌 다른 가공 재료 a (천연가스, 비통합 코크스 시설에 국내적으로 소비된 연료유), 톤

NIC= 국내 비통합 코크스 시설에서 생산된 코크스 량, 톤

COG= 다른 시설로 옮겨진 국내 비통합 코크스 시설에서 생산된 코크스로 가스 생산된 양, m^3 (혹은 톤이나 GJ로 사용할 수 있음. 단위 환산은 제2권 <에너지>와 일관되어야 한다.)

COBb= 코브 오븐 부산물 b 량, 외부 혹은 다른 시설로 옮겨짐, 톤.

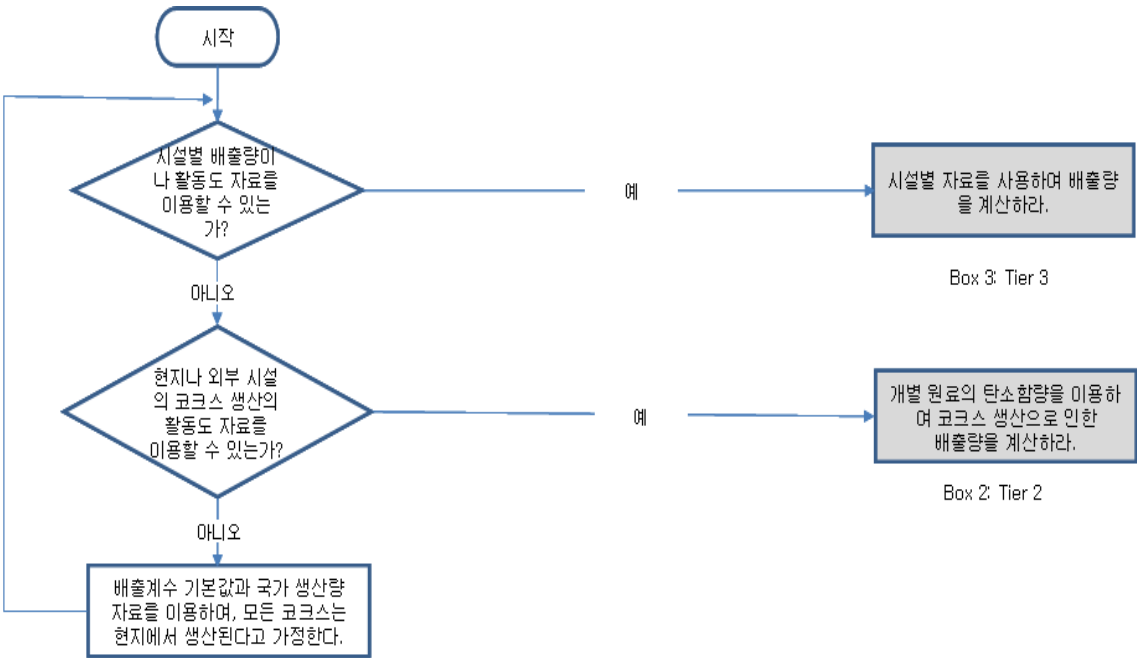
Cx= x재료의 탄소 함량 수, 톤 C/(x의 단위) [예, 톤 C/tonne]

Cx= 투입이나 산출물 x의 탄소 함량, 톤 C/(unit for material x) [e.g., 톤 C/tonne]

TIER 3 방법

Tier 2 방법과는 다르게, Tier 3 방법은 공장의 기술과 공정 과정의 환경이 확실히 다르기 때문에 공장마다 개별의 자료가 필요하다. 실제로 현지에서 나온 CO_2/ CH_4 배출량 자료를 구할 수 있다면, 이 자료들을 모아 직접 Tier 3방법을 활용하여 야금 코크스 생산으로부터 나온 국내 배출량을 계산을 하는 데 사용될 것이다. 총 국내 배출량은 각 공장들이 제출한 배출량은 총합과 같다. 공장의 CO_2 배출량 자료를 구할 수 없다면, CO_2배출량은 각 공장의 활동도를 이용한 식 4.2와 식 4.3의 Tier 2 방법을 이용해서 구할 수 있다. 총 국내 배출량은 각 공장에서 제출한 배출량의 총합과 같다.

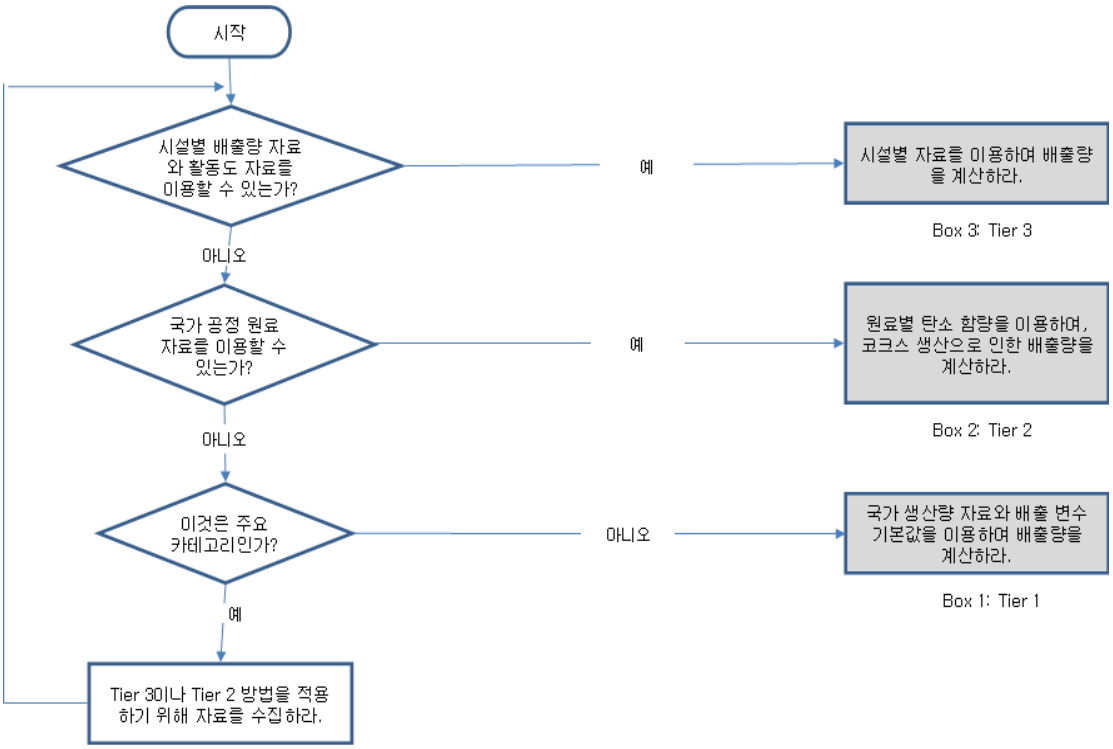
그림 4.6 야금 코크스 생산에서의 CO_2 배출량 산정



4.2.2.2 방법의 선택: 철과 강의 생산

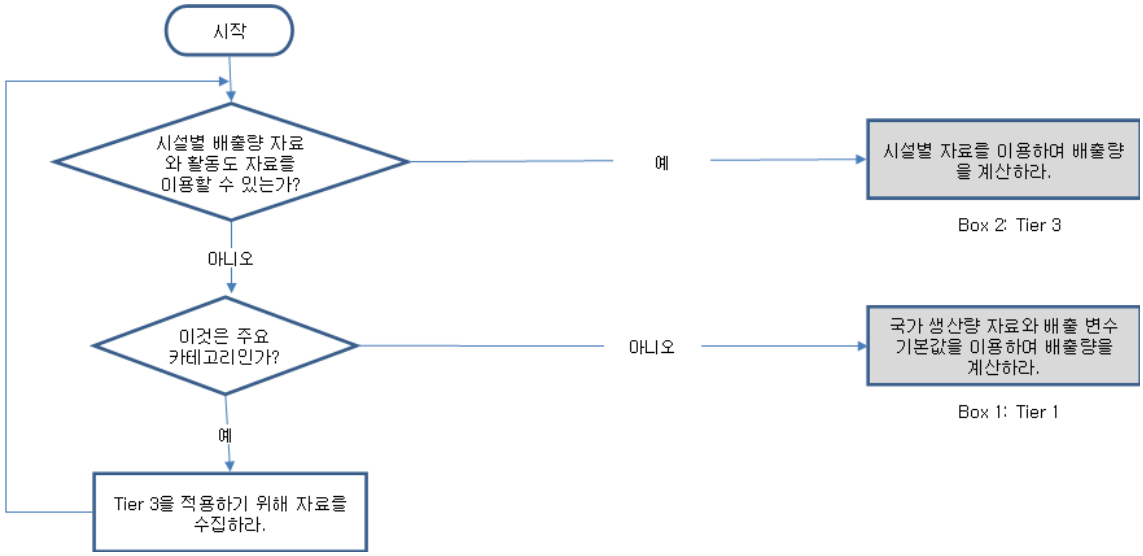
이 가이드라인은 철과 강 생산 시 CO_2 배출량을 계산 하는 3가지 방법과 CH_4의 배출량을 계산하는 2가지 방법에 대해 이야기할 것이다. *우수실행(good practice)*의 선택은 그림 4.7의 철과 강 생산에서부터의 CO_2 배출량 산정 의사결정도과 그림 4.8의 철과 강 생산에서부터의 CH_4 배출량 산정 의사결정도에 따른 국내 상황에 따라 달라진다. Tier 1 방법은 국내 생산 자료랑 기본 배출계수에 입각한다. CO_2 배출량을 하는 소결물 생산과 철과 강 생산 구역에 넣는 실제량을 대입하는 것과는 달리 가정을 두기 때문에 오차가 생길 수 있다. 그런 까닭에, Tier 1는 철과 강 생산이 중요한 카테고리가 아닐 경우에만 알맞다. 기본 배출계수는 소결물 생산, 고로 철 생산, 직접 환원 철 생산, 펠렛 생산, 각 철강 제조 시 제공된다. 배출의 1차 배출원은 고로 철 생산과 강 생산이다. 철강 생산에서 나온 CO_2 배출량을 측정하는 Tier 2 방법은 알려진 원료(환원제와 업계의 전반적인 자료)의 소비 자료에 기초한다. Tier 2 는 물질수지 접근법과 특정 원료 탄소 함량을 사용한다. Tier 2 방법은 CH_4 배출량 산정에 적합하지 않다. Tier 3 방법은 CO_2/CH_4 배출량 산정을 위해서 개별의 공장 배출량이나 국가적으로 모은 활동도 자료가 필요하다.

그림 4.7 철 및 강 생산으로 인한 CO_2 배출량 산정을 위한 의사결정도



1. 주 카테고리의 논의와 의사결정도의 이용에 대해서는, 제1권 제 4장 <방법론적 선택과 주 카테고리의 구체화 >을 참조. (제한된 자료에 대해서는 4.1.2절 참조)

그림 4.8 철 및 강 생산으로 인한 CH_4 배출량 산정 의사결정도



1. 주 카테고리의 논의와 의사결정도의 이용에 대해서는, 제1권 제 4장 <방법론적 선택과 주 카테고리의 구체화 >을 참조. (제한된 자료에 대해서는 4.1.2절 참조)

CO_2 배출량 산정에 대한 방법

Tier 1 방법 생산을 기반으로 한 production-based 배출계수

식 4.4에서 보이듯이, 철강 생산에서 나온 배출량의 Tier 1은 국내 생산 자료를 바탕으로 한 기본 배출변수가 곱해진다. 철 생산의 방법에 따라서 철 생산량 당 배출량은 매우 달라지기 때문에, 여러 종류의 철 가공 공정에서 공유된 철의 양을 알아내고, 각각의 과정에서의 배출량을 계산하고 그리고 나서 산정값을 더하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 식 4.4는 전로(Basic Oxygen Furnaces, BOF), 전기로(Electric Arc Furnaces, EAF), 평로(Open Hearth Furnaces, OHF)에서 나온 철의 양을 고려한다. 만약에 각 공정에 대해 철강 생산의 활동도 자료를 구할 수 없다면, 세 개의 제강 공정에 있는 전체 국내 철강 생산량의 기본 할당량이 4.2.2.3절의 표 4.1에 제시되어 있다.

식 4.5는 아직 철로 변환 되지 않은 선철(pig iron) 생산량에서 나온 배출량을 계산한다. 통합된 철과 철 생산 (BOF와 OHF과정)의 배출계수가 양쪽 단계에서 고려되기 때문에 생산에서 나온 배출량을 따로 산정하는 것이 더 낫다. 식 4.6은 Tier 1 방법을 사용하여 CO_2 배출계수를 이용하여 직접환원철(DRI)의 생산으로부터 나온 CO_2 배출량을 계산한다. 식 4.7과 식 4.8을 이용해서, 소결물 생산과 국내 펠렛 생산에서 나온 배출량을 따로 계산 하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 만약에 인벤토리 작성자가 공정 물질에 대한 자세한 정보가 없다면, 식 4.7과 식 4.8이 사용 되어야 한다. 만약에 공정 재료를 안다면, Tier 2 방법을 사용하여 배출량을 계산해야 한다. 전체 배출량은 식 4.4에서부터 식 4.8까지 계산한 모든 배출량의 총합이다.

식 4.4
철과 강 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 1)

철 및 강: $$E_{CO2,\,non-energy} = BOF \bullet EF_{BOF} + EAF \bullet EF_{EAF} + OHF \bullet EF_{OHF}$$

식 4.5
선철가 강으로 제조 되지 않은 상태의 CO_2 배출 (Tier 1)

선철 생산: $$E_{CO2,\,non-energy} = IP \bullet EF_{IP}$$

식 4.6
직접 환원철 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 1)

직접 환원 철: $$E_{CO2,\,non-energy} = DRI \bullet EF_{DRI}$$

식 4.7
소결물 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 1)

소결물 생산: $$E_{CO2,\,non-energy} = SI \bullet EF_{SI}$$

식 4.8
펠렛 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 1)

펠렛 생산: $$E_{CO2,\,non-energy} = P \bullet EF_P$$

여기서,

Eco2, non-energy= IPPU 부문에서 제출된 CO_2 배출량, 톤
BOF= BOF crude steel 생산된 양, 톤
EAF = EAF crude steel 생산된 양, 톤
OHF = OHF crude steel 생산된 양, 톤
IP = 아직 강으로 환원 되지 않은 선철량, 톤
DRI = 국내적으로 생산된 직접환원철량, 톤
SI = 국내적으로 생산된 소결물량, 톤
P = 국내적으로 생산된 펠렛량, 톤
EFx= 배출계수, 톤 CO2/tonne 생산된 x

Tier 2 방법

만약에 인벤토리 작성자가 철강 생산, 소결물 생산, 펠렛 생산, 직접 환원철 생산에 쓰인 공정 물질의 국내 자료를 구할 수 있다면, Tier 2 방법이 유용하다. 4.2.2.5 절에서 토론한 대로, Tier2 과정에서 고려해야 하는 다른 공정의 투입(input) 및 산출(output)이 있다. 이러한 정보들은 통계치, 비즈니스 또는 산업무역협회에 책임이 있는 공무원 혹은 개별의 철강 회사에서 구할 수 있다. Tier 2 방법은 CO_2 배출량에 기여하는 실제 투입량을 사용하기 때문에 Tier 1보다 더 정확 하게 산정한다.

펠렛 생산 배출량을 계산할 때, 에너지 소비, 열량(heating value)과 연료의 탄소 함량은 다른 방법론과 유사하게 사용 된다.

식 4.9
철과 강 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 2)

$$E_{CO2,non-energy} = \left[PC \bullet C_{PC} + \sum_a \left(COB_a \bullet C_a\right) + CI \bullet C_{CI} + L \bullet C_L + D \bullet C_D + CE \bullet C_{CE} + \sum_b \left(O_b \bullet C_b\right) + COG \bullet C_{COG} - S \bullet C_S - IP \bullet C_{IP} - BG \bullet C_{BG} \right] \bullet \frac{44}{12}$$

식 4.10
소결물 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 2)

$$E_{CO2,non-energy} = \left[CBR \bullet C_{CBR} + COG \bullet C_{COG} + BG \bullet C_{BG} + \sum_a \left(PM_a \bullet C_a\right) - SOG \bullet C_{SOG} \right] \bullet \frac{44}{12}$$

여기서, 철과 강 제조 식에서:

ECO2,non-energy = IPPU 부문에서 제출된 CO_2 배출량, 톤
PC =강 생산시 소모된 코크스 량 (소결물 생산시 소모된 코크스는 포함 안 됨), 톤
COB_a = 현지 코크스 오븐의 부산물 a의 양, 고로에서 소모된 양, 톤
CI= 용광고에 직접 투입된 석탄량, 톤
L = 강 생산시 소모된 석회석의 양, 톤
D = 강 생산시 소모된 백운석의 양, 톤
CE = EAFs에서 소모된 탄소 전극의 양,톤
O_b = 강 생산 시 소모된 기타 탄소 성분과 공정 물질 b의 양, 예를 들면 소결물과 폐플라스틱, 톤
COG= 강 생산시, 고로에서 소모된 코크스로 가스량, ㎥ (혹은 톤 GJ 로 쓸수 있음. 단위 환산은 제 2권: 에너지와 일관성있어야 한다)
S = 생산된 철강량, 톤
IP = 철강으로 환원되지 않은 철의 양, 톤
BG = 외부로 옮겨진 고로 가스량, ㎥ (혹은 톤 GJ 로 쓸수 있음. 단위 환산은 제 2권: 에너지량와 일관성있어야 한다)
C_x = x 재료의 탄소 함량 , 톤 C/(unit for material x) [예., 톤 C/tonne]

여기서, 소결물 생산식에서:

ECO2, non-energy = IPPU 부문에서 제출된 CO2 배출량, 톤
CBR = 소결물 생산을 위해 구입 혹은 현지에서 생산된 코크브리즈, 코크스 브리즈 량, 톤
COG= 소결물 생산에서 고로에서 소모된 코크스로 가스량, ㎥ (혹은 톤 GJ로 쓸 수 있음. 단위 환산은 제 2권: 에너지와 일관성있어야 한다)
BG = 소결물 생산에서 소모된 고로 가스량, ㎥ (혹은 톤 GJ로 쓸 수 있음. 단위 환산은 제 2권: 에너지와 일관성있어야 한다)
PM_a = 위에서 명시 되지 않은, 통합 코크스 생산 시설과 제철 생산 시설에서 코크스와 소결물 생산을 위해 소모된 다른 가공 재료량. 예를 들면 천연가스, 연료, 톤
SOG = 외부 제철 시설 혹은 다른 시설로 옮겨진 소결물 배기가스량, ㎥ (혹은 톤 GJ 로 쓸수 있음. 단위 환산은 제 2권: 에너지와 일관성있어야 한다)
C_x = x 재료의 탄소 함량 , 톤 C/(unit for material x) [예., 톤 C/tonne]

식 4.11은 연료 소모와 연로 탄소 함량을 기본으로 한 Tier 2 방법을 위해 직접 환원철 생산 에서 나온 CO_2 배출량을 계산한다.

DRI에서 나온 배출량들은 연소 연료, 코크스 브리즈, 야금 코크스나 기타 탄소 물질을 통해 구해지고 IPPU 배출량으로써 보고되어야 한다.

식 4.11
직접환원철 제조에서의 CO_2 배출 (Tier 2)

$$E_{CO2,non-energy} = \left(DRI_{NG} \bullet C_{NG} + DRI_{BZ} \bullet C_{BZ} + DRI_{CK} \bullet C_{CK}\right) \bullet \frac{44}{12}$$

여기서,

ECO2,non-energy = IPPU 부문에서 제출된 CO_2 배출량, 톤
DRI_{NG} = 직접환원철 생산에서 사용된 천연 가스량, GJ
DRI_{BZ} = 직접환원철 생산에서 사용된 코크 브리즈량, GJ
DRI_{CK} = 직접환원철 생산에서 사용된 야금 코크스의 양,GJ
C_{NG} = 천연가스의 탄소 함량, tonne C/GJ
C_{BZ} = 코크 브리즈의 탄소 함량, tonne C/GJ
C_{CK} = 야금 코크스의 탄소 함량, tonne C/GJ

Tier 3 방법

Tier 2 방법과 달리, Tier 3방법은 개별 시설 고유의 자료를 사용한다. 각각 시설의 기술과 공정 과정의 환경이 다르기 때문에 Tier 3 방법은 Tier 2 방법보다 더 정확하게 배출량을 측정한다. 제철 공장에서로부터 실제 CO_2 배출량 측정 자료를 구할 수 있다면, 그 자료들은 국내 CO_2 배출량을 설명하기 위해서 수집될 수 있다. 만약에 실제 CO_2 배출량 자료를 구할 수 없다면, CO_2 배출량은 시설 고유의 환원제, 존재 가스량, 기타 공정 물질 및 생산물의 자료를 통해서 구해할 수 있다. 국내 전체 배출량은 각각의 시설에서 제출한 총 배출량과 같다. 식 4.9에서부터 식 4.11은 공장 수준의 특정 활동 자료와 Tier 3방법을 사용하여 필요한 매개변수를 설명한다. 각 재료의 탄소 함량은 Tier 3방법에서 필요하다.

CH_4에 대한 방법론

고로에서 소결물 생산 혹은 철 생산을 위해 탄소를 함유한 재료가 가열 될 때, 메탄을 포함한 휘발성용제가 배출 된다. 개방 혹은 반쯤 덥힌 고로에서, 대부분의 휘발성용제는 후드나 배기가스 통로(in the hood and off-gas channels)에서 CO_2로 소각되지만 일부는 CH_4와 비메탄 휘발성 유기물(NMVOC)처럼 반응하지 않은 상태로 남는다. 이들 양은 화로의 가동에 따라 틀려진다. 회차충진(batch-wise charging)과 비교해서, 흩뿌림 충진(Sprinkle-charging)은 CH_4의 양을 줄인다. 후드(less false air) 안에서의 온도 증가는 CH_4의 양을 더 감소시킨다.

이 절에서는 소결물 생산 혹은 철의 생산으로부터의 CH_4 배출량의 산정에 대해서, 기본적인 Tier 1 방법과 더 고도의 공장 수준 방법인 Tier 3을 설명하고 있으며, 두 방법 모두 CO_2 배출량 산정 방법과 비슷하다. Tier 2 방법은 없다. 철강 제조 과정에서 CH_4는 배출되지만, 그 배출량은 무시해도 된다. 그러므로 제강 공정으로부터 나온 CH_4의 배출량은 여기서 논의되지 않는다. CH_4 계산을 위한 Tier 1 방법론은 배출계수와 국내 생산 통계치에 근거한다.

식 4.12

소결물 제조에서의 CH_4 배출 (Tier 1)

소결물 생산: $$E_{CH4,\,non-energy} = SI \bullet EF_{SI}$$

식 4.13

선철이 철강으로 제조 되지 않은 상태의 CH_4 배출(Tier 1)

선철 생산: $$E_{CH4,non-energy} = PI \bullet EF_{PI}$$

식 4.14

직접환원철 제조에서의 CH_4 배출 (Tier 1)

직접 환원철 생산: $$E_{CH4,non-energy} = DRI \bullet EF_{DRI}$$

여기서:

ECH_4, non-energy = IPPU 부문에서 제출된 CH_4 배출량, kg

SI = 국내적으로 생산된 소결물의 양, 톤

PI = 국내적으로 생산된 철의 양(강으로 변환된 철, 강으로 변환되지 않은 철도 포함), 톤

DRI = 국내적으로 생산된 직접 환원철의 양, 톤

EF_x = 배출계수, kg CH_4/tonne x 생산량

Tier 3 방법은 공장 고유의 배출량 자료를 사용한다. 코크스 생산에 의한 CH_4 자료를 구할 수 있다면, 이 데이터는 국내의 CH_4 배출량을 설명하기 위해 수집될 수 있다. 총 국내 배출량은 각 공장에서로부터 보고된 배출량의 총합과 같다.

4.2.2.3 배출계수의 선택

TIER 1 방법

이산화탄소 배출계수

표 4.1은 코크스, 소결물, 펠렛, 제철 생산의 기본 배출계수를 제공한다. 세 개의 제강 방법들의 배출계수들은 일반적인 방법을 사용한 다른 철강 생산 시나리오에 기재된 전문가의 판단에 기초한 것이다. 기본 배출계수는 고로에 들어간 모든 탄소 투입량에 대해 설명한다. 통합 오염 예방 및 관리(Integrated Pollution Prevention and Control, IPPC), 철과 강의 생산에 대한 참고 자료 (European IPPC Bureau, 2001) ('IPPC I&S BAT 문서'에 의거)에 기초한 자료에 의하면 고로에 들어간 대부분의 탄소는 코크스에서 나온다고(60 - 90%) 가정한다.

코크스 생산의 기본 CO_2 배출계수는 IPPC I&S BAT 문서에서 제출된 11개의 유럽 코크스 공장의 CO_2 배출량 자료를 평균화해서 구할 수 있다. CO_2 배출량은 생산된 액체 철의 톤 당 CO_2 킬로그램 단위로 IPPC I&S BAT 문서의 표 6.2에서 제공된다. CO_2 배출량은 1톤의 액체 철강 당 CO_2 값으로 175 에서 200 kg이다. IPPC 문서의 표 6.2에서 제공된 전환계수은 액체 철강 당 940 kg 선철/ 선철 1톤당 358 kg 코크스이다. 이 전환계수에 따르면, 11개의 유럽 코크스 공장의 평균

CO_2 배출량은 0.56 CO_2톤/ 생산된 1톤의 코크스 (0.56 tonne CO_2 per tonne coke produced) 이다.

IPPC I&S BAT 문서에서 제출된 네 개의 유럽 소결물 공장의 CO_2 배출량 자료를 평균화해서 소결물 공장의 CO_2 배출계수를 구할 수 있다. CO_2 배출량은 CO_2 배출량 Kg/ 생산된 1톤의 액체 철강(kilograms of CO_2 per tonne of liquid steel produced) 단위로 IPPC I&S BAT 문서의 표 4.1에 제출된다. CO_2 배출량은 액체 철강 CO_2 1톤당 205~240 kg 가 나온다. IPPC 문서의 표 4.1에서 제공된 전환계수은 액체 철강 1톤당 940 kg 선철, 선철 1톤당 1160 kg 소결물이다. 이 전환계수에 따르면, 네 개의 유럽 소결물 공장의 평균 CO_2 배출량은 생산된 소결물 1톤당 0.2 CO_2 톤 값을 가진다.

IPPC I&S BAT 문서에 제출된 유럽 소결물 공장의 CO_2 배출량 자료를 평균화해서 고로 철 주조의 CO_2 배출계수를 구할 수 있다. 철 주조시 생산된 CO_2 와 CO를 함유한 고로 가스는 생산된 선철 1톤당 CO_2 킬로그램값을 단위로 IPPC I&S BAT 문서의 표 7.2와 7.3에서 제시된다. CO_2 양은 선철 1톤당 400에서 900kg 이고 CO양은 선철 1톤당 300에서 700kg 정도이다. 모든 고로 가스는 통합 제철소 안에서의 에너지 재생(그리고 CO_2로 연소)를 위해 연소되었고, 고로 가스는 외부로 옮겨지지 않은 가정 하에 배출계수는 선철 1톤당 CO_2 1.35kg에 상응한다.

표 4.1
코크스 생산과 철과 강 생산에서의 CO_2 배출계수 Tier 1 기본 값

공정 과정	배출계수	출처
소결물 생산 (소결물 1톤 생산 당 나오는 CO2양)	0.2	소결물 생산: 유럽 IPPC 국 (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001, 표 4.1,29 쪽. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.ht
코크스로 가스 (코크스 1톤 생산 당 나오는 CO2양)	0.56	코크스 생산: 유럽 IPPC 국 (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001, 표 6.2, 122 쪽. . http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.ht
철 생산 (선철 1톤 생산당 나오는 CO2양)	1.35	철 생산: 유럽 IPPC 국 (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001, 표 7.2 와 7.3. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.ht
직접 환원철 생산 (직접 환원철 1톤 생산 당 나오는 CO2양)	0.70	직접 환원철 생산 유럽 IPPC 국 (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001, 표

		10.1 322 쪽 and 표 10.4 331 쪽. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.ht
펠렛 생산 (펠렛 1톤 생산당 나오는 CO2양)	0.03	펫렛 생산: 유럽 IPPC 국 (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001, 표 5.1 95 쪽. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.ht
강 주조 방법		
전로 (BOF) (강 1톤 생산당 나오는 CO2양)	1.46	강 생산 : Consensus of expertsand IISI Environmental Performance Indicators 2003 STEEL(국제 제철 협회, 2004)
전기로 (EAF) (강 1톤 생산당 나오는 CO2양)**	0.08	강 생산: Consensus of expertsand IISI Environmental Performance Indicators 2003 STEEL(국제 제철 협회, 2004)
평로(OHF) (강 1톤 생산당 나오는 CO2양)	1.72	강 생산: Consensus of expertsand IISI Environmental Performance Indicators 2003 STEEL(국제 제철 협회, 2004)
국제 기준 값 (65% BOF, 30% EAF, 5% OHF)* (강 1톤 생산당 나오는 CO2양)	1.06	강 생산: Consensus of expertsand IISI Environmental Performance Indicators 2003 STEEL(국제 제철 협회, 2004)
* BOFs 가 세계 강 생산의 63%를 차지하고 EAFS 가 33%, OHF 생산이 4%를 차지하지만 감소 추세에 있는, 2003년 국제 기준으로 값을 정함. ** EAF 강 제조에 쓰이는 배출계수는 철 생산에 나오는 배출량을 포함 하지 않았다. BOF 와 OHF의 강 제조는 고로 철 생산에서 나온 배출량을 포함했다. 주의: 이 표에 있는 EAF 강 주조 CO_2 배출계수는 스크랩 철 생산량을 기본의로 하였고 그러므로, EAF 배출계수는 고로 철 주조에서 나오는 CO_2 배출량이랑 관련이 없다. 이표에 있는 EAFs Tier 1 CO_2 배출계수는 그러므로 선철를 원료로 사용 하는 EAFs에는 적합 하지가 않다.		

펠렛 생산의 배출계수는 제품 1톤당 15.6 ~ 31.8 kg CO_2 라고 제시한 IPPC I&S BAT 문서에 기초한다. 그러나 특정 과정에 대한 CO_2 배출계수는 원료의 특성과 그 과정에서 사용되는 연료에 따라 달라진다. 배출계수는 석탄이나, 천연 가스나 코크스로 가스가 주요한 연료로 사용되었는지에 따라 달라질 것이다. 배출계수 기본값은 범위의 상한선인 제품 1톤당 CO_2 30 kg이고, 인벤토리 작성자가 원료나 연료가 무엇인지 모를 경우에는 이 값을 활용해야 한다. 만약 인벤토리 작성자가 원료나 연료가 무엇인지 안다면, CO_2 배출량은 연료 소모와 열량과 연료의 탄소 함량을 고려하면서 Tier 2 방법을 이용하여 계산되어야 한다.

Tier 1 배출량 계산에서는 직접 환원철의 생산의 기본 연료가 천연 가스라고 가정한다. 천연 가스를 기본으로 한 공정 과정은 세계 전반 대부분에 설치된 MIDREX 공정 수용량의 63%를 설치한 직접 환원철(DRI) 생산 수용력의 대다수를 설명한다. 100% 철 덩어리 가공이라고 가정할 때, MIDREX 공정을 사용한 직접 환원철 생산을 위한 연료 소모는 보통 10.5 - 14.5 GJ 천연가스/고

체 DRI 톤이다. 철 가루에서 나온 가열 연탄 철의 연료 소모는 FINMET 과정에서는 생산물의 톤수 당 12.5 GJ 천연가스량, CIRCORED 과정에서는 생산물의 톤수 당 14 GJ 천연가스량으로 보고된다. 생산된 DRI 1톤당 12.5 GJ의 천연가스 의 기본 연료 소모와 탄소당 15.3 kg 천연가스 GJ 탄소 함량 기본값은 DRI 1톤당 CO2 배출계수의 탄소 191.3 kg (DRI 1톤당 0.7 톤 CO2)에 해당한다.

메탄 배출계수

기본 CH_4 배출계수는 아래 표 4.2에서 제공된다. 코크스 생산의 Tier1 CH_4 배출계수는 IPPC I&S BAT 문서에서 제출된 11개의 유럽 코크스 공장의 CH_4 배출량 자료를 평균화해서 구할 수 있다. CH_4 배출량은 CH_4 배출량 g/ 생산된 1톤의 액체 강 단위로 IPPC I&S BAT 문서의 표 6.3에 제공된다. CH_4 배출량은 1톤의 액체 강 당 27에서 32g 정도 배출된다고 보고된다. 11개의 유럽 코크스 공장의 평균값에 기해서, 전환계수은 1톤의 생산된 코크스 당 CH_4 0.1 g 이다. 소결물 생산의 Tier 1 CH_4 배출계수는 각 공장에서 제출한 EMEP/CORINAIR 배출량 인벤토리 가이드북 (EEA, 2005)과 다른 배출 인벤토리 보고서의의 CH4 배출량 자료를 평균화해서 구할 수 있다. EMEP/CORINAIR 배출량 인벤토리 가이드북의 표 8.2a에서 소결물과 펠렛화 공장에서 활용되기 위해 CH_4 배출량을 제공해야 한다. 코크 브리즈를 사용하는 소결물 공장에서의 CH_4 배출계수는 MJ 당 50 mg으로 보고되었고, 소결물 1톤당 38~55kg의 코크스량값도 보고되었다. 이것은 28.2 TJ/Gg coke를 기본 값으로 사용한 평균 배출계수는 소결물 1톤당 CH_4 0.07kg에 해당된다. 소결물 1톤당 0.05kg CH_4의 배출계수는 핀란드의 소결물 가공 공장에서 제공되었다.(Pipatti, 2001)

표 4.2
코크스 생산과 철과 강 생산에서의 CH_4 배출계수 Tier 1 기본 값

공정 과정	배출계수 값	출처
코크스 생산	생산된 코크스 1톤당 0.1g	코크스 생산: 유럽 IPPC 국 (2001), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, December 2001, 표6.2-3, 122 쪽. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
소결물 생산	생산된 소결물 1톤당 0.07g	EMEP/CORINAIR 배출 인벤토리 가이드라인 (EEA, 2005). Processes With Contact: *Sinter and Pelletizing Plants:Sinter and Pelletizing Plants (Except Combustion 030301)* Table 8.2a Emission factors for gaseous compounds.
DRI 생산	1kg/TJ (총 열량 기준)	천연가스 연소시 나온 CH4 배출량의 에너지 Volume 기본 배출계수 [See 제2장 Volume 2, 참조.]

TIER 2 방법

만약에, 인벤토리 작성자가 제철 공장과 코크스 생산 시설 조건에 대한 정보가 없는 대신 공정 재료와 외부 이전에 대한 자세한 활동도 자료를 가지고 있다면, 표 4.3에 있는 기본 탄소 함량 값이 사용되어야 한다. 식 4.2에서 통합 코크스 생산, 식 4.9부터 식 4.11의 철 및 강 생산, 그리고 식 4.3에서 비통합 코크스 생산에서 보듯이, 배출을 유도하는 철 및 강 생산과 코크스 생산에 있는 주요 물질 흐름을 TIER 2 방법이 포함한다. 표 4.3에 있는 탄소 함량은 제2권, 제1장에 있는 표 1.2와 1.3에서 기본값으로 삼는다.

표 4.3
코크스 생산과 철과 강 생산에서 Tier 2 재료별 탄소 함량 계수 (kg C/kg)

공정 재료들	탄소 함량 계수
고로가스	0.17
목탄(charcoal)*	0.91
석탄[1]	0.67
콜타르	0.62
코크스	0.83
코크스로가스	0.47
원료탄	0.73
직접 환원철	0.02
돌로마이트	0.13
EAF 탄소 전극[2]	0.82
EAF 충진 탄소[3]	0.83
화석 연료[4]	0.86
코크스 가스	0.83
뜨거운 브리켓 철	0.02
석회석	0.12
천연가스	0.73
oxygen steel furnace gas	0.35
석유 코크스	0.87
구입한 선철	0.04
고철	0.04
강	0.01

출처: 기본 값들은 Vol 2에 제공 되어 있는 것들로 구성되어있고 아래에 언급되어 있는 가정 하에 계산되어 졌다. 제 1장 Volume 2에 있는 표 1.2와 1.3에 탄소 함량의 자료가 포함 되어있다.
참조:
1 다른 역청탄 가정
2 80%는 석유 코크스 그리고 20%는 콜타르
3 고로가스 가정

4 가스/디젤 연료 가정
* 목탄에서 나오는 CO_2 배출량의 양은 탄소 함량값을 사용 하요 측정 할수 있지만, 국내 온실가스 인벤토리에서는 0의로 제출 되어야 한다.(Volume 1의 1.2절을 참조)

TIER 3 방법

Tier 3 방법은 공장 고유의 배출량 산정의 총계 혹은 공장 수준의 Tier 2식의 응용을 기본으로 한다. 인벤토리 작성자는 각 공장이 배출계수들 와 사용된 탄소 함량들을 문서화하고, 이러한 배출계수를 공정에서 표시하고 공장에서 원료가 사용되는지 확인해야 한다. Tier 3 방법은 탄소 함량과 모든 공정 재료의 생산/소비 비율 과 표 4.3에서 등록된 외부 변환값을 필요로 한다. 표 4.3이 탄소 함량의 기본값들을 제공하는 동안, Tier 3에서 표에 등록되어 있는 공장 수준의 기본값들의 변화를 반영하기위해 이 값들을 조정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 공장의 정보가 실제 조건에 일치하는 경우, 표 4.3에 기재 되어있는 기본 값들은 Tier 3 방법에 적합하다. Tier 3 방법에서의 공장 관련 자료는 탄소 함량과 모든 공정 재료의 생산/소비 비율을 포함하기 때문에, 대부분의 경우 표 4.3에 있는 기본 값들은 Tier 3 방법에 적용이 되지 않을 것이다.

4.2.2.4 활동도 자료의 선택

TIER 1 방법

Tier 1 방법은 공정 타입, 강으로 공정되지 않은 총 선철량, 코크스, 직접 환원철, 펠렛, 소결물 생산량의 총 량에 의해 국가에서 생산된 강량을 필요로 한다.; 이 경우에는 코크스의 총량은 종합 코크스 생산 시설에서 생산되었다고 가정한다. 이런 한 정보들은 통계치, 비즈니스 또는 산업무역협회에 책임이 있는 공무원 혹은 개별의 강 회사에서 구할 수 있다. 만약, 국가에서 통합 자료 밖에 없다면, 가중치(weighting factor)가 사용 되어야 한다. 총 천연 강 생산은 사용 가능한 금은괴(ingot), 계속 관련되는 미완성 제품 및 액체 강의 총 산출량으로 정의된다.

TIER 2 방법

Tier 2 방법은 철과 강의 총량, 코크스로 오븐 가스, 고로 가스, 직접환원철 생산과 소결물 생산을 위해 사용되는 석회암과 같은 가공 재료, 또한 현지에서 생산된 코크스와 외부에서 생산된 코크스를 필요로 한다. 이런 한 정보들은 통계치, 비즈니스 또는 산업무역협회에 책임이 있는 공무원 혹은 개별의 철강 회사에서 구할 수 있다. 이와 같은 양은 표 4.3에 있는 알맞은 기본 탄소 함량으로 곱해지고 부문에서 나온 전체 CO_2 배출량을 구하기 위해 합산된다. 그러나 공장에서 수집된 활동 데이터가 선호된다(Tier 3). 만약에, 이것이 중요한 카테고리가 아니고 산업 전반의 전체적인 환원제와 재료의 자료를 구할 수 없다면, 배출량은 Tier 1 접근 방식을 사용 하여 산정할 수 있다.

TIER 3 방법

TIER 3 방법은 수집, 편집, 그리고 공장에서 측정한 통합 배출 자료 또는 시설 공정 재료의 생산/소비, 탄소 함량 자료를 필요로 한다. Tier 3 방법은 공장에 물질 발란스 접근법(mass balance approach) (CO_2 배출량) 혹은 시설에서 직접적으로 측정한 자료(CO_2 와 CH_4 배출량)에 기초할 수 있다. 또한, Tier 3 방법은 공장 수준에서 수집하고 부문들을 위해서 수집한 활동도 자료를 필

요로 한다. 공장의 데이터는 가급적이면 개별적인 철, 강과 코크스 생산 회사에 의해 제공된 자료로부터 수집되어야 한다. 공정 재료의 양은 이처럼 정확하게 결정된다. 이러한 정보들은 통계치, 비즈니스 또는 산업무역협회에 책임이 있는 공무원 혹은 개별의 강 회사에서 구할 수 있다. 그러고 나서, 적절한 양이 시설 고유의 탄소 함량 자료와 곱해지고, 부문 별 총 CO_2 양을 구하기 위해 합산되고, Tier 2 방법보다 더 정확한 배출량을 산정할 수 있다. 개별의 회사가 공장 자료를 보고하는 것을 허락 하고 Tier 2 방법에서 사용된 기본값들과 기타 적절한 탄소 함량 값을 사용함으로써 추가적인 정확성을 가능케 한다.

4.2.2.5 완전성

에너지 부문과의 관계

이 배출원 카테고리로부터 배출량을 산정하는 것에서: 코크스 생산(에너지)과 철 및 강 생산(IPPU), 산업 공정이나 에너지 부문에서 이중 산정하거나 누락될 경우가 있다. 탄소 재료(주로 코크스, 그러나 석탄, 석유, 천연가스, 석회석 등)의 주요 사용이 선철을 만드는데 쓰여지므로, 소결물과 철 및 강 생산에서 배출되는 CO_2와 CH_4 배출량은 산업 공정 배출량이라고 간주되어 보고되어야 한다. 코크시 생산시 (연료 소모와 전환 소실) 배출되는 CO_2와 CH_4 배출량은 에너지 생산으로 분류되고 보고되어야 한다. 그러나 현지 코크스 생산과 철 및 강 생산에선, 부산물(예를 들면, 코크오븐가스, 고로 가스, 코크오븐 부산물)의 흐름이 코크스 생산 시설과 제철 생산 시설 사이에 있어서 이중 산정될 수도 있다. 제철 생산 시설에서 탄소는 고로 가스로 소모되므로 CO_2와 CH_4 배출량은 IPPU 배출량으로 분류 되고 보고되어야 한다. 현지 코크스 생산 시설에서 탄소는 고로 가스로 소모되므로 CO_2와 CH_4 배출량은 에너지로 분류되고 보고되어야 하며, 탄소의 소모 흐름을 추적하는 것은 배출원 카테고리 목록에 대한 좋은 정보를 요구한다.

코크스의 중요한 역할 때문에, 시설에서 코크스를 생산할 수 있는 능력을 고려하는 것과 CO_2 배출량을 이중 산정하지 않기 위해서 제철 시설에서 탄소 수지의 경계 한계값을 정의하는 것이 중요하다. 현지와 외부 코크스 생산에 관련이 있는 CO_2와 CH_4 배출량은 에너지 부문에서(제 2권 참조) 보고되어야 한다.

탄소의 기타 형태

비록 천연 철이나 선철를 생산하는 대부분의 수단이 코크스를 사용하고 있는 고로지만, 다른 형태의 탄소(예를 들면, 분쇄된 석탄, 석탄 파생물질, 재활용 플라스틱이나 타이어, 천연 가스, 화석 연료)가 또한 고로에서 코크스의 일부 부분을 대체하기 위해 사용될 수 있다. 이런 경우에, 코크스와 같은 방식으로 탄소의 공정 배출원으로써 이러한 물질들이 설명되어야 하고, 그리고 만약에 에너지 통계에 포함되어 있으면 이 물질들을 에너지 통계에서 공제하도록 주의를 기울어야 한다. 철은 또한, 코크스 대신에 천연가스나 석탄을 사용하는, 다른 종류의 고로에서 생산되고 그리고 이러한 탄소 자원들은 코크스를 사용 하는 목적과 같기 때문에 코크스처럼 같이 설명되어야 한다.

대부분의 고로에서는, 유동성 탄산염(석회암이나 백운암)을 사용함으로써 철 제조 과정을 돕는다. 이러한 재료들은 공정 과정에서 필요한 원료이기 때문에, 제철 공정 인벤토리의 일부로 보아야 한다. 만약, 광물 부문에서 석회석과 백운암의 사용과 관련된 배출량을 이중으로 합산하지 않도록 주의를 기울어야 한다. (본 권의 2.5절 참고, 탄산염의 기타 공정 사용법)

소결물

일부 통합 시설에서는 철 함유 미립자(iron-bearing fine)를 고로에서 원료로 사용하기 적합한 소결물로 전환하기 위해서 소결물 시설을 이용한다. 일반적으로는, 코크스 미립자(혹은 코크 브리즈)는 소결물 생산 공정에서 연료로 사용되고 CO_2와 CH_4 배출량의 배출원이 된다. 공장 내 코크스 시설에서 코크스 미립자가 생산되고, CO_2와 CH_4 배출량이 공장으로 투입된 석탄에서 배출되거나, 혹은 코크스 브리즈가 코크스로 계산된 것일 경우에는, 소결물 생산 시 쓰인 코크스에서 나온 CO_2와 CH_4 배출량은 이중 계산되어서는 안 된다. 소결물 생산으로부터의 배출량은 IPPU 배출로 분류되고 보고되어야 한다.

배기가스

만약에 에너지 부문에서 CO_2의 배출원인 회수된 BOF 배출 가스(offgas) 혹은 부산물 가스, 예를 들면 고로 가스들이 공정 배출량이라고 설명하면, 이 값은 이후에 이중 계산하지 않는 것이 중요하다. 초기 환원제로 사용되는 공정 배출은 고로에 들어간 모든 탄소량을 포함해야만 한다. 전형적인 통합 코크스 공장 및 철 및 강 공장 상황에서는, 코크스로 부산물과 선적된 강의 탄소 함량을 계산하기 위해 조정(adjustment)이 필요하고, 배출원 묘사에서 명백하게 언급되어야 한다. 일부의 경우, 고로 가스를 위한 조정 또는 판매되거나 외부로 이동된 철을 위해서 조정이 필요할 수 있다. 표 4.1에서 4.5까지 배기 가스의 흐름 과정을 잘 표현하고 있다.

전극 소비

전극 소비량은 EAF 화로에서 약 3.5 kg/tonne 이다. 그러나 충전 물질의 성격에 따라, 탄소는 공정 조정을 위해서 EAF에(약 20kg/tonne) 첨가되거나 철의 대체물처럼 자체 충전 물질화되고 축적된다. 이 경우에는, 첨가된 탄소를 함유한 재료에서 나온 CO_2와 CH_4 배출량은 공정에 관련이 되어있다고 고려되어야 하고 그것들의 탄소 함량은 다른 데에 포함 하는 경우가 없기 때문에 인벤토리에 포함 되어야 한다. 또한, 천연가스가 환원제로써 EAF에서 반응을 강화하기 위해 사용되었다면, 탄소 배출원으로 보아야 하고 제철 생산에 사용된 모든 공정 재료들은 IPPU 배출에 보고되어야 한다.

충전제가 100 % 강 고철일 경우에는, 탄소 전극이 없는 전기 유도 고로에서 다른 특별한 강이 만들어진다. 이 강 생산과정에서는 뚜렷한 CO_2와 CH_4 배출량이 나타나지 않는다.

OHF 과정

이제 더 이상 OHF는 일반적이지는 않지만, 일부 국가에서는 이 제철 공정에서 나오는 CO_2와 CH_4 배출량을 인벤토리화하기 위해서 이 과정을 고려할 필요가 있다. BOF의 경우 개방형 화덕 고로에서는 녹은 철과 고철로 충전되고 산소가 고로에 주입된다. 그러나 철과 충전지 용해물에서의 탄소 저감은 화석 연료(예를 들면, 천연가스, 연료, 석탄, 혹은 타르)의 연소에 의해 일어난다. BOF의 경우, 철에 함유된 탄소는 철 생산에 대한 탄소의 배출원으로 설명되었기 때문에 무시한다. 그러나 개방형 화덕 공정에서 쓰인 연료 내 탄소는 IPPU 배출에서 설명되어야 한다.

4.2.2.6 일관성 있는 시계열 개발

코크스 생산, 소결물 생산, 그리고 제철 생산에서 나온 배출량들은 매년 똑같은 방법으로 시계열

로 계산되어야 한다. 자료가 더 자세한 방법이나 모든 연도의 시계열에 따른 값을 지원 할 수 없는 경우에는, 이러한 차이 값들은 제1권 제5장, <시계열 일관성과 재계산>에 나와 있는 지침에 따라 재계산해야 한다.

4.2.3 불확도 평가

Tier 1에서 쓰인 코크스 생산과 제철 생산의 기본 배출계수들은 ±25%의 불확도를 가지고 있다. Tier 2 재료 탄소 함량은 ±10%의 불확도를 가지고 있다. 탄소 함량과 질량율(mass rate) 자료가 있다면, Teir 3 배출계수는 ±5%의 불확도를 가지고 있다. 표 4.4는 배출계수, 탄소 함량 그리고 활동도 자료의 전체적인 내용을 제공한다.

표 4.4
불확도 범위

방법	자료 출처	불확도 범위
Tier 1	기본 변수값	±25%
	국내 생산 자료	±10%
Tier 2	개별 원료의 탄소 함량	±10%
	국내 환원제 & 가공 원료 자료	±10%
Tier 3	회사로부터 수집(company-derived) = 가공 원료 자료	±5%
	회사에서 별도로 측정한 CO_2와 CH_4 자료	±5%
	회사 배출계수	±5%

Tier 1에서, 활동 자료의 가장 중요한 종류는 각 방법을 사용하면서 생산된 강의 양이다. 국내 통계자료는 구할수 있으면 그리고 ±10%의 불확도를 가지고 있다. Tier 2에서, 제철 생산에 쓰인 환원제와 가공 재료들의 전체량은 10%이내에 있다. Tier 3는 시설에서 쓰인 환원제와 가공 재료(약 5%의 불확도를 가진)의 정보를 필요로 한다. 또한, Tier 3의 실제 배출 자료는 5%의 불확도를 예상한다. Tier 3는 실제 받은 자료의 분석을 통해서 더 정확하게 구해질 수 있다.

4.2.4 품질보증(QA)/ 품질관리(QC), 보고 및 문서화

4.2.4.1 품질보증(QA)/ 품질관리(QC)

제1권 제6장 <품질관리 및 품질보증(QA/QC)과 검증>에서 개관한 것처럼, 배출량 산정값에 대한 품질관리 점검과 전문가 검토를 실시하는 것이 좋다. 특히 배출원 카테고리로부터 나온 배출량을 구하기 위해 더 높은 Tier 방법이 사용 된다면, 제1권 제6장에서 개관한 추가적인 품질관리 및 품질보증을 적용해야 한다. 제 1권 제 4장에서 밝혀졌듯이, 인벤토리에서는 중요한 카테고리들에 대해서는 더 높은 Tier의 품질보증(QA)/ 품질관리(QC)를 사용 하도록 권고된다.

제1권의 안내 지침에 더불어, 이 배출원 카테고리와 연관된 특정 절차는 아래에 약술된다.

배출계수와 탄소 함량의 검토
국가 수치가 IPCC 기본값에 비해 상대적으로 합리적인지 아닌지를 결정하기 위해서, 인벤토리 작성자는 수집된 국가 배출계수 및 탄소 함량을 IPCC 기본 계수 및 탄소 함량과 비교해야 한다. 특히 국가 기본값이 상이한 환경조건을 대표한다면, 국가 값과 기본값 간의 차이는 설명되어야 하고 문서화되어야 한다.

현장 활동 자료 검사
특정 지역 자료를 위해, 인벤토리 작성자들은 지역들 사이에 존재하는 자료의 불일치들을(예를들면, 그들이 오류를 반영 했는지, 다른 측정 방법을 사용 했는지, 혹은 배출량에서 진짜 다른 결과가 나왔는지 아니면 운영 환경이나 기술에서) 검토해야 한다.

인벤토리 작성자는 배출계수들과 활동도 자료가 국제적으로 알려지고 증명된 측정 방법들을 통해 개발되었음을 확인해야 한다. 만일 측정 방법이 이 기준을 통과하지 못하면, 이 배출 자료들의 사용과 활동도 자료들은 주의 깊게 평가해야 되고, 불확도 측정들은 다시 고려되어야 하며 자격 조건은 문서화되어야 한다. 높은 수준의 측정 방법이 있고 QA/QC가 대부분의 지역에 적소에 있다면, 배출량 불확도는 하향 조정 될 수 있다.

전문가의 검토
인벤토리 작성자는 검토 과정에서 제철 생산과 관련이 있는 중요한 산업 무역 조직들을 포함해야 한다. 검토과정은 방법 및 자료의 획득의 검토와 개발에 대한 입력 자료를 제공하기 위하여, 인벤토리 개발 과정 초기에서부터 착수되어야 한다.

제 3자의 검토(Third party reviews)는 초기 자료수집, 측정, 사본, 계산 그리고 문서화에 관련이 있는 배출원 카테고리에 유용하다.

활동 자료의 검토
모든 Tier 수준에서, 인벤토리 작성자는 환원제와 공정 물질(연탄, 코크스, 천연가스 등)로부터 나온 배출량들이 이중 산정되거나 누락되지 않았는지를 확신하기 위해, 제2권 제2장 <에너지 부문의 고정 연소>를 참조하여 검토해야 한다.

인벤토리 작성자들은 다른 공장들로부터 얻어온 자료들의 불일치(예를 들면, 그들이 오류를 반영 했는지, 다른 측정 방법을 사용 했는지, 혹은 배출량에서 진짜 다른 결과가 나왔는지 아니면 운영 환경이나 기술에서)를 검토해야 한다. 이러한 것들은 측정된 공장의 환원제 양이나 보고된 공정 물질들의 탄소 함량에 특히 관련이 있다.

무역 자료를 이용할 수 있다면 인벤토리 작성자들은 공정 물질 소비량에 대해서, 수집된 공장 수준의 측정량들을 산업 합계와 비교해야 한다.

4.2.4.2 보고와 문서화

제1권 제6장의 6.11절에 기술된 대로 국가 배출량 인벤토리를 생산하는 데 필요한 모든 정보를 문서화하여 보관하는 것이 좋다. 국가 인벤토리 보고서에 모든 문서를 포함하는 것은 실용적이지 못

하다. 그러나 이 인벤토리에는 보고된 배출량 산정값이 투명하고 계산 과정이 다시 실행될 수 있도록, 사용한 방법의 요약본과 참조된 출처 자료를 포함시켜야 한다.

TIER 1 방법

측량된 배출량을 보고하는 외에, 공정 과정과 사용된 관련 배출계수에 의한 전체 강 생산과 아직 강으로 주조 되지 않은 생산된 철의 양을 보고 하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 해당 표에서, 보고된 배출량은 구역에서 나온 전체 배출량의 일부라는 사실에 주목해야 하고, 또한 코크스 생산 배출량들은 에너지 배출량으로써 분류되어 제2권 제2장, <에너지 부문의 고정 연소>에 보고되어야 한다.

TIER 2 방법

산정되거나 계산된 배출량들, 모든 활동도 자료, 그리고 그에 해당되는 배출계수와 모든 가정들 또는 대안적인 배출계수를 정당화하는 자료를 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 배출량의 이중산정 또는 누락이 일어나지 않았다는 것을 보여주기 위해, 통합 코크스 생산에 대한 배출원 카테고리 1A (연료 연소)와의 연계에 대한 명백한 설명이 있어야 한다.

TIER 3 방법

만일 자료가 민감한 사업이나 독점적 사업에 관련되어 있다면 특정 설비에 대한 자료의 기밀성을 보호할 필요성을 인식하면서, 모든 자료의 출처 및 계산된 배출량을 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 또한, 모든 Tier에 대해서 인벤토리 작성자들은 QA/QC 절차뿐만 아니라 산정 과정을 재실행할 수 있도록 모든 정보를 문서화해야만 한다.

4.3 합금철 생산

4.3.1 서론

합금철이란 실리콘, 망간, 크롬, 몰리브덴, 바나듐과 텅스텐과 같은 철과 하나 이상의 금속의 농축된 합금을 일컫는 용어이다. 실리콘 금속 제작 과정이 규소철 과정과 아주 유사하기 때문에 실리콘 금속 생산은 합금철 그룹에 보통 포함된다. 이 합금들은 산소를 제거하고, 강의 특성을 바꾸기 위해 사용된다. 합금철 공장 시설들은 강 생산 시설에 배달 되서 합금강에 섞일 농축된 혼합물을 만든다. 실리콘 금속은 전기 부품과 실리콘 생산을 위해서 알루미늄 합금에 사용된다. 합금철 생산은 방대한 이산화탄소 배출을 초래하는 야금적 환원(metallurgical reduction) 과정을 포함한다.

합금철 생산 시, 환원과 제련 공정을 위해 원석과 탄소 재료들과 슬래그들은 섞이고 높은 열로 가열된다. 탄소성 환원제는 보통 석탄과 코크스이지만 생물발생적 탄소(목탄(charcoal)과 나무)가 일반적으로 일차 또는 이차 탄소 배출원으로 사용된다. 코크스 생산에서 나온 이산환탄소(CO_2)와 메탄(CH_4) 배출량은 4.2절에서 산정되어지며 에너지 부문에서 보고되어야 한다. 전기 침수 아크 용광로(Electric submerged arc furnaces)는 흑연 전극 혹은 소모성 Søderberg 전극을 가지고 사용된다. 열은 전호 아크와 충전 물질의 저항에 의해 생산된다. 고로는 개방되거나 반쯤 개방되거나 완전히 폐쇄된다. 일반적으로 쓰이는 기술은 침수 아크 개방형 전기 용광로(submerged-arc open-top electric furnace, EAF)다. EAF에서는, 컵(cup) 모양의 내화 강 용기(refractory-lined steel shell)에 부유하는 흑연 전극을 통하여 흐르는 전류가 열을 발생시킨다. 금속 산화물의 탄소 환원은 흑연 전극과 코크스가 소모될 때 일어난다. 전극에 있는 원석이 용해된 염기성 금속으로 환원되는 동안, 전극에 있는 탄소는 CO를 생성하기 위해 금속 산화물로부터 산소를 포집한다. 그 후 금속 성분은 용액에 섞인다.

환원제와 전극으로부터 기인된 배출량에 더하여, 석회석이나 백운석과 같은 탄산염 플럭스의 소성(calcination)은 온실효과 가스의 배출에 기여한다.

강력한 환원 환경으로 인해, 폐쇄된 아크 용광로에서의 주요 배출은 CO_2와 반대로 거의 CO로 이루어져 있다. 여기서의 CO는 에너지 생산을 위해 보일러에서 이용되거나 또는 빛으로 환원되게 된다. 생산된 에너지는 현장에서 사용되고 CO의 탄소 함량은 연속적으로 공장 내 CO_2로 바뀌어진다고 가정한다.

개방되거나 반쯤 덮힌 고로에서 생산된 CO 가스는 충전 수준 상에서 CO_2로 연소된다. 대기로 배출된 CO는 며칠 내에 CO_2로 변환된다고 가정한다. 합금철 생산에서 나온 CO_2가 주된 온실가스이지만, 최근 연구에 따르면 CH_4와 N_2O가 규소철(FeSi)와 실리콘-금속(Si-metal) 생산으로부터 배출된 CO_2 배출량의 5%(등가)까지 차지한다. 방법론은 이 절에서 CO_2와 CH_4 배출량에 대해 제공된다. 이러한 배출들은 모든 합금철 생산에 대해서 잘 조사되어야 하고 이러한 배출량의 보다 많은 측정이 FeSi와 Si-metal 생산으로부터 실시되어야 한다.

4.3.2 방법론적 이슈

4.3.2.1 방법의 선택

CO_2에 대한 방법론

IPCC 가이드라인은 합금철 생산으로부터의 CO_2 배출량을 계산하기 위해 몇 개의 방식을 서술한다. 실용적 목적을 위해, 이 절에서는 배출된 모든 CO가 배출된 CO_2로 보고되는 물질 수지법을 채택한다. 그림 4.9에 나와 있듯이, 실행 방법의 선택은 국가 상황에 따라 달라진다. Tier 1 방법은 국가 전체 합금철 생산에 쓰이는 배출계수를 사용하여 배출량을 계산한다. Tier 1 방법은 아주 간단 하지만, 실제 자료가 아닌 가정에 의존하기 때문에 오류를 범할 수 있다. 따라서 합금철 생산이 중요한 카테고리가 아닐 때에만 쓰는 것이 적절하다. Tier 2 방법은 가급적이면 공장 고유의 소비 자료로부터, 환원제의 알려진 소비량으로부터 배출량을 계산하지만, 연소 배출량의 산정에 사용된 것과 유사한 배출계수를 사용하여 산업 전반에 걸친 자료로부터 대안적으로 배출량을 계산한다. Tier 3 방법은 공장 고유의 배출량 자료에 근거한다.

Tier 1 방법: 생산량에 기반한 배출계수

가장 간단한 측정 방법은 식 4.15에 나와 있는 합금철 생산 타입에 배출계수 기본값을 곱하는 것이다.

식 4.15

Tier 1 방식의 의한 합금철 제조에서부터의 CO_2 배출

$$E_{CO2} = \sum_i \left(MP_i \bullet EF_i \right)$$

여기서:

ECO_2 = CO_2 배출량, 톤

MP_i = 합금철 종류 i의 생산량, 톤

EFi = 합금철 종류 i에 대한 포괄적인 배출계수, 톤-CO_2/톤-특정 합금철 생산량

Tier 2 방법: 생산량에 기반한, 원료 고유의 배출계수

대안적인 접근법으로 환원제에 대해서 배출계수를 사용하는 것이 있다. 기타 원료와 제품들에 대해서 탄소 함량이 고려되어야 한다.

박스 4.1

이 절에 쓰인 단어/기호의 정의

모든 식에서, 함량은 가중 분율(weight-fraction) 이라고 정의한다.

$\sum$ 는 모든 i, h, j, k 혹은 l 의 총합이다

식 4.16

Tier 2 방법에 의한 합금철 제조에 대한 CO_2 배출량

$$E_{CO2} = \sum_i \left(M_{reducing\ agent,i} \bullet EF_{reducing\ agent,i}\right) + \sum_h \left(M_{ore,h} \bullet CContent_{ore,h}\right) \bullet \frac{44}{12} + \sum_j \left(M_{slag\ forming\ material,j} \bullet CContent_{slag\ forming\ material,j}\right) \bullet \frac{44}{12} - \sum_k \left(M_{product,k} \bullet CContent_{product,k}\right) \bullet \frac{44}{12} - \sum_l \left(M_{non-product\ outgoing\ stream,l} \bullet CContent_{non-product\ outgoing\ stream,l}\right) \bullet \frac{44}{12}$$

여기서:

ECO_2 = 합금철 생산에서 나온 CO_2 배출량, 톤

$M_{reducing\ agent,\ i}$ = 환원제 i의 무게, 톤

$EF_{reducing\ agent,\ i}$ = 환원제 I의 배출계수, CO_2 톤값/환원제의 톤값

$M_{ore,\ h}$ = h 원석의 무게, 톤

$CContent_{ore,\ h}$ = h 원석의 탄소 함량, 톤 C/tonne ore

$M_{slag\ forming\ material,\ j}$ = 슬래그 형성 물질, j의 양, 톤

$CContent_{slag\ forming\ material,\ j}$ = 슬래그 형성 물질, j 내 탄소 함량, 톤 C/톤 물질

$M_{product,\ k}$ = k 제품의 질량, 톤

$CContent_{product,\ k}$ = k 제품의 탄소 함량, 톤 C/톤 제품

$M_{non\text{-}product\ outgoing\ stream,\ l}$ = 비제품 방출 흐름(non-product outgoing stream), l의 질량, 톤

$CContent_{non\text{-}product\ outgoing\ stream,\ l}$ = 비제품 방출 흐름, l의 탄소 함량, 톤 C/tonne

상수값 44/12는 사용된 총 탄소의 각 질량단위로부터 CO_2 질량으로 환산하기 위한 계수이다.

Tier 3 방법: 질량 및 환원제의 분석에 근거한 계산식

생산자는 다른 함량의 재와 고정 탄소 및 휘발성 물질을 가진 석탄과 코크스를 사용한다. 또한, 탄산염 광석에 있는 탄소의 양과 슬래그 형성 물질의 양은 다양하다. 가장 정확한 방법은 환원제, 전극풀(electrode paste) ,원석, 슬래그 형성 물질, 그리고 제품 내의 탄소 총량으로부터 CO_2의 배출량을 계산하는 것이며, 이 계산은 생산되는 각 합금철에 대해 수행된다.

식 4.17

Tier 3 방식에 의한 합금철 제조로부터의 CO_2 배출

$$E_{CO2} = \sum_i \left(M_{reducing\ agent,i} \bullet CContent_{reducing\ agent,i}\right) \bullet \frac{44}{12} + \sum_h \left(M_{ore,h} \bullet CContent_{ore,h}\right) \bullet \frac{44}{12} + \sum_j \left(M_{slag\ forming\ material,j} \bullet CContent_{slag\ forming\ material,j}\right) \bullet \frac{44}{12} - \sum_k \left(M_{product,k} \bullet CContent_{product,k}\right) \bullet \frac{44}{12} - \sum_l \left(M_{non-product\ outgoing\ stream,l} \bullet CContent_{non-product\ outgoing\ stream,l}\right) \bullet \frac{44}{12}$$

여기서:

E_{CO2} = 합금철 생산에 기인한 CO_2 배출량, 톤

$M_{reducing\ agent,\ i}$ = 환원제 i의 무게, 톤

$CContent_{reducing\ agent,\ i}$ = 환원제 i의 탄소 함량값 , 톤 C/tonne reducing agent

$M_{ore,\ h}$ = h 원석의 무게, 톤

$CContent_{ore,\ h}$ = h 원석의 탄소 함량, 톤 C/톤 원석

$M_{slag\ forming\ material,\ j}$ = 슬래그 형성 물질, j의 질량, 톤

$CContent_{slag\ forming\ material,\ j}$ = 슬래그 형성 물질, j 내 탄소 함량, 톤 C/톤 물질

$M_{product,\ k}$ = k 제품의 질량, 톤

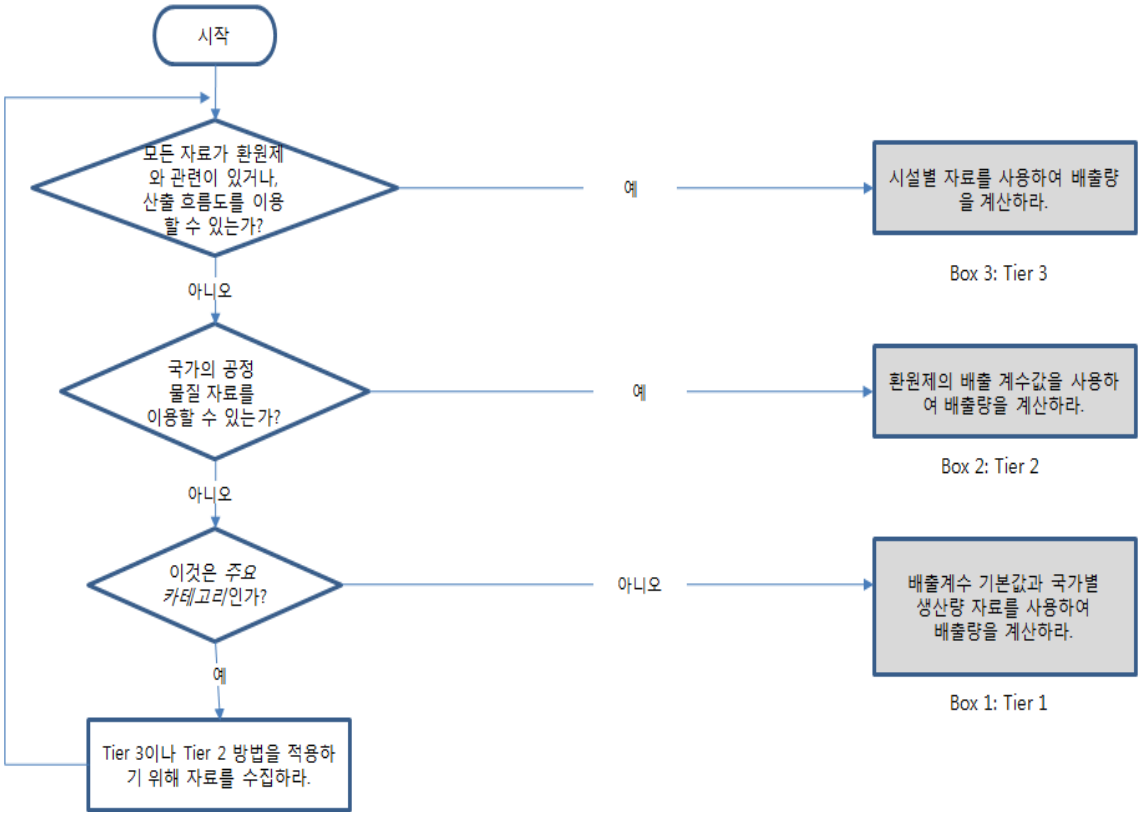
$CContent_{product,\ k}$ = k 제품의 탄소 함량, 톤 C/tonne product

$Mn_{on\text{-}product\ outgoing\ stream,\ l}$ = 비제품 방출 흐름 l의 질량, 톤

$CContent_{non\text{-}product\ outgoing\ stream,\ l}$ = 비제품 방출 흐름 l의 탄소 함량, 톤 C/tonne

상수값 44/12는 사용된 총 탄소의 각 질량단위로부터 CO_2 질량으로 환산하기 위한 계수이다. 만약 모든 환원제 내 총 탄소의 분석이 가능하다면, 이 식은 좋은 정확도를 가질 것이다.

그림 4.9 야금 합금철 생산으로 인한 CO_2 배출량 산정을 위한 의사결정도



주:
주 카테고리의 논의와 의사결정도 사용법을 위해 제1권 제 4장 <방법론 선택과 주 카테고리의 구체화>(제한된 자원에 대한 4.1.2절 참조)를 참고할 것.

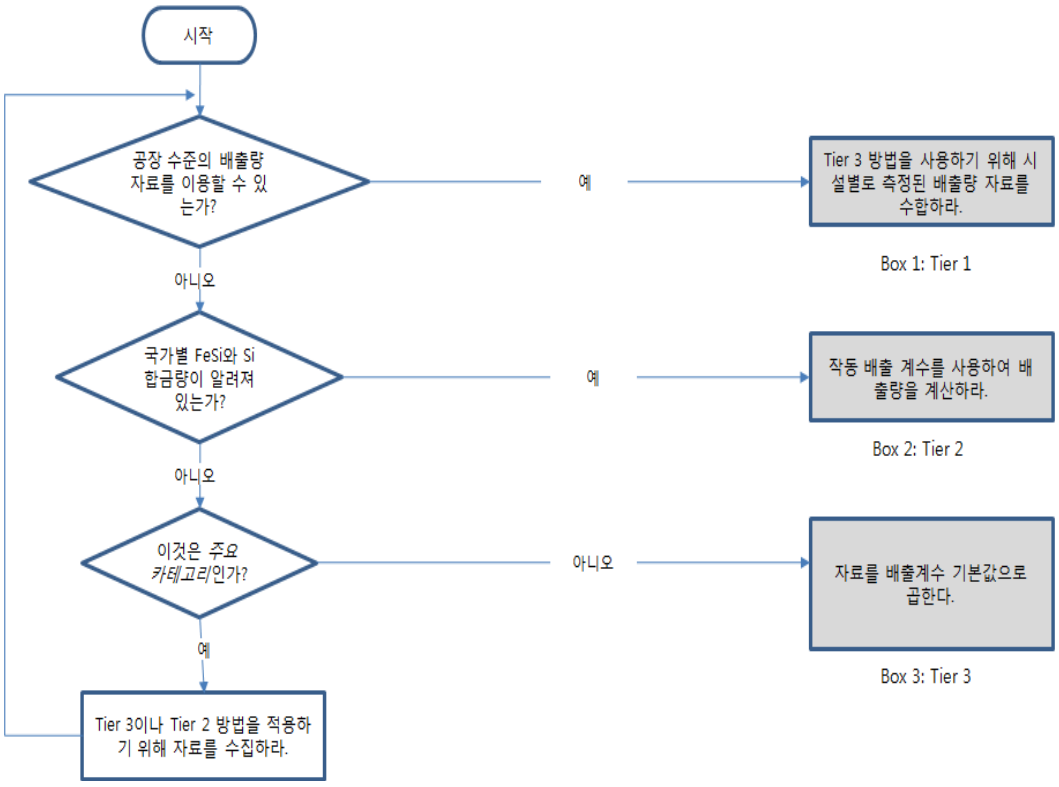
CH_4에 대한 방법론 및 N_2O 배출량의 논의

고로에 있는 탄소 물질들의 가열은 메탄을 포함한 휘발성 물질을 배출한다. 개방되거나 반쯤 덮힌 고로를 가지고 - FeSi 와 Si 합금철 생산을 위해 사용된- 대부분의 휘발성 물질은 후드와 배기가스 통로에서 충전지 위에서 CO_2로 태워지지만, 몇몇은 CH_4와 NMVOC처럼 반응하지 않은 물질로 남겨진다. 질량은 고로의 가동에 따라 다르다. 회차 충진(batch-wise charging)과 비교하면, 흩뿌림 충진(Sprinkle-charging)은 CH_4의 양을 감소시킨다. 후드 안에서의 온도 증가(less false air)는 CH_4의 양을 더 감소시킨다.

IPCC 안내서는 FeSi- 와 Si- 합금철 생산에서 기인한 CH_4 배출량을 계산하기 위해 몇 개의 방식을 서술한다. 그림 4.10에 나와 있듯이, 실행 방법의 선택은 국가 상황에 따라 달라진다. Tier 1 방법은 국가 전체 합금철 생산에 쓰이는 배출계수를 사용하여 배출량을 계산한다. Tier 1 방법은 아주 간단 하지만, 실제 자료가 아닌 가정에 근거하기 때문에 오류를 범할 수 있다. 따라서 합금철 생산이 중요한 카테고리가 아닐 때에만 사용하는 것이 적절하다. Tier 2 방법은 작동방식(operation) 고유의 배출계수로부터 배출량을 계산한다. Tier 3 방법은 시설 고유의 배출량 자료를 사용한다.

합금철 산업에서 기인한 N_2O 배출량의 측정 또는 산정에 관련된 오류는 매우 커서, 방법론이 제시되지 않는다.

그림 4.10 야금 합금철 생산으로 인한 CH_4 배출량 산정을 위한 의사결정도



주:
주 카테고리의 논의와 의사결정도 사용법을 위해 제1권 제4장 <방법론 선택과 중요 카테고리의 구체화>를 참고(절 4.1.2 제한된 자원 참조).

Tier 1 방법: FeSi와 Si 합금 생산량에 기반한 배출계수

가장 간단한 산정 방법은 Si-합금 제품 유형에 의해 배출계수 기본값을 곱하는 거다. 다음에 따르면 총 배출량의 계산은:

식 4.18
Tier 1 방식에 의한 합금철 제조에 기인한 CH_4 배출

$$E_{CH4} = \sum_i \left(MP_i \bullet EF_i \right)$$

여기서:

E_{CH4} = CH_4 배출량, kg
MP_i = Si-합금 제품, i의 생산량, 톤
EF_i = 일반적인 Si-합금, i에 대한 포괄적 배출계수, kg CH_4/톤 특정 Si-합금 제품

Tier 2 방법: FeSi 와 Si-합금 생산에 기반한, 작동(operation) 고유의 배출계수
Tier 2 방법도 배출계수에 근거하지만 Tier 1 방법과는 달리 작동 고유의 배출계수에 기인한다.

Tier 3 방법: 직접 측정
합금 산업이 중요한 카테고리이면, 인벤토리 작성자들은 CH_4 배출량을 측정하도록 권고된다.

4.3.2.2 배출계수의 선택

CO_2 배출계수

Tier 1 방법: 생산 기반을 둔 배출계수
가능한 자료가 국내 합금철 생산 통계자료뿐일 때, 기본 배출계수를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 그러나 합금 생산의 유형에 따라 계수가 달라지기 때문에, 어떠한 방법에 의해 얼마나 많은 톤이 생산되었는지를 결정한 후 표 457에 제시된 계수들과 적합한 생산량 톤의 곱을 더하는 것이 필수적이다. 이러한 계수들은 전문가의 판단을 기초로 합금 생산 시나리오의 전형적인 실행을 기본으로 한다. FeSi와 Si-금속 생산에 대한 일부 우드칩(woodchips)들을 제외한, 어떠한 생물발생적 탄소가 사용된다면, 이 계수를 활용할 수 없다.

표 4.5
합금철 생산(CO_2 (톤)/생산량 (톤))에 대한 포괄적인 CO_2 배출계수
(tonnes CO_2/tonne product)

합글철 종류	배출계수
합금철 45% Si	2.5
합금철 65% Si	3.6
합금철 75% Si	4.0
합금철 90% Si	4.8
망간철 (7% C)	1.3
망간철 (1% C)	1.5
Silicomangane	1.4
실리콘메탈	5.0
크롬철	1.3 (소결물 시설일때 1.6)
출처: IPCC (1997), IPCC (2000), Olsen (2004) and Lindstad (20004)	

이 기본 배출계수들은 마그네슘 합금에 대해서는 Olsen (2004)에 의해, 실리콘 합금에 대해서는 Lindstad(2004)에 의해, FeCr에 대해서는 Olsen, Monsen and Lindstad(1998)에 의해 평가되었다.

FeMn 합금 배출계수들은 산화석, 탄산염 광석, 수입된 Mn-소결물들의 혼합물인 Mn을 함유한 원재료 생산에 근거한다. 만약에 소결물이 외국에서 생산되면, 국내 온실가스 인벤토리에 영향을 주지 않는다. 소결물 생산에서 나온 배출량들은 생산된 곳에서 보고되어야 한다.

FeSi90과 Si-금속 계수는 SiO_2 환원에 필요한 화학 양론적 질량의 110%의 고정 C(Fix C) 소모량에

근거한다. 기타 FeSi-합금 계수는 고정 C의 화학 양론적 질량의 114%에 근거한다.

Tier 2 방법: 생산량에 기반한, 원료 고유의 배출계수

마그네슘과 실리콘 합금의 생산에 쓰인 환원제의 배출계수들은 표 4.6에서 주어진다. 이 계수들은 마그네슘 합금 생산에 대해서는 Olsen (2004)에 의해, 실리콘 합금에 대해서는 Lindstad(2004)에 의해 평가되었다.

표 4.6
합금철 생산(CO_2 (톤)/환원제 (톤))을 위한 CO_2 배출계수

환원제 (사용)	배출계수
석탄	3.1
석탄	*(아래 참조)
코크스	3.2-3.3
코크스	3.3-3.4
코크스	*(아래 참조)
Prebaked 전극	3.54
전극 페이스트	3.4
석유 코크스	3.5

*: 인벤토리 작성자들은 각각의 합급철 생산자들에 대한 석탄 그리고/또는 코크스의 평균 혼합치에 근거한 생산자 고유의 값을 사용하도록 권장된다.
출처: Olsen (2004), Lindstad (2004)

Tier 3 방법: 질량 및 환원제 분석에 기초한 계산식

Tier 3 방법에서는, 생산 과정에서 쓰인 환원제의 탄소 함량을 구하는 것을 필요로 한다. 그러나 대부분의 야금 생산자들은 재 및 휘발성 물질의 %에만 기초한 분석을 한다. 그리고 계산은:

Fix C % = 100 % – % Ash – % 휘발성물질.

이 경우, 환원제의 총 탄소 함량은 다음 식에 의해 계산된다.

식 4.19
합금철 환원제의 탄소 함량

$$CContent_{reducing\ agent,i} = F_{FixC,i} + F_{volatiles,i} \bullet C_v$$

여기서:

$CContent_{reducing\ agent,\ i}$ = 환원제 i의 탄소 함량, 톤 C/톤 환원제
$F_{FixC,i}$ = 환원제 i의 고정 탄소(Fix C)의 질량 비율, 톤 C/톤 환원제
$F_{휘발성물질,i}$ = 환원제 i의 휘발성물질의 질량 비율 , 톤 휘발성물질/톤 환원제
Cv = 휘발성물질의 탄소 함량, 톤 C/톤 휘발성물질
(다른 정보가 없다면, 석탄에서 Cv = 0.65이고 코크스에서는 0.80이다.)

CH_4에 대한 배출계수

Tier 1 방법: FeSi 및 Si 합급 생산에 기반한 배출계수

이용 가능한 자료가 국가 합금 생산 통계뿐일 때는, 기본 배출계수를 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 그러나 합금 생산의 유형에 따라 계수가 달라지기 때문에, 어떠한 방법에 의해 얼마나 많은 톤이 생산되었는지를 결정한 후 표 4.7에 제시된 계수들과 적합한 생산량 톤의 곱을 더하는 것이 필수적이다. CH_4에 대한 기본 배출계수는 1995년과 1998년(FFF(2000))에 주로 SINTEF 및 DNV에 의해 수행된 작동(operation) 고유 측정치의 적은 숫자의 평균값(Tier 2에 대해서 표 4.7에 제시된)에 근거한다.

표 4.7
CH_4 배출계수 기본값(CH_4 (kg) /생산량 (톤))

배출	합금	배출계수
CH_4	Si-금속	1.2
	FeSi 90	1.1
	FeSi 75	1.0
	FeSi 65	1.0
출저 :FFF(2000)		

Tier 2 방법: FeSi 와 Si 합금 생산량에 기반한, 작동(operation) 고유 배출계수

Tier 2 방법도 배출계수에 근거하지만, Tier 1 방법과는 달리 작동 고유의 배출변수에 근거한다. 표 4.8에 제시된 값을 사용하여, 식 4.18에 서술되어 있는 것처럼 과정은 똑같다.

표 4.8
CH_4 배출계수(CH_4 (kg) /생산량 (톤))

배출	합금	로 작동 방식		
		회차 충진 Batch-charging	흩뿌림 충진 Sprinkle-charging[1)]	흩뿌림 충진 그리고 750°C 이상 Sprinkle-charging and >750°C [2)]
CH_4	Si-금속	1.5	1.2	0.7
	FeSi 90	1.4	1.1	0.6
	FeSi 75	1.3	1.0	0.5
	FeSi 65	1.3	1.0	0.5

[1] 흩뿌림 충진은 매분마다 간헐적으로 충진된다.
[2] 열전대(thermocouple)가 로 후드(furnace hood) 내 연소 과정을 볼 수 없을 때, 배기가스 통로에서 측정된 온도.

Tier 3 방법: 직접 측정

Tier 3은 배출계수에 의존하는 것과는 달리 측정값에 의존한다. 인벤토리 작성자는 제1권 2장에

설명된 공장 고유의 측정값에 대한 가이드라인과 제1권 6장의 측정값의 QA/QC를 참고해야만 한다.

4.3.2.3 활동도 자료의 선택

TIER 1 방법

Tier 1 방법은 국가에서 생산된 제품 종류에 따른 합금철의 양만 요구한다. 이러한 정보들은 제조 통계치, 비즈니스 또는 산업 무역 조합(industry trade association)에 책임이 있는 공무원 혹은 개별의 합금철 야금 회사에서 구할 수 있다. 이러한 양은 이 부문으로부터의 CO_2 배출량을 산정하기 위해 표 4.5에 있는 배출계수 값과 곱해지고, 또한 이 부문으로부터의 CH_4 배출량을 산정하기 위해서는 표 4.7을 사용한다.

TIER 2 방법

Tier 2 방법은 국가에서 야금철 생산을 위해 쓰인 환원제와 기타 공정 물질들의 총량과 과정에서 쓰인 지식을 요구한다. 이러한 정보들은 통계치, 비즈니스 또는 산업무역협회에 책임이 있는 공무원 혹은 개별의 합금철 야금 회사에서 구할 수 있다. 이 양들은 이 부문으로부터의 CO_2와 CH_4의 배출량을 결정하기 위하여 표 4.6과 4.8에 제시된 적합한 포괄적 배출계수들로 곱해지고 더해진다. 그러나 공장 수준에서 활동도 자료가 더 좋다.

TIER 3 방법

Tier 3 방법은 시설 고유의 배출량 자료의 수집, 편집, 그리고 통합을 필요로 한다. 이러한 자료들은 회사들로부터 직접 받을 수 있다.

4.3.2.4 완전성

이 배출원 카테고리에 기인하는 배출량 산정에서, 산업 공정 또는 에너지 부문 중 하나에서 이중 계산되거나 누락될 위험이 있다. 탄소 배출원의 일차적 사용(석탄, 코크스, 석회석, 백운석 등)이 합금철의 생산이 목적이므로, 배출량은 산업 공정 배출량으로 간주되고 보고되어야 한다. 특히, Tier 1방법에 대해서 특별히 이중 산정의 위험이 높다는 것을 주의해야 한다. 산업 공정으로부터 기인한 것으로써 보고된 배출량 편차는 명백하게 인벤토리에 언급되어야 하고, 이중 산정/완전성 확인이 반드시 수행되어야 한다.

4.3.2.5 일관성 있는 시계열 개발

야금철에서 생산된 배출량은 매년 똑같은 방법으로 시계열로 계산되어야 한다. 시계열의 모든 해에 대해 Tier 3 방법을 사용할 수 있는 자료를 이용할 수 없을 때에는, 이 차이는 제1권 5장에 제시된 지침을 따라서 재계산되어야 한다.

4.3.3 불확도 평가

야금철 생산에 대한 불확도는 주로 활동도 자료에 연관된 불확도로부터 기인하고, 그보다 덜 중요하게는 배출계수에 연관된 불확도에 기인한다. 일부 야금철은 탄소 공급원으로써 나무 또는 기타 바이오매스를 사용하여 생산될 수 있다 할지라도, 이러한 실행에 관한 정보와 자료는 이용가능하

지 않다. 나무나 바이오매스에서 나온 탄소는 생물 기원 물질이기 때문에 야금철에 기인한 배출량은 이 배출원 하에서 산정되지 않는다. 원료탄(coking coal)이나 흑연석(graphite)을 사용하여 만들어진 야금철에서 나온 배출량은 국가 경향에서 계산되지만, 석유 코크스 사용에 비해서 야금철 생산 단위당 각기 다른 양의 CO_2를 배출할 수 있다.

4.3.3.1 배출계수의 불확도

Tier 3 방법에서는 실제 배출량 자료는 5% 미만의 불확도를 지닌다고 기대된다. Tier 2 방법에서는 재료 고유 배출계수는, Tier 1 보다 더 적은 전체 불확도를 제공하는 10% 미만의 불확도를 가질 거라고 기대한다. 만약 공장별 탄소 함량 자료를 구할 수 있다면, 배출계수는 10% 이내 혹은 5% 미만일 거라고 기대할 수 있다. Tier 1에서 쓰이는 배출계수 기본값은 25~50%의 불확도를 가진다.

4.3.3.2 활동도 자료의 불확도

Tier 1에서 가장 중요한 활동도 자료는 제품 유형에 의한 야금철 생산량이다. 국가 통계값이 이용가능해야 하고, 5% 이하의 불확도를 가질 확률이 높다. Tier 2 방법에 적용된 것처럼, 환원제의 양 및 공정 물질에 대한 공장 고유의 정보를 가진 Tier 2는 5%의 불확도를 초과해서는 안 된다.

표 4.9
불확도 범위

방법	자료 출처	불확도 범위
Teir 1	국내 생산 자료	<5%
	배출계수 기본값	<25%
Tier 2	회사가 구한 환원제값 & 공정 재료	< 5%
	국내 환원제값 & 공정 재료 자료	< 5%
	회사별 배출계수	< 5%
	원료별 기본 배출계수	< 10%
Tier 3	개별 회사가 측정한 CO_2자료	<5%

4.3.4 품질보증(QA)/품질관리(QC), 보고 및 문서화

4.3.4.1 품질보증(QA)/품질관리(QC)

제1권 6장에서 개관한 것처럼, 배출량 측정값에 대한 품질관리 점검과 전문가 검토를 실시하는 것이 좋다. 특히 배출원 카테고리로부터의 배출량을 구하기 위해 더 높은 Tier 방법이 사용된다면, 제1권 제6장에서 개관한 추가적인 품질관리 및 품질보증을 적용해야 한다. 제 1권 제 4장에서 밝혔듯이, 인벤토리 작성자는 중요한 카테고리에 대해서는 더 높은 tier의 품질보증(QA)/품질관리(QC)를 사용하도록 권장된다.

제 1권의 지침에 더불어, 이 배출원 카테고리와 연관된 특정 절차는 아래에 약술된다.

배출계수의 검토
국가 값이 IPCC 기본값보다 상대적으로 더 합리적이라면, 인벤토리 작성자는 수집된 국가 배출계수들을 IPCC 기본 변수들과 비교해야 한다. 특히 국가 기본값들이 다른 상황을 대표한다면, 국가 계수와 기본(default) 계수들의 차이는 설명되어야 하고 문서화되어야 한다.

현장 고유의 활동도 자료 검사
현장 고유의 자료에 대해서, 인벤토리 작성자들은 지역들 사이에 있는 자료의 불일치들을(예를들면, 그들이 오류를 반영 했는지, 다른 측정 방법을 사용 했는지, 혹은 배출량에서 진짜 다른 결과가 나왔는지 아니면 운영 환경이나 기술에서) 검토해야 한다. 야금철 생산에 대해서는, 인벤토리 작성자들은 다른 공장의 자료들과 비교를 해야 한다.

인벤토리 작성자는 배출계수들과 활동도 자료가 국제적으로 알려지고 증명된 측정 방법들을 통해 개발되었다는 것을 확신해야한다. 만일 측정 실행들이 이 기준을 통과하지 못하면, 이 배출 자료들의 사용과 활동도 자료들은 주의 깊게 평가해야 되고, 불확도 산정값은 다시 고려되어져야 하며 자격 조건은 문서화되어야 한다. 높은 수준의 측정 방법이 있고 QA/QC가 대부분의 지역에 서 적절히 존재한다면, 배출량 불확도는 하향 조정 될 수 있다.

전문가의 검토
인벤토리 작성자는 검토 과정에서 제철 생산과 관련이 있는 주요한 산업 무역 조직들을 포함해야 한다. 검토과정은 방법 및 자료의 획득의 검토와 개발에 대한 입력 자료를 제공하기 위하여, 인벤토리 개발 과정 초기에서부터 착수되어야 한다.

제 3자의 검토는 초기 자료수집, 측정, 사본, 계산 그리고 문서화에 관련이 있는 배출원 카테고리에 유용하다.

활동도 자료의 검토

모든 Tier 수준에서, 인벤토리 작성자는 환원제와 공정 물질(연탄, 코크스, 천연가스 등)로부터 나온 배출량들이 이중 산정되거나 누락되지 않았는지를 확신하기 위해서, 제 2권 2장 <에너지 부문의 고정 연소>를 참조하여 검토해야 한다.

인벤토리 작성자들은 다른 공장들로부터 얻어온 자료들의 불일치(예를 들면, 그들이 오류를 반영 했는지, 다른 측정 방법을 사용 했는지, 혹은 배출량에서 진짜 다른 결과가 나왔는지 아니면 운영 환경이나 기술에서)를 검토해야 한다. 이러한 것들은 측정된 공장의 환원제 양이나 보고된 공정 물질들의 탄소 함량에 특히 관련이 있다.

무역 자료를 이용할 수 있다면 인벤토리 작성자들은 공정 물질 소비량에 대해서, 수집된 공장 수준의 측정량들을 산업 합계와 비교해야 한다.

4.3.4.2 보고와 문서화

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

서화하여 보관하는 것이 좋다. 국가 인벤토리 보고서에 모든 문서를 포함하는 것은 실용적이지 못하다. 그러나 이 인벤토리에는 보고된 배출량 산정값이 투명하고 계산 과정이 다시 실행될 수 있도록, 사용한 방법의 요약본과 참조된 출처 자료를 포함시켜야 한다.

TIER 1 방법

산정된 배출량을 보고 하는 외에, 공정 과정과 사용된 상응 배출계수에 의해 생산된 야금철의 양을 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 해당 표에서는, 보고된 배출량은 해당 부문에서 나온 전체 배출량의 일부라는 사실에 주목해야 하고, 또한 나머지들은 제2권 제2장, <에너지 부문의 고정 연소>에서 보고되어야 한다.

TIER 2 방법

산정되거나 계산된 배출량들, 모든 활동도 자료, 그에 상응하는 배출계수와 모든 가정들 대안적인 배출계수를 정당화하는 자료를 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 배출량의 이중산정 또는 누락이 일어나지 않았다는 것을 보여주기 위해, 연료 연소의 하부 부문에 관련된 자세한 설명이 있어야 한다.

TIER 3 방법

만일 자료가 민감한 사업이나 독점적 사업에 관련되어 있다면 특정 설비에 대한 자료의 기밀성을 보호할 필요성을 인식하면서, 모든 자료의 출처 및 계산된 배출량을 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 또한, 모든 Tier에 대해서 인벤토리 작성자들은 QA/QC 절차뿐만 아니라 산정 과정을 재실행할 수 있도록 모든 정보를 문서화해야만 한다.

4.4 일차 알루미늄 생산

4.4.1 서론

이 절에서는 일차 알루미늄 생산에 기인한 공정 배출을 다룬다[2]. 세계적으로, 일차 알루미늄 생산은 오직 Hall-Heroult 전해질(electrolytic) 방식으로 생산된다. 이 과정에서, 전해질 환원조(electrolytic reduction cells)는 형태, 탄소 전극의 구성과 알루미늄 공급 체계가 다르고 네 개의 기술 종류들Centre-Worked Prebake (CWPB)[3], Side-Worked Prebake (SWPB), Horizontal Stud Søderberg (HSS) and Vertical Stud Søderberg (VSS) 중에 하나에 속한다.

가장 주요한 공정 배출은:

(i) 산화 알루미늄을 알루미늄 금속으로 전환시키기 위하여, 반응에서의 탄소 전극의 소비로부터의 이산화탄소(CO_2) 배출;

(ii) 양극 효과 동안 CF_4 및 C_2F_6의 Perfluorocarbons (PFCs) 배출

또한, 더 적은 양의 공정 배출, CO, SO_2, 그리고 NMVOC도 배출된다. SF_6는 전기 분해 과정에서 배출되지 않고, 고농도 마그네슘 알루미늄 합금들을[4] 녹일 때 적은 양이 배출이 되는 알루미늄 주조 과정에서 아주 가끔씩 쓰인다.

표 4.11와 표 4.12에 있는 의사결정도는 알루미늄 생산에서 기인하는 배출량 측정 방법론을 선택하는 것에 대한 지침을 제공한다. 국가의 모든 알루미늄 생산 인벤토리 작성자들은 최소 수준의 Tier 1 방법에서 실행 가능해야 하고 보고서 작성의 완성도를 높여야 한다. 이 장은 기본 배출계수들을 제공하지만, 배출량은 상황에 따라 매우 달라지며 Tier 1 계수의 불확도 또한 매우 높기 때문에 해당 국가에서는 노력을 해서 더 높은 수준의 Tier 방법들을 써야 한다. 알루미늄 제조업자들은 일상적으로 Tier 2 배출계수들의 계산식을 위해 필요한 공정 자료들을 모은다.

4.4.2 방법론적 이슈

4.4.2.1 일차 알루미늄 생산 과정에서의 CO_2 배출량에 대한 방법론의 선택

보통의 작업에서는 알루미늄은 음극에서 생산되어지고 탄소는 전기분해 환원 반응을 할 때마다 양극에서 소모된다:

$$2Al_2O_3 + 3C \rightarrow 4Al + 3CO_2$$

대부분의 이산화탄소 배출량은 알루미늄 (Al_2O_3)에 가하는 전해질 반응의 탄소 양극으로부터 나온

[2] 일차 알루미늄 생산, 보크사이트 광업, 보크사이트 광석 정련과 재활용에서 나온 알루미늄 생산들을 위해 쓰인 화석 연료의 배출량은 Volume 2: 에너지에서 다룬다. 알루미늄 생산을 위해 연소된 화학 연료의 전기 생산과 관련된 이산화탄소 배출량은 Volume 2: 에너지에서 다룬다.

[3] Point Feed Prebake 와 Bar Broken Prebake cells 포함된다.

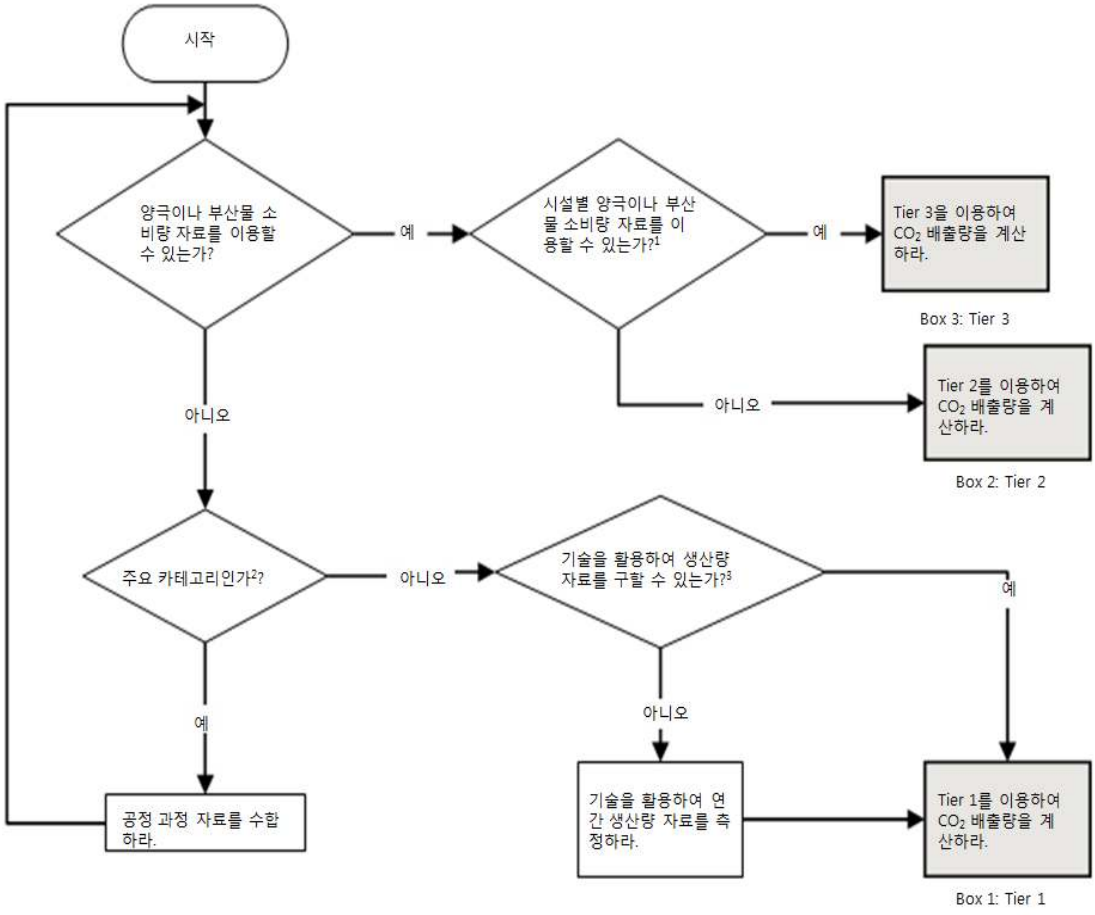
[4] 2004년도 IAI 조사에서는 Hall-Heroult 전기 생산과 통해서 SF6가 초기 알루미늄를 녹일때 방출 된다는 증거를 찾지 못했다.

다. Prebaked 탄소 양극과 S Ø derberg 페이스트(paste)의 소모는 일차 알루미늄 생산으로부터의 이산화탄소 배출과 연관된 기본적인 배출원이다. Prebaked 탄소 양극과 관련이 있는 이산화탄소 배출에 관련된 기타 공정 배출원은, 이산화탄소 배출량과 관련이 있는 총 비에너지(non-energy)의 10% 미만을 설명한다.

이산화탄소 배출을 주도하는 반응식들은 잘 알려져 있으며, 배출량은 탄소 양극에서의 알루미나 환원 및 열적 과정(thermal process)으로부터의 산화에 대한 기초적 전기화학 식을 통하여, 생산된 알루미늄의 양(톤)과 직접적으로 연관되어 있다. 이산화탄소를 생산하는 이러한 기초적 과정 모두는, 생산 설비에서 주기적으로 관측되는 공정 변수, Prebake 시설에 대한 순 양극 탄소(net anode carbon) 소비량, 또는 S Ø derberg 시설에 대한 양극 페이스트(paste) 소비량에 포함된다.

CO_2 배출량 계산을 위해서, 생산 자료는 S Ø derberg 혹은 Prebake의 기술 차별화를 필요로 한다. S Ø derberg 또는 Prebake 기술의 개별적 유형 구분을 위해서는 더 이상 기술 차별화 작업이 필요하지 않다. 표 4.11에서 제시된 의사결정도는, 국내 상황에 따라 적합한 CO_2 인벤토리 방법론을 선택하는 데 있어 *우수실행(good practice)*을 서술한다.

그림 4.11 1차 알루미늄 생산으로 인한 CO_2 배출량 계산을 위한 의사결정도



참조:

1. 국제 알루미늄 협회, 알루미늄 부문에서의 온실가스 의정서, 2005.

2. 중요 카테고리의 논의와 의사결정도 사용법을 위해 제 1권 4장, 방법론 선택과 중요 카테고리의 구체화를 참조하여라(절 4.1.2 제한된 자원 참조).
3. CO_2 배출식에서, 생산 자료는 S⌀derberg 혹은 Prebake의 기술 차별화를 필요로 한다. S⌀derberg 또는 Prebake 기술의 개별적 유형 구분을 위해서는 더 이상의 기술 차별화 작업이 필요하지 않다.

CO_2 배출에 대한 Tier 1 방법

CO_2 배출량을 계산하는 Tier 1방법은 알루미늄 생산에 기인한 낮은 단계인 CO_2 배출량을 계산할 때 광범위한 전지 기술(broad cell technology)의 특징들(Prebake 또는 S⌀derberg)을 사용한다. Tier 1 방법과 연관된 불확도에 대해서, 일차 알루미늄으로부터의 CO_2 배출이 주요한 카테고리라면 더 높은 Tier 방법들을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

식 4.20에 따르면, 총 CO_2 배출량은 이렇게 계산된다.

식 4.20
양극 그리고/또는 페이스트(paste) 소비로부터의 CO_2 배출량(Tier 1)

$$E_{CO2} = EF_P \bullet MP_P + EF_S \bullet MP_S$$

여기서:

E_{CO2} = 페이스트 소비(paste consumption) 그리고/또는 양극으로부터의 CO_2 배출량, 톤 CO_2
EFP = Prebake 기술 개별 배출계수 (톤 CO_2/tonne aluminium produced)
MPP = Prebake 공정을 통한 금속 생산량 (톤 Al)
EFS = S⌀derberg 기술 개별 배출계수 (톤 CO_2/tonne aluminium produced)
MPS = S⌀derberg 공정을 통한 금속 생산량(톤 Al)

CO_2 배출량을 위한 Tier 2 혹은 Tier 3 방법들

Prebake 와 S⌀derberg 공정은 모두 순수 양극 소비와 페이스트 소비(paste consumption)의 탄소 함량이 모두 CO_2로 배출된다는 가정 하에, 물질수지법을 사용하여 CO_2 배출량을 계산한다. Prebake와 S⌀derberg 공정의 Tier 2 방법들은 산업의 기본적인 불순물 값을 사용하는 반면에 Tier 3 방법들은 실제 불순물 농도를 사용한다. 각각의 공장에서 양극이나 페이스트 소비량 자료를 이용할 수 있느냐에 따라, Tier 2와 Tier 3 방법의 사용 여부가 달라진다.

Prebake 전지(cells)를 위한 CO_2 배출량 (CWPB와 SWPB):

식 4.21에 따르면, Prebake 전지에 대한 Tier2와 Tier 3 방법의 CO_2 배출량은 다음과 같이 계산된다. Tier 3은 식 4.21에 쓰이는 모든 요소들에 대한 공장별 자료가 필요하지만 Tier 2는 몇몇의 요소들은 기본값으로 사용한다. 4.4.2.2 절은 사용되는 변수들에 대해서 보다 자세한 설명을 제공한다.

식 4.21
Prebaked 양극 소비로부터의 CO_2 배출 (Tier2 와 Tier3 방법)

$$E_{CO2} = NAC \bullet MP \bullet \frac{100 - S_a - Ash_a}{100} \bullet \frac{44}{12}$$

여기서:

E_{CO2} = prebaked 양극 소비에 기인한 CO_2 배출량, 톤 CO2
MP = 전체 금속 생산량, 톤 Al
NAC = 알루미늄 1톤당 순 prebaked 양극 소비량, 톤 C/ tonne Al
Sa = baked 양극에 있는 유황 함량, wt %
Asha = baked 양극에 있는 재(ash) 함량, wt %
44/12 = CO_2 분자량: 탄소 원자 질량 비율, 무단위

식 4.21은 국가 내 각 Prebake 제련 공장에 적용되고 총 국내 배출량에 도달하기 위해 더해진다. 만약에 재나 유황 함량에 관련된 자료를 각각의 제련 공장에서 이용할 수 없다면 Tier 2/3을 혼합해서 사용 하는 것이 가능하다.

baked 양극의 생산에 쓰인 화석 연료 연소에서 나온 배출량은 제 2권: 에너지에서 다루어진다. 하지만, CO_2 배출량의 다른 두개의 배출원이 anode baking로에 관련이 있다면- baking 가동 와 baking로 패킹 물질의 연소(코크스) 동안에, 휘발성 물질의 연소량이 배출된다. 식 4.22와 4.23은 이러한 배출량을 계산하기 위해 사용된다.[5]

식 4.22
피치(Pitch) 휘발성 물질 연소에서의 CO_2 배출 (Tier2 와 Tier3 방법)

$$E_{CO2} = \left(GA - H_w - BA - WT\right) \bullet \frac{44}{12}$$

여기서:

E_{CO2} = pitch 휘발성물질 연소에서 나온 CO_2배출량, 톤 CO_2
GA = green anodes 의 처음 무게, 톤
H_w = green anodes 의 수소 함량, 톤
BA = baked anode 생산량, 톤
WT = 수집된 타르 폐기물, 톤

식 4.23
bake로 포장재에서의 CO_2 배출 (Tier2 와 Tier3 방법)

$$E_{CO2} = PCC \bullet BA \bullet \frac{100 - S_{pc} - Ash_{pc}}{100} \bullet \frac{44}{12}$$

여기서:

E_{CO2} =bake로 포장재에서 나온 CO_2 배출량 , 톤 CO_2
PCC = 포장 코크스 소모량, 톤/톤 BA
BA = baked anode 생산량, 톤

[5] 휘발성 물질의 연소combustion of volatile matter에 나온 배출량들을 측정 하는 계산식의 응용에 대해 더 많은 정보를 원한다면, IAI 온실가스 협안(2006)를 참조.

S_{pc} = packing coke의 유황 함량, wt %
Ash_{pc} = packing coke의 재(ash) 함량, wt %

Søderberg cells (VSS 와 HSS)의한 CO_2 배출량:

Søderberg cells의한 Tier 2와 Tier 3방법의 CO_2 배출량 식 4.2에 따라 계산된다. Tier 3은 식 4.24에 쓰이는 모든 요소들의 공장의 개별 자료가 필요하지만 Tier 2는 몇몇의 요소들은 기본값을 쓴다. 4.4.2.2 절은 사용되는 변수들에 대해서 더 자세한 설명을 제공한다.

식 4.24[6]

페이스트 소비(paste consumption)에서의 CO_2 배출량 (Tier2 와 Tier3 방법)

$$E_{CO2} = \left(PC \bullet MP - \frac{CSM \bullet MP}{1000} - \frac{BC}{100} \bullet PC \bullet MP \bullet \frac{S_p + Ash_p + H_p}{100} - \frac{100 - BC}{100} \bullet PC \bullet MP \bullet \frac{S_c + Ash_c}{100} - MP \bullet CD \right) \bullet \frac{44}{12}$$

여기서:

E_{CO2} = 페이스트 소비로부터의 CO_2 배출량, 톤 CO_2
MP =전체 금속 생산량, 톤 Al
PC = 페이스트(paste) 소비량, 톤/tonne Al
CSM =사이클로헥산 용해 물질의 배출량, kg/tonne Al
BC = 페이스트에서의 접착제 교결제 함량, wt %
S_p = pitch의 유황 함량, wt %
Ash_p =pitch의 ash 함량, wt %
H_p = pitch의 수소 함량, wt %
S_c = calcined 코크스의 유황 함량, wt %
Ash_c = calcined 코크스의 재 함량, wt %
CD = Søderberg cells에서 나온 skimmed dust의 탄소 , 톤 C/톤 Al
44/12 = CO_2 분자량: 탄소 원자 질량 비율, 무단위

식 4.24는 국가에 있는 Søderberg 공정을 사용하는 각각의 제련 공장에서 적용되고 총 국내 배출량에 도달하기 위해 더해진다. 만약에 재나 유황 함량의 자료를 각각의 제련 공장에서 이용할 수 없다면 Tier 2/3을 혼합해서 사용하는 것이 가능하다.

4.4.2.2 일차 알루미늄 생산 공정에서의 CO_2 배출계수 선택 방법

CO_2 배출량을 계산하기 위한 Tier 1 방법

표 4.10은 알루미늄 1톤당 CO_2 기본 배출계수를 나열한다. Prebake와 Søderberg 기술에 대한 배출계수의 1.6과 1.7은 국제 알루미늄 협회(IAI) 세계 설문자료 (국제 알루미늄 협회, Life Cycle Assessment of Aluminium , 2000)에 근거한다.

[6] 수용되는 대안 방식으로는, 식 4.24로부터 Sp, Hp, Ashp와 CSM에 대한 측정값 또는 기본값을 감해주는 것 대신에 'pitch coking'의 매개변수를 사용하는 것이다. pitch coking 값은 Søderberg cells와 더불어 많은 시설에 대해서 흔히 결정되는 변수이며, pitch coking 테스트를 수행하기 위한 표준 방법은 ASTM D2416에 서술되어 있다.

표 4.10 페이스트 소비나 양극에서부터의 이산화탄소 계산을 위한 Tier1 기술별 배출계수[7]		
기술	배출계수 (tonnes CO_2/tonne Al)	불확도(+/-%)
Prebake	1.6	10
Soderberg	1.7	10
출처: 국제 알루미늄 협회, Life Cycle Assessment of Aluminium (IAI, 2000)		

CO_2 배출량에 대한 Tier2 혹은 Tier 3의 배출계수들

Prebake cells의 CO_2 (CWPB 와 SWPB):

식 4.21에서 가장 중요한 계수들은 Prebake technology을 위한 금속 생산량과 순 양극 소비량이다. 이 두개의 변수들은 Tier 2 혹은 Tier 3을 사용하기 위해 개별의 공장에서 수집되어야 한다. 식에 있는 기타 변수들은 양극의 비탄소(non-carbon) 성분에 대해 사소한 조정을 하므로(예를들면, 유황이나 ash) 그리 중요하지는 않다. Teir 2가 표 4.11에서 표 4.13까지에 나열되어 있는 기본값에 근거하는 반면, Teir 3는 이러한 사소한 성분에 대한 특정 작동 설비 자료의 사용에 근거한다. Tier 3는 결과의 정확성을 높이지만, 정확성의 향상이 5%를 넘지 못한다. 알루미늄 1톤당 탄소 소모는 경제적 중요성을 지닌 일차 알루미늄 시설들에 의해 주로 기록된다. prebake cells을 사용하는 시설들은 이러한 소모를 '순 양극 혹은 순 탄소 소비량(net anode 또는 net carbon consumption)'이라고 칭하고, Søderberg cells을 사용하는 시설들은 이러한 소모를 '양극 페이스트(anode paste) 소비'라고 칭한다.

[7] Prebake cells의 배출계수는 combustion of pitch 휘발성물질 와 packing coke from baking anodes로 나온 CO_2 배출량을 포함한다.

표 4.11
prebake cells(CWPB와 SWPB)로부터의 CO_2 배출량을 위한 Tier 2와 Tier3 방법에 사용된 변수들에 대한 자료 출처 및 불확도, 식 4.21 참조

매개변수	Tier 2 방법		Tier 3 방법	
	자료 출처	불확도 (+/-%)	자료 출처	불확도 (+/-%)
MP: 총 금속 생산량 (tonnes aluminium per year)	개별 시설 기록	2	개별 시설 기록	2
NAC: 알루미늄 1톤당 총 양극 소비량 (tonnes per tonne Al	개별 시설 기록	5	개별 시설 기록	5
S_a: 양극의 유황 함량 (wt %)	산업의 전형적인 값, 2 이용	50	개별 시설 기록	10
Ash_a: 양극의 먼지 함량 (wt %)	산업의 전형적인 값, 0.4 이용	85	개별 시설 기록	10
출처: IAI (2005b)				

표 4.12
피치 휘발성물질 연소(CWPB 와 SWPB)로부터의 CO_2 배출량을 위한 Tier 2와 Tier3 방법에 사용된 변수들에 대한 자료 출처 및 불확도 매개변수, 식 4.22 참조

매개변수	Tier 2 방법		Tier 3 방법	
	자료 출처	불확도 (+/-%)	자료 출처	불확도 (+/-%)
GA: green anodes 공정의 처음 무게 (tonnes green anode per year)	개별 시설 기록	2	개별 시설 기록	2
H_w: green anode 수소 함량 (tonnes)	산업의 전형적인 값 이용, 0.005 • GA	50	개별 시설 기록	10
BA: Baked 양극 생산량 (tonnes per year)	개별 시설 기록	2	개별 시설 기록	2
WT: 타르 폐기물 총량 (톤) a) Riedhammer로 b) 모든 기타로	산업의 전형적인 값 이용, 0.005 • GA	50	개별 시설 기록	20
출처: IAI (2005b)				

표 4.13
bake로 포장 물질(CWPB 와 SWPB)로부터의 CO_2 배출 식에 대한한 Tier 2와 Tier3의 자료 출처 및 불확도 매개변수, 식 4.23 참조

매개변수	Tier 2 방법		Tier 3 방법	
	자료 출처	불확도 (+/-%)	자료 출처	불확도 (+/-%)
PCC: 포장 코크스 소비량 (tonnes per tonne BA)	산업의 전형적인 값 이용 ,0.015	25	개별 시설 기록	2
BA: Baked 양극 생산량 (tonnes per year)	개별 시설 기록	2	개별 시설 기록	2
S_{pc}: 포장 코크스의 유황 함량 (wt %)	산업의 전형적인 값 이용 ,2	50	개별 시설 기록	10
Ash_{pc}: 포장 코크스의 먼지 함량 (wt %)	산업의 전형적인 값 이용 ,2.5	95	개별 시설 기록	10

출처: IAI (2005b)

Søderberg cells의 CO_2 배출량 (VSS 와 HSS):

페이스트(paste)에 들어 있는 접착제 함량, BC는 1% 미만으로 변하고 이는 시설에 의한 실제 운영의 부분이다. 접착제처럼 작용하는 pitch의 탄소 함량은 남은 페이스트를 구성하는 pitch의 코크스 함량보다 낮기 때문에, 식 4.24에서는 중요한 변수이다. Prebake 양극 소비에서 언급된 것처럼, 식 4.24에서 가장 중요한 변수는 금속 생산량과 페이스트(paste) 소비량이다. 식 4.24에 있는 기타 변수들은 불순물들과 페이스트(paste) 재료들의 탄소 함량의 사소한 차이에 근거해서 작은 보정(correction)을 한다. Tier 2는 표 4.14에 있는 기본값들을 사용하는 반면, Tier 3는 이러한 사소한 요소에 대해 특정한 작동(operating) 시설 자료의 사용에 근거한다. Tier 3는 결과의 정확성을 높이지만, 향상된 정확도는 5%를 넘지 못한다.

표 4.14
Soderberg cell (VSS 와 HSS)로부터의 CO_2 배출 식에 대한 Tier 2와 Tier3의 자료 출처와 불확도 매개변수

매개변수	Tier 2 방법		Tier 3 방법	
	자료 출처	불확도 (+/-%)	자료 출처	불확도 (+/-%)
MP: 총 금속 생산량 (tonnes Al/year)	개별 시설 기록	2	개별 시설 기록	2
PC : 페이스트 소비량 (tonnes per tonne Al)	개별 시설 기록	2-5	개별 시설 기록	2-5
CSM: 사이클로헥산 용해 물질의 배출량(kg per tonne Al)	산업 전형 값 이용, HSS- 4.0 VSS- 0.5	30	개별 시설 기록	15
BC: 페이스트 내 결합제(binder) 함량 (wt %)	산업 전형 값 이용, Dry paste- 24 Wet paste- 27	25	개별 시설 기록	5
S_p: pitch 유화 함량 (wt %)	산업 전형 값 이용, 0.6	20	개별 시설 기록	10
Ash_p: pitch의 먼지 함량 (wt %)	산업 전형 값 이용, 0.2	20	개별 시설 기록	10
H_p: pitch 수소 함량 (wt %)	산업 전형 값 이용, 3.3	50	개별 시설 기록	10
S_c: calcined coke유화 함량 (wt %)	산업 전형 값 이용, 1.9	20	개별 시설 기록	10
Ash_c: calcined coke 먼지 함량 (wt %)	산업 전형 값 이용, 0.2	50	개별 시설 기록	10
CD:양극에서 나온 먼지의 탄소 (위에 뜬 찌꺼기 내 탄소량/톤 Al)	산업 전형 값 이용, 0.01	99	개별 시설 기록	30

4.4.2.3 PFCs에 대한 방법론의 선택

전기 분해시, 알루미나(Al_2O_3)는 약 80% 가중치 빙정석(Na_3AlF_6)를 구성하는 불소 용액에서 용해된다. '양극 효과'로 알려진 공정 전복 조건에서는, 과불화탄소(PFCs로 불리는 CF_4 와 C_2F_6)는 빙정석 용해를 가진 탄소 음극의 반응에서 형성 된다. 전기분해의 알루미나의 농도가 너무 낮아서 표준 양극 반응을 지원하지 못할 때, 양극 효과는 일어난다.

박스 4.2
양극 효과 설명

양극 효과는 불충분한 알루미나의 양이 전해액에 용해되면서, 전압이 보통 상태 범위를 뛰어 넘어서 PFC을 함유한 가스 배출을 하는 과정을 일컫는다.

PFCs에 대한 Teir 2와 Tier 3은 정기적으로 수집되는, 양극 효과에 대한 공장 고유의 공정 자료에 근거한다. PFCs에 대한 방법을 택할 때, 불확도는 높은 Tier일수록 Tier 1에 비해 크게 낮아지기 때문에 만약에 이것이 중요한 카테고리라면 Tier 2와 Tier 3을 사용하도록 강력하게 권장된다. 생산 기술의 종류에 따라, PFCs에 대한 방법론의 불확도 범위는 Tier 1의 경우에는 몇 백%에서부터 Tier 3의 경우에는 20% 이하로 감소한다. PFC 인벤토리에 대한 Tier 3 방법은 측정을 실행함으로써 얻어지는 측정 자료로 기울기 또는 과전압 계수를 사용하여야 한다(미국EPA와 IAI, 2003). 일차 알루미늄 생산자들과의 커뮤니케이션은 공정 자료의 이용성(availability)을 결정하여, 배출량을 계산하는 데 사용되는 방법론을 결정할 것이다. 공장들은 cell-day 당 양극 효과 미세값 혹은 양극 효과 과전압에 따라 양극 효과 효능을 주기적으로 측정한다. PFC 배출량은 계수, 기울기 계수 또는 과전압 계수를 통한 양극 효과 성능과 직접 관계가 있다.

표 4.12에서는, 국가 상황에 따라 적합한 PFC 인벤토리 방법론을 선택하는 *우수실행(good practice)*에 대해 서술한다. 매우 적은 PFCs 양을 배출하는 고성능(high performance)을 지닌 시설들에 대해서는, Tier 3 방법이 Tier 2 방법[8]에 비해 전체적인 GHG 인벤토리에서 뚜렷한 향상을 가져오지는 못할 것이다. 결과적으로, 배출원들에 우선 순위를 매기는 것에 있어서, 방법론의 선택 이전에 이러한 시설들을 확인하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 고성능 시설들을 알아내는 변수들은 시설이 수집한 공정 자료 종류에 따라 다르다. 양극 효과 미세값이 측정될 때, cell day 당 양극 효과 미세값이 0.2이하로 가동 되면 고성능 시설들이다. 과전압이 기록될 때에는, 고성능 시설은 1.4 mV 과전압으로 가동된다. 또한 아주 낮은 양극 효과의 빈도는 통계적으로 뚜렷한 결과를 얻기 위해서 더 많은 시간이 필요 때문에, 고성능 시설들의 Tier 3 PFC 계수의 정확한 측정은 어렵다. 활동 중단 기간 후 생산 라인의 재가동과 같은 경제적 요인들, 또는 동력 단축 기간은 일시적으로 양극 효과 빈도수를 증가시키기 때문에, 고성능 시설과 같은 시설의 상태는 매년 평가되어야 한다. 또한 처음에는 고성능에 필요한 조건에 부합되지 않는 시설들도, 시간이 지남에 따라 신기술의 적용 또는 향상된 작업 수행을 통해 고성능 시설이 될 수도 있다. 모든 경우에, 다른 연도에 대해 다른 Tier를 적용하는 것은 시계열의 일관성을 확실시하기 위해 주의 깊은 적용을 필요로 한다는 것에 주의하여라.

공장 고유의 계수는 더 정확한 산정값을 유도하기 때문에, 모든 기타 시설에 대해서 Tier 3 방법이 선호 된다. 만약에 어떠한 PFC 측정치도 공장별 계수를 정하기 위해 사용되지 않았다면, Tier 3 계수들이 정해질 때까지 Tier 2 방법이 사용될 수 있다. 국가들은 개별의 공장에서 얻는 자료에

[8] PFC 배출량의 높은 활동을 선보이는 시설을 정의하는 공정 매개 변수 수준들은 Tier 2 계수의 불확도의 크기 결과의 병합이다. 수준들은 이러한 시설들을 유사값 범위의 대리값의 Tier 3 계수처럼 Tier 2 계수인 95%의 신뢰구간의 양측값을 사용하여 계산된다. 전위차는 PFC와 CO2 배출량을 고려하고 있는 생산 시설로부터 나온 총체적인 온실 효과 가스 방출에 대해서 평가받는다. 여기 참고 되어 있는, 높은 활동을 선 보인는 시설들보다 양극 효과 공정 매개 변수 수준들이 낮게 운영이 되면, 총체적인 GWP weighted GHG emissions에서 PFCs의 Tier 2 방법에서 Tier 3 방법으로 옮긴 효과는 5%를 넘지 못할 것이다. IAI 2004 양극 효과 설문 자료에 따르면, 높은 활동을 보이는 시설에서 나온 PFC 배출량들은 세계 PFC 배출량의 3% 미만을 차지한다.

따라 Tier 2와 Tier 3 방법을 조합해서 쓸 수가 있다.

Tier 1 방법: 기술-기반 기본 배출계수의 사용

Tier 1 방법은 네 개의 메인 생산 기술 종류들(CWPB, SWPB, VSS and HSS)에 대해서 기술-기반의 배출계수를 사용한다. 식 4.25와 같이 PFC 배출량이 계산될 것이다. 양극 효과의 중요한 결정 인자인 개별 시설 양극 효과가 (따라서 PFC 배출량 또한) 직접적으로 고려되지 않기 때문에 Tier 1 방법의 불확도는 매우 더 크다. 시설에서 타당한 공정 자료를 구할 수 없고, 일차 알루미늄으로부터의 PFC가 주 카테고리가 아닐 경우에만, Tier 1은 *우수실행(good practice)*이 될 수 있다.

식 4.25
PFC 배출 (Tier 1 방법)

$$E_{CF4} = \sum_i \left(EF_{CF4,i} \bullet MP_i \right)$$

그리고

$$E_{C2F6} = \sum_i \left(EF_{C2F6,i} \bullet MP_i \right)$$

여기서:

E_{CF4} = 알루미늄 생산에서 나온 CF_4 배출량, kg CF_4

E_{C2F6} = 알루미늄 생산에서 나온 C_2F_6 배출량, kg C_2F_6

$EF_{CF4,i}$ = cell technology type I 의 CF_4 기본 배출계수, kg CF_4/tonne Al

$EF_{C2F6,i}$ = cell technology type I 의 C_2F_6 기본 배출계수, kg C_2F_6/tonne Al

MP_i = cell technology type I의 금속 생산량, 톤 Al

Tier 2 와 Tier 3 방법: 양극 효과 활동에 근거한.

양극효과와 활동사이의 관계에 근거하여, 개별 공장의 CF_4 배출량을 산정하는 데 대한 두 가지 다른 식이 있다. 기울기 및 과전합 계수 식이다. 계수들의 종류들은 PFCs의 직접 측정에 근거한다. Tier 2는 여러 시설들로부터 나온 평균 계수값을 사용하는 반면에, Tier 3는 각 시설의 측량값에 의존한다. PFC 배출량을 생산하는 과정 메커니즘이 CF_4와 C_2F_6에 대해서 유사하기 때문에, 두 가스들은 PFC 배출량을 산정할 때 함께 고려되어야 한다. 여기에 설명된 모든 방법 하에, C_2F_6 배출량은 CF_4 배출량의 비율로써 계산된다.

양극 효과 공정 자료와 PFC 배출량 사이의 관계의 정립과 더불어, 계속적으로 수집된 공정 자료들은 PFC 배출량을 직접 측정하는 대신에 PFC 배출량을 계산하기 위해 사용된다. 두 산정 관r{ 사이에서의 선택은 사용되는 공정 관리 기술에 따라 달라진다. cell day당 양극 효과 미세값이 기록되어 있으면 식 4.26을 사용해야 되고, 과전압 자료가 기록 되어 있으면 식 4.27를 사용해야 한다.

슬로프 계수: 슬로프 계수는 생산된 알루미늄 1톤당 CF_4량을 cell-day 주석[9]당 양극 효과 미세값으로 나눈 것을 뜻한다. PFC 배출량은 생산된 알루미늄 1톤당으로 측정되기 때문에, cell에서 생산된 알루미늄의 양을 결정하는 두개의 주요 요인들인 전류 효과성와 cell 암페어의 효과들을 포

[9] 'cell-day'라는 용어는 작동되는 cell의 숫자를 작동 일수로 곱해준 것을 일컫는다.

함해야 한다. 식 4.26은 CF_4와 C_2F_6에 대한 기울기 방법을 설명한다.

식 4.26
기울기 방법에 의한 PFC 배출량 (Tier 2 및 Tier 3 방법)

$$E_{CF4} = S_{CF4} \bullet AEM \bullet MP$$

그리고

$$E_{C2F6} = E_{CF4} \bullet F_{C2F6/CF4}$$

여기서:

E_{CF4} = 알루미늄 생산에서 나온 CF_4 배출량, kg CF_4
E_{C2F6} = 알루미늄 생산에서 나온 C_2F_6 배출량, kg C_2F_6
S_{CF4} = CF_4의 기울기 계수, (kg CF_4/tonne Al)/(AE-Mins/cell-day)
AEM = cell-day당 양극 효과 미세값, AE-Mins/cell-day
MP = 금속 생산량, 톤 Al
$F_{C2F6/CF4}$ = C_2F_6/CF_4의 질량비, kg C_2F_6/kg CF_4

과전압 계수: 일부 공정 관리 시스템은 양극 효과 과전압(AEO)[10] 통계를 계산함으로써 양극 효과들을 특정 짓는다. AEO는 해당 작동 전압을 초과하는 단위 전압으로 정의되고, 공정 관리 시스템에 의해 기록 될 때 이 매출 변수는 PFC 배출량의 좋은 예측자로써 보여진다. AEO 공정 관리 기술은 많은 현대의 제련소에서 사용된다. AEO는 해당 작동 전압을 초과하는 전압과 시간을 곱을 합산한 후, 이를 자료가 수집된 기간의 시간으로 나눔으로써 계산된다.

식 4.27
과전압 방법에 의한 PFC 배출 (Tier2 와 Tier3 방법)

$$E_{CF4} = OVC \bullet \frac{AEO}{CE/100} \bullet MP$$

and

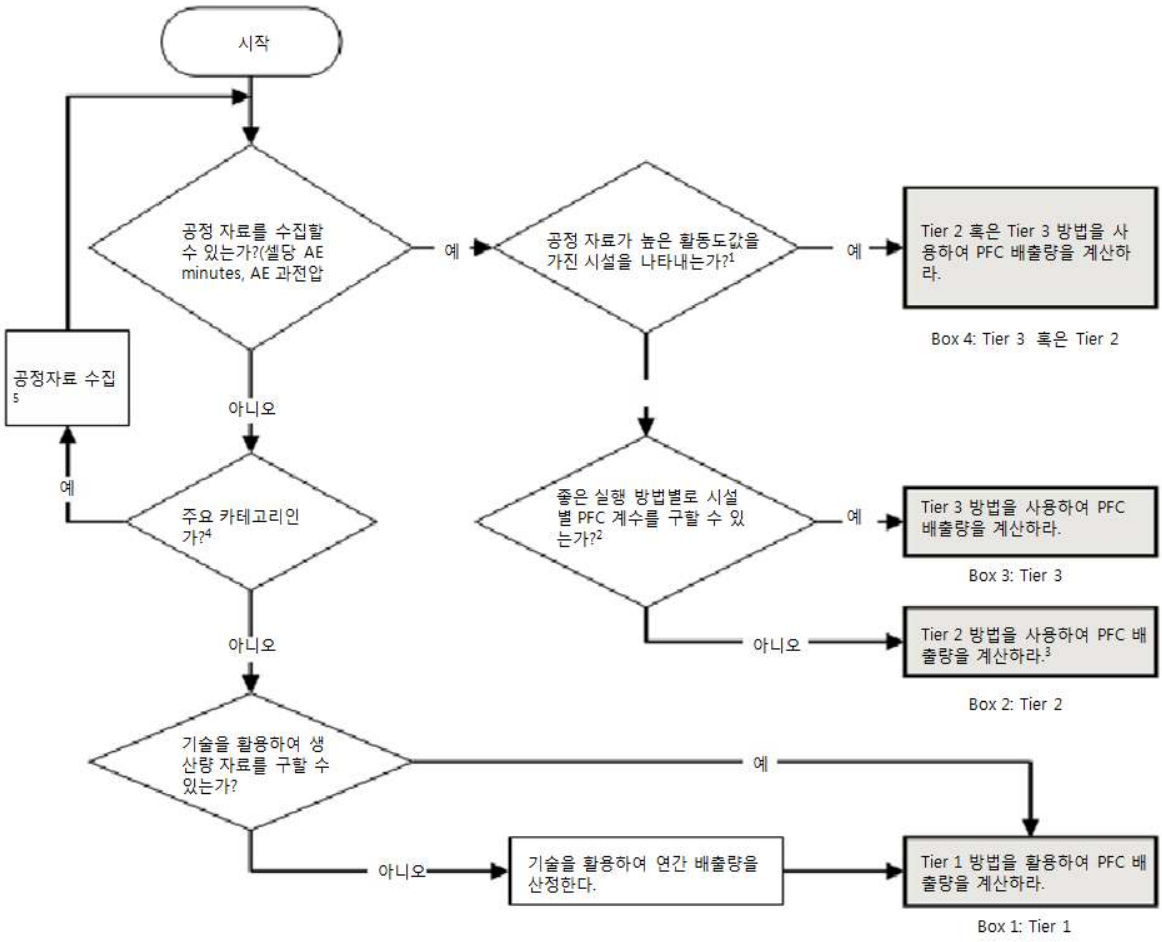
$$E_{C2F6} = E_{CF4} \bullet F_{C2F6/CF4}$$

여기서:

E_{CF4} = 알루미늄 생산에서 나온 CF_4 배출량, kg CF_4
E_{C2F6} = 알루미늄 생산에서 나온 C_2F_6 배출량, kg C_2F_6
OVC = CF4의 과전압 계수, (kg CF_4/tonne Al)/mV
AEO = 양극효과 과전압, mV
CE = 현재의 효율을 나타내는 알루미늄 생산, percent (e.g., 95 percent)
MP = 금속 생산량, 톤 Al
$F_{C2F6/CF4}$ = C_2F_6/CF_4의 질량비, kg C_2F_6/kg CF_4

[10] 소프트웨어의 버전에 따라 컴퓨터 관리 시스템은 'positive' 혹은 'algebraic' 과전압으로 제출된다. '과전압' 표현의 사용은 전기 화학에서 쓰이는 전문 용어과, 반응이 일어나기 위해 더 많은 전압이 필요 하다는 뜻, 혼돈이 되지 않아야 한다.

그림 4.12 일차 알루미늄 생산으로 인한 PFC 배출량 계산에 대한 의사결정도



주:

1. 소량의 PFCs 배출하는 활동이 활발한 시설에서는 Tier 3방법이 Tier 2 방법과 전체적인 GHG 인벤토리와 비교했을 때 전반적으로 큰 차이를 제공하지 않는다. 만약에 0.2 양극 효과 미세값 per cell day로 가동되거나 1.4 mV 과전압으로 가동되면, 높은 활동을 보이는 시설이라고 여겨진다. 이러한 시설들에서는 GHG 인벤토리에서 계산을 해도 Tier 2 방법에서 Tier 3 방법으로 옮긴 효과가 5%를 넘지 못할 것이다
2. 시설 개별의 PFC 식 계수를 얻은 좋은 방법은 IAI GHG Protocol (IAI, 2005)에 서술 되어 있다.
3. 이 경우에는, Tier 2방법은 개별 현지의 Tier 3 계수들을 구할때까지 사용 되어야 하고 Tier 3 방법은 PFC 배출량들이 비물질로 될 때까지,이 때 시설들은 Tier 2 혹은 Tier 3방법을 정해야 한다, 사용된다.
4. 중요 카테고리의 논의와 의사결정도 사용법을 위해 Volume 1. 제 4장 참고, 방법론 선택 과 중요 카테고리의 Identification (절 4.1.2 제한된 자원 참조)..
5. 중요 카테고리에서는, 양극 효과 공정 자료 와 개별의 생산 시설 수준의 생산 활동 자료를 모으는 것은 *우수실행(good practice)*이다.
6. 초기 알루미늄 시설들의 최소한 Tier 2 계산 방법을 쉽게 하기 위해, 규칙적으로 금속 생산과 양극 효과 공장 자료 포함한 활동 자료를 모은다. 오차 크기의 x10는 PFCs의 Tier 1 방법들의 사용에서부터 나온 결과이다.

4.4.2.4 PFCs 배출계수의 선택

Tier 1: 기술에 기반한 배출계수 기본값

표 4.15에서 Tier 1 방법에 대한 배출계수 기본값이 제공된다.

표 4.15
Cell 기술에 의한 알루미늄 제조 과정에서부터의 PFC 배출 계산식에 대한 배출계수와 불확도 범위 기본값 (Tier 1 방법)

기술	CF_4		C_2F_6	
	EF_{CF4} (kg/tonne Al)[a]	불확도 범위 (%)[b]	EF_{C2F6} (kg/톤 Al)[c]	불확도 범위 (%)[d]
CWPB	0.4	-90/+380	0.04	-99/+380
SWPB	1.6	-40/+150	0.4	-40/+150
VSS	0.8	-70/+260	0.04	-70/+260
BSS	0.4	-80/+180	0.03	-80/+180

[a] 기본 CF_4 값은 1990 IAI 설문 자료 (IAI, 2001).에 있는 양극 현상 중간값을 가지고 계산된다.
[b] 1990 IAI 설문 자료 (IAI, 2001)에 있는 median 양극 현상 설문 자료의 기술의 의한 CF_4 개별 배출량을 바탕의로 한 불확도
[c] 기본 C_2F_6 값은 세계 기준 C_2F_6:CF_4 비율에 CF_4 배출계수 기본값을 곱한다.
[d] C_2F_6:CF_4 비율을 기준으로 한 불확도는 1990 IAI 설문 자료 (IAI, 2001)에 나오는 최소와 최대 CF4 배출량을 곱한다.

참조: Tier 2와 Tier 3 자료가 없을 때에는 배출계수 기본값을 사용 해야 한다.

Tier 2: PFC 배출계수는 양극효과 성능과 PFC 배출량 사이의 특정 관계 기술을 기반으로 한다. Tier 2 방법은 기술별 슬로프나 표 4.1611에 있는 이용가능한 환원 단위와 공정 조절 기술의 과전압 계수를 사용하여 기본값으로 둔다.

표 4.16
Cell 기술에 의한 알루미늄 제조 과정에서부터의 PFC 배출 계산식에 대한 기술별 슬로프와 과전압 계수 기본값[11] (tier 2 방법)

기술[a]	기울기 계수[b, c] [(kg_{PFC}/t_{Al}) / (AE-Mins/cell-day)]		과전압 계수[b, c, d] [(kg $_{CF4}/t_{Al}$) / (mV)]		질량 비 C_2F_6 / CF_4	
	CF_4	불확도 (+/-%)	CF_4	불확도 (+/-%)	C_2F_6/CF_4	불확도 (+/-%)
CWPB	0.143	6	1.16	24	0.121	11
SWPB	0.272	15	3.65	43	0.252	23
VSS	0.092	17	NR	NR	0.053	15
BSS	0.099	44	NR	NR	0.083	48

[a] Centre Worked Prebake (CWPB), Side Worked Prebake (SWPB), Vertical StudSderberg (VSS), Horizontal Stud Sderberg (HSS).

[b] 출처: Measurements reported to IAI, US EPA sponsored measurements and multiple site measurements (U.S. EPA and IAI, 2003).

[c] 주어진 각 기울기 및 과전압 상관계수는 다음과 같은 배출량 포집 효율을 가정한 값이다: CWPB 98%, SWPB 90%, VSS 85%, HSS 90%. 이러한 포집 효율은 측정한 PFC 포집 비율, 측정한 불소 가스 포집 효율 그리고 전문가 의견을 근거로 가정되었다.

[d] 주어진 상관계수는 확실한 과전압이 기록된 일부 시설, 그리고 대수적(algebrain) 과전압을 기록한 기타 시설에서 수행된 측정값들을 반영한다. 확실한 과전압 및 대수적인 과전압 사이의 뚜렷한 관계는 아직 정립되지 않았다. 확실한 과전압은 대수적 과전압보다 더 좋은 상관관계를 제시해야 한다. 과전압 상관계수는 VSS 및 HSS 기술에는 관련되지 않는다.

Tier 3: 양극 효과 성능과 PFC 배출량 사이의 시설 고유의 관계에 근거한 PFC 배출계수

Tier 3 방법은 시설 고유의 기울기 또는 양극 효과 과전압 PFC 계수에 기반을 둔다. 이 계수는 시설 양극 효과 성능과 정립된 측정 방법(U.S. EPA and IAI, 2003) 및 국제 알루미늄 협회 GHG Protocol(IAI, 2005a)과 일관성 있는 지속적인 또는 주기적인 측정을 규정한다.

4.4.2.5 활동도 자료의 선택

생산 통계 자료는 CO_2와 PFC 배출량을 측정하기 위한 Tier 1 방법들을 쓰기 위해 모든 시설로부터 구할 수 있다. 생산된 알루미늄의 톤수의 불확도는 대부분의 나라에서는 낮다. 기대할 수 있는 생산 자료의 보편적인 유용성을 바탕으로, 생산 용량 자료는 반드시 생산 통계에 대한 검증으로써만 사용되어져야 한다.

[11] 이러한 기울기 계수들은 PFCs 측정과 PFC 배출량에 관련이 있는 100개가 넘는 알루미늄 제련소에 cell day당 양극 효과 미세값에 의해 구해진다. 표 4.16에 있는 값들은 이 문서가 작성되면 2005년 3월부터 구할 수 있는 측정 자료로부터 나온 개별 기술 계수이다. Tier 2 기울기 계수들을 IAI GHG Protocol (IAI, 2005a)에서 정의된 cell day당 양극 효과 미세값 통계에 기본 하는 것을 참조 하는것이 중요하다. IAI GHG Protocol 와 IPCC Emission Factor Database PFC를 참조 하는 것은 배출량 식을 위한 가장 최근의 자료를 구하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

PFC 배출량에 대한 *우수실행(good practice)*은 정확한 cell day 당 양극 효과 미세값 혹은 모든 cell 종류의 자세한 과전압 (AEO) 자료가 요구된다. 매년 통계들은 매 달 양극 효과의 생산량 가중 평균 자료에 근거해야 한다. Tier 2와 Tier 3은 cell day 당 양극 효과 미세값 혹은 양극 효과 과전압, 그리고 알루미늄 생산 자료를 이용한다. 개별의 알루미늄 회사나 산업 그룹, 국내 알루미늄 협회에서는 자료를 수집할 수 있도록 인벤토리 측정에서 사용 가능한 형식을 위해 상의해야 한다.

CO_2 배출량에 대해서, 모든 알루미늄 제련소에서는 Tier 2 나 Tier 3 방법을 지원하기 위해 자료를 수집해야 한다. Prebake 제련소들이 baked 양극 소모 자료를 기록 할때, Søderberg 제련소는 양극 페이스트(paste) 소모 자료를 수집해야 한다. Tier 2와 Tier 3 방법들은 CO_2 배출량을 계산할 때 동일한 식을 사용하고 tier 3방법은 개별 시설의 양극 물질들의 구성 자료를 사용하지만, tier 2 방법은 산업 양극 구성 자료의 평균값을 사용한다.

4.4.2.6 완전성

1차 알루미늄 시설들은 일반적으로 인벤토리에 포함되는 전체 시간 계열에 알루미늄 생산량의 톤수에 대한 기록을 인벤토리에 포함한다. 또한, 같은 기간 동안의 탄소 소모량 자료들도 사용할 수 있다. 양극 효과 공정 자료는 전체 시계열동안 불완전할 수 있고 인벤토리 기간의 일부의 PFC 배출량들을 계산하기 위해서, 4.4.2.7절의 '일관성 있는 시계열 개발'에 묘사된 것처럼 측정법들이 사용되어야 할 수도 있다. 일차 알루미늄 생산은 많은 전기를 사용하고, 이 전기와 연관된 이산화탄소의 배출량을 누락하거나 이중 산정하지 않도록 주의를 기울어야 한다.

4.4.2.7 일관성 있는 시계열 개발

알루미늄 생산 통계들은 일반적으로 시설의 전체 기간에 대해 이용할 수 있다. 대부분의 시설들이 양극 혹은 페이스트(paste) 소비량에 대해 계속 측정하고 기록했기 때문에, 이산화탄소 배출량을 위한 일관성 있는 시계열 개발은 문제가 되지 않는다. 만약에 과거의 양극이나 페이스트(paste) 소비량을 잃어 버렸다면, 이산화탄소 배출량은 Tier 1 방법을 이용하여 알루미늄 생산을 통해 산정할 수 있다.

양극 효과 미세값 per cell day 혹은 과전압과 같은 활동도 자료와 관련된 PFC의 완성된 시계열은 가장 좋은 시계열 결과를 준다. 1990년 초반부터 세계 알루미늄 산업에서 PFC 배출량들은 중요한 영역으로 되었기 때문에, 몇몇 시설들은 Tier 2나 Tier 3의 PFC 인벤토리 실제를 실행하는 양극 효과 자료에 대한 정보가 제한될 수도 있다. 활동도 자료를 이용할 수 없는 시기에 대한 PFC 배출량에 대하여 Tier 1 방법으로 되돌림으로써 상당한 오차와 불연속이 존재할 수 있다. 특정 시점에 특정 설비에 대한 Tier 2 혹은 Tier 3의 PFC 배출계수들의 적합성와 자세한 공정 자료의 유용성은 특정 조건에 따라 변화 한다. 일반적으로, 접합을 사용 하는 Tier 2 혹은 Tier 3 방법들의 재구성 혹은 대리 자료들은 Tier 1 배출계수를 사용 할 때 선호된다. 특히 양극 효과 빈도 자료를 이용할 수 있고 양극 효과 기간 자료들은 이용할 수 없을 때, 양극 효과 빈도 자료에 근거하여 알루미늄 톤당 PFC 배출량을 과거 자료와 연계하거나 재구성하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 현재 많은 시설들이 Tier 3 PFC 인벤토리 방법을 적용하기 위하여 PFC를 측정하고 있다. Tier 3 PFC 배출계수가 과거의 인벤토리 기간까지 추론될 수 있는지를 살펴보기 위해서는 다음과 같은 문제를 참고한다. 이 변수들은 시설에서 어떠한 기술을 수정 보완하여 작업 실습상의 변화가 이루어 졌는지, 공정 자료의 기초가 되는 식에 변화가 이루어져 있는지, Tier 3 계수를 구

하기 위한 측정이 이루어졌는지의 문제를 포함해야 한다. 작동 시설들, 지역 내, 아니면 국제 조직 기관과 최고의 전략에 대해 의논하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 접목 방법들에 대한 다른 유용한 정보들과 주요한 알루미늄의 시계열 자료를 작성하기 위한 구체적인 세부사항은 IAI (IAI, 2005)로부터 구할 수 있다. 온실가스와 알루미늄 생산시 나오는 산업 배출량에 대한 전문가의 조언 또한 국제 알루미늄 협회(London, UK)에서 구할 수 있다.

4.4.3 불확도 평가

Tier 1, Tier 2, 혹은 Tier 3 방법들의 선택에 따라서 PFC 배출량들의 불확도에 큰 차이가 있다. 이산화탄소의 경우, 배출량 산정법 선택으로 인한 불확도 결과 차이점은 PFC 배출량에 비해 매우 적다. 국가 또는 지역에서 사용되는 생산 기술 및 작업 환경의 특수한 유형에 기인하는 차이점 외에, 알루미늄 생산으로부터 기인하는 배출량에 대한 국가 또는 지역적 차이는 존재하지 않는다. 이러한 차이점들은 위에 서술된 계산 방법론에 반영된다.

4.4.3.1 배출계수 불확도

Tier 2와 Tier 3 방법에서는 탄소 양극 혹은 페이스트(paste) 소모량에서 나오는 이산화탄소 배출량을 계산하는 배출계수의 불확도는 ±5% 미만이 되어야 하고, Tier 1 방법에서는 ±10% 미만이 되어야한다. 이산화탄소 배출량을 주도하는 반응식들은 잘 알려져 있고, 배출량은 생산된 탄소 양극에서 벌어지는 알루미늄 환원을 위한 기본적인 전기 화학식과 열공정(thermal process)에 의한 산화를 통해 생산된 알루미늄 톤수에 직접적으로 연결되어 있다. 이러한 이산화탄소를 생산하는 기본적인 두 가지 공정 모두 다 생산시설에서 주기적으로 관리되어지는 공정 변수(process parameters), 순 탄소 소비량 그리고/또는 페이스트 소비량에 포함된다. 불확도의 주된 원인은 Prebake 기술에 대한 소비된 순 탄소량과 Søderberg cells의 페이스트(paste) 소모량에 있다. 이러한 변수들은 두 가지 모두 조심스럽게 관리되어야 하고, 시설의 경제적 성능에 있어서 중요한 요인이다. 탄소 양극 물질의 소모에 있어서 환원 시설들의 수행 활동의 범위가 있기 때문에, 이산화탄소 배출량 인벤토리들의 정확성 개선은 Tier 1에서 Tier 2 방법으로 전환시킴으로써 얻을 수 있다. Tier 2 방법 대신에 Tier 3 방법을 선택 한다면, 정확성의 개선이 덜 이루어진다. 이것은 식에 쓰이는 주요 변수들이 소비된 순수 양극 탄소량이거나 페이스트(paste) 소모량 그리고 알루미늄의 생산이기 때문이다. 계산식의 변수들의 불확도는 2에서 5% 정도로 낮고 이러한 불확도값은 Tier 2와 Tier 3 방법에서 총체적인 이산화탄의 계산식에 큰 영향을 미칠 것이다. 이러한 변수들에 대하여 시설 고유의 자료들은 Tier 2와 Tier 3 계산식에서 사용되어진다. Tier 3 방법은 탄소 양극 물질들의 실제 구성성분(actual composition)을 사용하기 위해 계산식을 수정한다. 양극 물질들의 사소한(mionor) 변수 내에 큰 변이(variability)가 존재할 수 있는 반면, 이 변이성은 전체 이산화탄소 배출량 식에 큰 기여를 하지는 않는다.

Tier 1에서 Ter 2 및 Tier 3로 전환할 때 PFC 배출량 인벤토리에 있는 불확도의 변화를 고려해보면, Tier 1 대신에 Tier 2나 Tier 3 방법을 선택할 때 불확도에 매우 큰 감소가 있다. Tier 1 방법에서의 높은 불확도는 직접적으로 유사한 생산 방식을 사용하는 운영자(operator) 사이에 양극 효과 성능 내 커다란 변이성으로부터 직접적으로 기인한다. Tier 1 방법은 기술 유형에 따라 모든 운영자들에 대해 하나의 기본 계수 값을 사용한다. 같은 기술을 사용하는 운영자 사이에 양극 효과 성능(빈도와 지속시간)이 10배의 차이를 보이기 때문에, Tier 1 방법의 사용은 같은 정도의 불확도를 만들 수 있다(IAI, 2005c). Tier 2 방법 대신 Tier 3 방법으로 선택할 때는 불확도의 개선이

덜 하다; 그러나 불확도 수준의 감소는 cell 기술 유형에 의존한다. 산업 평균 계수에 대한 불확도 범위는 CWPB, 가장 널리 쓰여지는 기술에서는 약 ±6% 이고 HSS는 약 ±44% 이다. Tier 2 및 Tier 3 방법, 모두 양극 효과 성능과 PFC 특정 배출량 사이의 관계를 정립시키는 직접적인 PFC 측정에 근거한다. Tier 2 방법은 산업 평균 계수 식을 사용 하지만 Tier 3 방법은 시설에서 얻어진 직접적인 PFC 측정값을 기본으로 두는 시설 고유의 계수를 쓴다. 더 많은 시설 측정이 이루어질수록, 특히 Søderberg 기술들을 쓰는 시설일수록, 평균 계수들 값의 불확도는 감소된다. PFC 배출량 식 중에서 가장 낮은 불확도를 얻으려면 Tier 3 방법을 사용해야 한다. 그러나 Tier 3 방법의 PFC 계산에서 이렇게 낮은 불확도를 달성하기 위해서는, 시설 고유의 PFC 측정을 수행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 *우수실행(good practice)* 측정법은 정립되어 왔고 세계적으로 이용 가능한 프로토콜로 문서화되어 왔다(USEPA/IAI, 2003). Tier 3 계수들이 정상적으로 정립되면 불확도는 계수가 측정된 시기에 ±15%가 될 것이다.

4.4.3.2 활동도 자료의 불확도

연간 알루미늄 생산 자료는 1% 미만의 매우 적은 불확도가 존재한다. 탄산 소모, 코크스와 페이스트(paste) 소모량을 기록하면서 생긴 불확도는 알루미늄 생산 불확도 보다 약간 더 높은 2% 미만이다. Tier 2 와 Tier 3을 사용한 개별 시설 배출량들의 다른 변수는 양극 효과 활동 자료이다, 예를 들면, 양극 효과 미세값 per cell day 아니면 양극 효과 과전압. 이러한 매개변수들은 거의 모든 알루미늄 생산 시설들의 가동 부분으로서 공정 관리 시스템에 의해 기록 된다. 그리고 이 자료의 불확도는 낮다.

4.4.4 품질보증(QA)/품질관리 (QC), 보고 및 문서화

4.4.4.1 품질보증(QA)/품질관리 (QC)

이 가이드라인에서 제시된 바와 같이, 모든 일차 알루미늄 생산 시설들이 배출계수 공식을 뒷받침하는 데 필요한 모든 활동도 자료 기록을 보유하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 기록에는 알루미늄의 생산, 양극 효과의 성능과 Prebake 나 Søderberg cells에 쓰인 탄소 재료들의 소비량이 포함된다. 또한 국제 알루미늄 협회를 통해 이 같은 변수에 대해 수집한 활동도 자료의 세계적 자료를 구할 수 있으며, 지역 알루미늄 협회에서부터 지역 자료도 구할 수 있다. 총 국내 배출량을 산정하기 위해 각 제련소에서 받은 배출량 측정값을 취합하는 것이 *우수실행(good practice)* 이다. 그러나 제련소 수준의 생산 자료를 구할 수 없다면, 수집된 국가 생산 자료와 더불어 제련소 용량 자료를 사용함으로써 제련소 생산량을 산정할 수 있다.

표 4,10과 4.11에 나타낸 변이성으로부터 예상되는 변이 범위와 비교함으로써 알루미늄 톤당 시설의 이산화탄소 배출계수를 검증하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 또한, 알루미늄 톤당 계산된 PFC 배출량 계수을 위해서 쓰인 방정식 계수는 표 4.15에 있는 것과 비교해야 한다. 모집단 변이의 95% 신뢰구간 범위 밖에 있는 인벤토리 값은 반드시 출처를 통해 검토하여야 한다.

표준 측정 방법의 사용은 일정한 결과 자료와 자료의 통계 특성의 지식을 증명한다. 주요 알루미늄 생산에서 나온 테트라 플르오르 메탄(Tetrafluoromethane, CF_4)과 헥사 플르오르 탄(Hexafluoroethane, C_2F_6) 배출량들의 측정법의 EPA/IAI 프로토콜은 국제적으로 알려진 기준이다 (U.S. EPA and IAI, 2003). 인벤토리 작성자는 Tier 3 PFC 방정식 계수들의 개발을 위해서 공장에

서 이 방법을 사용하도록 권고해야 한다. PFC 측정을 기본으로 계산된 계수들과 유사 환원 기술의 산업 평균 Tier 2 계수 사이의 가장 큰 차이점은, 계산을 검토하고 조사한다는 점에 있다. 이 계수 간의 큰 차이값은 반드시 설명되어야 하고 문서화되어야 한다. 양극 효과의 국제 자료, 외부 자료로 취급 받는 자료는 국제 알루미늄 협회에서 구할 수 있다. 또한, 계속 수정보완되는 PFC 측정법들은 IAI 에 의해 관리되고 제출된 자료를 평가할 때 논의되어야 한다.

이산화탄소를 생산하는 기본 과정에 의하면, 1톤의 알루미늄당 이산화탄소의 배출량의 연간 변화량은 ± 10%를 넘어서는 안 된다. 대조적으로, 1톤의 알루미늄당 PFCs의 배출량의 연간 변화량은 ± 100%까지 바뀔 수 있다. 개별 PFC 배출량 증가는 공정 불안정성의 원인이 된다. 양극 효과 빈도와 지속시간의 증가는, 예를 들면 기대된 힘의 간섭, 알루미나 공급 물질 자원의 변화, cell 가동 문제, potline 암페어의 증가의 결과 알고리즘 변화에 의한 양극 효과 빈도와 지속 시간의 변화, cell 기술의 업그레이드, 예를 들면 중점 공급원의 설치, 향상 된 작업 방식, 보다 나은 원료 관리의 개선 결과일 수도 있다.

4.4.4.2 보고 및 문서화

제1권 제6장, 품질보증, 품질관리와 내부 문서 작성에 기술된 대로 국가 배출량 인벤토리를 생산하는 데 필요한 모든 정보를 문서화하여 보관하는 것이 좋다. 이 배출원 카테고리에 관련된 몇몇의 문서화와 보고하는 예제들은 아래에서 제공될 것이다. 국가 인벤토리 보고서에 모든 문서를 포함 하는 것은 실용적이지 못하다. 그러나 이 인벤토리에는 보고된 배출량 산정값이 투명하고 계산 과정이 다시 실행될 수 있도록, 사용한 방법의 요약본과 참조된 출처 자료를 포함시켜야 한다. 보다 분명히 하기 위해서는 다른 배출원 카테고리에 있는 알루미늄 생산으로 나온 PFCs 배출량을 별도로 보고해야 한다. 질량을 기반으로 한 CF_4와 C_2F_6 배출량들을 보고 하는 것도 *우수실행(good practice)*이다

보고된 배출량 측정의 투명도를 보증하기 위해서는 표 4.17, Tier에 의한 알루미늄 제조에서 나온 PFC 배출량을 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 만약에 국가에 단 한 개의 제련소가 있다면, 대부분의 생산량과 공정 자료들이 생산자의 소유물로 인정되어야 한다. 따라서 자료의 통합과 비밀 자료 보호를 위해 알맞은 기술적 접근을 사용하는 것이 좋다.

표 4.17
Tier에 의한 알루미늄 제조에서 나온 CO_2와 PFC 배출 식에 대한 정보 제공을 위한 *우수실행(good practice)*

자료	Tier 3	Tier 2	Tier 1
PFCs			
국가 연간 생산량 (CWPB, SWPB, HSS, 혹은 VSS 기술)			X
제련소에 의한 연간 생산량 (CWPB, SWPB, HSS, 혹은 VSS 기술)	X	X	
양극 효과 minutes per cell-day 또는 양극효과 과전압 (mV)	X	X	
양극 효과 활동과 관련된 시설별 배출계수	X		
양극 효과 활동과 관련된 시설별 배출계수		X	
배출계수 기본값			X
문서화	X	X	X
CO_2			
국가 연간 생산량 (Prebake 혹은 Soderberg technology)			X
제련소의 연간 생산량 (by Prebake 혹은 Soderberg technology)	X	X	
Prebake cells 의 순 양극 소비 혹은 Soderberg cells의 페이스트 소비	X	X	
탄소 물질의 불순물 농도 및 Soderberg cells에 대한 탄소 먼지	X		

4.5 마그네슘 생산

4.5.1 서론

마그네슘 산업에서는 많은 수의 잠재적인 배출원과 가스가 존재한다. 마그네슘 산업으로 인한 배출량과 유형은 기본 마그네슘 금속 생산에 사용된 원료 물질이나, 주조 및 재활용 주조 공장에서 용해된 마그네슘의 산화를 방지하기 위해 사용한 표면 가스 혼합물의 유형을 나타낼 것이다. 가능하다면 구성요소를 세분화해서, 마그네슘 산업과 이와 관련된 배출량의 모든 요소를 고려하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 일차 및 이차 마그네슘 금속 산업 및 주물 작업과 연관된 온실가스 잠재 배출량의 목록은 표 4.18에 제시되어 있다.

일차 마그네슘은 광물 자원에서 추출한 금속성의 마그네슘을 의미한다. 일차 마그네슘은 전기 분해나 열 환원 과정에 의해 생산될 수 있다. 일차 마그네슘 생산을 위해 사용된 원료 물질은 돌로마이트(dolomite), 마그네사이트(magnesite), 카날라이트(carnalite), 사문석(serpentine), 소금물이나 바닷물이다. 탄화 원료 물질(마그네사이트와 돌로마이트)의 처리 과정에서는 제조하는 동안에 CO_2가 배출된다. CO_2는 탄화 기초 물질-돌로마이트나 마그네사이트 등의 광물-의 소성, 즉, 주된 전기 분해 및 열 환원 과정까지에 이르는 "사전 처리" 단계 동안에 배출된다. 이 과정은 광물 산업에서의 CO_2의 발생 과정과 유사하다(제 2장 참고).

이차 마그네슘 생산은 단편적 물질-예: 탄주 소비 부분(post consumer parts), 기계 절단 조각들, 주물 고철, 가구 잔류물 등-을 포함한 다양한 마그네슘에서 금속성 마그네슘을 회수하고 재활용하는 것을 포함한다. 마그네슘 주조 공정은 일차 생산과 이차 생산으로부터 만들어진 금속물질을 포함한다. 마그네슘 주조 공정은 용해된 순수 마그네슘과 용해된 마그네슘 고함유 혼합물을 다루는 것을 포함한다. 용해된 마그네슘(마그네슘 고함유 혼합물을 뜻하는)은 중력 주조, 모래 주조, 소멸 주조, 기타 등의 다양한 방법으로 주조된다. 모든 용해 마그네슘은 대기 중 산소의 존재로 인해 자연스럽게 소각된다. 모든 마그네슘 금속의 생산과 주조는 소각을 막기 위한 방지 체계(protection system)를 필요로 한다. 다양한 방지 체계 중에서 일반적으로 사용되는 방법은 대표적인 대기중 배출물질인 SF6와 같은, 높은 GWP 값을 지닌 가스 성분을 사용하는 것이다. 다양한 공정과 자원 물질을 통해 금속 마그네슘을 주조하는 것은 모두 방지 방법(protection methods)을 필요로 하며, 따라서 유사한 GHG 배출 가능성을 갖게 될 것이다.

표 4. 18
마그네슘 생산 및 주조 과정에 관련된 GHG 배출 가능성

과정	GHG 배출 공정과 연관된 가능성			
	SF_6	HFC's	CO_2	기타*
1차 생산에 대한 원료 물질의 준비				
돌로마이트/마그네사이트 기반	-	-	X	-
기타 원료 물질	-	-	-	-
주조(1차와 2차)				
1차 주괴 주조	X	X	X	X
압력 주조	X	X	X	X
중력 주소	X	X	X	X
기타 주조 방법	X	X	X	X
2차 Mg 생산**	X	X	X	X

* 기타는 플루오르화된 케톤과 다양한 플루오르화된 분해 생산물을 포함한다. 예) PFCs
** 금속 마그네슘의 재생/회수를 수반하는 과정을 포함한다.

2차 마그네슘 생산(재생), 처리, 용해, 주조하는 것, 그리고 용해된 금속은 표면 가스(운반 가스(대체로 대기나 CO_2)와 SF_6나 SO_2[12])를 포함한 SF_6나 SO_2, 일부 경우에는 용제와 같은 방지 체계를 사용하는 과정을 통해 산화를 방지한다. 또한 마그네슘 고함유 혼합물은 일반적으로 표면 가스를 포함한 SF6를 사용함으로써 산화를 방지한다. 최근의 기술적 발달과 SF6의 대체에 대한 압력으로 인해, 마그네슘 산업은 대안적인 표면 가스를 도입하고 있다. 앞으로 10년 안에 사용될 수 있는 SF6에 대한 가장 일반적인 2가지 대체 방법은 Novec^{TM}1213[13]이라는 이름으로 거래되는 플루오르 처리된 탄화수소 HFC-134a와 플루오르 처리된 ketone FK 5-1-12 ($C_3F_7C(O)C_2F_5$)이다. 이러한 대체 방법은 국가적/지역적 환경에 의해 개인 마그네슘 생산자나 처리자의 표면 가스의 선택에 큰 영향을 미칠 것이다 (Tranell *et al., 2004).*

일차 생산으로 인한 CO_2 배출

표 4.18에 나타난 것처럼, 소성(calcination) 동안에 CO_2를 배출하는 마그네슘 함유 금속은 돌로마이트($Mg.Ca(CO_3)_2$)와 마그네사이트($MgCO_3$)이다. 생산된 마그네슘은 소성 동안에 이론적으로는 킬로그램당 각각 3.62 kg[14](돌로마이트)나 1.81 kg (마그네사이트) CO_2를 배출한다. 생산된 마그네슘 1kg당 실제 CO_2 배출량은 일련의 공정 과정에서 마그네슘의 손실이 있으므로, 이론적인 배출량보다 더 높을 것이다.

마그네슘 주조 과정(일차와 이차)

마그네슘 주조 과정에서, GHG 배출의 규모와 유형은 액체 마그네슘을 보호하기 위해 선택된 표

[12] 제1권에 개관한 이 가이드라인 범위(scope)에 따라, 이 장에서는 SO_2의 배출량을 산정하는 방법을 제공하지 않는다.

[13] Novec^{TM}612로 거래되는 FK 5-1-12 ($C_3F_7C(O)C_2F_5$)는 3M에 의해 생산된 플루오르화된 케톤이다(Milbrath, 2002).

[14] 이것은 해당 금속이 화학양론의 1에 대한 Mg/Ca 비율을 갖고 있을 경우를 나타낸다.

면 가스 체계에 따라 달라질 것이다. 표면 가스 자체 내의 활동성 방지 혼합물 (SF_6, HFC-134a나 FK 5-1-12)의 배출뿐만 아니라, 다양한 플루오르화된 분해 생산물(예: PFCs)의 배출이나 이동 가스(대기와 CO_2나 N_2의 선택에 따라)의 배출도 일어날 수 있을 것이다.

SF_6

일반적으로는 마그네슘 표면 가스 내의 SF_6는 비활성(inert)이므로, 필수적으로 마그네슘 산업에서 사용된 모든 SF_6는 배출된다고 가정해 왔다. 그러나 최근의 개별 연구(Bartos *et al., 2003, Tranell et al., 2004)*에서는 SF_6가 일반적인 마그네슘 보존/공정 온도에서 액체/가스 형태의 마그네슘과 접촉하여 특정 정도까지 파괴시킨다는 사실을 입증했다. 마그네슘의 반응으로 인해 발생된 2차 가스 생산물의 유형과 양, 그리고 고로에서 파괴된 SF_6의 분율은, 표면 가스의 SF_6 농도, 총 표면 가스 유율(flow-rate), 반응 마그네슘 표면 영역의 규모, 사용된 운반 가스의 유형, 고로 적재 실재량 등과 같은 작동 조건에 따라 달라진다.

HFC-134a, FK 5-1-12, 분해 생산물(예: PFCs)

HFC-134a와 FK 5-1-12는 열역학적으로 SF6보다 덜 안정적이다(따라서 GWP보다 훨씬 더 낮다.). 그러므로 이들 가스는 액체/기체 마그네슘과 접촉했을 때 플루오르화된 다양한 가스(예: PFCs)가 생산되면서, 광범위하게 분해되고/반응할 것으로 예상된다. Tranell et al.(2004)에 의하면, 경험적으로 볼 때 HFC-134a가 SF_6를 대체할 경우에는 활동성 플루오르화 혼합물 질량의 절반 이하만이 주어진 마그네슘 표면을 보호하는 데 필요하다(다른 조건이 동일하다는 전제 하에). SF_6가 FK 5-1-12를 대체할 때에는, 활동성 혼합물 양의 1/4보다 더 적은 양이 필요하다. SF_6의 경우에 고로에서 파괴된 투입 중인(in-going) 표면 가스 내의 활동성 혼합물의 양은 투입 중인 표면 가스 내의 혼합물 농도, 총 표면 가스 유속, 반응성 마그네슘 표면 영역의 크기, 사용된 이동 가스의 유형, 적재된 실재량(charging practises) 등의 조건에 따라 달라진다. 분해 생산물로서 PFCs 의 배출량은 그들의 상대적인(relative) 방사성 효과[15]가 있는 경우, 동량의 CO_2 측면에서 볼 때 FK 5-1-12의 배출량보다 더 중요하다는 점에 주목하여야 한다.

운반 가스(carrier gases)

많은 표면 가스 체계는 고로 내의 활동성 플루오르화된 혼합물을 희석하고 산소의 부분적 압력을 감소시키기 위해 운반 가스로써 CO_2를 사용한다. 이 경우, CO_2는 그 자체로 쓰이거나, 건조한 공기와 혼합하여 사용된다. 표면 가스에서 사용된 모든 CO_2는 CO_2로서 배출된다는 가정은 양적인 측면에서 볼 때 합리적이다. 사용된 탄소이산화물 표면 가스는 표면 가스 체계 내의 보통의 활동성 요인보다 훨씬 더 낮기 때문에, 대체로 무시할 수 있다.

4.5.2 방법론적 이슈

4.5.2.1 방법의 선택

1차 생산으로 인한 CO_2 배출

1차 마그네슘(원료 물질) 생산 부분(segment)에서 배출된 이산화탄소에 대한 인벤토리를 마련하기 위해, *우수실행(good practice)*을 선택하는 것은 각국의 환경에 따라 달라질 것이다. 의사결정도(그

[15] FK 5-1-12의 GWP 값은 IPCC의 3차 평가 보고서(IPCC, 2001)에서 확인되지 않았다. 그러나 이 가스의 가스발생로에 따른 CO_2의 GWP 값과 유사하다고 산정할 수 있다.

림 4.13 참고, 1차 마그네슘 생산 과정의 CO2 배출량 산정 의사결정도)에서는 국가별 환경에 따라 이에 적합한 방법을 적용하는 좋은 실례를 보여준다.

Tier 1

Tier 1 방법은 국가의 1차 생산 자료와 그 국가에서 사용한 원료에 대한 이해에 따라 달라진다. 국가별 생산 자료는 마그네슘을 생산하는 국가의 수가 제한되어 있고, 극소수의 개별 생산자-종종 한 국가에 1명꼴-가 비밀리에 국가의 생산 자료를 만들어내기 때문에, 국제적인 차원으로 사용될 수 없다. 국가 1차 마그네슘 생산 통계가 없는 경우에는, 국제 마그네슘 협회 (http://www.intlmag.org/)와 같은 산업 협회가 제공하는 지역별 통계치를 활용할 수 있다. 다른 자료의 수집이 어려울 경우에는, 연간 국내 마그네슘 금속 판매량으로부터 1차 마그네슘 생산량을 산정할 수도 있다. 이 방법은 국가 생산 제조업에서 사용된 마그네슘의 양을 설명할 수 없다는 점에서 불확도를 증가시킨다.

CO_2 배출량은 식 4.28을 사용하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

식 4.28
1차 마그네슘 생산으로 인한 CO_2 배출량 (TIER 1)

$$E_{CO2} = \left(P_d \bullet EF_d + P_{mg} \bullet EF_{mg} \right) \bullet 10^{-3}$$

여기서,

E_{CO2} = 1차 마그네슘 생산량으로 인한 CO_2 배출량, 기가그램(Gg)
P_d = 돌로마이트로부터의 국가 1차 마그네슘 생산량, 톤(톤)
P_{mg} = 마그네사이트로부터의 국가 1차 마그네슘 생산량, 톤(톤)
EF_d = 돌로마이트로부터의 1차 마그네슘 생산량으로 인한 CO_2 배출량에 대한 배출 요인 기본값, 톤(tonne) CO2/톤(tonne) 1차 생산된 Mg
EF_{mg} = 마그네사이트로부터의 1차 마그네슘 생산량으로 인한 CO_2 배출량에 대한 배출 요인 기본값, 톤(tonne) CO_2/톤(tonne) 1차 생산된 Mg

Tier 2

1차 마그네슘으로 인한 CO_2 배출량을 결정짓는 Tier 2 방법은 기업별 생산 자료뿐만 아니라, 회사별/공장별 경험적(empirical) 배출계수를 취합하는 것을 포함한다. 회사별 배출계수는 대체로 물질처리 공정에 따른 배출계수 기본값과는 다르게 나타날 수 있다. Tier2 방법에서 필요한 취합은 배출량이 주 카테고리인 경우에 이루어진다.

CO_2 배출량은 식 4.29을 사용하여 계산될 수 있다.

식 4.29
1차 마그네슘 생산으로 인한 CO2 배출량 (TIER 2)

$$E_{CO2} = \Sigma \left(P_i \bullet EF_i \right) \bullet 10^{-3}$$

여기서,

E_{CO2} = 1차 마그네슘 생산으로 인한 CO_2 배출량, 기가그램(Gg)
P_i = i 공장에서 생산된 1차 마그네슘, 톤(tonne)

EF_i = i 회사/공장의 1차 마그네슘 생산으로 인한 CO_2 배출량에 대한 회사별/공장별 배출계수, 톤(tonne) CO_2 /톤(tonne) 생산된 1차 Mg

Tier 3

개별 1차 마그네슘 시설로부터 실제로 측정된 CO_2 배출 자료를 이용할 수 있다면, 이 자료는 국가 배출량을 계산할 때 총계를 낼 수 있고 직접적인 자료로 사용될 수 있다.

마그네슘 주조 공정(일차와 이차)

SF_6

마그네슘 주조 과정 부분에서 SF_6의 배출량 인벤토리를 준비하기 위해 *우수실행(good practice)*을 선택하는 것도 국가 환경에 따라 달라질 수 있다. 의사결정도(그림 4.14, 마그네슘 공정으로 인한 SF_6 배출량의 산정을 위한 의사결정도)는 국가별 환경에 맞는 방법을 적용하는 데 좋은 실례를 제공한다.

Tier 1 배출계수 기본값

Tier 1 방법은 해당 국가에서의 마그네슘 주조나 처리의 총량에 근거한다(식 4.30). Tier 1 접근법에 대한 기본 가정은 마그네슘 산업 부분에서의 모든 SF_6 소비량은 SF_6로 배출된다는 것이다. 4.5.1절에서 기술된 바와 같이, 이러한 가정은 GHG 배출량을 과다 산정할 가능성이 있으나, 이러한 과다산정값은 4.5.3절에 기술된 전반적인 불확도 범위 안에 존재할 것이다. 기본 Tier 1 방법은 SF6 소비량이 실제로 다른 주조 작용 방식과 조작자(때때로 중요 순위)에 따라 달라진다는 사실에도 불구하고, SF6가 산화 방지 용도로 사용되는 경우 배출량 기본값 계산을 위한 기초로서 단일한 값을 사용한다. Tier 1 방법은 인벤토리 작성자가 마그네슘 처리 유형-혹은 주조 작용(재생, 강편 주조, 형판 주조 등)에 대해 모르고 있을 경우에 한하여 사용되어야 한다.

식 4.30
마그네슘 주조로 인한 SF6 배출 (TIER 1)

$$E_{SF6} = MGc \bullet EF_{SF6} \bullet 10^{3}$$

여기서,

E_{SF6} = 마그네슘 주조로 인한 SF6 배출량, 톤(톤)

MGc = 해당 국가 내에서 마그네슘 주조나 처리의 총량, 톤(톤)

EF_{SF6} = 마그네슘 주조로 인한 SF6 배출량에 대한 배출계수 기본값, kg SF_6/tonne Mg 주조

Tier 2 회사 고유의 SF_6 소비량

Tier 1 방법에 비해, Tier 2 방법도 모든 소비된 SF_6는 대체로 배출된다는 것을 가정한다. 그러나 Tier 2 방법은 마그네슘 주조량 대신 산업 부문을 통해 보고되거나, 국가 통계와 같은 다른 자원을 통해 이용할 수 있는 국가의 마그네슘 산업에서의 SF_6 소비량에 대한 자료를 사용한다(식 4.31). 이 방법을 가장 정확하게 적용하는 것은 마그네슘 산업에서 가스를 사용하는 개별 사용자로부터 SF_6 소비량에 관한 직접적인 자료를 취합하는 것이다. 만약 직접적인 자료를 사용할 수 없다면, 비록 정확성은 다소 떨어지지만 그 대안적인 방법으로 마그네슘 산업에 기인하는 연간 국가 SF_6 소비량의 합을 산정하는 방법이 있다. 이 방법은 국가 SF_6 판매량에 관한 연간 자료를 취합해야 하며, 마그네슘 산업에서 판매된 모든 SF_6 가스는 해당 연도 내에 배출된다는 것을 가정한다.

식 4.31
마그네슘 주조로 인한 SF6 배출량 (TIER 2)

$$E_{SF6} = C_{SF6}$$

여기서,

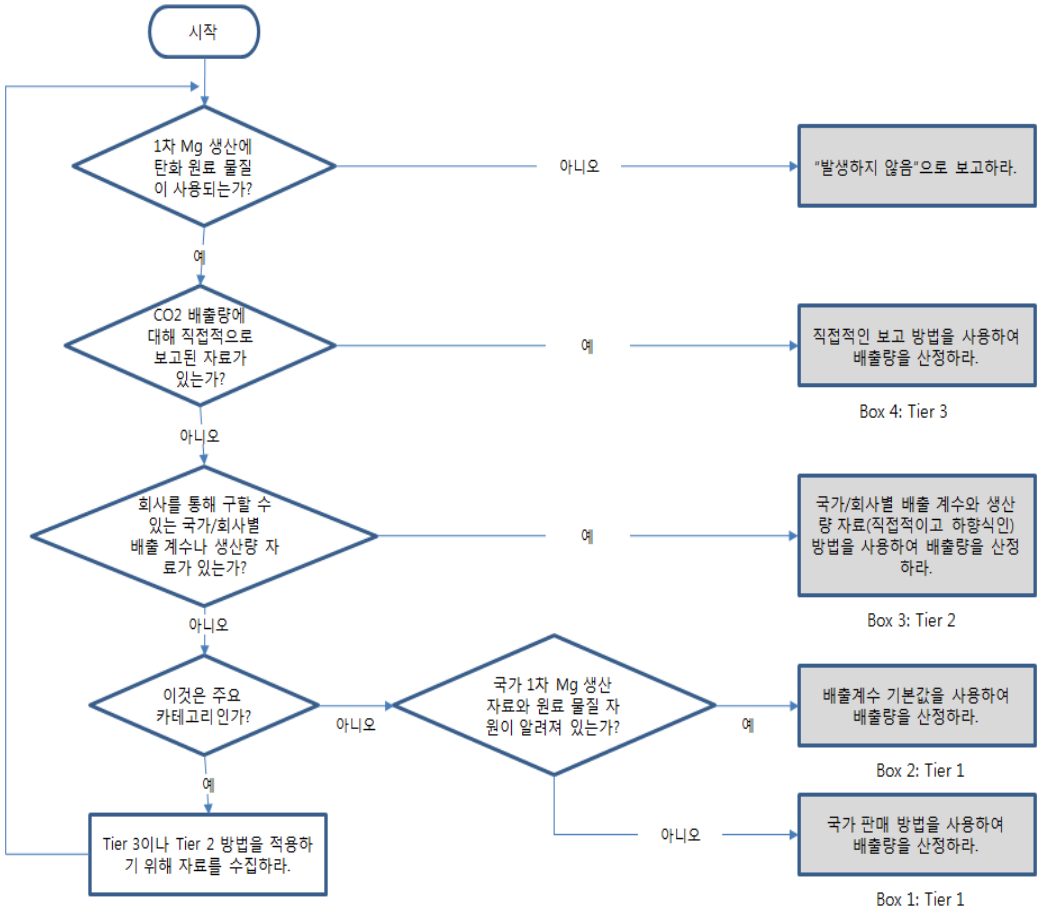
E_{SF6} = 마그네슘 주조로 인한 SF6 배출량, 톤(톤)

C_{SF6} = 마그네슘 제련소와 공장에서의 SF6 소비량, 톤(톤)

Tier 3 직접적인 측정법

개별 마그네슘 공정 시설에서 실제로 측정된 배출량 자료를 이용할 수 있다면, 이 자료는 국가 배출량을 계산하기 위해 총계 자료로 활용될 수 있고 직접적인 자료로 사용될 수 있다. 이렇게 보고할 때에는, SF_6의 파괴량(destruction)과 2차 가스 생산물의 생성을 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

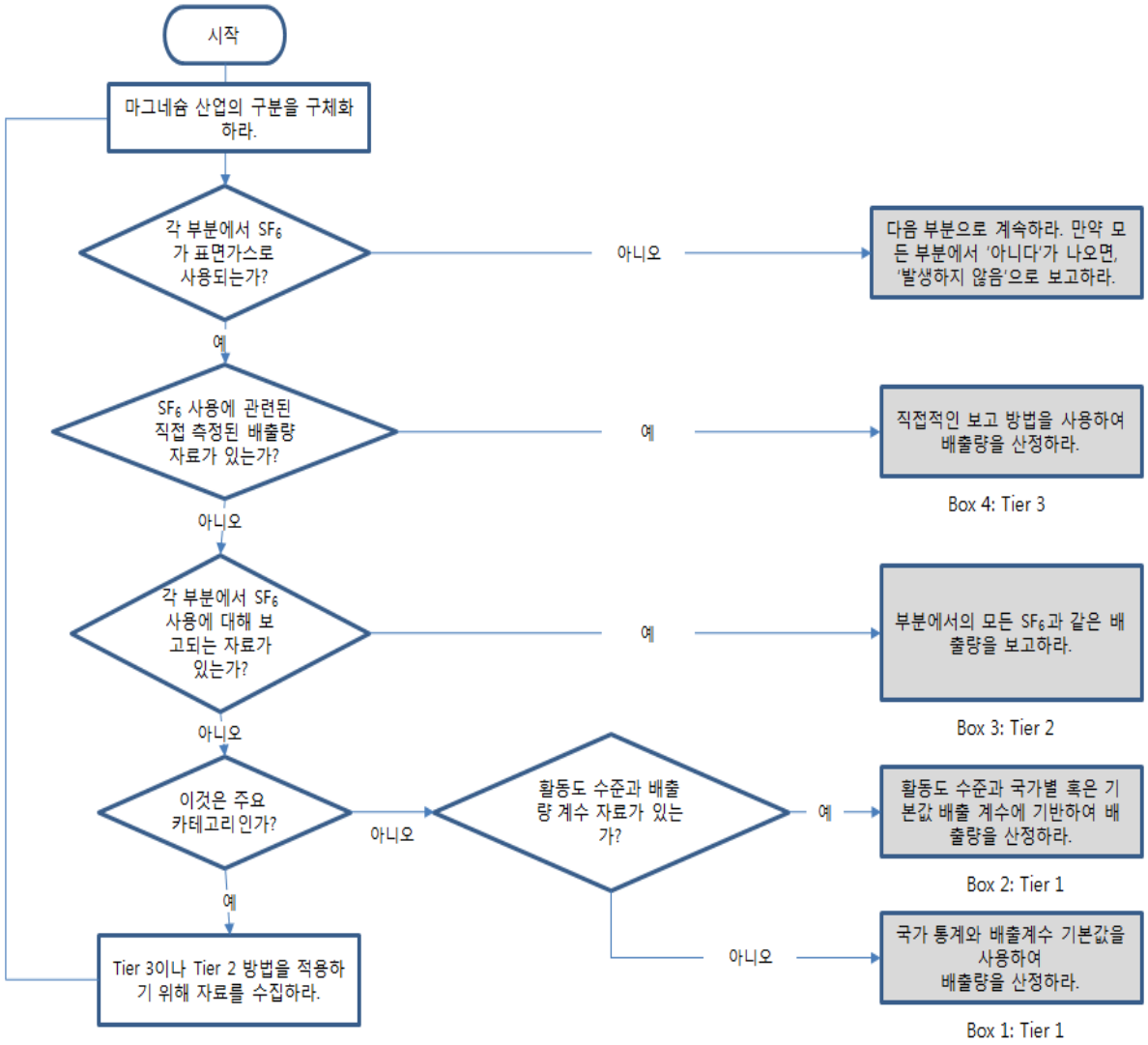
그림 4.13 일차 마그네슘 생산 공정에서 원료 물질의 소성(calcination)로 인한 CO_2 배출량을 산정하기 위한 의사결정도



주:

1. 주 카테고리에 대한 논의와 의사결정도의 활용에 대해서는, 제1권 제4장 <방법론적 선택과 주 카테고리의 구체화>(제한된 자원에 대한 4.1.2절에 유의해서 볼 것)를 참고하라.

그림 4.14 마그네슘 공정에서의 SF_6 배출량을 산정하기 위한 의사결정도



주:

1. 주 카테고리에 대한 논의와 의사결정도의 활용에 대해서는, 제1권 제4장 <방법론적 선택과 주 카테고리의 구체화>(제한된 자원에 대한 4.1.2절에 유의해서 볼 것)를 참고하라.

HFC-134a, FK 5-1-12 및 분해 생산물 (예: PFCs)

4.5.1절에서 언급된 바 있듯이, 마그네슘 산화 방지를 위해 플루오르화된 혼합물 외에 SF6를 산업적으로 사용하는 것은 2003-2004에 시작되었다. 이처럼, 마그네슘 산화 방지를 목적으로 이러한 혼합물을 산업적으로 사용하는 것은 아직 매우 드문 편이다. 있다고 해도, 개별 공장에서는 공장의 운영하는 과정에서 다른 플루오르화된 혼합물이 실제적으로 배출되는 양에 대한 역사적인 자료를 거의 가지고 있지 않을 것이다. 산업에서는 일반적으로 이러한 대안적인 가스의 대량 사용량이 SF_6보다 적을 것이라고 보고 있으나, 현 시점에서 배출계수에 근거하여 이용할 수 있는 자료는 존재하지 않는다. 그러므로 현 시점에서 보고된 배출량에 대해 배출계수 기반 접근법(Tier 1이나 2)을 발전시키는 것은 불가능하다. 그러나 마그네슘 표면 가스의 사용으로 인한 GHG 배출량이 국가의 주 카테고리일 경우에는, 포면 가스인 HFC-134a나 FK 5-1-12GHG를 사용하여 마그네슘 공

장으로부터의 GHG 배출량(분해 생산물로서 PFCs 배출량뿐만 아니라, HFC134-a와 FK 5-1-12의 일시적인 배출량)에 대해 그 값을 직접적으로 측정하거나 의미 있는 간접적인 측정값을 취합하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이것은 Tier 3 접근법에서도 마찬가지이다.

운반 가스(Carrier gases)

대체로 산화 방지(protective) 표면 가스 체계에서 사용된 이산화탄소 운반 가스량은 지구 온난화 가능성에 약간 기여하는 수준이다. 따라서 대체로 이러한 배출량은 고려하지 않는다.

4.5.2.2 배출계수의 선택

1차 생산으로 인한 CO_2 배출

Tier 1- 배출계수 기본값

앞에서 언급했듯이, Tier 1 방법은 한 국가의 총 1차 마그네슘 생산에 적용되는 배출계수 기본값을 통해 배출량을 계산한다. 배출계수 기본값(표 4.19)은 사용된 물질 유형과, 경험적 자료를 활용하여 일반적인 공정 과정의 손실에 대해 조정한 기본 화학량론 비율을 고려한 것이다. 생산된 마그네슘 1톤당 CO_2의 최종 배출량은 4.5.1절에서 설명된 이론적인 양에 비해 더 높다.

표 4.19
금속별 1차 마그네슘 생산에 대한 배출계수

원료 물질	톤 비 CO_2 배출량/1차 생산된 Mg
돌로마이트	5.13
마그네사이트	2.83

Tier 2 국가별/회사별 배출계수

1차 마그네슘 생산 과정에서의 CO_2 배출량을 산정하기 위한 Tier 2 방법은 회사별/공장별로 경험적인 배출계수를 취합하는 것을 포함한다. 대체로 회사별 배출계수는 물질 처리 과정에 따라 배출계수 기본값과 다르게 나타날 수 있다. 이 배출량이 주 카테고리일 경우에는, 반드시 이러한 취합 과정이 이루어져야 한다.

Tier 3 직접적 측정 방법

만약 개별 1차 마그네슘 시설로부터 실제적으로 측정한 CO_2 배출 자료를 이용할 수 있다면, 이들 자료는 국가 배출량을 계산하기 위해 총계로 쓰일 수 있고, 직접적으로도 사용될 수 있을 것이다.

마그네슘 주조 과정(1차와 2차)

SF_6

Tier 1- 배출계수 기본값

Tier 1 접근법의 기본 가정은 해당 산업 부문에서 모든 SF_6 소비량은 배출된다는 것이다. 4.5.1절에서 설명된 것처럼, 이러한 가정은 GHG 배출량을 과다 산정할 가능성이 있다. 또한 Tier 1 방법은 마그네슘 처리 유형(재생, 강편 주조, 형판 주조)에 대해 모르고 있는 경우를 가정한다. 형판 주조에 대해 권고된 조건 하에서, 소비율은 생산되거나 용해된 마그네슘 1톤당 SF_6는 약 1kg이다 (Gjestland and Magers, 1996). 대체로 SF_6 소비량은 주조 작용과 운영자(때로는 중요도 순위)에

따라 달라지기는 하지만, 기본적인 Tier 1 방법은 산화 방지를 위해 SF_6를 사용하는 경우 배출량 계산의 기본값으로 SF_6 소비량 값을 사용한다. 국가 마그네슘 제조 공정이 잘 문서화되었을 때에는, Tier 1 방법을 보다 정확하게 적용하기 위해 다양한 공정 과정에 따라 생산량 자료와 배출계수값을 분리할 수 있다. 이들 배출계수는 이용가능한 활동도 자료(예: 국가나 지방의 자료)와 같이 동일한 분리 단계에서의 마그네슘 생산 SF_6 배출량과 관련이 있어야 한다. 시설 측정값에 근거한 국가의 배출계수를 이용하는 것은 해당 국가의 고유 조건을 반영할 수 있기 때문에, 국제 계수 기본값을 사용하는 것보다 더 바람직하다. 이에 대해서는 산업 협회나 각종 조사 및 연구를 통해 정보를 얻을 수 있다.

표 4.20
마그네슘 주조 과정에 대한 SF6 배출계수(Tier 1)

주조 체계	주조되는 Mg(톤)당 SF_6 배출량(kg)
모든 주조 공정	1.0
출처: Gjestland and Magers(1996)	

Tier 2 - 회사별 SF_6 소비량

Tier 1 방법과 마찬가지로, Tier 2 방법도 모든 소비된 SF_6가 배출된다는 것을 가정한다. 그러나 Tier 2 방법에서는, 마그네슘 산업에서 국가의(혹은 지방의) SF_6 소비량은 산업에 의해 보고된 내용이나 국가 통계와 같은 다른 출처를 통해 이용할 수 있다는 것을 가정한다. 이 방법을 가장 정확하게 적용하기 위해서는, 정상적으로는 마그네슘 산업의 모든 개별 가스 사용자들로부터 SF_6 소비에 대한 직접적인 자료를 취합하는 것이다. 만약 어떠한 직접적인 자료도 이용할 수 없는 경우라면, 덜 정확하기는 하나 대안적인 방법은 마그네슘 산업에 대한 연간 국가 SF_6 소비 기여도 점유율을 산정하는 것이다. 이 방법은 SF_6 판매량에 관한 연간 국가 자료를 취합해야 하며, 마그네슘 산업에서 판매된 모든 SF_6 가스가 해당 연도 내에 배출된다는 것을 가정한다.

Tier 3 직접적 측정 접근법

개별 마그네슘 공정 시설로부터 실제로 측정된 배출 자료를 이용할 수 있다면, 이들 자료는 국가 배출량을 계산하기 위해 총계되고 직접적으로 사용될 수 있다. 이러한 보고 작업에서는, SF_6의 파괴량과 2차 가스 생산물의 생성을 포함하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

HFC-134a, FK 5-1-12와 분해 생산물 (예: PFCs)

위에서 언급한 것처럼, 배출계수에 근거한 역사적인 자료는 거의 없다. 그러나 만약 마그네슘 표면 가스의 사용으로 인한 GHG 매출량이 국가적 주 카테고리일 경우에는, 인벤토리를 준비하기 위해 HFC-134a나 FK 5-1-12를 표면 가스로 사용하는 마그네슘 공장으로부터의 GHG 배출량(분해 생산물로서 PFCs의 배출량과 HFC134-a, FK 5-1-12의 일시적인 배출량)에 대해 직접적인 측정값이나 신뢰성 있는 간접적 측정값을 취합하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 점은 Tier 3 접근법에서도 고려될 수 있다. 역으로, Tier 3 측정값은 Tier 2에서 발전된 배출계수로 사용될 수도 있다.

운반 가스

이 장에서 앞서 언급한 바와 같이, 장비 표면 가스 체계 내의 이산화탄소 운반 가스는 통상적으로 지구 온난화 가능성에 약간 기여하는 수준이다. 따라서 대체로 이 값은 고려하지 않는다.

4.5.2.3 활동도 자료의 선택

1차 생산으로 인한 CO_2 배출량

Tier 1 방법에서, 인벤토리 작성자는 국가의 1차 생산물 자료를 구하고, 해당 국가에서 사용된 원료 물질의 유형에 대해 알고 있어야 한다. 4.5.2.1절에서 논의된 바와 같이, 이러한 자료는 공적으로는 이용할 수 없기 때문에, 특히 개발도상국의 소규모(특히 열 환원 유형) 생산 단위에서는 이 값을 얻기가 어렵다. 대략적인 국가 마그네슘 생산량 자료는 국제 마그네슘 협회와 같은 산업 협회를 통해 입수할 수 있다. Tier 2 방법에서는, 인벤토리 작성자는 각 회사/공장으로부터 1차 마그네슘 생산량 자료와 탄산염 원료 물질 자료를 취합하여야 한다. Tier 3 방법에서 활동도 자료는 직접적으로 측정되어 보고된 배출량 값을 구성한다.

마그네슘 주조 공정(1차와 2차)

SF_6

Tier 1 방법에서는, 가능하다면 생산량 자료를 SF6를 사용한 부분(예: 1차 생산, 재생, 강편 주조, 형판 주조, 중량 주조 등)으로 분리하고, 이용가능한 부분별 배출계수를 적용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 분리된 자료를 이용할 수 없는 경우에는, 산정값을 제공하기 위해 보다 통합된 생산량 자료-가능하다면 여러 다른 공정으로부터의 결과물의 통합된-를 사용할 수 있다. SF_6 소비량이나 마그네슘 생산량 자료가 없는 경우에는, 그 대안으로 마그네슘 산업에 대한 SF_6 판매량과 관련된 연간 국가 자료를 취합하는 방법이 있다. SF_6 생산자는 이러한 자료를 직접적으로 제공하거나, 국가 통계를 활용하여 제시할 수 있다. 마그네슘 산업에서 소비된 값을 산정할 때 SF_6를 사용하는 다른 산업(예: 전기 장비)에서의 소비량 자료를 고려하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 3과 2 방법에서, 활동도 자료는 각 공장으로부터의 SF_6(그리고 2차 가스 생산물) 배출량이나 SF_6 소비 총량을 보고한다. Tier 1 방법을 사용하기 위해서는, 국가-혹은 개별 공장-의 마그네슘 생산량 자료가 필요하다. 일정 영역에서의 SF_6 사용에 대해 다소 직접적으로 보고하는 경우에는, 직접적으로 보고된 시설로 대표되는 생산량 값을 산정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 그 외의 다른 시설에서는, 생산량에 기반한 배출량 산정값을 사용하는 것이 좋다.

HFC-134a, FK 5-1-12와 분해 생산물 (예: PFCs)

Tier 3 방법에서 활동도 자료는 직접적으로 측정되고 보고된 배출량 값을 구성한다. Tier 1이나 2 방법에서는 이에 관한 지침이 제공되지 않기 때문에, 어떠한 활동도 자료도 필요하지 않다.

운반 가스

인벤토리를 보고할 때 운반 가스 용도로 선택된 활동도 자료가 사용된 활성 혼합물의 자료와 유사하다는 점을 설명하는 것이 좋다. 즉, CO_2가 SF_6에 대한 운반 가스로 사용된다면, CO_2의 활동도 자료는 SF_6의 활동도 자료를 반영해야 한다. CO_2가 HFC-134a나 FK 5-1-12의 운반 가스로 사용되는 경우에, CO_2 활동도 자료는 HFC-134a나 FK 5-1-12의 활동도 자료를 반영해야 한다.

4.5.2.4 완전성

불완전한 직접 보고나 활동도 자료는 선진국에서의 1차 생산물에 있어서는 중요한 문제가 아니다. 대체로, 선진국에서는 잘 알려진 소수의 1차 마그네슘 생산자가 있고, 이들 생산자는 기록을 잘 해 오고 있다. 일반적으로 완비성 문제는 개발도상국에서 시설이 보다 넓은 범위로 분포되어 있고 광범위한 수용력과 기술을 가지고 있는 경우에, 주조 부문에서 발생한다. 일부 공장은 국가 자료에 포함되지 않는 틈새 시장에 생산물을 공급할 수도 있다. 인벤토리 작성자는 이러한 사실이 발생하지 않는다고 단순 가정하기 보다는, 보다 소규모의 산업 부문에 대해서는 산정값이 없다는 것을 확인해야 한다. 산업에 대한 주기적인 조사를 수행하고, 산정값의 완비성을 검토받기 위해 국제적 산업 협회 및 지역적 산업 협회와 밀접한 관계를 수립하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

대안적인(SF_6가 아닌) 표면 가스 체계가 각종 플루오르화 부산물로 분해시키기 때문에, 일부 설명되지 않는 지구 온난화 가능성이 있을 수 있다. 그러나 이는 중요한 것으로 예견되지 않는다.

경제적 개발도상국가의 많은 소규모 생산 단위에서의 마그네슘 공정뿐만 아니라 세계의 1차 생산물의 점증하는 분율로 인해, 완비성은 중요한 문제가 될 것으로 보인다. 인벤토리 작성자는 1차 마그네슘 생산 기간 동안의 마그네슘 탄산염 원료 물질의 소성로 인한 배출량을 이중 계산할 수 있다는 점과, 석회암, 백운암, 기타 탄화 광물과 연관된 배출량에 유의해야 한다(이 책의 제2장, 탄산염의 기타 과정 사용 Other Process Uses of Carbonates을 참조). 1차 마그네슘 생산에 대한 탄산염의 소성와 연관된 모든 배출량은 마그네슘 생산으로 인한 GHG 배출량으로 보고되어야 한다.

4.5.2.5 일관성 있는 시계열 개발

전체적인 마그네슘 생산 통계 측면의 자료는 대체로 공장의 역사를 활용하여 입수할 수 있다. 그러나 일부 경우에는, 초기 기록의 부재나 변환기의 산업 구조의 변화로 인해 역사적인 생산 자료를 이용할 수 없을 것이다. 이러한 경우에, 국제적인 자원으로부터의 생산량 자료가 사용될 수 있다.

이러한 배출량이 2006년 이전에는 보고되지 않았기 때문에(보고서의 지침이 *1996 IPCC 가이드라인*에는 없었음(IPCC, 1997)), 1차 마그네슘 생산으로 인한 CO_2 배출량에 대한 일관성 있는 시계열을 수립하는 문제가 있을 수 있다. 그러나 대부분의 1차 마그네슘 생산 시설에서 CO_2 배출량 수준은 1톤당 생산된 마그네슘을 기반으로 할 때, 시간에 걸쳐 비교적 일관성이 있다고 가정한다.

SF_6 배출량 측면에서, 일관적인 시계열을 수립하기 위해 지방/국가의 배출계수나 배출계수 기본값에 의한 역사적 활동도 자료를 곱하는 Tier 1 접근법을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 대체로 시설별 배출계수는 환경적인 인식, 경제적 요인, 개선된 기술이나 실제적 측면으로 인해 시간에 걸쳐 감소된다는 점에 주목하여야 한다.

2003년 이전에는 어떠한 국가에서도 상당한 정도까지 마그네슘 산업에서 HFC-134a와 FK 5-1-12 표면 가스를 사용하지 않았기 때문에, 역사적인 배출량은 0일 것이다. 이들 가스의 사용과 연관된 배출량을 보고하는 경우의 복잡성 수준을 고려해 볼 때, 인벤토리 작성자가 일관성 있는 시계열을 개발하는 것은 어려운 일이 될 것이다.

제1권 제5장에서의 지침에 따라 적합한 역사적인 배출계수를 산정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 시간에 따른 일관성을 보장하기 위해 이전에 사용된 것을 이용하여 배출량 산정값을 재계산하는 것이 *우수실행(good practice)*이며, 배출량의 경향성이 존재하고 이 경향성이 산정 방법론의 변화에 의해 유발되지 않았다는 점을 입증하는 것은 새로운 방법이다. 모든 경우에 있어서 가설을 문서화하고, 인벤토리 작성자에게 그것을 기록하도록 하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

4.5.3 불확도 평가

1차 생산으로 인한 CO_2 배출량

시설 수준에서는 생산된 마그네슘의 톤수뿐만 아니라, 원료 물질의 유형/분석, 그리고 사용에 대해 잘 문서화되어 있어야 한다. 모든 가스에 대하여 Tier 2와 3 방법에서 요구되는 직접적으로 보고된 활동도 자료는 대체로 5% 미만의 범위 내에서 정확하다. 국가 인벤토리 수준에서, 마그네슘 생산 활동도와 배출량 자료의 정확성은 다른 국가 생산 통계의 정확성(예: ±5%)에 필적한다. 추가적인 불확도는 직접적으로 보고되지 않은 생산량 값을 산정하는 것을 통해 알 수 있다.

마그네슘 주조 과정(1차와 2차)

SF_6

Tier 1 접근법에서는, 다른 2차 영역으로부터의 생산량을 총합하는 것과 배출계수 기본값을 사용하는 것을 통해 불확도를 알 수 있다. 예컨대, 주조 작용으로 인한 국가 자료는 SF_6 배출량이 다를 가능성이 있음에도 불구하고 형판 주조와 중량 주조 부문으로 분리되지는 않는다. 따라서 이러한 접근법은 실제 배출량의 매우 대략적인 산정치 기본값에 의한 것이다. 상이한 처리 작용과 주조 작용이 중요도 순위에 의해 달라지는 표면 가스에서의 SF_6의 농도를 사용한다면, Tier 1 방법을 사용할 때 생겨나는 불확도도 중요도의 순위에 따라 달라질 것이다.

Tier 1과 2 방법에서는, 사용된 SF_6의 100%가 배출된다는 가정과 연관된 불확도의 수준도 존재한다. 전형적인 주조 작용에서, 이러한 가정에서의 불확도는 30% 이내여야 한다(Bartos et al., 2003). Tier 2 방법에서는, SF_6의 사용이 입수된 자료로부터 쉽고 정확하게 측정되기 때문에, 시설 수준에서의 SF_6 사용과 관련하여 불확도가 매우 낮다(보통 직접적으로 보고된 자료에는 5% 미만의 불확도 산정값이 적절하다).

Tier 3 방법에서의 불확도는 주로 장비의 눈금 측정이나 정확도를 검토하는 과정에서 일어난다. 푸리에 변환 인프라 적분광학(Fourier Transformed Infra Red Spectroscopy, FTIR)과 같은 대표적인 가스 분석 방법은 대체로 ±10%로 산정된 정확도를 갖고 작용한다. FTIR과 유사한 분석적 기술에 추가하여, FTIR의 전체적인 불확도를 ±20%까지 가져오는 대표적인 표집과 눈금 측정과 관련된 문제로 인해 보다 큰 불확도가 유발될 수도 있을 것이다.

HFC-134a, FK 5-1-12, 분해 생산물 (예: PFCs)

SF_6에 대한 Tier 3 방법과 관련하여, 주요 불확도는 HFC-134a나 FK 5-1-12 의 표면 가스를 사용하는 과정에서 나타나는 점검 장비의 눈금 측정/정확성과 연관되어 있다. 불확도는 대략 ± 10%이다.

운반 가스

가장 큰 불확도는 극소량의 표면 가스로 인한 CO_2 배출량을 고려한 Tier 1 접근법과 연관되어 있다. 특히 이것은 시설에서 CO_2가 매우 많은 운반 가스 혼합물을 사용할 경우에 그러하다. 다른 tiers는 SF_6와 관련되어 있기 때문에 동일한 불확도 값을 갖는다.

4.5.4 품질보증/질 관리(QA/QC), 보고 및 문서화

4.5.4.1 품질보증(QA)/ 질 관리 (QC)

제1권 제6장에서 개관한 것처럼 배출량 산정에 대해 질 관리 점검을 수행하고, 전문가에게 검토를 받는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 제1권 제6장에서 개관한 추가적인 질 관리 검토와 품질보증 절차도 특히 높은 수준의 tier에서 적용할 수 있을 것이다. 인벤토리 작성자는 제1권 제4장에서 설명된 것처럼 주 카테고리에 대해 높은 수준의 tier QA/QC를 기꺼이 사용할 것이다. 다음에서는 마그네슘 생산에 관한 구체적인 추가 절차를 개관한다.

다른 접근법을 사용한 배출량 산정값의 비교

개별 시설로부터의 자료를 사용하여 배출량을 계산한다면, 인벤토리 작성자는 국가 마그네슘 생산 자료를 사용한 배출량 산정값과, (SF_6의 경우에) 마그네슘 사용의 국가 소비량 자료를 사용하여 계산된 산정값을 비교해야 한다. 이들 비교 결과는 기록되어야 하며, 두 값이 일치하지 않는 경우에는 반드시 조사해야 한다.

시설 수준의 자료 검토

다음의 시설별 정보는 독립적인 검토를 촉진하기 위해 기록되어야 한다.

- 마그네슘 생산량과 공정 유형;
- 지구 온난화 가능성이 있는 표면 가스(SF6, HFC-134a, FK 5-1-12, CO2 등)의 소비/혼합이나 마그네슘 생산(계수가 사용될 때);
- 시설 수준의 QA/QC 결과(표본 추출의 문서화, 시설 수준 자료에 대한 측정 방법 및 측정 결과를 포함하여);
- 통합적인 조직체(예: 국제 마그네슘 협회와 같은 산업 협회)에 의해 수행된 QA/QC 결과;
- 계산 및 산정 방법;
- 적용할 수 있는 경우에 국가의 SF6 사용량을 배정하기 위한 가정적인 목록. HFC-134a, FK 5-1-12나 시설 수준에서의 중요성과 생산량을 반영하는 기타 가스

인벤토리 작성자는 개별 시설에서 지구 온난화 표면 가스(SF6, HFC-134a, FK 5-1-12 등) 소비량이나 마그네슘 생산량 자료를 보고할 때 국가나 국제적인 측정 표준치를 사용할 것이지를 결정해야 한다. 표준적인 방법과 QA/QC 절차가 수반되지 않는다면, 이러한 활동도 자료의 사용은 재고되어야 한다.

국가 활동도 자료의 검토

마그네슘 생산량 자료의 참조 사항과 관련된 QA/QC 활동도는 평가되고 참조되어야 한다. 인벤

토리 작성자는 국가 생산량 자료를 취합하는 무역 협회나 기관이 수용가능성 있는 QA/QC 절차를 사용하는지를 확인해야 한다. 만약 QA/QC 절차가 받아들여질 수 있는 것으로 간주된다면, 인벤토리 작성자는 QA/QC 문서화의 일부로 QC 활동도를 참조하여야 한다.

배출계수의 평가

회사별/국가별 계수가 사용되는 경우, 인벤토리 작성자는 기초적인 자료와 연관된 QC 수준을 검토해야 한다. 인벤토리 작성자가 이들 계수가 대표적인 값인지를 결정하기 위하여, 국가 수준의 계수 기본값과 시설 수준의 계수를 교차 점검하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

동료 검토(Peer review)

인벤토리 작성자는 잠재적인 신뢰성 문제를 고려하여, 마그네슘 산업 전문가를 포함시켜 인벤토리 산정값을 철저히 검토하여야 한다. 역사적인 생산량 자료는 현재의 자료에 비해 공적 발표에 덜 민감하고, 시설 수준 배출량에 대한 외부 동료 검토 과정에서 이용될 수 있다.

SF_6 배출량 자료의 검증

인벤토리 작성자는 수입/수출, 생산량 자료로부터 SF_6 양에 관한 정보를 입수하였을 경우, 다른 산업 부문(예: 마그네슘, 전기 장비)에서 사용된 SF_6의 양을 합하고, 이 값을 해당 국가의 SF6의 총 사용량과 비교하여야 한다. 이것은 잠재적인 배출량과 관련하여 보다 상위 범위를 제공한다.[16]

4.5.4.2 보고 및 문서화

제1권 제6절 11장에서 개관하였듯이, 국가 배출량 인벤토리 산정값을 생산하기 위해 필요한 모든 정보를 문서화하고 기록하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 국가 인벤토리 보고서에서 모든 내용을 문서화하는 것은 실용적이지는 않다. 그러나 인벤토리에서는 보고된 배출량의 산정값을 명료화하기 위해, 사용한 방법을 요약하고 출처 자료의 참조 내용을 포함해야 하고, 산정값의 계산 단계를 검토할 수 있어야 한다. 명료성을 증가시키기 위하여, 1차 생산 및 주조와 같이 산업 부문에 의해 분리된 마그네슘 배출원 카테고리로부터 배출량 산정값을 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 다음의 추가적인 정보를 통해, 보고서 작성에 있어서 적당한 명료성 정도를 제공할 수 있다.

직접적인 보고서 작성

- 보고된 마그네슘 시설의 수;
- 사용된 공정과 제조의 유형;
- 생산된 마그네슘과 마그네슘 생산물;
- 마그네슘 부문과 연관된 SF_6 배출량;
- 지구 온난화 가능성을 가진 다른 방지 표면 가스의 사용;

[16] 이러한 소비량 총계 자료가 항상 배출량의 상한선을 제공하는 경우인 것은 아니다. SF_6 소비 산업의 국가 특성에 따라 몇 년 동안에 SF_6의 실제 배출량이 SF_6의 소비량보다 클 수도 있다. 예컨대, 마그네슘 형판 주조 과정에서의 소비량은 매우 낮고, 많은 반도체 제조업에서는 소비량이 낮지 않다. 그러나 전기 장비 산업에서는 SF_6의 댐은 상당히 많은 양이 수년에 걸쳐 변화된다. 이러한 경우에, 배출량과 연관된 댐의 누수는 장비의 사용을 중지시키고, 이는 실제 배출량이 SF_6의 소비량을 초과하는 결과를 유발한다. 전기 장비로 인한 SF_6 배출량에 대해서는 8.2절을 참고하라.

- 지구 온난화 가능성을 가진 각 방지 표면 가스에 대한 배출계수 자료(와 참조 사항)

잠재적 배출량의 산정값에 기반한 국가 가스 판매량

- 국가의 SF_6 소비량(과 참조 내용);
- 마그네슘 부문에 배당된 HFC-134a의 국가 사용량;
- 마그네슘 부문에 배당된 FK 5-1-12의 국가 사용량;
- 마그네슘에 사용된 SF_6 , HFC-134a, FK 5-1-12를 할당하는 데 필요한 가정;
- 마그네슘(과 참조 사항)에 사용된 국가의 SF_6, HFC-134a, FK 5-1-12 백분율;
- 기타 가정들

대부분의 국가에서는, 마그네슘 산업은 적은 수의 시설로 나타난다. 이 산업에서, 활동도 수준 자료와 표면 가스 배출량(직접적으로 활동도 수준에 관련된)은 신뢰성 있는 사업 정보로 고려될 수 있으며, 공적인 보고서는 신뢰성에 따라 작성되어야 할 것이다.

4.6. 납 생산

4.6.1 서론

일차 생산 공정

납 정광으로부터 미가공 납 덩어리(bullion)를 생산하는 데에는 2가지 기본 과정이 있다. 첫 번째 유형은 소결/제련시키는 과정으로, 연속적인 소결 단계와 제련 단계로 이루어져 있으며 초기 납 생산의 약 78%를 차지한다. 두 번째 유형은 직접적인 제련 과정으로 소결 단계를 제거한 경우인데, 이는 선진국에서의 초기 납 생산의 나머지 22%를 구성한다(Sjardin, 2003).

소결/ 제련 과정에서, 초기 소결물은 연소 과정을 거쳐 황과 휘발성 금속을 제거하기 위하여 납 정광과 재생 소결물, 석회 암석, 규토, 산소, 납 고함유 슬러지를 혼합시킨다(야금 산업, 1995). 산화납과 다른 금속성 산화물로 구성된 소결 소성를 생산하는 과정에서 산화납을 가열하는 데 사용되는 천연 가스로부터 황이산화물(SO2)과 에너지 관련 이산화탄소(CO_2)가 배출된다(DOE, 2002). 이후 소결 소성는 다른 금속, 공기, 용해 부산물, 야금 코크를 포함한 금속과 함께 로(furnance)에 투입된다(야금 산업, 1995). 코크는 공기와 반응하여 연소되고, 실제 화학 작용을 통해 산화납으로 환원되도록 하는 일산화탄소(CO)를 생산한다(DOE, 2002). 제련 과정은 전통적인 로나 납□아연 제련용 용광로(Imperial Smelting Furnace)에서 일어나고, CO_2를 배출시키는 중에 산화납으로 환원된다(Sjardin, 2003). 소결 과정은 용해된 납 덩어리(bullion)를 생산한다(야금 산업, 1995).

직접적인 제련 과정에서는, 소결 단계를 생략하고 납 농축물과 다른 물질이 용해되고 산화되는 로에 직접 투입된다.(Sjardin, 2003). 직접적인 제련 과정에서는 다양한 로가 사용되는데, Isasmelt-Ausmelt, Queneau-Schumann-Lurgi, Kaldo로는 가열 장치 제련(bath smelting)에 사용되고, Kivcet로는 증발 제련(flash smelting)에 사용된다. 석탄, 야금 코크, 천연 가스를 포함하는 다수의 환원제는 각 로에서 제련 과정 중에 양을 달리하여 사용되고, 로의 각 유형에 따라 CO2 배출량의 수준이 달라진다(Sjardin, 2003; LDA, 2002). 직접적인 제련 과정은 소결 과정을 없앰으로써 상당한 환경적, 잠재적 이용 절감 이익을 가져오고, 따라서 앞으로 초기 제련 납 생산에서 점증하는 비율을 차지할 것으로 기대된다(LDA, 2002).

이차 생산 공정

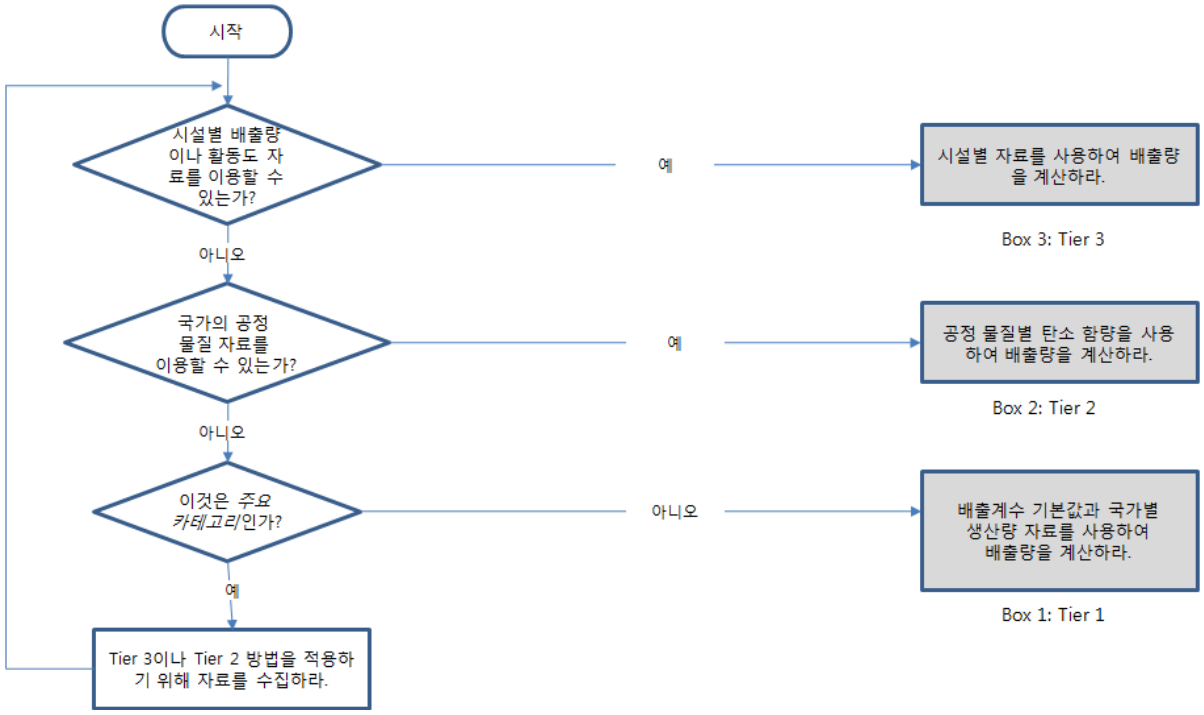
제련된 납의 2차 생산은 재생된 납을 재사용하기 위하여 마련된 공정 과정이나 마찬가지이다. 이 재생된 납의 대부분은 쓰레기로 버려진 산화 납 배터리에서 온 것이다. 산화 납 배터리는 해머 분쇄기를 사용하여 분쇄된 후 탈황화 작용이 수반되거나 수반됨이 없이 제련 과정이 시작되거나, 전체로써 제련된다(Sjardin, 2003). 전통적인 로, 납□아연 제련용 용광로(Imperial Smelting Furnace), 전기로(electric arc furnaces), 전기저항로, 반사로, Isasmelt로, Queneau-Schumann-Lurgi로, Kivcet로는 모두 이들 배터리와 다른 재생된 고철 납을 제련시키는 데 사용될 수 있다(Sjardin, 2003). 1차 납 덩어리 생산에 사용되는 로에서는, 이들 로는 환원제의 유형과 양에 따라 달리 사용되어 각기 다른 수준의 CO2를 배출시킨다. 1차 환원제는 전기 저항 용광로에서는 석유 코크를 사용하기는 하나, 대체로 석탄, 천연 가스, 야금 코크이다(Sjardin, 2003).

4.6.2 방법론적 이슈

4.6.2.1 방법의 선택

IPCC 가이드라인은 납 생산으로 인한 CO_2 배출에 대해 3가지 방법을 개관한다. *우수실행(good practice)*을 선택하는 것은 그림 4.15의 의사결정도에서 나타난 바와 같이 국가의 환경에 따라 달라진다. Tier 1 방법은 국가의 총 납 생산량에 적용되는 일반적인 배출계수로부터 배출량을 계산하나, 가장 낮은 정확도를 갖는다. 이 방법은 납 생산이 주 카테고리가 아닐 경우에 한하여 적절하다. Tier 2 방법은 공정 물질의 탄소 함량 적당량에 의해 곱해진 1차와 2차 생산 공정에 대하여 국가별 공정 물질 자료를 사용한다. Tier 3 방법에서는 시설별로 측정된 활동도나 배출량 자료가 필요하다.

그림 4.15 납 생산으로 인한 CO_2 배출량 산정을 위한 의사결정도



주:

1. 주 카테고리에 대한 논의와 의사결정도의 활용에 대해서는, 제1권 제4장 <방법론적 선택과 주 카테고리의 구체화>(제한된 자원에 대한 4.1.2절에 유의해서 볼 것)를 참고하라.

Tier 1 방법

가장 단순한 산정 방법은 배출계수 기본값에 납 생산량을 곱하는 것이다. 이용할 수 있는 유일한 자료가 국가 납 생산량 통계일 경우에는, 배출계수 기본값을 활용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 식 4.32는 배출원에 의한 배출량을 합하고 2차 원료(feedstock)의 사전 처리로 인한 배출량을 계산함으로써, 납 생산으로 인한 총 이산화탄소 배출량을 계산한다. 만약 생산 공정의 유형을 차별화할 수 없다면, 배출계수 기본값을 사용해야만 한다. 배출계수 기본값은 생산량의 80%가 납□아연 제련용 용광로(Imperial Smelting Furnace)나 폭파 용광로를 사용하여 제련되고, 나머지 20%는 Kivcet, Ausmelt, Queneau-Schumann-Lurgi 용광로에서 직접적인 제련 과정을 사용

하여 제련된다는 것을 가정한다. 이러한 가정은 세계적인 납 생산 자료에서도 동일하다(Sjardin, 2003).

식 4.32
납 생산으로 인한 CO_2 배출량

$$E_{CO2} = DS \quad EF_{DS} + ISF \quad EF_{ISF} + S \quad EF_S$$

여기서,

E_{CO2} = 납 생산으로 인한 CO_2 배출량, 톤(톤)
DS = 직접적 제련 과정에 의해 생산된 납의 양, 톤(톤)
EF_{DS} = 직접적 제련 과정에 대한 배출계수, 톤(tonne) CO2의 양/톤(tonne) 납 생산량
ISF = 납□아연 제련용 용광로(Imperial Smelting Furnace)에서 생산된 납의 양, 톤(톤)
EF_{ISF} = 납□아연 제련용 용광로(Imperial Smelting Furnace)에 대한 배출계수, 톤(tonne) CO_2 의 양/톤(tonne) 납 생산량
S = 2차 물질로 인해 생산된 납의 양, 톤(톤)
EF_S = 2차 물질에 대한 배출계수, 톤(tonne) CO_2의 양/톤(tonne) 납 생산량

식 4.32에서 사용된 CO2 배출계수는 표 4.21에 제시되어 있다.

Tier 2 방법

Tier 2 방법은 재생된 배터리와 같은 2차 자원이든 금속으로 인한 1차 생산물에 의한 것이든 간에, 생산 방법론과 원료 물질 자원에 따라 납 생산 과정에서의 이산화탄소 배출량에 상당한 차이가 있다는 것을 인정한다. 2차 납 배출원은 이산화탄소를 배출시키는 불순물을 제거하기 위하여 사전 처리과정을 거친다. 배출량은 환원제, 로 유형, 기타 공정 물질의 사용에 근거한 국가별 배출계수를 사용하여 계산할 수 있다. 계수는 이들 물질에 적용된 탄소 함량에 근거하여 개발된다. 표 4.22에서는 국가별 계수를 추출하기 위해 사용될 수 있는 탄소 함량값을 제공한다. 이들 자료는 제조업이나 에너지 통계를 관리하는 정부기관이나, 상사, 산업 무역 협회, 개별 납 생산 회사로부터 입수할 수 있다. Tier 2 방법은 전 세계적인 산업에 걸친 상황을 가정하기 보다는, 국가별로 CO_2 배출량에 기여하는 납 부문에 사용된 물질과 로 유형을 고려하기 때문에, Tier 1 방법보다 더 정확하다.

Tier 3 방법

실제 직접적으로 측정된 CO_2 배출량 자료를 납 생산 시설로부터 입수할 수 있다면, 이들 자료는 Tier 3 방법을 사용하여 총계를 구하고, 국가 배출량을 계산하는 데 직접적으로 사용될 수 있다. 총 국가 배출량은 각 시설에서 보고된 배출량의 합과 같을 것이다. 만약 시설 배출량을 이용할 수 없다면, 배출량은 개별 환원제나 기타 공정 물질에 대한 시설별 자료를 통해 계산되어야 한다. Tier 2보다 더 높은 수준의 정확도를 얻기 위하여, 각 시설의 기술 측면, 특히 로 기술이 상당히 다를 수 있기 때문에, 시설 수준에서의 배출 산정값을 개발하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 자료는 제조업이나 에너지 통계를 관리하는 정부 기관이나, 상사, 산업 무역 협회를 통해 입수할 수 있고, 될 수 있으면 개별 납 생산 시설의 재고량 자료를 통해 총계값을 구하는 것도 좋다.

4.6.2.2 배출계수의 선택

Tier 1 방법

국가 납 생산 통계 자료만을 이용할 수 있는 경우에는, CO2 0.52톤/납의 양(톤)의 배출계수 기본값을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다(Sjardin 2003). 이 기본값은 1차와 2차 물질로부터 생산된 납의 상대적인 양에 관한 정보를 입수할 수 없을 경우에 한하여 사용되어야 한다. 정보를 구할 수 있는 경우에는, 배출량은 표 4.21의 적당한 계수값을 사용하여 계산되어야 한다(Sjardin, 2003). 계수 기본값의 불확도는 높으며, 생산 방법의 혼합율과 2차 공정의 비율에 따라 달라진다. 추가적으로, 이 계수는 세계 납 생산량(1차와 2차를 포함하여)의 80%가 납 · 아연 제련용 용광로(Imperial Smelting Furnaces)를 사용하여 제련되고, 나머지 20%는 Kivcet, Ausmelt, and Queneau-Schumann-Lurgi 용광로에서 직접적인 제련 방법을 사용하여 제련된다는 것을 가정한다(Sjardin, 2003).

표 4.21
배출원과 로 유형에 따른 납 생산량에 대한 일반적인 CO_2 배출계수

납 · 아연 제련용 용광로(ISF) 생산에 기인	직접 제련(DS) 생산에 기인	2차 원료 물질의 처리에 기인	배출계수 기본값 (80% ISF, 20% DS)
0.59	0.25	0.2	0.52

출처: Sjardin(2003)

Tier 2 방법

이 방법에서는 이들 물질의 탄소 함량에 대한 시설별 자료와 로 유형에 근거하여 산정된 규준의 다양성을 반영함으로써, 배출계수를 조정할 기회를 제공한다. 표 4.22에서의 탄소 함량 기본값은 인벤토리 작성자가 납 생산 시설의 조건에 관한 정보를 가지고 있지 않지만, 공정 물질에 관한 구체적인 활동도 자료를 가지고 있는 경우에 사용되어야 한다. 표 4.22에서의 기본값은 제2권 제1장의 표 1.2와 1.3에서의 기본값을 통해 추출되고, 보다 많은 정보에 대해 참조되어야 한다.

표 4.22
납 생산량에 대한 금속별 탄소 함량(kg 탄소/kg)

공정 물질	탄소 함량
고로 가스	0.17
목탄*	0.91
석탄[1]	0.67
콜타르	0.62
코크스	0.83
코크스로 가스	0.47
원료탄	0.73
EAF 탄소 전극[2]	0.82
EAF 충전지 탄소[3]	0.83
연료유[4]	0.86
가스 코크스	0.83
천연 가스	0.73
휘발유 코크스	0.87

출처: 탄소 함량 자료에 관한 인용 내용은 제2권 제1장, 표 1.2와 표 1.3에 포함되어 있음.
주:
[1] 기타 아스팔트질 석탄을 가정함.
[2] 80%의 휘발유 코크스와 20%의 콜타르를 가정함.
[3] 코크스로 코크스를 가정함.
[4] 가스/디젤 연료를 가정함.
* 목탄으로 인한 CO_2 배출량은 이 탄소 함량값을 사용하여 계산할 수 있지만, 국가 온실가스 인벤토리에서 0으로 보고해야 한다.

Tier 3 방법

Tier 3 방법은 총합된 배출 산정값이나 시설별 Tier 2 적용값에 근거한다. 인벤토리 작성자는 각 시설이 배출계수와 사용된 탄소 함량을 문서화해 왔고, 이들 배출계수가 해당 시설에서 사용된 공정과 물질의 지표가 된다는 점을 확인해야 한다. Tier 3 방법에서는 표 4.22에 제시된 것과 같이 모든 공정 물질과 현장 외(off-site) 이동량에 대한 탄소 함량과 생산/소비 총량 비율을 필요로 한다. 표 4.22에서는 탄소 함량 기본값을 제공하고 있으나, Tier 3 하에서는 이 표에 제시된 기본값을 활용하여 시설 수준의 다양성을 반영하도록 탄소 함량 기본값을 조정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 표 4.22에 열거된 계수 기본값은 시설별 정보가 실제의 조건과 일치하는 경우에 한하여, Tier 3 방법에서 적절하게 활용될 수 있다. Tier 3 방법에 있어서 시설별 자료는 탄소 함량 자료와 생산/소비 총량 비율 자료를 포함하기 때문에, 대부분의 사례에서 표 4.22의 기본값은 Tier 3 방법에는 적용되지 않는다.

4.6.2.3 활동도 자료의 선택

Tier 1 방법

Tier 1 방법은 해당 국가에서 생산된 납의 양, 가능할 경우 로 유형에 따른 생산량 값만을 필요로 한다. 이러한 자료는 제조업 통계를 관리하는 정부 기관, 상사, 산업 무역 협회, 개별 납 생산 회사로부터 입수할 수 있다. 로 유형을 알 수 없는 경우에, 이들 납의 톤수는 CO_2 배출량이나 계수 기본값을 산정하기 위하여 표 4.21에서 상응하는 배출계수로 곱해질 수 있다.

Tier 2 방법

Tier 2 방법은 환원제의 총량과 해당 국가에서 납 생산에 사용된 기타 공정 물질량만을 필요로 한다. 이러한 자료는 제조업, 에너지 통계를 관리하는 정부 기관, 상사, 산업 무역 협회, 개별 납 생산 회사를 통해 입수할 수 있다. 이들 양은 표 4.22에서 적합한 탄소 함량을 곱하고, 해당 부문에서의 총 CO_2 배출량을 결정하기 위하여 더해질 수 있다. 그러나 시설 수준에서 취합된 활동도 자료를 활용하는 것이 더 좋다(Tier 3). 이것이 주 카테고리가 아니고 전체 산업에 걸친 환원제나 공정 물질을 입수할 수 없는 경우라면, 이들 배출량은 Tier 1 접근법을 사용하여 산정될 수 있다.

Tier 3 방법

Tier 3 방법에서는 시설별로 측정된 배출량이나 활동도 자료를 취합, 수집, 통합하여야 한다. 배출량 자료를 입수할 수 없는 경우에는, Tier 3 방법에서는 시설별 수준에서 취합되고 해당 부문에서 총합된 활동도 자료가 있어야 한다. 사용된 환원제의 양과 로의 유형은 이러한 방법에서 정확성을 보다 높여 준다. 이러한 자료는 제조업이나 에너지 통계를 관리하는 정부 기관이나 상사, 산업 무역 협회를 통해 입수할 수 있으나, 개별 납 생산 시설의 재고량에 대한 자료를 통해 총계를 구하는 것이 보다 선호된다. 또한 이 접근법은 추가적인 정확도를 고려하여, 개별 회사가 Tier 2 방법에서 사용된 계수 기본값에 따라 달라지는 탄소 함량과 로 유형을 반영하도록 함으로써, 보다 정확한 시설별 자료를 제공하고 보다 연관성 있는 배출계수를 제공하도록 한다.

4.6.2.4 완전성

이 배출원 카테고리로부터의 배출량을 산정할 때에는, IPPU나 에너지 부문에서 배출량을 이중 계산하거나 빠뜨릴 수 있는 위험성이 있다. 일반적인 지침에 따르면, 납 생산으로 인한 모든 공정 배출량은 IPPU 부문에서 보고되어야 한다.

4.6.2.5 일관성 있는 시계열 개발

납 생산으로 인한 배출량은 시계열 측면에서 매년 동일한 방법을 사용하여 계산되어야 한다. 시계열적 측면에서 모든 해에 Tier 3 방법을 뒷받침하는 자료를 입수할 수 없다면, 이러한 차이는 제1권 제5장의 <시계열 일관성과 재계산>에서 제공된 지침에 따라 재계산되어야 한다.

4.6.3 불확도 평가

납 생산에 대한 불확도 산정값은 활동도 자료와 연관된 불확도와, 배출계수와 관련된 불확도를 통해 현저하게 나타난다. 표 4.23를 활용하면, 배출량 계수와 활동도 자료의 불확도에 대해 검토할

수 있다.

4.6.3.1 배출계수 불확도

Tier 1에서 사용된 배출계수 기본값은 ±50%의 불확도 값을 갖는다. Tier 2의 탄소 함량은 ±15%의 불확도가 예상된다. Tier 3의 단위별 배출계수는 시설별 탄소 함량 자료를 이용할 수 있는 경우에는, 5% 이내의 불확도를 갖는다.

4.6.3.2 활동도 자료 불확도

활동도 자료 불확도는 국가 생산 통계량을 입수하여야 하며, ±10%의 불확도 값을 갖는다. Tier 2 방법에서는, 납 생산에 사용된 환원제나 공정 물질의 총량에 대한 불확도는 10% 이내이다. Tier 3 방법을 활용하기 위해서는, 생산량 자료에 대한 시설별 정보(약 5%의 불확도)를 구해야 한다. 부가적으로, tier 3에서의 실제 배출량 자료는 ±5%의 불확도 값을 갖는다.

표 4.23
불확도 범위

방법	자료 출처	불확도 범위
Tier 1	국가 생산량 자료	±10%
	배출계수 기본값	±50%
	공정 유형에 따른 배출계수	±20%
Tier 2	사용된 환원제의 양과 유형	±10%
	공정 물질 탄소 함량	±15%
Tier 3	시설 유도 = 공정 물질 자료	±5%
	시설별 측정된 CO2 자료	±5%
	시설별 배출계수	±5%

4.6.4 품질보증/품질관리 (QA/QC), 보고 및 문서화

4.6.4.1 품질보증/품질관리 (QA/QC)

제1권 제6장에서 개관한 바와 같이, 품질관리 점검을 수행하고 배출량 산정값에 대해 전문가 검토를 받는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 또한 제1권 제6장에서 설명한 부가적인 질 관리 점검과 품질보증 절차는 보다 높은 수준의 tier 방법을 사용하여 이 배출원 카테고리로부터의 배출량을 결정짓는 경우에만 적용될 수 있다. 인벤토리 작성자(Inventories agencies)는 제1권 제4장에 구체화된 주 카테고리에 대하여 보다 상위 수준의 QA/QC를 사용하고자 할 것이다.

제1권 제6장에서의 지침과 이 배출원 카테고리와 관련된 구체적인 절차가 아래에 기술되어 있다.

배출계수의 검토
인벤토리 작성자는 국가 계수가 IPCC 기본값에 비해 적절한지를 판단하기 위하여, 총 국가

배출계수와 IPCC 계수 기본값을 비교하여야 한다. 국가 계수와 계수 기본값 간의 차이는 특히 그 값들이 다른 환경적 조건을 나타낼 경우에는, 반드시 그 차이가 설명되고 문서화되어야 한다.

지역별(site-specific) 활동도 자료 점검

지역별 자료에 대해서, 인벤토리 작성자는 해당 자료들이 오차값이나 다른 측정 기술을 반영하는지, 배출량이나 작동 조건, 기술에 있어서의 실제적인 차이를 가져오는지를 확인하기 위하여 지역 간의 비일관성을 검토하여야 한다. 인벤토리 작성자는 납 생산과 관련하여 해당 시설의 자료와 다른 시설의 자료를 비교해야 한다. 또한 인벤토리 작성자는 배출계수와 활동도 자료가 국제적으로 인정되고 입증된 측정 방법에 따라 개발되었는지도 확인하여야 한다. 실제 측정값이 이 기준에 부합하지 않는다면, 이러한 배출량과 활동도 자료를 사용하는 것을 면밀히 평가해야 하고, 불확도 산정값을 재고하며 자료를 사용하는 데 필요한 조건을 문서화하여야 한다. 상급 수준의 측정값이 있고 QA/QC가 대부분의 지역에서 시행되는 경우에는, 이후에 배출량 산정값의 불확도를 수정할 수 있다.

전문가 검토

인벤토리 작성자는 검토 과정에서 납 생산과 연관된 주요 산업 무역 체제를 포함하여야 한다. 인벤토리 작성자는 검토 과정에서 납 생산과 관련된 주요 산업 무역 체제를 포함하여야 한다. 이 과정은 인벤토리 개발 과정의 초기에 시작되어야 하는데, 그것은 방법을 검토하고 개발하며 자료를 획득하는 데 활용되어야 하기 때문이다.

이 배출원 카테고리에서는 제삼자가 검토하는 것도 쓸모가 있는데, 특히 초기 자료 수집, 측정, 녹화, 계산, 문서화에 관련된 작업은 더욱 그렇다.

활동도 자료 점검

모든 tier 수준에서, 인벤토리 작성자는 환원제와 공정 물질(석탄, 코크, 천연 가스 등)로 인한 배출량이 이중계산되거나 빠뜨려지지 않았는지 확인하기 위하여 제2권 <에너지>의 내용을 토대로 이러한 사항을 점검해야 한다.

인벤토리 작성자는 자료가 오차나 다른 측정 기술을 반영하는지, 매출량, 작동 조건, 기술에서의 실제적인 차이가 나타나는지를 확인하기 위해, 해당 시설과 다른 시설의 자료 간에 비일관성을 점검해야 한다. 이것은 특히 환원제의 양에 대한 시설별 산정값이나 보고된 탄소 함량과 관련되어 있다. 이러한 자료를 이용할 수 있는 경우에, 인벤토리 작성자는 총합된 시설 수준의 산정값과 공정 물질 소비에 대한 산업 총량을 비교해야 한다.

4.6.4.2 보고 및 문서화 그리고 문서

제1권 6.11절에 개관된 바와 같이, 국가 배출량 인벤토리 산정값을 구하기 위하여 필요한 모든 정보를 문서화하여 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 국가 인벤토리 보고서에서 모든 내용을 문서화하는 것은 실용적이지는 않다. 그러나 인벤토리는 보고된 배출량 산정값이 분명히 하고 이들 계산 과정을 검토하기 위해, 사용한 방법을 요약해야 하며 출처 자료에 대한 참조 사항을 기록하여야 한다.

Tier 1 방법

산정된 배출량을 보고하는 것 외에도, 공정과 이에 대응하는 사용된 배출계수에 따라 총 납 생산

량을 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 2 방법

산정되거나 계산된 배출량, 모든 활동도 자료, 이에 대응하는 탄소 함량, 대안값을 정당화하는 가정이나 자료를 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 배출량값을 이중계산하거나 결측시키지 않았다는 것을 입증하기 위해서는, 제2권 <에너지>와의 연계성을 분명하게 설명하여야 한다.

Tier 3 방법

특정 시설의 자료가 사업을 하는데 매우 중요하거나 자료의 소유권이 있는 경우에는, 자료의 비밀을 유지해야 한다는 점을 고려하면서 계산된 배출량과 사용된 모든 자료의 출처를 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 또한 인벤토리 작성자는 모든 tier에서 QA/QC 과정뿐만 아니라, 산정값을 구현하는데 필요한 모든 정보를 문서화하여야 한다.

4.7 아연 생산

4.7.1 서론

일차 생산 공정

1차적인 아연 생산에는 3가지의 다른 유형이 있다. 첫 번째 방법은 전기-열(electro-thermic) 증류법이라 일컬어지는 야금 과정이다. 이 과정은 소성된 농축물과 아연, 할로겐, 카드뮴 및 다른 불순물인 소결물 공급에 투입된 2차 아연 생산물을 결합시키는데 사용된다. 그 결과인 과산화 아연 소결물은 전기 증류 로 내의 야금 코크와 결합되어, 산화아연을 감소시키고 진공 냉각기에 있는 기화된 아연을 생산한다. 이러한 감소는 비에너지 이산화탄소(CO2)의 배출로 이어진다. 전기열 증류 과정은 미국과 일본에서 사용된다(Sjardin, 2003; European IPPC Bureau, 2001).

아연 생산의 두 번째 방법은 납과 아연 농축물을 동시에 처리할 수 있는 납□아연 제련용 용광로(Imperial Smelting Furnace)를 사용하는 건식 야금 과정이다. 이 과정은 납과 아연의 즉각적인 생산, 비에너지 CO_2 배출로 이어진다. 이중계산을 하지 않고 배출량을 계산하기 위해서는, 이 과정에서 사용된 야금 코크/석탄의 환원제가 납과 아연 생산량에 배당되어야 한다. 배당에 근거한 총량값에 따르면, 계수값은 코크 0.74 톤/아연 1톤이다(Sjardin, 2003; European IPPC Bureau, 2001).

세 번째 아연 생산 방법은 전기 분해 과정으로, 수소 야금(hydrometallurgical) 기술이라고 한다. 이 과정에서, 황화아연은 석회화되어 산화 아연을 생산한다. 이후 산화 아연은 황산에서 걸러지고 철 불순물, 구리, 카드뮴을 제거하기 위하여 순화된다. 아연은 전기 분해 방법을 사용하여 용액에서 추출된다. 전기 분해 과정은 비에너지 CO_2 배출을 하지 않는다(Sjardin 2003;European IPPC Bureau 2001)

이차 생산 공정

다양한 물질로부터 아연 금속을 회수하기 위하여 사용될 수 있는 수소 야금(hydrometallurgical) 기술이나 건식 야금(pyrometallurgical) 기술은 40가지 이상이다. 주어진 상황에서 어떤 방법을 선택하느냐는 아연의 자원적 측면(오염 수준, 아연 농도)이나 회수된 아연의 사용 목적에 따라 달라진다. 이 과정은 주로 아연 농축(물리적이고 화학적인 분리 과정을 통해), 소결, 제련, 세련 단계로 구성된다. 일부 경우에는, 고급 아연은 물리적 농축 이후에 이 과정에서 제거되고, 나머지 단계의 과정을 거쳐 철 및 강 제조업, 황동 제조업, 아연 형판 주조업 등의 다른 산업에서 소비된다(Sjardin, 2003).

소결, 제련, 세련 단계는 1차 아연 생산 과정에서 사용된 단계와 동일하다. 따라서 소결과 제련 단계가 비에너지 CO2 배출로 인해 비배출적 성격을 띤 반면에, 어떤 제련 과정은 배출적인 특성을 지닌다. 농축 단계에서 탄소 함유 환원제를 사용하고, 원료 물질로부터 아연을 증발시키거나 휘발시키기 위해 고온 조건을 적용하는 경우에, 이 과정은 비에너지 CO2 배출을 수반하게 된다. Waelz Kiln과 용제 환원이나 증발 과정은 이 2가지가 집중된 방법이다. 염관 가루 내의 아연, 슬러지, 광재, 기타 아연 함유 물질을 농축하는 데 사용되는 Waelz Kiln 과정은 환원제로서 야금 코크를 이용한다. 그러나 환원된 아연은 이 과정을 통해 재산화되고, 야금 코크도 이 과정에서 열 자원으로 쓰여진다. 광재 환원이나 증발 과정은 구리와 아연 제련 과정에서 용해된 광재 안에 아

연을 농축하는 데에만 사용되고, 환원제로서 석탄이나 다른 탄소 자원을 이용한다(Sjardin, 2003; European IPPC Bureau, 2001).

4.7.2 방법론적 이슈

4.7.2.1 방법의 선택

IPCC 가이드라인에서는 아연 생산으로 인한 CO_2 배출량을 계산하기 위한 몇 가지 접근법을 개관한다. *우수실행(good practice)*을 선택하는 것은 그림 4.16의 의사결정도에 제시된 것처럼, 국가 환경에 따라 달라진다. Tier 3 방법은 시설별로 측정된 배출량 자료를 입수할 수 있는 경우에 사용될 수 있다. Tier 2 방법은 1차와 2차 생산 과정에 대해 국가별 배출계수를 사용한다. Tier 1 방법은 매우 단순하며, 실제 자료보다는 가정에 의존하였기 때문에 오차를 유발할 수 있다. Tier 1 방법은 국가 총 아연 생산량에 적용되는 일반적인 배출계수를 통해 배출량을 계산하므로, 가장 정밀도가 떨어지는 방법이다. 이 방법은 아연 생산이 주 카테고리가 아닐 경우에 한하여 사용되어야 한다.

TIER 1 방법

가장 단순한 산정 방법은 아연 생산 유형에 따라 배출계수 기본값을 곱하는 것이다(식 4.33). 자료로 국가 아연 생산 통계량만을 이용할 수 있는 경우, 배출계수 기본값을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. Tier 2 방법을 사용하여 배출량을 계산하기 위해 물질별 자료를 이용할 수는 없으나 공정 유형은 알 수 있는 경우라면, 인벤토리 작성자는 식 4.34을 사용하여 배출량을 계산할 수 있다.

식 4.33
아연 생산으로 인한 CO_2 배출

$$E_{CO2} = Zn \bullet EF_{default}$$

여기서,

E_{CO2} = 아연 생산으로 인한 CO_2 배출량, 톤
Zn = 생산된 아연의 양, 톤
$EF_{default}$ = 배출계수 기본값, CO_2 (톤)/생산된 아연 (톤)

식 4.34
아연 생산으로 인한 CO_2 배출(Tier 1)

$$E_{CO2} = ET \bullet EF_{ET} + PM \bullet EF_{PM} + WK \bullet EF_{WK}$$

여기서,

E_{CO2} = 아연 생산으로 인한 CO_2 배출량, 톤
ET = 전기 열 증류법에 의해 생산된 아연의 양, 톤
EF_{ET} = 전기 열 증류법에 대한 배출계수, CO_2 (톤)/생산된 아연 (톤)
PM = 건식 야금 과정(납□아연 제련용 용광로 과정)에 의해 생성된 아연의 양, 톤
EF_{PM} = 건식 야금 과정에 대한 배출계수, CO_2 (톤)/생산된 아연 (톤)

WK = Waelz Kiln 과정에 의해 생산된 아연의 양, 톤
EF_{WK} = Waelz Kiln 과정에 대한 배출계수, CO_2 (톤)/생산된 아연 (톤)

TIER 2 방법

배출량은 국가별 배출계수를 사용하여 계산할 수 있는데, 이 계수는 환원제와 로의 유형에 따른 사용에 대해 총계로 정리된 시설 통계에 근거한 것이다. 그리고 나머지 기타 공정 물질의 경우에는, 이들 물질에 적용되는 배출계수 기본값에 근거한다. 이들 자료는 제조업이나 에너지 통계를 관리하는 정부 기관이나, 상사, 산업 무역 협회, 개별 아연 생산 회사로부터 입수할 수 있다. Tier 2 방법은 Tier 1 방법보다 더 정확하다. 그것은 이 방법이 산업 부문 전체가 아니라 특정 국가를 대상으로 하여, CO_2 배출을 유발하는 아연 부문에서 사용된 물질과 다양한 로 유형을 고려하기 때문이다.

TIER 3 방법

아연 생산 시설을 통해 실제로 측정된 CO_2 배출량 자료를 입수할 수 있는 경우에는, 이 자료는 Tier 3 방법을 사용하여 총계로 합해지고, 국가 배출량을 계산하는 데 직접적으로 사용될 수 있다.

4.7.2.2 배출계수의 선택

TIER 1 방법

건식 야금(pyrometallurgaical) 공정(납 · 아연 제련용 용광로 Imperial Smelting Furnace)에 대한 배출계수는 유럽에서는 1차 및 2차 아연 생산 과정에 관한 총합되고 가중된 배출계수이다(Sjardin, 2003). 전기 열 공정에 대한 배출계수는 이를 결정하는 데 필요한 자료를 입수할 수 없다. Waelz Kiln 용광로에서 소비된 EAF 가루 1톤당 소비된 코크의 양에 근거한 배출계수는, Viklund-White(2000)가 제공한 물질 밸런스를 기초로 하여 개발되었다. 이 과정에서 Viklund-White는 소비된 EAF 가루의 1톤을 기준으로 코크스 400 kg이 소비된다는 것을 알아내었다.

표 4.24 아연 생산에 대한 Tier 1의 CO_2 배출계수		
공정	배출계수	출처
Waelz Kiln (CO_2 톤/ 아연 톤)	3.66	Viklund-White C. (2000). 아연 도금 철 재생의 환경 평가에 대한 LCA의 사용. ISIJ 인터내셔널. 제40권 No. 3: 292-299.에서 추론함
건식 야금(납□아연 제련용 용광로) (CO_2 톤/ 아연 톤)	0.43	Sjardin 2003. 비철금속, 합금철과 무기물 산업의 비에너지 사용에 대한 CO2 배출계수. 코페르니쿠스 협회, 위트레흐트, 네덜란드, 2003년 6월.
전기-열(electro-thermic)	알려지지 않음	
계수 기본값 (CO_2 톤/ 아연 톤)	1.72	계수 기본값은 알려진 배출계수의 가중치(60% 상급 제련, 40% Waelz Kiln)에 근거함.

TIER 2 방법

Tier 2 방법에서는 해당 국가에서 아연 생산에 사용된 환원제와 기타 탄소 함유 공정 물질의 총량에 근거하여 국가별 배출계수를 계산해야 한다. 이러한 국가별 배출계수는 환원제, 로 유형, 기타 나머지 공정 물질의 사용을 기반으로 한 총합된 시설 통계에 근거하여야 한다. 배출계수는 소비된 EAF 가루 1톤당 소비된 야금 코크의 양(코크 0.4톤/소비된 EAF 가루 (톤))을 기초로 하여 개발되었다(Viklund-White, 2000). 활동도 자료를 입수할 수 있는 경우에는, 아연 1톤당 EAF 가루 1.23톤의 배출계수는 배출량을 계산하는 데 사용될 수 있다. Waelz Kiln로에서 EAF 가루로부터 아연을 생산하는 경우, 배출계수가 생산된 아연 총량이 아니라 소비된 EAF 가루의 양에 근거한다면, 공정의 복잡성은 배출계수의 정확성을 시사해준다. 이는 소비된 환원 물질의 양(야금 코크)이 소비된 EAF 가루의 양과 아연 함량에 따라 직접적으로 달라지기 때문이다. 로에 투입된 야금 코크의 양을 통제하기 위해 Waelz Kiln 공정에서는 무게 측정 장비를 사용한다(Sjardin 2003; European IPPC Bureau 2001).

4.7.2.3 활동도 자료의 선택

TIER 1 방법

Tier 1 방법은 해당 국가에서 생산된 아연의 양만을 필요로 하며, 입수할 수 있다면 공정 유형에 관한 정보도 쓰일 수 있다. 이 자료는 제조업 통계를 관리하는 정부 기관이나 상사, 산업 무역 협회, 개별 아연 생산 회사로부터 입수할 수 있다. CO_2 배출량을 산정하기 위해서는, 아연의 톤수와 배출계수 기본값을 곱해야 한다.

TIER 2 방법

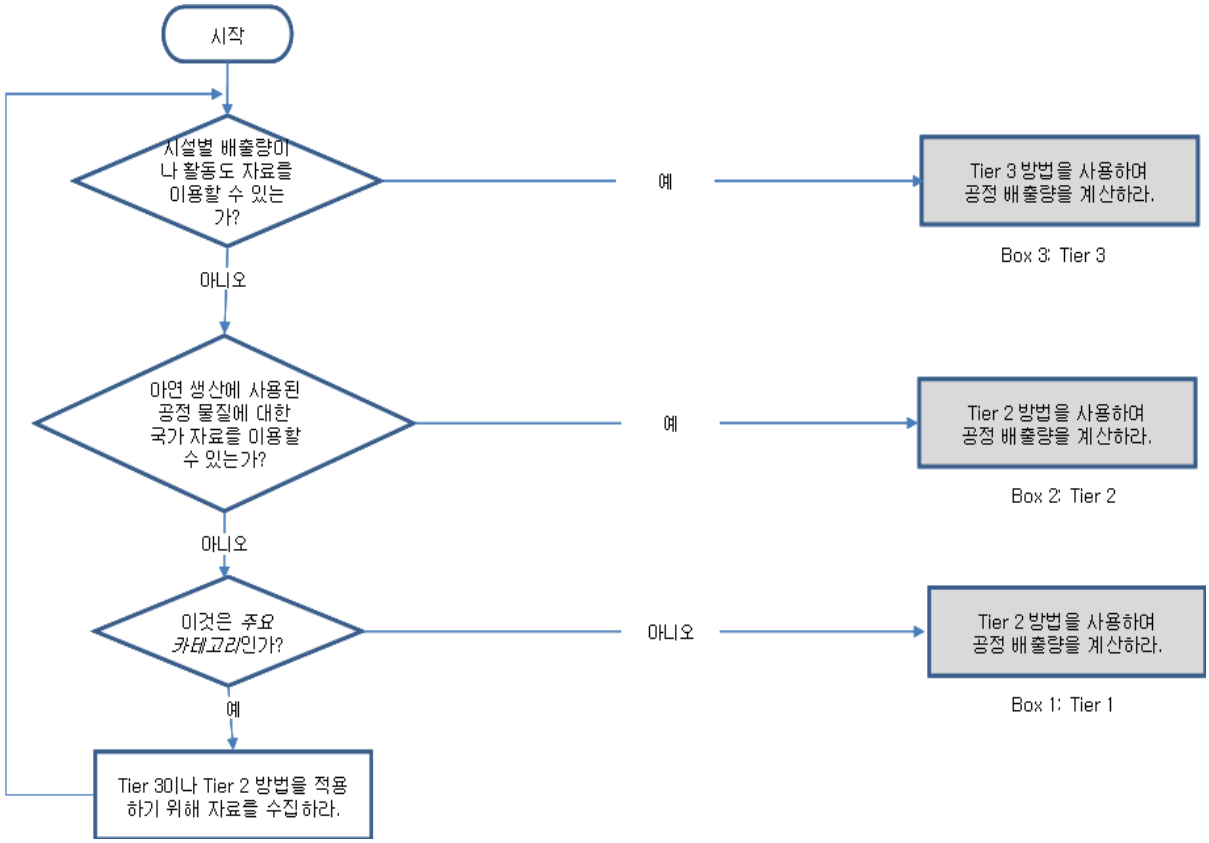
Tier 2 방법에서는 해당 국가에서 아연 생산에 사용된 환원제와 기타 탄소 함유 공정 물질의 총량에 근거한 국가별 배출계수가 필요하다. 이 자료들은 제조업이나 에너지 통계를 담당하는 국가 기관, 상사, 산업 무역 협회, 개별 아연 생산 회사를 통해 입수할 수 있다. 이들 국가별 배출계수는

이 부문에서의 총 CO_2 배출량을 결정하기 위하여 생산물 총량과 곱해질 수 있다. 이것이 주 카테고리나 자료가 아니고 총 전체 산업의 환원제와 공정 물질에 관한 자료를 입수할 수 없다면, Tier 1을 사용하여 배출량을 산정할 수 있다

TIER 3 방법

Tier 3 방법에서는 시설별로 측정된 배출량 자료가 있다면, 이를 취합하고 편집하고 총합하여야 한다. 그러나 시설 수준에서 취합된 활동도 자료도 시설별 생산량이 곱해진 각 시설의 개별적인 배출계수와 함께 사용될 수 있다. 만약 이것이 주 카테고리가 아니고 총 전체 산업의 환원제와 공정 물질에 대한 자료를 입수할 수 없는 경우라면, 배출량은 Tier 1을 사용하여 산정될 수 있다.

그림 4.16 아연 생산으로 인한 CO_2 배출량의 산정에 대한 의사결정도



주:

1. 주 카테고리에 대한 논의와 의사결정도의 활용에 대해서는, 제1권 제4장 <방법론적 선택과 주 카테고리의 구체화>(제한된 자원에 대한 4.1.2절에 유의해서 볼 것)를 참고하라.

4.7.2.4 완전성

이 배출원 카테고리로부터 배출량을 산정하는 경우에는, 산업 공정이나 에너지 부문에서 배출량을 이중계산하거나 빠뜨릴 수도 있다. Tier 1 배출계수를 사용할 때에는, 석회화, 소결, 유출, 순화 제련, 세련 공정에서 열 생산을 위해 다양한 연료를 연소하면서 배출된 CO_2 배출량이 화석 연료 연

소 배출 카테고리의 CO_2 값에 포함되어 있다는 것을 가정한다는 점을 주의하여야 한다. Tier 2이나 3 방법을 사용할 때에는 이중계산을 하지 않아야 한다는 것에 유의한다. 이중계산의 가능성이 가장 큰 배출원, 즉, 코크 생산으로 인한 배출량은 4.2절에서 계산되고 에너지 부문에서 보고된다.

4.7.2.5 일관된 시계열 개발

아연 생산으로 인한 배출량은 시계열적인 측면에서 매년 동일한 방법을 사용하여 계산되어야 한다. 시계열 상의 모든 연도에 대해 Tier 3 방법을 뒷받침하기 위한 자료를 입수할 수 없다면, 이러한 격차는 제1권 <일반적인 지침과 보고서 작성>에서 제시한 지침에 따라 재계산되어야 한다.

4.7.3 불확도 평가

아연 생산에 대한 불확도 산정값은 주로 활동도 자료와 연관된 불확도, 배출계수와 관련된 불확도에서 기인한다. 표 4.25에서는 배출계수와 활동도 자료에 대한 불확도에 대한 개략적인 내용이 나타나 있다.

4.7.3.1 배출계수 불확도

Tier 1에서 사용된 배출계수 기본값은 ±50%의 불확도 값을 가질 수 있다. Tier 2에서 국가별 배출계수는 ±15%의 불확도 값을 가질 것으로 예상된다. Tier 3의 단위별 배출계수는 시설별 탄소 함량 자료를 이용할 수 있다면, 5% 이내의 불확도를 가질 것이다.

4.7.3.2 활동도 자료 불확도

활동도 자료를 수집하기 위해서는 국가 생산량 통계를 이용해야 하며, 이 경우 활동도 자료의 불확도는 ±10%이다. Tier 2에서는, 납 생산에 사용된 환원제의 총량과 공정 물질이 10%의 불확도를 갖는다. Tier 3의 실제 배출 자료는 불확도가 ±5%일 것으로 예상된다.

표 4.25
불확도 범위

방법	자료 출처	불확도 범위
Tier 1	국가 생산량 자료	±10%
	배출계수 기본값	±50%
	공정 유형에 따른 배출계수	±20%
Tier 2	사용된 환원제의 양과 유형	±10%
	공정 물질 탄소 함량	±15%
Tier 3	시설 유도 = 공정 물질 자료	±5%
	시설별 측정된 CO_2 자료	±5%
	시설별 배출계수	±5%

4.7.4 품질보증/품질관리 (QA/QC), 보고 및 문서화

4.7.4.1 품질보증/품질관리 (QA/QC)

제1권 제6장에서 개관한 바와 같이, 품질관리 측면을 점검하고 배출량 산정에 대한 전문가의 검토를 받는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 제1권의 지침에 덧붙여서, 이 배출원 카테고리와 관련된 특정 절차는 아래에 제시되어 있다.

배출계수의 검토

인벤토리 작성자는 국가 배출계수가 IPCC 기본값에 비해 적절한 것인지를 판단하기 위해, 총합된 국가 배출계수와 IPCC 계수 기본값을 비교해야 한다. 두 계수 간에 중요한 차이가 있고 특히 이것이 둘 간의 다른 환경적 조건을 보여준다면, 인벤토리 작성자는 이 차이에 대해 설명하고 문서화하여야 한다.

지역별(site-specific) 활동도 자료 점검

인벤토리 작성자는 지역별 활동도 자료가 오차나 다른 측정 기술을 반영하는지, 배출량, 작동 조건, 기술 측면에서의 실제적인 차이에서 기인하는 것인지 확인하기 위하여, 지역 간의 비일관성에 대해 검토하여야 한다. 아연 생산에 대해서, 인벤토리 작성자는 해당 시설의 자료와 다른 시설의 자료를 비교해야 한다. 인벤토리 작성자는 배출계수와 활동도 자료가 국제적으로 인정되고 입증된 측정 방법에 따라 개발되었는지를 입증해야 한다. 만약 실제 측정값이 이러한 기준에 부합되지 못한다면, 이 배출량이나 활동도 자료를 사용하는 것은 신중히 평가해야 하며, 또한 불확도 산정값은 재고되고 자료의 자격 조건도 문서화되어야 한다. 대부분의 지역에서 높은 수준의 측정값이 존재하고 QA/QC가 이루어진다면, 배출량 산정값의 불확도는 낮아질 것이다.

전문가 검토

인벤토리 작성자는 검토 과정에서, 아연 생산과 연관된 주요 산업 거래 조직을 고려하여야 한다. 이러한 검토 과정은 인벤토리 개발 과정에서 초기에 수행되어야 하는데, 그것은 검토한 내용이 방법 및 자료 수집에 대한 제반 사항을 개발하고 검토하는 과정에서 이용되어야 하기 때문이다. 이 배출원 카테고리에서는 제삼자가 특히 초기의 자료 수집, 측정, 녹화, 계산, 문서화 작업과 관련하여 검토하는 것도 도움이 된다.

활동도 자료 검토

모든 tier 수준에서, 인벤토리 작성자는 환원제와 공정 물질(석탄, 코크, 천연 가스 등)로 인한 배출량이 에너지 관련 배출량으로 이중 계산되지 않았는지 또는 누락되지 않았는지 확인해야 한다. 인벤토리 작성자는 자료가 오차나 다른 측정 기술을 반영하는지, 매출량, 작동 조건, 기술에서의 실제적인 차이가 나타나는지를 확인하기 위해, 해당 시설과 다른 시설의 자료 간에 비일관성을 점검해야 한다. 이것은 특히 환원제의 양에 대한 시설별 산정값이나 보고된 탄소 함량과 관련되어 있다. 이러한 자료를 이용할 수 있는 경우에, 인벤토리 작성자는 총합된 시설 수준의 산정값과 공정 물질 소비에 대한 산업 총량을 비교해야 한다.

4.7.4.2 보고 및 문서화

제1권 6.11절에 개관된 바와 같이, 국가 배출량 인벤토리 산정값을 구하기 위하여 필요한 모든 정

보를 문서화하여 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 국가 인벤토리 보고서에서 모든 내용을 문서화하는 것은 실용적이지는 않다. 그러나 인벤토리는 보고된 배출량 산정값이 분명히 하고 이들 계산 과정을 검토하기 위해, 사용한 방법을 요약해야 하며 출처 자료에 대한 참조 사항을 기록하여야 한다.

TIER 1 방법

산정된 배출량 외에도, 공정 유형과 이에 대응하는 사용된 배출계수에 따라 총 아연 생산량을 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

TIER 2 방법

산정되거나 계산된 배출량, 모든 활동도 자료, 이에 대응하는 탄소 함량, 대안적인 배출계수를 정당화하는 가정이나 자료를 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

TIER 3 방법

특정 시설의 자료가 사업을 하는데 매우 중요하거나 해당 자료의 소유권이 있는 경우에는, 자료의 비밀을 유지해야 한다는 점을 고려하면서 계산된 배출량과 사용된 모든 자료의 출처를 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 또한 인벤토리 작성자는 모든 tier에서 QA/QC 과정뿐만 아니라, 산정값을 구현하는데 필요한 모든 정보를 문서화하여야 한다.

참고문헌

4.2절

EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook - 2005, European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site see: http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en

European IPPC Bureau (2001). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference 문서 on the Production of Iron and Steel, December 2001. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

International Iron and Steel Institute (2004). Steel Statistical Yearbook 2004: International Iron and Steel Institute, COMMITTEE ON ECONOMIC STUDIES, Brussels.

Pipatti, R. (2001). Greenhouse Gas Emissions and Removals in Finland, Report No. 2094, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, 2001. http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2094.pdf

Schoenberger, H. (2000). European Conference on “"The Sevilla Process: A Driver for Environmental Performance in Industry”" Stuttgart, 6 and 7 April 2000, BREF on the Production of Iron and Steel -conclusion on BAT, Dr. Harald Schoenberger, Regional State Governmental Office Freiburg, April 2000.

4.3절

FFF (2000). The Norwegian Ferroalloy Producers Research Association, “"Emission factors standardized at meeting”", Oslo 2000.

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

IPCC (2000). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.

Penman J., Kruger D., Galbally I., Hiraishi T., Nyenzi B., Emmanuel S., Buendia L., Hoppaus R., Martinsen T., Meijer J., Miwa K., Tanabe K. (Eds). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

Lindstad, T. (2004). ''CO2 Emissions from the Production of Silicon Alloys'', STF80A04019, SINTEF, Trondheim 2004.

Olsen, S.E., Monsen, B.E. and Lindstad, T. (1998). ''CO2 Emissions from the Production of Manganese and Chrome Alloys in Norway'', Electric Furnace Conference Proceedings Vol. 56, Iron & Steel Society, Warrendale PA 1998, pp 363-369.

Olsen, S.E. (2004). ''CO2 Emissions from the Production of Manganese Alloys in Norway'', STF80A04010, SINTEF, Trondheim 2004.

4.4절

IAI (2000). 국제 알루미늄 협회, 국제 알루미늄 협회 (2000) ''Life Cycle Assessment of Aluminium''

IAI (2001). 국제 알루미늄 협회, Perfluorocarbon Emissions Reduction Programme 1990 - 2000, 2001, available at http://www.world-aluminium.org/iai/publications/문서s/pfc2000.pdf.

IAI (2005a). 국제 알루미늄 협회, The Aluminium Sector Greenhouse Gas Protocol, http://www.world-aluminium.org/environment/climate/ghg_protocol.pdf, 2005.

IAI (2005b). 국제 알루미늄 협회, survey on composition of production materials, 2005(unpublished)

IAI (2005c). 국제 알루미늄 협회, Annual Anode Effect Survey 2003, www.world-aluminium.org, 2005.

U.S. EPA and IAI (2003), U.S. Environmental Protection Agency and 국제 알루미늄 협회, USEPA/IAI Protocol for Measurement of PFCs from Primary Aluminium Production, EPA 43-R-03-006, May 2003.

4.5절

Bartos, S., Kantamaneni, R., Marks, J. and Laush, C. (2003). “"Measured SF6 Emissions from Magnesium Die Casting Operations,”" Magnesium Technology 2003, Proceedings of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS) Conference, March 2003.

Gjestland, H. and Magers, D. (1996). “"Practical usage of sulphur hexafluoride for melt protection in the magnesium die casting industry”" Proceedings of the 53rd International Magnesium Conference, 1996, Ube City, Japan

IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T.,Y. Ding, D.J.

Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

Milbrath, D. (2002). “"Development of 3M™™ Novec™™ 612 Magnesium Protection Fluid as a Substitute for SF6 Over Molten Magnesium,”" International Conference on SF6 and the Environment: Emission Reduction Technologies, November 21-22, 2002, San Diego, CA.

Tranell, G and Engh, T.A. (2004). “"Alternatives to SF6 for the Magnesium Processor - A Technical, Environmental and Economic Assessment”", Proceedings of the 61st Annual International Magnesium Association Conference, May 2004, New Orleans, LA, USA.

4.6절

DOE (2002). Mining Industry of the Future: Energy and Environmental Profile of the U.S. Mining Industry. Prepared by BCS, Inc for the U.S. Department of Energy''s Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, December 2002.

LDA (2002). Technical Notes: Primary Extraction of Lead., Lead Development Association International. Internet: http://www.ldaint.org/technotes1.htm

Metallurgical Industry (1995). AP 42, Fifth Edition, Volume I, Chapter 12, http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/index.html

Sjardin, M. (2003). CO2 Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, 합금철s and Inorganics Industry. Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands, June 2003.

4.7절

European IPPC Bureau (2001). Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Non Ferrous Metals Industries, December 2001. http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

Sjardin, M. (2003). CO2 Emission Factors for Non-Energy Use in the Non-Ferrous Metal, Ferroalloys and Inorganics Industry. Copernicus Institute, Utrecht, The Netherlands, June 2003.

Viklund-White C. (2000). The Use of LCA for the Environmental Evaluation of the Recycling of Galvanized Steel. ISIJ International. Volume 40 No. 3: 292-299.

제5장

연료로부터 비에너지 제품 및 용매 사용

저자

Jos G. J. Olivier (네덜란드), Domenico Gaudioso (이탈리아), Michael Gillenwater (미국), Chia Ha (캐나다), Leif Hockstad (미국), Thomas Martinsen (노르웨이), Maarten Neelis (네덜란드), Hi-chun Park (한국), and Timothy Simmons(우크라이나 공화국)

부저자

Martin Patel (네덜란드)

목 차

5 연료로부터 비에너지 제품 및 용매 사용 5.6
5.1 서론 5.6
5.2 윤활제의 사용 5.7
5.2.1 서론 5.7
5.2.2 방법론적 이슈 5.8
5.2.2.1 방법의 선택 5.9
5.2.2.2 배출계수의 선택 5.10
5.2.2.3 활동도 자료의 선택 5.11
5.2.2.4 완전성 5.11
5.2.2.5 일관성 있는 시계열의 개발 5.12
5.2.3 불확도 평가 5.12
5.2.3.1 배출계수 불확도 5.12
5.2.3.2 활동도 자료 불확도 5.12
5.2.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 5.12
5.2.4 품질보증 및 품질관리 5.12
5.2.4.2 보고 및 문서화 5.12
5.3 파라핀 왁스의 사용 5.14
5.3.1 서론 5.14
5.3.2 방법론적 이슈 5.14
5.3.2.1 방법의 선택 5.14
5.3.2.2 배출계수의 선택 5.15
5.3.2.3 활동도 자료의 선택 5.16
5.3.2.4 완전성 5.16
5.3.2.5 일관성 있는 시계열의 개발 5.16
5.3.3 불확도 평가 5.16
5.3.3.1 배출계수 불확도 5.16
5.3.3.2 활동도 자료 불확도 5.16
5.3.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 5.17
5.3.4.1 품질보증 및 품질관리 5.17
5.3.4.2 보고 및 문서화 5.17

5.4 아스팔트 생산과 사용 5.18
5.4.1 서론 5.18
5.4.2 방법론적 이슈 5.19
5.4.3 완전성 5.20
5.4.4 불확도 평가 5.20
5.4.5 보고 및 문서화 5.21
5.5 용매 사용 5.21
5.5.1 서론 5.21
5.5.2 완전성 5.21
5.5.3 일관성 있는 시계열의 개발 5.22
5.5.4 불확도 평가 5.22
참고 문헌 5.24

식

식 5.1 비에너지 제품 사용으로 인한 CO_2 배출량 계산 기본 공식 5.6
식 5.2 윤활유 - Tier 1 방법 5.9
식 5.3 윤활유 - Tier 2 방법 5.9
식 5.4 왁스 - Tier 1 방법 5.14
식 5.5 왁스 - Tier 2 방법 5.14

그 림

그림 5.1 윤활유와 왁스로 인한 배출량의 분야별 배치 5.8
그림 5.2 윤활유의 비에너지 사용으로 인한 CO_2에 대한 의사결정도 5.10
그림 5.3 파라핀 왁스의 비에너지 사용으로 인한 CO_2에 대한 의사결정도 5.15

표

표 5.1 연료와 기타 화학적 생산물의 비에너지 제품 사용 5.7
표 5.2 윤활유, 그리스, 일반적인 윤활제에 대한 산화 비율 기본값.....5.11

박 스

박스 5.1 아스팔트 생산과 사용 5.18

5 연료로부터 비에너지 제품 및 용매 사용

5.1 서론

이 분야에서는 i) 에너지 사용을 목적으로 하는 연소, ii) 원료(feedstock)나 환원제로써의 사용을 제외한, 주요 목적을 달성하기 위한 하나의 제품으로써 화석 연료의 초기 사용으로 인한 배출량을 산정하는 데 필요한 방법을 제공한다. i), ii)의 사용으로 인한 배출량은 화학 산업(제3장)과 금속 산업(제4장)에서 기술되는 방법을 통해 설명된다.

여기서 다루는 생산물은 윤활제, 파라핀 왁스, 역청/아스팔트, 용매를 포함한다. 초기 사용 이후 제품의 재사용이나 매립으로 인한 배출량(즉, 사용된 윤활제와 같은 폐유의 연소)에 대해서는, 에너지 회수가 일어나는 경우는 에너지 분야에서, 소각이 일어나는 경우는 폐기물 분야에서 그 값을 산정하고 관련 내용을 보고한다.

일반적으로 비에너지 제품의 사용으로 인한 이산화탄소(CO_2) 배출량을 계산하는 방법은 기본 공식을 따른다. 이 공식은 배출계수가 탄소 함량 계수와 '사용 중에 산화된(ODU, 예컨대 엔진 연소 기관에 유입된 일부 윤활제의 실제 상호 연소 co-combustion)' 화석 탄소 비율을 대표하는 계수로 구성된다. 이 개념은 이후의 사용에는 해당하지 않는, 윤활유와 파라핀 왁스의 초기 사용 동안의 산화에만 적용된다(예: 에너지 회수).

식 5.1
비에너지 제품 사용으로 인한 CO_2 배출량 계산 기본 공식

$$CO_2\ Emissions = \sum_i \left(NEU_i \bullet CC_i \bullet ODU_i\right) \bullet 44/12$$

여기서:

CO_2 Emissions= 비에너지 제품 사용으로 인한 CO_2 배출량, 톤 CO_2
NEU_i= 연료 i의 비에너지 사용, TJ
CC_i= 연료 i의 특정 탄소 함량, 톤 C/TJ (=kg C/GJ)
ODU_i= 연료 i에 대한 ODU 계수, 비율
44/12= CO_2/C의 질량비

도로 포장이나 보호에 사용되는 아스팔트의 생산이나 사용, 석유나 석탄에서 추출된 용매의 사용은 직접적인 온실 가스 배출량과 관련된 근본 배출원이 아니며 고려하지 않아도 되는 배출원이다. 그러나 이들은 때때로 대기 중의 CO_2를 산화시키는 비메탄 휘발성 유기 화합물(NMVOC)과 일산화탄소(CO) 배출의 본질적인 원인이라는 점에서 이 장에서 설명된다. CO_2의 투입 결과는 비이산화탄소 가스의 배출량을 이용하여 산정할 수 있다(제1권 7.2.1.5절 참고). 이것은 아스팔트에 대해서는 거의 고려하지 않아도 되지만, 용매의 사용과 관련해서는 꽤 중요하게 고려해야 한다. 여기에서 설명되지 않은 화석 연료의 다른 비에너지 제품으로 인한 배출량은 하위 카테고리 2D4 '기타'에서 보고되어야 한다.

이 배출원 카테고리에서 계산된 일부 CO_2 배출량은 어디서나 어느 정도는 설명될 수 있다는 문제가 있다. 이러한 경우에는 이어지는 분야에서 분명하게 표현하고, 이중계산이 되지 않도록 교차 점검하여야 한다.

이 장에서 다루어지는 활동도로 인한 메탄(CH_4) 배출은 적거나 전혀 일어나지 않는 것으로 예측된다. 일부 CH_4 배출이 아스팔트 생산과 도로 포장의 사용으로 인해 발생하기는 하지만, 이들 배출량이 매우 미량일 것으로 추측되기 때문에 여기서는 CH_4 배출량을 산정하는 방법을 제공하지 않는다.

이 권의 제1장 1.4절에서는 (a) 인벤토리 목록에 포함된 과정의 비에너지 사용량/ 원료(feedstock) 요구량이 국가 에너지 통계에 기록된 비에너지 사용량/ 원료(feedstock) 공급량과의 균형이 맞는지 확인하고, (b) 다른 하위 카테고리 수준의 비에너지 사용/ 원료(feedstock) 배출원으로부터 상향식으로 계산된 CO_2 배출량의 총 보고량이 완전하고 일관성이 있는 지를 검토하고, (c) 이러한 배출량이 인벤토리 목록에 어떻게 할당되었는지를 문서화하고 보고서를 작성하는 것을 통해, 화석연료를 비에너지와 원료(feedstock)로 사용함으로써 비롯되는 탄소 배출량의 일관성과 완전성을 추정하는 데 필요한 지침을 제공한다.

표 5.1 연료와 기타 화학적 생산물의 비에너지 제품 사용

표 5.1 연료 및 기타 화학 제품의 비에너지 제품 사용			
사용한 연료의 유형	**비에너지 사용의 예**	**본 장에서 설명되는 가스들**	
		CO_2	**NMVOC, CO**
윤활제	수송 및 산업에서 사용되는 윤활제; 5.2장	X	
파라핀 왁스	양초, 골판지, 종이코팅, 판자 만들기, 접착제, 음식 산업, 포장; 5.3절	X	
역청: 도로 오일 및 기타 석유 희석제	도로 포장 및 지붕 포장에 대해 아스팔트 생산에 사용된; 5.4절		X
백유[1]: 등유[2], 일부 방향족	용매로써의 사용; 예를 들어 표면 코팅, 드라이클리닝에 대한 용매; 5.5절		X

5.2 윤활제 사용

5.2.1 서론

윤활제는 대개 산업 시설과 운송 수단을 위한 용도로 사용된다. 윤활제는 원유를 분리하는 정제소나 석유화학시설에서 생산된다. 이것은 (a) 자동차 석유, 산업용 석유, (b) 물리적 특성 측면에서 상업적 용도와 환경적 피해와는 구별되는 석유로 하위 분류될 수 있다.

5.2.2 방법론적 이슈

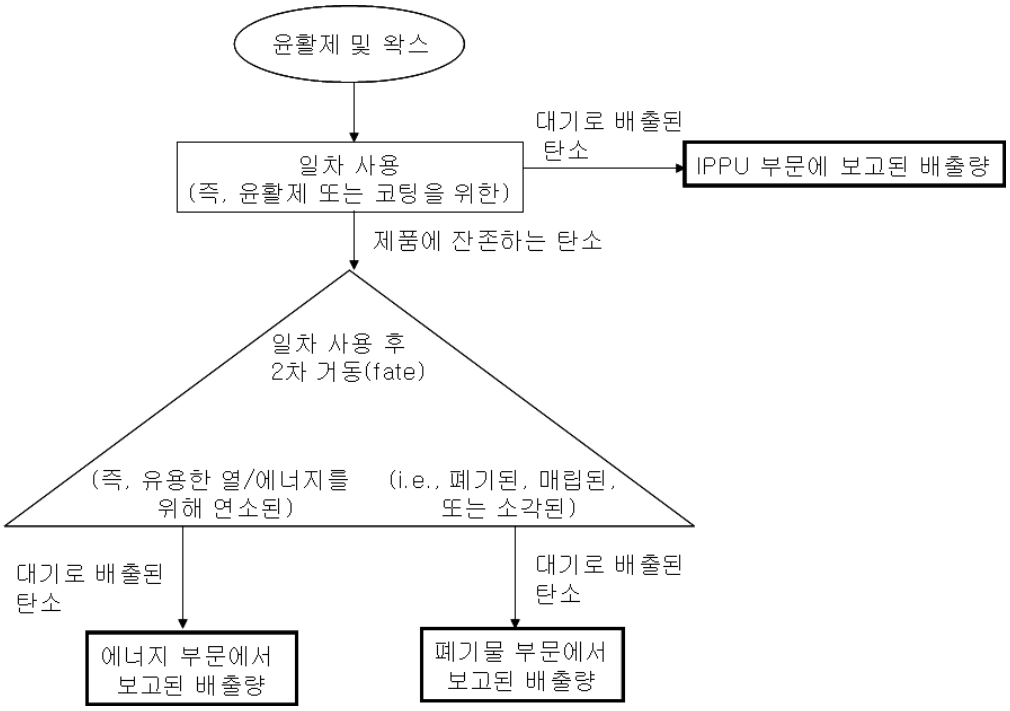
[1] 미네랄 테레빈유, 석유 주정(petroleum spirits), 산업 주정(industiral spirit) ('SBP')로 알려져 있기도 하다.
[2] 파라핀 또는 파라핀유로 알려져 있기도 하다(UK, South Africa).

엔진에서 윤활제는 기본적으로 엔진을 매끄럽게 하는 용도로 사용되기 때문에, 이와 관련된 배출량은 IPPU 분야에서 보고된 비연소 배출량으로 간주된다. 그러나 엔진에서 윤활제가 다른 연료와 혼합되어 상호 연소를 목적으로 하는 2기통 엔진의 경우에, 배출량은 에너지 분야에서 연소 배출량의 일부로 산정되고 보고되어야 한다(제2권 참고).

어느 정도의 윤활제가 기계와 이동 수단에서 소비되어 실제로 연소되고 그 결과 직접적으로 CO_2가 배출되는지, 어느 정도의 충분히 산화되지 않은 윤활제가 NMVOC와 CO의 배출(여기에서는 다루어지지 않은, 2기통 엔진에서 사용되는 것을 제외한)을 처음으로 유발시키는지 결정하는 것은 어렵다. 이러한 이유 때문에, NMVOC와 CO 배출량은 배출 인벤토리 목록에 있는 국가를 통해 매우 드물게 보고된다. 그러므로 CO_2를 계산할 때에는 윤활유를 사용하는 동안에 손실된 윤활유의 총량이 충분히 연소되었다고 가정하고, 이 경우의 배출량을 CO_2 배출량으로 보고한다.

대부분의 OECD 국가에서의 사용된 석유의 매립에 대한 법규와 정책은 종종 토지 매립, 투기를 억제하고, 사용된 석유의 분리 수집을 권장한다. 사용하는 동안에 산화되는 윤활제는 적은 양이이다. 주로 배출을 유발하는 것은 폐윤활제가 다 사용된 후에 국가별 규제에 따라 수집되고 연소된 경우이다. 그러나 이러한 폐유 조절 배출량은 폐기물 분야(혹은 에너지 회수가 일어나는 에너지 분야에서)에서 보고되어야 한다. 이에 대해서는 그림 5.1에서 설명된다.

그림 5.1 윤활유와 왁스로 인한 배출량의 부문별 할당



CH_4와 N_2O 배출량은 CO_2에 비해 매우 소량이기 때문에, 온실 가스 계산 시에 고려하지 않을 수 있다.

5.2.2.1 방법의 선택

윤활제의 사용으로 인한 배출량을 결정하는 데에는 2가지 방법론적 tiers가 있다. Tier 1과 Tier 2는 본래 동일한 분석적 접근법에 근거하며, 이 접근법은 배출계수를 한 국가의 윤활제 소비량에 근거한 활동도 자료에 적용하는 것이다(에너지 단위에서, 예: TJ). Tier 2 방법은 활동도 자료에 대한 '사용 중에 산화된(Oxidised During Use)' 유형별 계수, 특히 국가별 계수와, 2기통 엔진에 사용된 양을 제외한 다른 유형의 윤활제 양에 근거한 자료를 필요로 한다. Tier 1 방법에서는 총 윤활제 활동도 자료에 ODU 계수 기본값을 적용한다(그림 5.2, 의사결정도 참고). ODU 계수 기본값이 윤활제보다 그리스(grease)에서 4배나 적기 때문에, 높은 수준의 tier 방법을 사용하면 기본적으로 배출량 계산에서 석유와 그리스의 실제적 비율을 사용하는 효과를 얻을 수 있다. 이것이 주요 카테고리일 경우 Tier 2 방법을 사용하는 것이 좋다.

Tier 1: CO_2 배출량은 이용할 수 있는 제한된 변수에 대한 총 기본값 자료, 총 윤활제 계산에서의 석유와 그리스 기본값 구성을 토대로 한 ODU 계수를 이용하여, 식 5.2에 따라 계산된다(TJ 단위에서).

식 5.2
윤활제 - tier 1 방법

$$CO_2\ Emissions = LC \bullet CC_{Lubricant} \bullet ODU_{Lubricant} \bullet 44/12$$

여기서:

CO_2 Emissions= 윤활제로부터의 CO_2 배출량, 톤 CO_2
LC= 총 윤활제 소비량, TJ
$CC_{Lubricant}$= 윤활제의 탄소 함량, 톤 C/TJ(= kg C/GJ)
$ODU_{Lubricant}$= ODU 계수(오일 및 그리스의 성분 기본값에 근거한), 비율
44/12= CO_2/C의 질량비

Tier 2: 윤활제에 대한 Tier 2 방법은 윤활제 사용 유형당 소비되는 양에 근거한 자료가 아무리 상세하다 하더라도 동일한 식을 따른다. 이 때 가급적 국가별 배출계수를 사용해야 한다. 배출계수는 연료 유형별 탄소 함량과 ODU 계수로 구성된다.

식 5.3
윤활제 - tier 2 방법

$$CO_2\ Emissions = \sum_i \left(LC_i \bullet CC_i \bullet ODU_i\right) \bullet 44/12$$

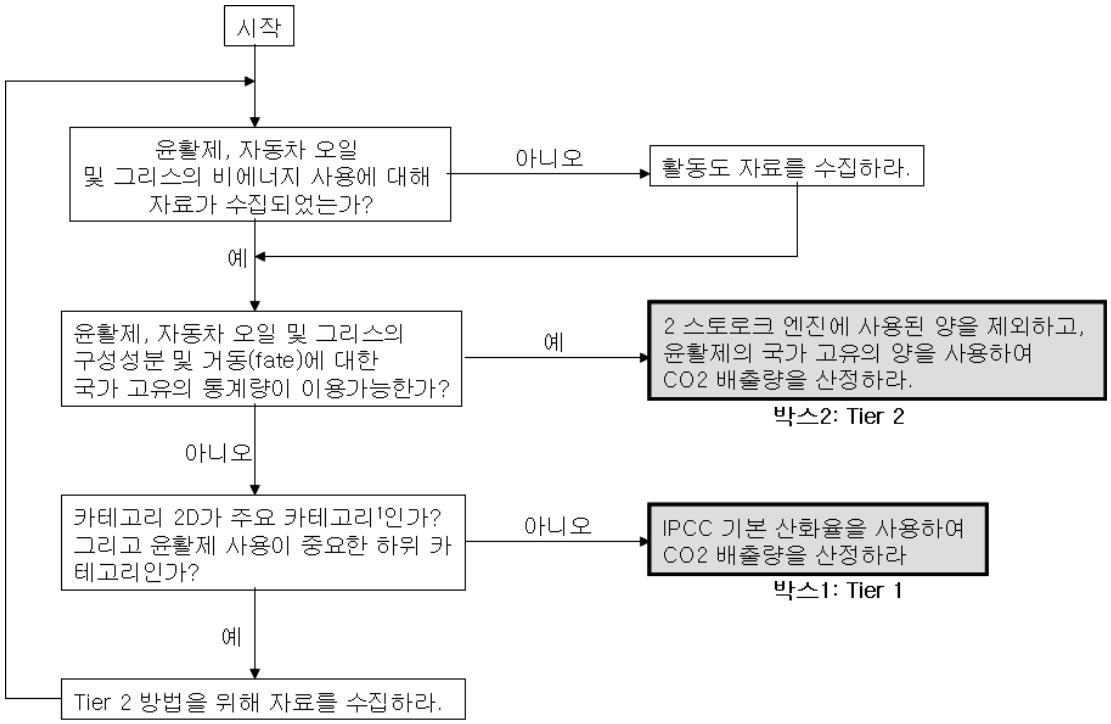
여기서:

CO_2 Emissions= 윤활제로부터의 CO_2 배출량, 톤 CO_2
LC_i= 윤활제 유형, i의 소비량, TJ
CC_i= 윤활제 유형 i의 탄소 함량, 톤 C/TJ (=kg C/GJ)
ODU_i= 윤활제 유형 i에 대한 ODU 계수, 비율
44/12= CO_2/C의 질량비

윤활제 i는 2기통 엔진에 사용된 양을 제외하고, 자동차 석유/산업용 석유와 그리스에 대해 각각 언급한다.

두 tiers에서의 탄소 함량은 제2권에서 설명된 윤활제의 기본값이거나, 가능할 경우 국가별 값이 될 수 있다(제1장, 표 1.3).

그림 5.2 윤활제의 비에너지 사용으로 인한 CO_2에 대한 의사결정도



주:
1. 주요 카테고리의 논의 및 의사결정도의 사용에 대하여, 제 1권 4장, 방법론의 선택 및 주요 카테고리의 확정(제한된 자원에 대한 4.1.2절을 참조)을 참조하여라.

5.2.2.2 배출계수의 선택

배출계수는 ODU 계수에 의해 곱해진 특정 탄소 함량 계수(톤 C/TJ)로 구성된다. 44/12를 더 곱한 값(CO_2/C의 최대 비율)은 배출계수(톤 CO_2/TJ로 표현된)를 산출한다. 윤활유에 대해, 탄소 함량 계수 기본값은 저위 발열량에 근거하여 20.0kg C/GJ이다(제2권 제1장 표1.3 참고. kg C/GJ는 톤 C/TJ와 일치한다는 점에 유의하라.) 윤활유의 사용은 재의 형태나 연소 후 잔류물의 형태에서의 비장기 탄소 저장소와 함께, CO_2에 대한 100%의 산화를 유발하는 연소임을 가정한다. 적은 비율의 윤활유는 사용 중에 산화된다(표 5.2 참고). 더 적은 비율의 그리스도 사용 중에 산화된다. 석유에 대한 ODU 계수 기본값(20%)과 그리스에 대한 ODU 계수 기본값(5%)은 제한된 이용가능한 자료에 근거한다(표 5.2).

Tier 1: 모든 윤활유(즉, 석유와 그리스 에 대한 분리되지 않은 자료)에 대한 총 소비 자료만 가지고 있다면, 전체로서의 윤활유에 대한 가중 평균 ODU 계수는 Tier 1 방법에서 기본값 자료로 사용된다. 윤활유 덩어리의 90%는 석유이고 10%는 그리스라고 가정하고, 이 값을 석유와 그리스에 대한 ODU 계수에 적용하면 전체적인(반올림된) ODU 계수 0.2가 나온다. 이 ODU 계수는 전체

탄소 함량 계수에 적용될 수 있고, 윤활유의 소비에 근거한 활동도 자료가 알려져 있을 경우에는 (식 5.2) 이 자료로부터 국가별, 혹은 국가 배출 수준을 결정짓는 윤활유에 대한 기본값에 해당한다.

Tier 2: 자동차 석유/산업용 석유와 그리스로 사용된 윤활유의 특정량에 근거한 구체적인 항목을 가지고 있는 국가에서는, 다른 ODU 계수, 0.2와 0.05의 각각의 기본값 계수, 혹은 국가 지식에 근거한 윤활유와 그리스 에 대한 고유의 ODU 계수를 적용할 수 있다. 이 기본값이나 국가별 ODU 계수에는 국가별 배출 수준을 결정짓는 국가별 탄소 함량 계수나 윤활유에 대한 IPCC 탄소 함량 계수를 곱할 수 있다.

표 5.2
윤활유, 그리스 및 일반적인 윤활제에 대한 산화율 기본값

윤활제/사용 유형	총 윤활제의 비율 기본값[a](%)	ODU 계수
윤활유(자동차 오일/산업 오일)	90	0.2
그리스	10	0.05
총 윤활제에 대한 IPCC 기본값[b]		0.2

[a] 2 스트로크 엔진에 사용된 양을 배제
[b] 90% 윤활유 소비와 10%의 그리스 소비 라고 가정하고, 유효숫자 1자리에 맞춤.
출처: Rinehart (2000)

5.2.2.3 활동도 자료의 선택

윤활제의 비에너지 사용에 관한 자료는 에너지 단위(TJ)로 표현된 활동도 자료와 함께 배출량을 산정하는 데 필요하다. 소비 자료를 물리적 단위, 예컨대 톤을 일반 에너지 단위인 TJ로 전환시키기 위해서는(저위 발열량에 근거하여), 발열량값이 필요하다(구체적인 지침에 대해서는, 에너지에 대한 제2권 제1장의 1.4.1.2절을 참고하라.). 한 국가에서 사용된 비에너지 제품에 대한 기본적 자료는 생산, 수입, 수출 자료를 통해 이용할 수 있고, 국가 에너지 통계에서 분리된 에너지/비에너지 사용을 근거로 한다. 2기통 엔진에 사용된 윤활유의 양을 결정짓기 위해서는 추가적인 정보를 수집해야 한다. 그리고 이 윤활유의 양은 이러한 배출원 카테고리 내의 Tier 2 계산에서 제외되어야 한다. Tier 2 방법에서는, 자동차 석유/ 산업용 석유와 그리스로서 적용된 개별적인 양에 대해 별도로 파악할 필요가 있다. 2기통 엔진에 사용된 윤활유에 대한 자료 수집 지침에 대해서는, 제2권 <에너지> 중 제3장 <도로 운송>을 참고하라.

5.2.2.4 완전성

2기통 엔진에서 윤활유의 사용으로 인한 배출량은 에너지 분야에서 설명되어야 한다. 사용 후 연소나 매립 후 분해로부터의 산화 때문에 발생한 어떠한 배출량이라도 폐기물 분야(연소가 에너지 회수를 위해 사용된다면, 에너지 분야에서)에서 각각 설명되어야 한다. 이중 계산(double counting)하는 것을 방지하고 완전성을 입증하기 위해, 에너지와 폐기물 분야에서 윤활유의 비연소 사용에 관련되지 않은 배출량 배분의 적절성에 대해 교차 점검하여야 한다.

5.2.2.5 일관성 있는 시계열의 개발

윤활제로 인한 배출량은 시계열 측면에서 매년 동일한 방법과 자료 세트를 이용하여 계산해야 한다.

5.2.3 불확도 평가

5.2.3.1 배출계수 불확도

개발된 ODU 계수 기본값은 전형적인 윤활유 산화 비율에 관한 제한된 정보를 토대로 하고 있기 때문에 매우 불확실하다. 전문가 판단에 따르면, 50%의 기본값 불확도를 사용할 것을 권고한다. 탄소 함량 계수는 약 3%의 불확도 범위가 산정되는 윤활유의 탄소 함량과 발열량에 관한 2개의 연구를 근거로 한다(U.S.EPA, 2004).

5.2.3.2 활동도 자료 불확도

배출량 산정에서 나타나는 불확실성의 많은 부분은 개별 국가에서 사용되는 비에너지 제품의 양을 결정하기 어려운 것과 관련되어 있다. 왜냐하면 에너지 통계의 정확성에 대한 전문가 판단에 따르면, 잘 개발된 에너지 통계를 가지고 있는 국가에서는 5%의 기본값이, 기타 국가에서는 10-20%의 기본값이 사용되기 때문이다. 여기에서 사용된 총 소비량에서 그 값을 빼도록 되어 있는 2기통 엔진에서 이용된 윤활유의 양을 알지 못하기 때문에, 활동도 자료에서의 불확도는 더 높고 매우 높은 방향으로 편중될 것이다. 대부분의 윤활유가 2기통 엔진에서 이용되는 국가에서는, 이 분야에서의 활동도 자료의 불확도 범위가 더 낮은 지점에서(at the lower end) 훨씬 높아질 것이고, 국가 소비 총량 내의 2기통 엔진 산정량을 통해 산정될 수 있다.

5.2.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

5.2.4.1 품질보증 및 품질관리

생산, 수입, 수출 자료와 함께 총 연간 소비량 숫자의 일관성을 확인하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이에 덧붙여서, 여러 분야에 걸친 다른 배출원 카테고리를 계산할 때 사용된 활동도 자료와 ODU 계수의 내적 일관성을 확인하기 위하여, 버려지고 회수되고 연소된 양과 2기통 엔진에서 사용된 양을 전체 총 소비량과 비교하는 것을 추천한다.

5.2.4.2 보고 및 문서화

보고서를 작성하고 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

- 생산, 수입, 수출, 소비되고 폐기된 윤활유의 총량을 이용할 수 있는 경우에는 그 값을 보고해야 한다. 부가적으로, 2기통 엔진에서 사용된 양과 값을 뺀 양도 보고해야 한다. 후자의 정보를 이용할 수 없거나 배출량 계산에서 사용하지 않는 경우에도 보고해야 한다.

- Tier 2 방법을 사용할 때에는, 소비량 자료가 계산에 사용된 윤활유의 유형별로 보고되어야 한다.

- ODU 계수 기본값이 사용된 경우에는, 이러한 사항을 문서화 작업을 보고할 때 기록해야 한다.

- 윤활유에 대한 국가별 배출계수를 개발하였다면, 즉, 국가별 ODU 계수나 국가별 탄소 함량 분율을 사용한다면, 이에 부합되는 자료를 측정된 방법에 대한 설명과 함께 제공하여야 한다.

- 화석 연료의 비에너지 사용으로 인한 CO_2 배분을 토대로 한, 표 1.6에 윤활유로부터의 CO_2 배출량을 배분하는 것(이 권의 제1장 참고).

5.3 파라핀 왁스의 사용

5.3.1 서론

여기서 정의된 카테고리에서는 지랍(ozokerite, 대기온도에서 포화된 탄화수소, 고체의 혼합물)을 포함하여 페트롤레움 젤리(Petroleum Jelly), 파라핀 왁스, 기타 왁스와 같은 생산물을 포함한다. 파라핀 왁스는 경 윤활유(증류된 윤활유)를 생산하는 동안 원유로부터 분리된다. 파라핀 왁스는 석유 함량과 정제량에 따라 분류된다.

5.3.2 방법론적 이슈

왁스는 여러 용도로 사용된다. 파라핀 왁스는 양초, 골판지 상자, 종이 코팅, 판자 풀칠, 음식 생산, 왁스 광택제, 계면 활성제(합성세제에서 사용되는), 많은 기타 물질과 같은 곳에 사용된다. 왁스의 사용으로 인한 배출량은 본래 왁스나 파라핀 유도제가 사용하는 동안 연소될 때, 그것들이 열을 회수하거나 회수하지 않거나 폐수 처리 과정(계면 활성제 용도로)에서 소각될 때 유도된다. 소각과 폐수 처리의 경우에 발생하는 배출량은 에너지 분야나 폐기물 분야에서 각각 보고해야 한다(그림 5.1 참고).

5.3.2.1 방법의 선택

파라핀 왁스로부터의 배출량과 저장량을 결정하는 데에는 2가지 방법론적 tier가 있다. Tier 1과 Tier 2는 필수적으로 동일한 분석적 접근법을 토대로 한다. 이 접근법은 배출계수를 한 국가에서 소비된 파라핀 왁스의 양에 근거한 활동도 자료(에너지 단위에서, 예: TJ)에 적용하는 것이다. Tier 2 방법은 파라핀 왁스의 실제적 사용량을 결정하고, 국가별 ODU 계수를 활동도 자료에 적용하는 방법을 활용한다. 그리고 Tier 1 방법은 배출량 기본값을 활동도 자료에 적용하는 방법을 토대로 한다(그림 5.3, 의사결정도 참고).

Tier 1: CO_2 배출량은 이용가능한 제한된 계수에 대한 총 기본값 자료를 가지고 식 5.4에 따라 계산된다.

식 5.4
왁스 - Tier 1 방법

$$CO_2\ Emissions = PW \bullet CC_{Wax} \bullet ODU_{Wax} \bullet 44/12$$

여기서:

CO_2 Emissions= 왁스로부터의 CO_2 배출량, 톤 CO_2
PW= 총 왁스 소비, TJ
CC_{wax}= 파라핀 왁스의 탄소 함량 (기본값), 톤 C/TJ(= kg C/GJ)
ODU_{wax}= 파라핀 왁스에 대한 ODU 계수, 비율
44/12= CO_2/C의 질량비

Tier 2: 파라핀 왁스에 대한 Tier 2 방법은 유사한 식에 따라 계산된다. 생산된 파라핀 왁스의 양(가능하다면 유형에 근거한)에 근거한 자료(에너지 단위에서)가 매우 구체적이라 하더라도, 국가별

배출계수와 그것의 상대적인 사용값을 사용해야 한다.

식 5.5
왁스 - Tier 2 방법

$$CO_2\ Emissions = \sum_i \left(PW_i \bullet CC_i \bullet ODU_i\right) \bullet 44/12$$

여기서:

CO_2 Emissions= 왁스로부터의 CO_2 배출량, 톤 CO_2

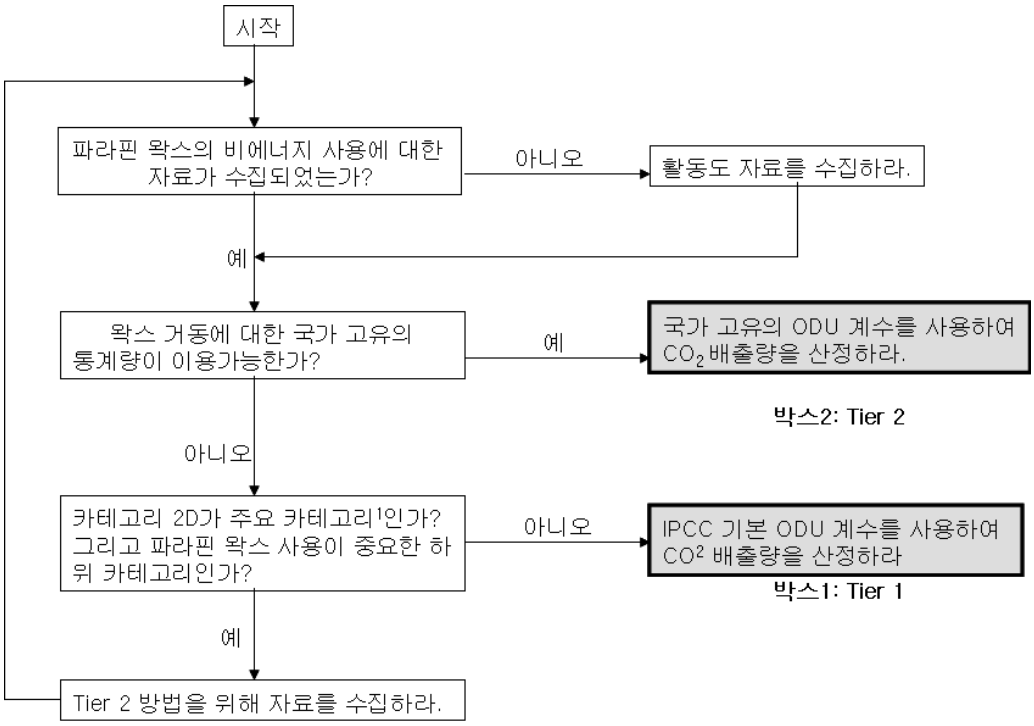
PW_i= 왁스 유형 i의 소비, TJ

CC_i= 왁스 유형 i의 탄소 함량, 톤 C/TJ(= kg C/GJ)

ODU_i= 왁스 유형 i에 대한 ODU 계수, 비율

44/12= CO_2/C의 질량비

그림 5.3 파라핀 왁스의 비에너지 사용으로 인한 CO_2의 의사결정도



주:

1 주요 카테고리의 논의 및 의사결정도의 사용에 대해, 제 1권 4장의 방법론의 선택 및 주요 카테고리의 확정(제한된 자원에 대해 4.1.2절을 참조)을 참고하여라.

5.3.2.2 배출계수의 선택

국가별 탄소 함량이나 20.0 kg C/GJ의 탄소 함량 기본값(저위 발열량에 근거한)을 적용해야 한다(제2권 제1장 표 1.3 참고. kg C/GJ은 톤 C/TJ와 같다는 점에 유의하라.) 이 기본값은 연소 배출계수 73.3 kg CO_2/GJ를 토대로 한다(API, 2004).

Tier 1: 파라핀 왁스의 20%가 ODU 계수 기본값 0.2를 도출하면서, 주로 양초를 태우는 활동을 통해 배출량을 유도하는 방법으로 사용된다고 가정한다.

Tier 2: 자국의 파라핀 왁스 사용에 대한 구체적인 자료를 가지고 있는 국가에서는 연소와 관련된 국가 자료를 근거로 왁스에 대한 자국만의 국가별 ODU 계수를 결정할 수 있다(식 5.5). 이 계수들은 위에 제시된 탄소 함량 기본값이나 이용가능할 경우의 국가별 탄소 함량을 결합할 수 있다.

5.3.2.3. 활동도 자료의 선택

파라핀 왁스의 사용에 관한 자료는 에너지 단위(TJ)로 표현된 활동도 자료를 가지고 배출량을 산정하는 데 쓰인다. 물리적인 단위(예: 톤)의 소비량 자료를 일반적인 에너지 단위(예: TJ, 저위 발열량값을 근거로) 전환하기 위해서는 열량값이 필요하다(구체적인 지침은 제2권 에너지의 제1장 1.4.1.2절 참고). 한 국가에서 사용된 비에너지 제품에 대한 기본 자료는 생산, 수입, 수출 자료와 국가 에너지 통계에 분리된 에너지/비에너지 사용값을 활용할 수 있다. 만약 보고된 국가 통계가 분리된 연료 카테고리로서 이러한 내용을 담고 있지 않고, 그 대신 총 '기타 석유 제품' 카테고리의 일부로 이러한 내용을 보여주고 있다면, 석유제품 통계가 종종 보다 구체적인 수준에서 수집되므로 국가 통계 기관과 연락하여 추가적인 자료를 얻어야 한다.

5.3.2.4 완전성

왁스 코팅된 박스의 소각(열 회수 없이)으로 인한 배출량은 에너지 분야에 해당한다. 에너지 회수로 인해 발생된 파라핀 왁스의 배출량은 어떠한 경우이든지간에 에너지 분야에서 보고되어야 한다.

5.3.2.5 일관성 있는 시계열의 개발

파라핀 왁스로 인한 배출량은 시계열 측면에서 매년 동일한 방법과 자료 세트를 사용하여 계산해야 한다. 국가별 ODU 계수를 사용할 경우에는, 인벤토리 편집자가 배출률과 저장률의 혼합 적용이 시간의 흐름에 따라 의미있게 변화하는 지를 확인해야 한다. 이러한 경우에는, 1년당 사용된 ODU 계수가 우선적으로 이러한 변화를 반영해야 한다.

5.3.3 불확도 평가

5.3.3.1 배출계수 불확도

배출계수 기본값은 파라핀 왁스 폐기에 대하여 국가 환경에 관한 지식이 제한되어 있기 때문에 꽤 불확실한 편이다. 이상적으로는, Tier 2 방법은 파라핀 왁스의 사용과 폐기에 근거한 국가 자료가 배출량 대 저장량에 대해 정해진 양을 결정짓는 대용값으로 사용될 수 있는 곳에서 적용된다. 탄소 함량 기본값 계수는 ±5% 범위의 불확도에 따라 달라진다(U.S.EPA, 2004). 그러나 ODU 계수는 특정 국가 조건과 정책에 따라 많이 달라지고, 0.2의 기본값은 약 100%의 불확도를 나타낸다.

5.3.3.2 활동도 자료 불확도

배출 산정값 불확도의 많은 부분은 개별 국가에서 사용되고 폐기된 비에너지 제품의 양을 결정짓

는 것의 어려움과 관련된다. 왜냐하면 에너지 통계의 정확성에 대한 전문가 판단에 따르면, 잘 개발된 에너지 통계를 가진 국가에서는 5%의 기본값이 사용되고, 다른 국가에서는 10-20% 기본값이 사용되기 때문이다.

5.3.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

5.3.4.1 품질보증 및 품질관리

생산, 수입, 수출 자료를 가지고 총 연간 소비량 수치의 일관성을 확인하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 부가적으로, 이용가능하다면 폐기되고 회수되고 연소된 양은 여러 분야에 걸친 다른 배출원 카테고리를 계산할 때 사용된 활동도 자료와 ODU 계수의 내적 일관성을 검토하기 위하여, 계산에 활용된 총 소비량 수치와 비교할 수 있다.

5.3.4.2 보고 및 문서화

국가별 배출계수를 이용할 경우에는, 이를 보고하고 문서화하는 것이 좋다.

- 왁스에 대한 국가별 배출계수가 개발되었다면, 즉, 국가별 ODU 계수와 국가별 탄소 함량 분율이 사용되었다면, 그 유도 과정에 대한 설명과 함께 지역값이 제공되어야 한다.
- ODU 계수 기본값이 사용되었을 경우에는, 문서로 보고할 때 이러한 점을 기록해야 한다.

5.4 아스팔트 생산과 사용

5.4.1 서론

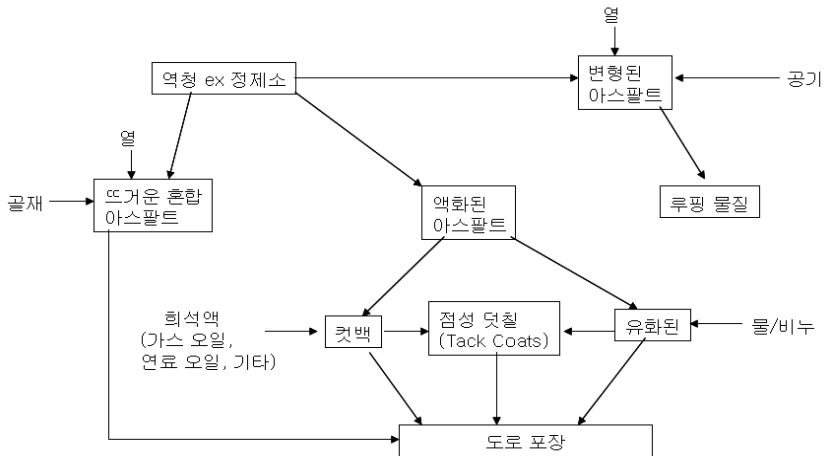
이 배출원 카테고리에서는 원유 정제소나 아스팔트의 사용(표면으로부터 수반된 배출, 도로 포장 및 보호 roofing과 같은)에서보다는, 아스팔트 공장에서의 아스팔트 생산으로 인한 비연소 배출량을 포함한다. 이것은 아스팔트 보호를 위한 주입 성형을 포함한다. 아스팔트의 생산과 사용은 잔여 산화 수소의 fate가 생산품에 저장되는 동안(탄소의 1% 미만이 방출된다), 주로 NMVOC, CO, SO_2와 특정 물질의 배출을 유발한다. 아스팔트 보호(연결 roofing)을 위한 설비로 인한 배출량은 무시해도 될 정도의 소량으로 가정된다. 아스팔트 과정(생산, 아스팔트 혼합을 위한 가열)에 열을 공급하는 데 필요한 연료의 연소로 인한 배출량은 에너지 분야에서 다루어진다.

아스팔트는 대체로 역청, 아스팔트 시멘트, 아스팔트 콘크리트나 도로용 석유제품으로 일컬어지고, 주로 원유 정제소에서 생산된다. 일부 국가에서는, laid 혼합 생산품도 '아스팔트'로 불리지만 그것은 '머캐덤(macadam)'으로도 알려져 있다. 명칭을 구별하는 데 있어서의 애매함에 대해서는, 사용된 용어의 선호도와는 관련 없이 본문에서 단일한 용어를 이용하여 통일적으로 적용할 것이다(박스 5.1 참고).

박스 5.1

아스팔트 생산과 사용

정제소로부터 주로 생산되고 도로 포장과 보호 물질의 공급원으로 사용되는, 무겁고 검고 매우 점성 있는 유기성 액체는 그것으로부터 만들어진 생산물과 구별하여, 역청으로 불린다. 이것은 국제 에너지 통계에 사용되는 전문 용어에 따르는 것이며, 국제 에너지 통계에서는 배출량 산정을 위해 필요한 자료의 일부를 제공한다. 평상시의 온도에서 역청은 반고체 상태이다. 아래의 그림에서 그려진 바와 같은 과정을 거치고 사용된다.



이 다이어그램은 역청이 가열되고, 다양한 크기의 집합체로 혼합되며, 원유나 물/비누 유제와 함께 용해되거나, 역청을 중합시키거나 고정시키기 위해 가열하여 공기 중으로 노출시키고 안정화하는 것(예: 보호 물질의 처리)을 보여준다. 이것은 '아스팔트 과정'으로 불리며, 아스팔트 제품은 '아스팔트 생산품'으로 언급될 것이다.

역청과 집합체는 보통 30~50 km의 도로 표면 포장 지역 내에서 고정되거나 유동적인 시설에서 혼합된다(EAPA, 2003). 산업화된 국가에서는, 대체로 역청의 80-90%가 도로 표면 포장의 제조에 사용된다.(U.S.EPA, 2004). 그러나 급속한 기반 시설 성장과정에 있는 개발도상국에서는, 보호 생산품으로 사용된 역청의 양이 도로 포장에 사용된 양과 같은 수준이다(UNFCCC, 2004). 다른 측면에서 아스팔트 생산품은 보호 물질의 생산에서 접합제나 방수제, 건물 방수제(봉함제 sealant), 파이프 코팅과 같은 기타 산업적 용도로 사용된다.

아스팔트의 생산과 사용에 관련된 직접적인 온실 가스 배출량(예: CO_2, CH_4)은 대부분의 가벼운(light) 탄화수소 혼합물이 산업용 연료를 생산하는 정제 과정 동안에 추출되었기 때문에 무시해도 될 정도로 적다. EMEP/CORINAIR 가이드라인에서는, 뜨거운 혼합 아스팔트와 축소 아스팔트와 산업 보호용 아스팔트로 인한 CH_4 배출량은 무시할 수 있다고 결론짓고 있다(EEA, 2005). 새로운 도로 포장에 대한 접착제로서의 재생 아스팔트 포장도로 사용으로 인한 온실 가스 배출량도 무시할 만한 양이다.

5.4.2 방법론적 이슈

NMVOC와 CO에 대한 배출계수 방법론과 배출계수 기본값은 EMEP/CORINAIR 배출 인벤토리 목록 안내서(EEA, 2005)의 도로 포장(SNAP 코드 040610), roofing 물질(SNAP 코드 040611), 아스팔트 취입 성형(SNAP 코드 060310) 분야에서 제시되어 있다. 사용자들이 상세한 NMVOC와 CO 산정값을 개발할 때에는, 이 가이드라인을 참고하도록 추천한다. (제1권 제7장 지침을 참고하라.) EMEP/CORINAIR에서 아스팔트 취입 성형부터 roofing에 대한 배출량은 각각 설명되어야 한다(SNAP 코드 060310과 함께 다방면의 화학적 생산품 제조 하에서)는 것에 유념하라.

석회암은 아스팔트에서 접착제의 일부로 사용될 수 있다. 그러나 CO_2는 가열 과정에서 배출되지 않는다고 가정한다.

도로 포장용 아스팔트의 생산과 사용

아스팔트 포장 재료는 골재, 모래, 충전재, 역청, 이따금 다량의 첨가제로 구성된다. 그러므로 아스팔트 도로 표면은 압축된 골재와 역청 결합제로 구성된다. 뜨거운 혼합 아스팔트(HMA)는 일반적으로 80% 이상으로 가장 널리 사용되고, 배출량을 거의 발생시키지 않는다(EAPA, 2003). 다른 유형의 도로 포장 재료로는 컷백(cutback) 아스팔트와 유화 아스팔트를 포함하고, 이들은 모두 액화된 아스팔트이다(EEA, 2005). 컷백 아스팔트는 원유 용매제를 혼합하여 액화되고, 따라서 희석제의 증발로 인해 상대적으로 높은 수준의 CO와 NMVOC의 배출량을 나타낸다. 그러므로 도로 포장으로 인한 대부분의 배출량은 컷백 아스팔트의 사용으로부터 발생할 것이다. 증발 비율에 따라, 3개의 유형으로 구분된다. 즉, 높은 휘발성을 지닌 휘발유나 가솔린 유형의 희석액을 사용한 급속 양생(RC), 중간 정도의 휘발성을 지닌 희석액을 사용한 중간 양생(MC), 낮은 휘발성을 지닌 석유를 사용한 축소 아스팔트를 사용한 느린 양생(SC)이다. 이것은 대부분 수분을 포함하고 용매제를 거의, 혹은 전혀 포함하지 않는 소위 유화된 아스팔트와는 현저히 다르다. 사용된 희석액의 양은 보통 냉대 기후의 국가보다 온대 기후 국가에서 더 낮으므로, 온대 국가에서 보다 낮은 배출량 계수가 나타날 것이라고 추측할 수 있다.

뜨거운 혼합 아스팔트와 차가운 혼합 아스팔트나 '수정된 아스팔트(modified asphalt)'에 대한 활

동도 자료는, 유럽 아스팔트 포장 재료 협회(EAPA)나 아스팔트 연구소와 같은 국가 (아스팔트) 포장 및 roofing 협회를 통해(EAPA, 2003: 아스팔트 연구소, 2004) 대부분의 유럽 국가들과 일부 다른 산업화된 국가에 관한 자료를 얻을 수 있다. 뜨거운 혼합 아스팔트는 대체로 약 8%의 아스팔트 시멘트(역청)을 포함하지만(EFA, 2005), 이는 국가마다 다를 수 있다(5%의 수치가 보고되기도 한다). 컷백 아스팔트의 비율은 일부 국가에서는 5~12%까지를 나타내기도 하고 예외적인 경우에는 20%에 달하거나 전혀 없기도 하지만, 대부분의 산업화된 국가에서는 그 비율이 작다(EAPA, 2002; EAPA 2003; U.S.EPA, 2004). 포장된 아스팔트의 양이 아니라 포장된 범위를 모르고 있다면, 생산된 아스팔트의 총량을 계산하기 위하여 도로 표면 변환 계수 100kg asphalt/m^2를 사용할 수 있다.

가스는 아스팔트 시설(뜨거운 혼합 아스팔트, 컷백 아스팔트, 유화된 아스팔트), 도로 포장 작업과 이에 따르는 도로 표면에 의해 배출된다. EMEP/CORINAIR 배출 인벤토리 가이드라인에서는 다른 아스팔트 시설에 대해 과정별로 통제되지 않은 배출계수를 제시하였다.

아스팔트 루핑(roofing)

아스팔트 루핑(roofing) 산업에서는 포화된 펠트, 지붕과 벽을 만드는 판자, 회전(roll) 루핑과 판자벽을 생산한다. 즉, 아스팔트 판자(shingles), 평면 유기물과 석면 펠트 회전 루핑(roll roofing), 광물 표면 유기물과 석면 펠트 회전 루핑과 판자벽, 아스팔트로 포화된, 혹은 코팅된 시트, 아스팔트 혼합물 등이다. 이 생산품의 대부분은 루핑과 다른 건축 용도로 사용된다. 전체 과정상의 주요 단계에는 아스팔트 펠트, 아스팔트 저장, 아스팔트 취입 성형, 펠트 포화, 코팅, 여기에 포함된 아스팔트 취입 성형의 광물 표면화가 포함된다. 아스팔트 루핑 생산품으로 인한 직접적인 온실 가스 배출량은 NMVOC, CO, 특정 물질과 같은 배출량과 비교해 볼 때 무시해도 될 만큼 적은 양이다.

아스팔트 취입 성형은 날씨의 변화를 견디는 아스팔트의 특성을 향상시키기 위해, 아스팔트를 중합시키고 안정화하는 과정이다. 공기로 취입 성형된 아스팔트는 아스팔트 루핑 생산품을 생산할 때 사용된다. 취입 성형은 아스팔트 공정 시설이나 아스팔트 루핑 시설(혹은 정제소[3])에서 일어난다. 아스팔트 취입 성형은 다른 과정 단계에 비해 NMVOC와 CO를 가장 많이 배출시킨다. 비포장 용도로 사용되는 모든 아스팔트는 취입 성형된다(EEA, 2005).

5.4.3 완전성

이 배출원 카테고리에서 (분명하게) 이용할 수 있는 배출량이 없다면, 해당 배출량이 이미 다른 곳에 포함되어 있지 않는지 확인해야 한다(예: 정제소 배출량에서).

5.4.4 불확도 평가

보다 정교한 방법을 사용한 결과가 가장 정확한 것으로 생각되지만, 도로 포장과 아스팔트 roofing으로 인한 NMVOC와 CO 배출량의 불확도는 ±25%의 범위에 있고 세부적인 활동도와 통

[3] 관련된 UNECE 인벤토리에서는 배출량이 혼합 화학 상품 제조(아스팔트 roofing 제조와 적용에 대해서는 SNAP 코드 040610에서, 아스팔트 취입 성형에 대해서는 SNAP 코드 060310에서)나 정제소로부터의 일시적인 배출량과 관련지어 설명된다(EMEP/CORINAIR 배출 인벤토리 가이드라인). 그러나 온실 가스 인벤토리에서 전(前)물질 배출량을 포함한 모든 배출량은 하위 카테고리 2D4 '기타' 영역에서 보고해야 한다.

제 기술 자료에 근거하지 않은 계산일 경우에는 이 값이 더욱 커진다(-100%부터 +25%까지).

NMVOC와 CO에 대한 배출계수는 묶음 혼합(batch mix)과 드럼통 혼합(drum mix) HMA 생산품은 ±50% 범위의 불확도를 갖는 반면, 총 HMA 생산품에 대한 기본값 계수와 컷백 아스팔트 생산품과 사용에 대한 기본값 계수는 약 ±100%의 불확도를 가질 것이다(즉, -50%와 +100%의 사이). 국가별 배출계수를 컷백 아스팔트 생산과 포장에 대해 사용할 때, 배출계수의 불확도는 ±50%의 범위 내에서 상당히 작아질 것이다.

HMA와 컷백 아스팔트에 대한 생산 자료는 아스팔트 생산이나 공사 산업에 의해 수집된 자료에 근거할 경우에 ±10%만큼 정확할 것이다. 그러나 컷백 아스팔트에 근거한 활동도 자료가 외삽될 필요가 있을 때에는, 많은 국가에서 컷백 아스팔트의 양이 해마다 사실상 달라질 수 있기 때문에 (2개나 3개의 계수가 드물기 때문에) 불확도가 매우 크다(EAPA, 2002; EAPA 2003; U.S.EPA, 2004). 컷백 아스팔트 유형이 혼합된 자료(RC, MC, SC)와 HMA 생산 시설 유형과 적용된 통제 기술이 혼합된 자료는 일반적으로 총 생산 자료에 비해 덜 정확하다. 아스팔트 roofing 물질의 생산 통계 상의 불확도는 계산이 틀리지 않았다면, ±10%만큼 정확할 것이다. 그러한 경우가 아니라면, 범위의 맨 끝에서의 불확도는 100%만큼 높거나 그 이상일 것이다.

도로 포장용 아스팔트 생산과 사용으로 인한 NMVOC의 화석 탄소 함량 분율 기본값은 대부분의 경우 40%에서 50%까지에서 다양하게 나타나고, 아스팔트 roofing으로 인한 NMVOC의 화석 탄소 함량 분율 기본값은 약 80%이다(EMEP/CORINAIR 배출 인벤토리 가이드라인에 제공된 NMVOC의 각 종(speciation)에 대해 계산된).

5.4.5 보고 및 문서화

아스팔트의 취입 성형, 그리고 아스팔트의 생산과 사용으로 인한 상대적으로 작은 배출량은 이 배출원 카테고리 2D '연료와 용매제 사용으로 인한 비에너지 생산품'의 하위 카테고리 2D4 '기타' 영역에서 보고해야 한다.

5.5. 용매제 사용

5.5.1 서론

원료(feedstock)로서 화석 연료를 사용하여 제조된 용매제의 사용은, 다양한 비메탄 휘발성 유기 혼합물(NMVOC)의 증기화 배출을 유발할 수 있다. 그리고 계속해서 이러한 증기화 배출은 대기 중에서 더욱 산화된다. 용매제로 사용된 화석 연료는 그 중에서도 용제(white spirit)와 등유(kerosene) (파라핀 석유)이다. 용제(white spirit)는 추출 용제, 세탁 용제, 석유 채취 용제, 연무질, 페인트, 목재 보존, 옻, 광택에서의 용제, 아스팔트 생산품으로 사용된다. 서유럽에서는, 전체 용제(white spirit) 소비의 약 60%가 페인트, 옻, 광택제에서 사용된다. 용제(white spirit)는 페인트 산업에서 가장 널리 사용되는 용제이다.

이 NMVOC 배출량을 산정하는 방법론은 EMEP/CORINAIR 배출 인벤토리 가이드라인(EEA, 2005)에서 찾을 수 있다. 이 배출원 카테고리 '용매제 사용'은 배출원의 특성상 배출량을 산정할 때 다른 배출 카테고리를 계산하는 것과는 다소 다른 접근법을 필요로 하기 때문에 개별적인 카

테고리로 취급된다. 이러한 이유로 인해, *2006 IPCC 가이드라인*에서는 '용매제 사용'을 분리된 하위 카테고리로 다루었다. EMEP/CORINAIR 가이드라인에서, 하위 카테고리인 '용매제와 기타 생산품 사용'은 대기 오염의 배출원에 대해 선별된 학명(Selected Nomenclature for sources of Air Pollution, SNAP) 6가지로 분류하고, 이를 5개의 하위카테고리로 분류하였다. 이 때 5번째인 '기타 생산품 사용'을 제외하였는데, 여기에는 F-가스, N2O와 암모니아가 포함되며 IPPU 책에서는 이와 관련하여 다음과 같은 내용을 다룬다.

- SNAP 0601: 페인트 사용
- SNAP 0602: 그리스 제거, 드라이클리닝, 전자공학
- SNAP 0603: 화학 생산 제조나 공정. 폴리에스테르, PVC, 발포제와 고무, 페인트 제조, 잉크, 접착제와 접착테이크, 직물 끝손질 공정을 포함한다.
- SNAP 0604: 용매제와 관련 활동의 기타 사용. 유리 솜과 광물 솜, 인쇄 산업, 지방 및 석유 추출, 접착제와 접착테이프의 사용, 목재 보존, 가정용 용매제 사용(페인트 용도 제외), 자전거 초벌칠 처리, 자전거 왁스제거(dewaxing) 등의 '인덕션(enduction)'(즉, 코팅) 활동을 포함한다.

도로 운송수단, 그리고 석유와 생물 연료 연소의 생산 및 운용과는 별개로, 이 배출원 카테고리는 대개 국가 NMVOC 배출량의 가장 큰 원인이 되고, 이것의 점유율은 5~30% 사이에서 다양하게 나타난다. 국제 평균은 약 15%이다(Olivier and Berdowski, 2001).

5.5.2 완전성

이 배출원 카테고리의 배출량은 생산품 기반이나 소비 기반 접근법을 사용하여 산정될 수 있다. 페인트 등의 총 가정 판매량 수치를 활용할 수 없다면, 생산, 수입, 수출량을 통해 국가 소비량을 분명하게 추론할 수 있을 것이다. 그러나 무역 통계가 완전하지 않은 경우에, 이러한 추론은 활동도 자료에서 상당한 불확도를 가져오게 된다. 그러므로 인벤토리 편집자는 NMVOC 배출 산정을 통해, 용매제와 기타 생산품의 증발을 유발하는 모든 의미 있는 사용량을 분명히 설명하도록 노력해야 한다.

5.5.3 일관성 있는 시계열의 개발

대체로 이 배출원 카테고리에서는 매년 작은 변화만이 예상된다. 그러나 환경 정책이 보다 치명적인 휘발성 혼합물로 용매제(예: 물 with water)를 대체하도록 할 때, NMVOC 배출량과 NMVOC 배출량의 화석 탄소 함량이 시간에 따라 변화할 것이다.

5.5.4 불확도 평가

NMVOC 배출량의 불확도는 일반적으로 꽤 클 것이다. 즉, 이 배출원에 대한 세밀한 인벤토리 목록을 개발해 온, 불확도가 25% 정도일 수 있는 국가를 제외하고는, 약 ±50% 정도이다. NMVOC의 화석 탄소 함량 비율 기본값은 종(spciation) 프로파일에 대해 한정 출판된 국가 분석에 따르면 질량 값으로(by mass) 60%이다(U.S.EPA, 2002; 오스트리아, 2004; 헝가리, 2004; Klein Goldewijk *et al.*, 2005). 화석 탄소 함량 비율 기본값은 질량으로 50~70% 범위의 탄소값이며, 약 ±10%의 불

확도를 가진다. 국가별 비율은 예컨대 ±5%와 같이 더 낮은 불확도를 가져야 한다.

참고 문헌

API (2004). Compendium of Greenhouse Gas Emissions Methodologies for the Oil and Gas Industry, American Petroleum Institute (API), Table 4-2. Washington, DC, February 2004.

Asphalt Institute (2004). Website http://www.asphaltinstitute.org/ai_pages/links/, visited 19 November 2004.

Austria (2004). Austria'ˈs National Inventory Report 2004. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Umweltbundesamt, BE-244, Vienna.

EAPA (2002). European Asphalt Pavement Association,, Asphalt in Figures 2002. Available at website http://www.eapa.org, visited 19 November 2004.

EAPA (2003). European Asphalt Pavement Association,, Asphalt in Figures 2003. Available at website http://www.eapa.org, visited 19 November 2004.

EEA (2005). “"EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook - 2005”", European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site see: http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en

Hungary (2004). Hungarian National Inventory Report for 2002. General Directorate for Environment, Nature and Water, UN Framework Convention on Climate Change, Directorate for Environmental Protection, Budapest.

Klein Goldewijk, K., Olivier, J.G.J., Peters, J.A.H.W., Coenen, P.W.H.G. and Vreuls, H.H.J. (2005). Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands 1990-2003. National Inventory Report 2005. RIVM Report no. 773201009/2005. RIVM, Bilthoven.

Olivier, J.G.J. and Berdowski, J.J.M. (2001). Global emissions sources and sinks. In: Berdowski, J., Guicherit, R.and B.J. Heij (eds.) "The Climate System", pp. 33-78. A.A. Balkema Publishers / Swets & Zeitlinger Publishers, Lisse, The Netherlands. ISBN 90 5809 255 0.

Rinehart, T. (2000). Personal communication between Thomas Rinehart of U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, and Randall Freed of ICF Consulting, July 2000.

UNFCCC (2004). Emissions data and National Inventory Reports. Website http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/2761.php visited 19 November 2004.

U.S. EPA (2002). National Air Quality and Emissions Trends Report data, 1900-2000. United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Research Triangle Park, NC.

U.S. EPA (2004). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2002. United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA), Washington, DC.

제6장

전자산업 배출

저자

Scott Bartos (미국)

Laurie S. Beu (미국), C.Shepherd Burton (미국), Charles L. Fraust (미국), Francesca Illuzza (이탈리아), Michael T. Mocella (미국), Sebastien Raoux (프랑스/미국)

부저자

Guido Agostinelli (이탈리아), Erik Alsema (네덜란드), Seung-Ki Chae (한국), Vasilis M. Fthenakis (미국), Joseph Van Gompel (미국), Hideki Nishida (일본), Takayuki Oogoshi (일본), Kurt T. Werner (미국)

목 차

6 전자 산업 배출 6.5
6.1 서론 6.5
6.2 방법론적 이슈 6.6
6.2.1 방법의 선택 6.6
6.2.1.1 반도체, 액정표시장치 및 광전변환장치의 식각(에칭) 및 CVD 세정 6.6
6.2.1.2 열전도 유체 6.15
6.2.2 배출계수의 선택 6.17
6.2.2.1 반도체, 액정디스플레이 및 광기전의 식각 및 CVD 세정 6.17
6.2.2.2 열전도 유체 6.25
6.2.3 활동도 자료의 선택 6.26
6.2.4 완전성 6.28
6.2.5 일관된 시계열 개발 6.29
6.3 불확도 평가 6.29
6.3.1 배출계수 불확도 6.30
6.3.2 활동도 불확도 6.30
6.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 6.34
6.4.1 품질보증 및 품질관리(QA/QC) 6.34
6.4.2 보고 및 문서화 6.34
참고 문헌 6.36

수 식

식 6.1 Tier 1 FC 배출량 산정방법 6.10
식 6.2 Tier 2a FC 배출량 산정방법 6.11
식 6.3 CF_4의 부산물 배출량 6.11
식 6.4 C_2F_6의 부산물 배출량 6.11
식 6.5 CHF_3의 부산물 배출량 6.12
식 6.6 C_3F_8의 부산물 배출량 6.12
식 6.7 FC 배출량의 Tier2b 산정방법 6.13
식 6.8 CF_4의 부산물 배출량 6.13
식 6.9 C_2F_6의 부산물 배출량 6.13

식 6.10 CHF_3의 부산물 배출량..... 6.14
식 6.11 C_3F_8의 부산물 배출량..... 6.14
식 6.12 열전도 유체로부터 발생한 총 FC 배출량의 Tier1 산정방법..... 6.16
식 6.13 열전도 유체로부터 발생한 FC 배출량의 Tier2 산정방법..... 6.16

그 림

그림 6.1 전자제품 제조로부터의 FC 배출량 산정에 대한 의사결정도..... 6.9
그림 6.2 전자제품 제조과정에서의 열전도 유체 손실로 인해 발생하는 FC 배출량 산정을 위한 의사 결정도..... 6.17

표

표 6.1 전자제품 제조과정의 Tier별 배출량 산정방법을 실행하기 위해 필요한 정보원. 6.8
표 6.2 전자제품 제조과정에서 발생하는 FC 배출량에 대한 Tier 1 기체별 배출계수.. 6.18
표 6.3 반도체 제조과정에서 발생하는 FC 배출량에 대한 Tier 2 기본 배출계수..... 6.20
표 6.4 LCD 제조과정에서 발생하는 FC 배출량에 대한 Tier 2 기본 배출계수..... 6.21
표 6.5 PV 제조과정에서 발생하는 FC 배출량에 대한 Tier 2 기본 배출계수..... 6.22
표 6.6 전자산업 FC 배출량 감축 기술에 대한 Tier 2a와 2b 대표효율성 입력변수..... 6.23
표 6.7 2003, 2004 및 2005년 국가 총 실리콘 (Si)과 유리제품 용적 (Mm2)..... 6.27
표 6.8 2003년 국가 총 PV 생산설비용적, Mm^2..... 6.28
표 6.9 반도체 제조과정에서의 FC 배출량에 대한 상대적 오차의 Tier2 산정치, 95% 신뢰도 구간..... 6.32
표 6.10 LCD 제조과정에서의 FC 배출량에 대한 상대적 오차의 Tier2 산정치, 95% 신뢰도 구간..... 6.33
표 6.11 전자제품 제조과정에서의 배출량 산정치의 투명도 제고를 위해 필요한 정보. 6.35

박 스

박스 6.1 반도체 제조 예..... 6.15

6. 전자 산업 배출

6.1 서론

여러 가지 고급 전자제품 제조과정에서는 플라즈마 식각, 복잡한 양식, 반응용기 세정 및 온도조절을 위해 불소 화합물 (FCs) 이 이용된다. 이 장에서 논의되는 특정 전자 산업 부문은 반도체, 박막 트랜지스터 평면 표시장치 (TFT-FPD), 광기전 (PV) 제조업 (통칭 '전자산업') 을 포함한다.[1]

현재 전자산업은 실온에서 기체상태인 FC와 액체상태인 FC를 모두 배출하고 있다. 기체상태의 FC는 CF_4, C_2F_6, C_3F_8, c-C_4F_8, C_4F_6, C_5F_8, CHF_3, CH_2F, 삼불화질소 (NF_3), 육불화황 (SF_6)이 있으며 전자제품 제조의 두가지 중요한 과정인 i) 실리콘 포함 물질의 플라즈마 식각, ii) 실리콘이 침전되어 있던 화학증착 (CVD) 기구 내벽 세정에 이용된다.[2] 대부분의 FC 배출량은 식각 및 세정과정에서 FC 전구물질(precursors)의 이용효율 (예: 소비)이 제한적이기 때문에 발생한다. 더욱이 생산과정에서 사용된 불소화합물의 일부가 부산물인 CF_4로, 또 어떤 경우에는 C_2F_6, CHF_3, 및 C_3F_8으로도 전환될 수 있다.[3] 또한 CF_4가 탄소를 포함하는 저유전상수(low dielectric constant) (low k) 물질 (혹은 탄화물)을 식각하거나 세정하는 과정에서 부산물로 형성될 수 있다는 점도 고려되어야 한다.[4] 게다가 F_2, COF_2, 및 CIF_3 사용은 증가할 수 있다. 이런 기체들은 그 자체로 지구온난화를 야기하지는 않는다 하더라도 어떤 조건하에서는 CF_4를 형성할 수 있다.

전자제품 제조에는 몇몇 과정에서 온도 조절을 위해 FC를 사용된다. 열전도유체로도 알려져 있는 이런 FC는 실온에서는 액체상태이며 상당한 증기압이 있다. 증발 손실은 총 FC배출량을 증가시킨다. 이런 증발 손실은 몇몇 공정시설의 냉각, 포장된 반도체 장비의 시험, 전자부품을 회로보드에 기상 리플로우 땜납 과정 중에 발생한다. 증발 손실은 액체 FC가 전자부품이나 운용중인 시스템을 냉각하는 과정에서는 발생하지 않는다. 이 과정에서 액체 FC는 제품이나 시스템 수명기간 동안 차단된 시스템 안에 갇혀 있다. 20가지 이상의 다른 액체 FC가 전자부문에

[1] 최근의 유럽 및 미국 PV 제조업체에 대한 포괄적인 서베이는 PV 제조업체의 40에서 50 %가 상대적으로 적은 양의 FC(압도적으로 결정 실리콘 웨이퍼 식각중 CF_4, SiNx 필름의 폐기 이후 용기세정중 C2F6)를 사용한다고 밝히고 있다. 이 서베이에 따르면 2004년 세계 사용량은 약 30 Mtonnes CF4이다. 세계 FC 사용량이 2004년에는 낮은 듯 보이지만 믿을 만한 PV 산업 성장예측은 가까운 미래에 연간 30 % (혹은 그 이상)에 달한다. 더욱이 몇몇 보고서는 제조업 생산성을 높이고 실리콘 기반 기술의 비용을 낮추는 수단으로서 FC의 장점을 높이 칭찬하고 있다.(Shah 외, 2004; Maycock, 2005; Agostinelli 외, 2004, Rentsch 외, 2005) 그런 예상 성장률과 FC 사용 증가에 대한 전망에 자극을 받아 이 장에 PV 제조로부터의 FC 배출량을 포함시켰다.

[2] C_5F_8은 현재 IPCC가 인식하는 지구온난화 잠재력은 없지만 그 배출량은 이 장에서 논의되었다. C_5F_8는 직접적 온실가스이며 배출량이 이 장에서 기술된 방법과 자료를 이용하여 산정될 수 있다. C_5F_8 대기 생애는 약 1년이므로 상대적으로 적은 GWP를 나타낸다.(Sekiya, 2003)

[3] C_2F_6의 부수적 배출량은 C_4F_6 분자의 분해과정에서 관찰되었으며 두 개이상의 탄소원자를 가진 다른 FC 분자에 대해서도 발생할 수 있다. 대부분의 FC 전구물질에서 부산물로서의 C_2F_6 형성은 관찰되지 않았다. c-C_4F_8이 TFT-FPD 제조시 식각제로 사용되었을 때 CHF_3 형성이 보고된 바 있으며 C_3F_8의 부수적 배출량은 C_4F_8O가 용기세정에 사용될 때 보고된 바 있다.

[4] 저유전상수 물질은 0.25 μm모드 혹은 그 아래에서 반도체 칩의 연결 구조를 위한 절연체로 처음 사용되었다. 많은 저유전상수 물질이, 얇은 필름의 식각과정이나 저유전상수 폐기에 사용된 CVD 반응로의 세정과정중에 CF4로서 제거될 수 있는 탄소를 포함하고 있다. CF4는 또한 카바이드 폐기에 사용된 CVD 반응로 세정과정중에 형성될 수도 있다.

판매 중이며, 종종 불소 화합물과의 혼합물이 판매되고 있다.[5] 각각의 액체에 해당하는 이산화탄소 등가물이 다르기 때문에 개별적으로 탐지, 보고되어야 한다. 이런 전환의 정확한 가치는 구체적으로 적용 가능한 보고요건에 따라 정해질 것이다.[6][7] 더욱이 액체 FC는 때때로 제조과정에서 TFT-FPD패널을 세정하는 데 사용된다.

6.2 방법론적 이슈

6.2.1 방법의 선택

6.2.1.1 반도체, 액정표시장치, 및 광전변환장치의 식각(에칭) 및 CVD 세정

배출량은 다른 종류의 전자장치 제조에 사용된 기체, 사용된 공정과정 (혹은 개략적으로 공정 형태 (예: CVD 혹은 식각)), 사용된 공정장비의 상표, 배출량 감축 기술의 실행에 따라 달라진다.

방법의 선택은 자료 입수가능성에 좌우되며 그림 6.1 전자제품 제조과정에서 발생하는 FC 배출량 산정을 위한 의사결정도에 개괄되어 있다. 액체 FC로 인해 발생하는 배출량은 Tier1, 2, 및 3 의 접근방법을 이용해 산정되며 이 절에 개별적으로 서술되어 있다.[8]

연속(in situ) 배출량 모니터링은 현재 기술적으로나 경제적으로 이 산업에서의 배출량을 산정하는 데 실행 불가능한 방법으로 여겨지고 있다. 그러나 FC 배출량은 새로운 공정 및 기구 개발과정과 상업적으로 이용가능해진 공정조건 (중심 공정(centerline process) 조건으로도 알려짐) 이 확립 이후에 주기적으로 측정되고 있다.[9] 전자산업은 대량(high-volume) 제조 도입 이전에 FC 배출량을 최소화하는 중심공정과정을 모색한다. 그러나 주지할 점은 FC 배출량은 공정변수 (예, 압력, 온도, 플라즈마 출력, FC 기체 유량, 공정시간)의 변화에 영향을 받을 수 있다는 것이다. 그러므로 배출량 산정에 이용된 방법의 정확도는 생산 공정과 표본이 되는 중심 공정 간에 발생할 수 있는 차이에 영향을 받는다. 게다가, FC 배출량 제어장치의 효과성은 설비를 운용하고 유지하는 제조업자의 특성에 좌우된다: 증가된 기체 유량, 부적절한 온도 설정, 필요한 유지보수 실패는 개별적으로 혹은 집합적으로 성과에 부정정인 영향을 미칠 것이다.

---

5 상대적으로 최근의 검토는 액체 FC(열전도 유체)의 사용, 그 화학적 구성, GWP 들을 요약해 놓았다. Burton(2004a) 참조.

6 이런 재료들은 Fluorinert와 Galden이라는 거래명으로 판매된다. Fluorinert 물질은 완전히 불화된 알칸, 에테르, 제3의 아민과 아미노에테르 그리고 혼합물중에 바람직한 특성을 가진 것으로 선택되었다. Galden 액체는 PFPE라 불리는 완전히 불화된 폴리에테르의 전 범위에 걸쳐 있으며, 이 또한 바람직한 특성을 가진 것으로 선택되었다.

7 상업적 혼합물이 사용될 때 인벤토리 작성자는 혼합물의 이산화탄소 등가물로의 전환이 적절한 전환계수를 이용하는지 확실히 할 필요가 있을 것이다.

8 그림 6.1에 나타난 논리는 배출량 산정치를 개선하기 위해 서로 다른 방법을 결합할 가능성을 나타내지 않는다. 예를 들어 오로지 Tier2b 방법만을 이용하는 대신, 특정 기체와 공정과정에 대해서는 Tier3방법을 이용하고 다른 기체와 공정방법에 대해서는 Tier2b를 사용하여 배출량 산정치를 개선할 수 있다. 마찬가지로 Tier2a와 2b 방법을 결합하여 Tier2a만 사용할 경우에 비해 더 나은 산정치를 산출할 수도 있다. 그러나 Tier1 방법은 다른 어떤 방법과도 결합되어서는 안 된다.

9 중심선 조건(centerline condition)은 설비 제조업체가 판매를 위해 설비를 표준화해 놓은 조건을 일컫는다. 이는 기체 유량, 실내 압력, 공정시간, 플라즈마 파워 등에 대한 명목상의 세부사항들이다. 반도체 제조업체들은 특정한 필요에 대해 최적화하기 위해 이런 조건들을 수정하는 것이 일반적이다.

산정된 배출량의 정확도는 사용된 방법에 좌우된다. Tier1 방법은 모든 입력변수에 기본값을 이용하고 배출제어기술을 사용을 고려하지 않는다. Tier2a 방법은 배출제어기술을 사용하거나 하지 않는 공정과정에서 이용된 기체의 비율에 대한 기업별 자료를 이용하지만 식각과 세정을 구분하지 않고 다른 입력변수에 대해서는 기본값을 이용한다. Tier2 방법은 식각 대 세정에 사용된 기체 비율에 대한 기업별 자료를 이용하지만 다른 입력변수들은 일부, 혹은 전부 기본값에 의지한다. 가장 정밀한 방법인 Tier3 방법은 기본값보다는 완전한 공정별 값을 필요로 한다.

표 6.1은 전자제품 제조과정에서 발생하는 배출량 산정을 위한 각각의 방법에 필요한 자료를 요약하고 있다.

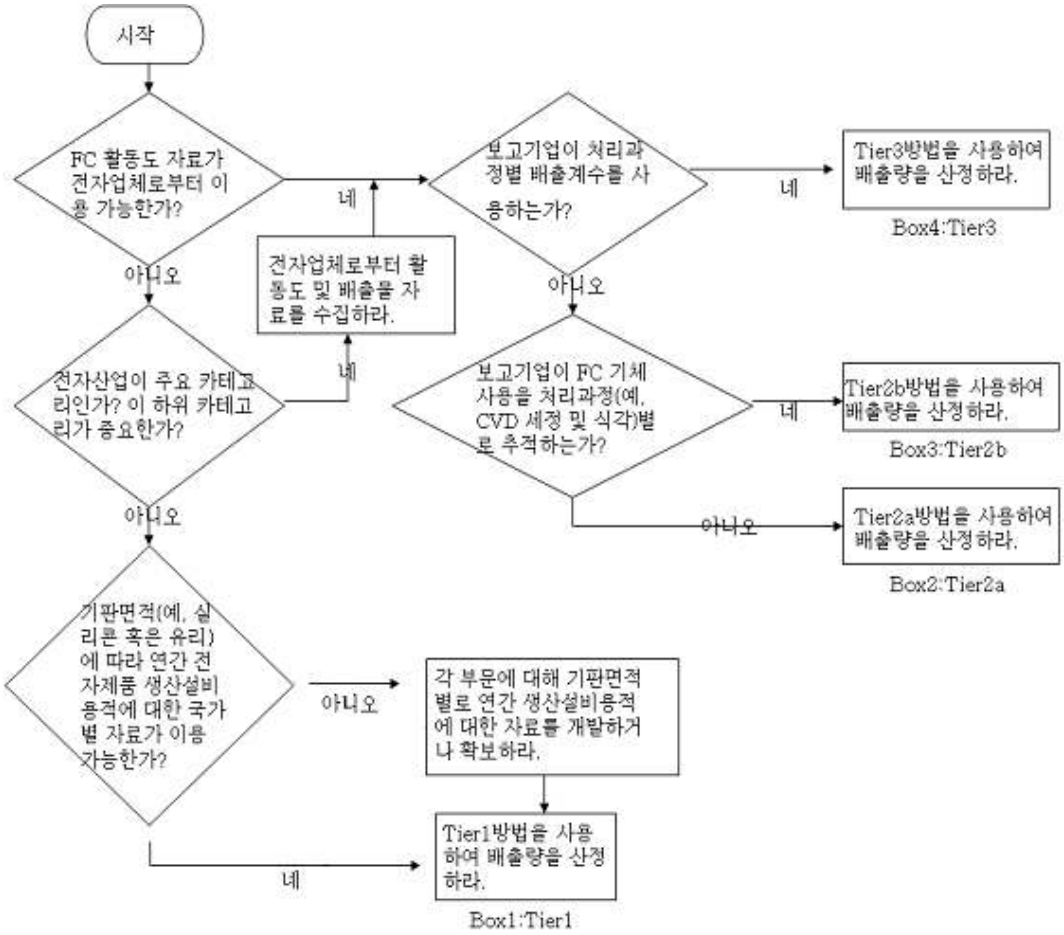
표 6.1

전자제품 제조과정의 Tier별 배출량 산정방법을 실행하기 위해 필요한 정보원

	자료	Tier1	Tier2a	Tier2b	Tier3
공정 가스 유입 도구	$FC_{i,p}$ = 특정 공정과정 p 혹은 작은 일반 공정도구의 집합(예, 실리콘 질화물 식각)에 주입된 기체 i의 kg				M
	$FC_{i,p}$ = 광의의 공정 부문에(예, 식각 및 CVD 세정)에 주입된 기체 i의 kg		M	M(식각) 및 M(CVD)	
	h = 사용 후 배송용기 잔여 기체 비율(heel)		D	D	M
도구에서의 공정 가스 반응 및 파기	$U_{i,p}$ = 기체 i, 공정과정 p의 사용률(파기되거나 변환된 비율)		D	D(식각) 및 D(CVD)	M
	$B_{CF4,i,p}$, $B_{C2F6,i,p}$, $B_{CHF3,i,p}$, $B_{C3F8,i,p}$ = 기체 i, 공정과정 p에 대한 CF_4, C_2F_6, CHF_3, C_3F_8의 부수적 배출량에 대한 배출계수		D	D(식각) 및 D(CVD)	M
하류 FC 배출량 관리	$a_{i,p}$ = 공인 FC 배출제어기술이 있는 공정과정에 주입된 기체 i의 비율		M	M	M
	$d_{i,p}$ = 배출제어기술에 의해 파기된 기체 i의 비율		D	D	M
	$d_{CF4,p}$, $d_{C2F6,p}$, $d_{CHF3,p}$, $d_{C3F8,p}$ = 배출제어기술로 인해 파기된 각각 CF_4, C_2F_6, CHF_3, C_3F_8의 부산물 비율				M
연간 생산 용량	C_d = 공정된 기판(예, 실리콘, 유리) 표면적의 연간 제조업 설비용적	M			
	C_u = 연간 설비이용 비율	D/M			

M = 이 값을 측정 혹은 획득
D = 안내서에 나와 있는 기본계수 사용
a 이용가능하고 지지할 수 있는 경우 M 값은 Tier2a 와 2b에 대한 D 값으로 대체될 수 있다. 표 6.6의 조건 참조
b 부산물의 효과가 기체 i의 di,p에 D값으로 통합되었기 때문에Tier2a 및 2b에 대해서는 기본값이 없음

그림 6.1 전자제품 제조로부터의 FC 배출량 산정에 대한 의사결정도



주 :

1. *주 카테고리*와 의사결정도의 이용을 위해 제1권 4장의 방법론의 선택과 주 카테고리의 확인(제한된 자원과 관련된 4.1.2 절도 참고)을 참고하라.

TIER 1 방법 – 기본(default)

Tier 1 방법은 가장 덜 정확한 산정방법으로 기업별 자료가 이용 가능하지 않은 경우에만 이용되어야 한다. Tier1 방법은 기체 별 배출량을 산출하는 듯 보이지만, Tier 2와 3 방법과는 달리 FC 배출량의 총괄적 산정치를 얻기 위해 설계되었다. 산정치는 표 6.2에 나열된 모든 기체에 대해 동시다발적으로 산정되었으며 전체집합으로서 보고할 때만 이용할 수 있다.

배출량 계산은 고정된 일련의 일반 배출량 계수에 좌우된다. 여기 속한 계수는 제조되는 전자제품의 부문 (혹은 제품군) (반도체, TFT-FPD 혹은 PV 셀)에 따라 다르다. 각각 계수, 즉 기체별 배출계수는, 제조시 소비된 기판면적 (예, 실리콘, TFT-FPD 패널, 혹은 PV 셀) 의 단위당 평균배출량으로 표현된다. 어느 전자제품군에 대해서도, 이 계수들은 기판공정의 연간 설비이용률 (C_u, 비율)과 연간 제조설비용적 (C_d, 단위 Gm^2)으로 곱해진다. 이 곱(C_u C_d)는 전자제품 제조 중 소비된 기판의 산정량이다. 결과는 개별 전자제품군을 구성하는 기체들에 의해 발생하는 집합의 연간 배출량으로서 kg으로 표시된다. FC의 사용은 PV 제조 중에 크게 변하기 때문에 PV 셀

제조로부터 발생하는 FC 배출량을 산정하는 데 있어서는 FC를 사용하는 PV 제조업체의 비율을 설명하는 제 3의 요소가 필요하다. Tier1 공식은 식 6.1에 나타나 있다.

식 6.1
Tier 1 FC 배출량 산정방법

$$\{FC_i\}_n = \{EF_i \bullet C_u \bullet C_d \bullet [C_{PV} \bullet \delta + (1-\delta)]\}_n \qquad (i = 1, \ldots, n)$$

여기서:

$\{FC_i\}_n$ = FC 가스 i의 배출량, 기체 i의 질량

주: $\{\ \}_n$은 각각 제품군(반도체, TFT-FPD 혹은 PV셀)의 집합을 표시하며 n은 각각의 집합(반도체 6개, TFT-FPD 제조 3개, PV셀 2개. 표 6.2 참조). 산정치는 이 Tier 1 방법을 이용할 경우 각 집합의 모든 원소들에 대해 산정, 보고될 때 타당함.

EF_i = 제품군의 기판 표면적의 제곱미터당 연간 배출량으로써, 기체 i에 대한 FC 배출계수, 제곱미터당 기체 i의 양

C_u = 연간 공장생산설비 이용률, 비율

C_d = 연간 제조설비 용적, 공정 기판의 Gm^2, 단 PV 제조업은 Mm^2

C_{PV} = FC를 사용하는 PV 제조업체의 비율, 비율

δ = 식 6.1이 PV 산업에 적용될 경우 1, 식 6.1이 반도체나 TFT-FPD 산업에 적용될 경우 0, 단위 없음

이 방법은 공정종류 (식각 대 세정), 개별 공정과정이나 도구 간 차이를 고려하지 않는다. 또한 공중 배출제어장치의 사용가능성도 고려하지 않는다.

Tier1을 사용할 때, 인벤토리 작성자는 표 6.2에서 가정된 FC 집합을 어떤 식으로든 수정해서는 안 된다. 인벤토리 작성자는 Tier 1으로 산정된 배출량과 Tier 2 혹은 3으로 산정된 배출량을 조합해서는 안 된다. 예를 들어 인벤토리 작성자는 반도체로부터의 CF_4 배출량을 산정하기 위해 CF_4에 대한 Tier1 계수를 이용하고 이를 Tier2 혹은 3 방법을 이용해 산출한 여타 FC 기체의 결과와 결합해서는 안 된다. (6.2.2.1절 참조)

TIER 2a 방법 – 공정 기체별 입력변수

이 방법은 기체소비량과 배출제어기술에 대한 기업별 자료를 바탕으로 각각의 FC 배출량을 계산한다. 이는 산업전체의 'heel'에 대한 기본값이나 사용 후 배송컨테이너 안에 남아있는 구매 기체의 비율(h), 반도체나 TFT-FPD 제조공정에서 '사용된'(파기된 혹은 변환된) 기체의 비율 그리고 그 과정에서 CF_4나 C_2F_6로 전환된 기체의 비율을 이용한다. Tier2 방법을 이용하기 위해서는 인벤토리 작성자는 자료 수집을 위해 산업현장과 직접적인 대화 창구를 마련하고(예: 연간 배출량 보고) 배출제어기술을 설치하고 사용하도록 해야 한다.

총 배출량은 생산과정에서 사용된 기체 FC_i로부터 발생된 배출량과 식6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.5 에서 보인 대로 기체 FC_i를 사용함에 따라 부산물로 발생한 CF_4, C_2F_6, CHF_3 및 C_3F_8 배출량의 합이다. 이 장 뒷부분에 설명되어 있는 Tier 3과 2b 방법과는 달리, Tier 2a 방법은 공정 과정이나 공정형태(식각 혹은 세정), 개별 공정과정 혹은 기구를 구분하지 않는다. 기본배출계수는

가중평균(전문가의 판단에 따른 가중치에 기반)이며 식각과 CVD 과정을 통틀어 각각의 기체에 대해 별도로 정해진다.

배출계수에 대한 부분에서 논의했듯이, Tier2 방법은 특정전자부분에서 개별 FC가 가장 자주 사용되는 공정 형태(CVD 혹은 식각)에 대한 배출계수를 사용한다. 이 방법은 각각의 산업에서 개별 FC가 특정 공정형태(CVD 혹은 식각)에서 압도적으로 많이 사용되는 경향이 있는 현재의 추세를 반영한다. 그러나 산업 전체적인 사용패턴과는 현저히 다른 양상을 보이는(예 다른 곳에서는CVD에 주로 사용하는 기체를 식각과정에 주로 사용하는 경우) 기업이나 공장이 있는 나라에서는 인벤토리 작성자가 Tier 2b 대신 Tier2a를 방법을 사용함으로써 발생할 수 있는 오차를 평가해 보아야 한다.

식 6.2

Tier 2a FC 배출량 산정방법

$$E_i = (1-h) \bullet FC \bullet (1-U_i) \bullet (1-a_i \bullet d_i)$$

여기서:

E_i = 기체 i의 배출량, kg

FC_i = 기체 i의 소비량, (예: CF_4, C_2F_6, C_3F_8, c-C_4F_8, c-C_4F_8O, C_4F_6, C_5F_8, CHF_3, CH_2F_2, NF_3, SF_6), kg

h = 사용 후 배송 컨테이너(heel)내 잔여기체 비율, 비율

U_i = 기체 i 사용률(공정 중 파기되거나 변환된 비율), 비율

a_i = 배출제어기술이 있는 경우 공정 중 사용된 기체 i 양의 비율(기업 혹은 공장별), 비율

d_i = 배출제어기술로 인해 파기된 기체 i의 비율, 비율

식 6.3

CF_4의 부산물 배출량

$$BPE_{CF4,i} = (1-h) \bullet B_{CF4,i} \bullet FC_i \bullet (1-a_i \bullet d_{CF4})$$

여기서:

$BPE_{CF4,i}$ = 사용된 기체 i로부터 발생한 CF_4의 부산물 배출량, kg

$B_{CF4,i}$ = 배출계수, 발생한 CF_4kg/사용된 기체 i kg

d_{CF4} = 배출제어기술로 인해 파기된 CF_4 부산물의 비율, 비율

식 6.4

C_2F_6의 부산물 배출량

$$BPE_{C2F6,i} = (1-h) \bullet B_{C2F6,i} \bullet FC_i \bullet (1-a_i \bullet d_{C2F6})$$

여기서:

$BPE_{C2F6,i}$ = 사용된 기체 i로부터 발생한 C_2F_6의 부산물 배출량, kg

$B_{C2F6,i}$ = 배출계수, 발생한 C_2F_6 kg/사용된 기체 i kg

d_{C2F6} = 배출제어기술로 인해 파기된 C_2F_6 부산물의 비율, 비율

식 6.5

CHF_3의 부산물 배출량

$$BPE_{CHF3,i} = (1-h) \bullet B_{CHF3,i} \bullet FC_i \bullet (1-a_i \bullet d_{CHF3})$$

여기서:

$BPE_{CHF3,i}$ = 사용된 기체 i로부터 발생한 CHF_3의 부산물 배출량, kg
$B_{CHF3,i}$ = 배출계수, 발생한 CHF_3kg/사용된 기체 i kg
d_{CHF3} = 배출제어기술로 인해 파기된 CHF_3 부산물의 비율, 비율

식 6.6

C_3F_8의 부산물 배출량

$$BPE_{C3F8,i} = (1-h) \bullet B_{C3F8,i} \bullet FC_i \bullet (1-a_i \bullet d_{C3F8})$$

여기서:

$BPE_{C3F8,i}$ = 사용된 기체 i로부터 발생한 C_3F_8의 부산물 배출량, kg
$B_{C3F8,i}$ = 배출계수, 발생한 C_3F_8 kg/사용된 기체 i kg
d_{C3F8} = 배출제어기술로 인해 파기된 C_3F_8 부산물의 비율, 비율

기체 i의 배출량(Ei)과 각각의 기체에 대한 CF_4, C_2F_6, CHF_3, C_3F_8의 부산물 배출량(BPE_CF_4, BPE_{C2F6}, BPE_{CHF3}, BPE_{C3F8})을 산정한 뒤, 인벤토리 작성자 혹은 기업은 총 FC 배출량을 산정하기 위해 모든 기체에 대해 이 배출량들의 합계를 내어야 한다.

TIER 2b 방법 공정 유형별 입력변수

Tier 2b 방법은 모든 식각과정 및 세정과정(FCip)에 투입된 개별 기체의 총량에 대한 자료를 필요로 한다. 그러므로 광범위한 공정형태(식각 대 CVD 세정)만을 구분하며 많은 가능한 개별 공정 과정이나 작은 공정들은 구분하지 않는다. 산업 전체의 기본값이 다음의 일부 혹은 전부에 사용될 수 있다.

- 'heel'로 명명된 사용 후 배송컨테이너 내 잔여 기체 비율(h);
- 공정 유형 당(per) '사용된'(파기되거나 변환된) 기체의 비율(U_{ip});
- 공정 유형 당(per) CF_4 부산물 배출량에 대한 배출계수($B_{CF4,i,p}$);
- 공정 유형 당(per) C_2F_6 부산배출량에 대한 배출계수($B_{C2F6,i,p}$);
- 공정 유형 당(per) CHF_3 부산배출량에 대한 배출계수($B_{CHF3,i,p}$);
- 공정 유형 당(per) C_3F_8 부산배출량에 대한 배출계수($B_{C3F8,i,p}$);

공정 형태별 배출제어기술에 의해 파기된 기체의 비율($d_{i,p}$, d_{CF4}, d_{C2F6}, d_{CHF3}, d_{C3F8})에 대한 기본값도 표시되어 있다(표 6.6 참조). 배출제어기술이 설치되지 않았으면, 배출제어기술이 있는 경우 공정 중 투입된 기체량의 비율인 a_{ip}의 값은 0이다. U_{ip}, $B_{CF4,i,p}$, $B_{C2F6,i,p}$, $B_{CHF3,i,p}$, $B_{C3F8,i,p}$에 대한 기본값은 간단한 비가중 평균값이며 모든 식각과정과 CVD과정을 통틀어 개별 기체에 대해 별도로 산정된다. 기업별 혹은 공장별 배출계수는 이용 가능한 경우 기본값을 대체할 수 있다.

수식들은 배출제어 장치의 공장별 사용도를 고려하지만 개별 공정과정이나 도구별 차이 혹은 처리공정과 도구를 혼합 사용하는 제조공장별 차이는 고려하지 않는다. 그러므로 Tier2b 산정치는 Tier3 산정치보다는 정확도가 떨어질 것이다. 또한 Tier2b 방법은 반도체와 TFT-FPD 제조에도 적용될 수 있다.

특정 FC(FCi)를 사용함으로써 발생한 배출량은 FCi 배출량 자체에 FCi의 사용 중에 부산물로 형성된 CF_4, C_2F_6, CHF_3, C_3F_8의 배출량을 더한 값이다. 다음 계산은 각각의 처리형태에 개별기체에 대해 반복적으로 적용된다.

식 6.7

FC 배출량의 Tier2b 산정방법

$$E_i = (1-h) \bullet \sum_p [FC_{ip} \bullet (1-U_{ip}) \bullet (1-a_{ip} \bullet d_{i,p})$$

여기서:

E_i = 기체 i의 배출량, kg

p = 공정형태 (식각 대 CVD 세정)

FC_{ip} = 공정형태 p에 투입된 기체 i의 양,(예: CF_4, C_2F_6, C_3F_8, c-C_4F_8, c-C_4F_8O, C_4F_6, C_5F_8, CHF_3, CH_2F_2, NF_3, SF_6), kg

h = 사용 후 배송 컨테이너(heel)내 잔여기체 비율, 비율

U_{ip} = 공정형태 p에 해당하는 기체 i 사용률(공정 중 파기되거나 변환된 비율), 비율

a_{ip} = 배출제어기술이 있는 경우 공정형태 p에 투입된 기체 i 양의 비율(기업 혹은 공장별), 비율

$d_{i,p}$ = 공정형태 p 에 사용된 배출제어기술로 인해 파기된 기체 i의 비율(공정 형태 p에 하나 이상의 배출제어기술이 사용되면 그 배출제어기술들로 인해 파기된 비율들의 평균을 사용하되 각각의 비율은 그 기술을 사용하는 도구에 투입된 기체의 양으로 가중치를 적용한다), 비율

식 6.8

CF_4의 부산물 배출량

$$BPE_{CF4,i} = (1-h) \bullet \sum_p [BPE_{CF4,} \bullet FC_{ip} \bullet (1-a_{ip} \bullet d_{CF4,p})$$

여기서:

$BPE_{CF4,i}$ = 사용된 기체 i로부터 발생한 CF_4의 부산물 배출량, kg

$B_{CF4,i,p}$ = 공정형태 p에 기체 i로부터 전환된 CF_4의 부산물 배출량에 대한 배출계수, 발생한 CF_4 kg/사용된 기체 i kg

$d_{CF4,p}$ = 공정형태 p에 사용된 배출제어기술로 인해 파괴된 CF_4 부산물의 비율(예,표 6.6에 나열된 제어기술형태), 비율

식 6.9

C_2F_6의 부산물 배출량

$$BPE_{C2F6,i} = (1-h) \bullet \sum_p [B_{C2F6,i,p} \bullet FC_{ip} \bullet (1-a_{ip} \bullet d_{C2F6,p})$$

여기서:

$BPE_{C2F6,i}$ = 사용된 기체 i로부터 발생한 C2F6의 부산물 배출량, kg

$B_{C2F6,i,p}$ = 공정형태 p에 기체 i로부터 전환된 C2F6의 부산물 배출량에 대한 배출계수, 발생한 C2F6kg/사용된 기체 i kg

$d_{C2F6,p}$ = 공정형태p에 사용된 배출제어기술로 인해 파기된 C2F6 부산물의 비율(예,표 6.6에 나열된 제어기술형태), 비율

식 6.10

CHF_3의 부산물 배출량

$$BPE_{CHF3,i} = (1-h) \bullet \sum_p [B_{CHF3,i,p} \bullet FC_{ip} \bullet (1-a_{ip} \bullet d_{CHF3,p})$$

여기서:

$BPE_{CHF3,i}$ = 사용된 기체 i로부터 발생한 CHF_3의 부산물 배출량, kg

$B_{CHF3,i,p}$ = 공정형태 p에 기체 i로부터 전환된 CHF_3의 부산물 배출량에 대한 배출계수, 발생한 CHF_3 kg/사용된 기체 i kg

$d_{CHF3,p}$ = 공정형태 p에 사용된 배출제어기술로 인해 파기된 CHF_3 부산물의 비율(예,표 6.6에 나열된 제어기술형태), 비율

식 6.11

C_3F_8의 부산물 배출량

$$BPE_{C3F8,i} = (1-h) \bullet \sum_p [B_{C3F8,i,p} \bullet FC_{ip} \bullet (1-a_{ip} \bullet d_{C3F8,p})$$

여기서:

$BPE_{C3F8,i}$ = 사용된 기체 i로부터 발생한 C_3F_8의 부산물 배출량, kg

$B_{C3F8,i,p}$ = 공정형태 p에 기체 i로부터 전환된 C_3F_8의 부산물 배출량에 대한 배출계수, 발생한 C_3F_8 kg/사용된 기체 i kg

$d_{C3F8,p}$ = 공정형태p에 사용된 배출제어기술로 인해 파기된 C_3F_8 부산물의 비율(예,표 6.6에 나열된 제어기술형태), 비율

어떤 식각 혹은 세정 절차에서는 다수의 FC 전 단계 물질이 동시에 사용될 수 있으며 CF_4, C_2F_6, CHF_3, 혹은 C_3F_8 각각의 FC 전 단계 물질이 분해될 때 부산물로 발생할 수 있다. 이런 경우 CF_4, C_2F_6, CHF_3, 혹은 C_3F_8 부산물은 최대량과 함께 FC 기체로부터 기인한 것으로 보고되어야 한다.

TIER 3 방법 – 공정별 변수

Tier 3 방법 또한 식 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 및 6.11을 이용한다. 하지만 이 방법은 개별 공정과정 혹은 몇몇 공정과정의 집합(예, 실리콘 질소 식각 혹은 플라즈마 화학기상 증착기(PECVD) 세정)에 대해 이 수식에 사용되는 모든 입력변수의 기업별, 공장별 수치가 필요하다. 그러므로 식 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 및 6.11을 이용할 때 인벤토리 작성자는 이 수식에서 'p'를 '공정 유형(Process type)'보다는 특정 '공정(process)' (예, 실리콘 질소 식각 혹은 플라즈마 화학기상 증착기(PECVD) 세정)으로 해석할 필요가 있다.

투명도를 높이고 상호비교도 가능하도록 이 배출계수들로 사용된 수치는 제대로 문서화되어야 한다.(6.2.2절 참조)

반도체 제조 시 탄소 함유 필름으로부터의 CF_4 생성

Tier 2a, Tier 2b, Tier3 방법은 탄소를 포함하는 저유전상수(k) 물질의 식각 혹은 저유전상수를 포함하는 CVD 반응로나 반도체 제조시 카바이드 필름의 세정을 통해 제거하는 과정에서 발생하는 CF_4 배출량을 고려한다. CF_4는 FC 전구체가 탄소를 포함하지 않거나 FC 전구체가 온실가스가 아닌 경우에도 생성될 수 있다.

예를 들어, 저유전상수 CVD 반응로를 NF_3로 세정할 경우 CF_4가 부산물로 생성된다. 이런 경우, 식 6.7이 NF_3 배출량을 보고하기 위해 사용되어야 하며 식 6.8의 결과는 그 과정에서의 CF_4 배출량을 반영하기 위해 이용되어야 한다. 또한 F_2, COF_2, 혹은 CIF_3가 세정을 위해 사용되는 경우에도 CF_4가 형성될 수 있다. 이 경우 CF_4 배출량은 식 6.8을 이용하여 산정되며 그 결과는 식6.7에서 얻은 총 CF_4 배출량에 합산된다. 두 경우 모두, $B_{CF4,i,p}$는 반응로에 투입된 깨끗한 또는 식각(etch) 기체량 중 생성된 CF_4의 비율로 측정되어야 한다.

각각의 FC 기체의 배출량과 부산물로서의 CF_4, C_2F_6, CHF_3, C_3F_8의 배출량을 산정한 뒤, 인벤토리 작성자 혹은 기업은 모든 기체에 대한 배출량을 합산하여 특정 공정과정에서의 FC 총 배출량을 산정해야 한다.

Box 6.1

반도체 제조 예

예를 들어, NF_3(내부세정 및 식각), CHF_3(식각), 및 CF_4(식각)을 사용했다면 총 배출량은 저유전상수 필름이 이용되었을 경우, NF_3, CHF_3, CF_4에 대해서는 수식 6.7을, NF_3를 이용하여 저유전상수 필름을 제거할 때 형성된 CF_4에 대해서는 수식 6.8을 이용하여 산정된다. 수식의 형태로, 총계는

$$\text{총 FC 배출량} = E_{NF3} + E_{CHF3} + E_{CF4} + BPE_{CF,NF3}$$

6.2.1.2 열전도 유체

열전도 유체를 이용할 때 발생하는 배출량을 산정하는 방법에는 두 가지가 있다. 방법의 선택은 열전도 유체의 사용에 대한 활동도 자료가 이용 가능한가에 좌우되며 의사결정도(decision tree)에 개괄되어 있다.(그림 6.2 전자제품 제조과정에서의 열전도 유체 손실로 인해 발생하는 FC 배출량 산정을 위한 의사결정도 및 제 1장 1.5절 물질수지와 배출계수방법 간 선택 참조)

TIER 1 열전도 유체

Tier1은 열전도 유체에 관한 기업별 자료가 이용 가능하지 않을 때 적절하다. 이 방법은 열전도 유체의 손실로부터 발생하는 배출량을 산정하는 두 가지 방법 중 정확도는 떨어지는 편이다. 이 방법은 Tier2 방법과는 달리 총 배출량-C_6F_{14}[10]의 양으로 표현되는 모든 액상 FC의

[10] GWP 산정치의 부재 시, C_6F_{14}에 대한 적절한 GWP는 대리값으로써 사용되어왔다(기본 배출계수를 유도하기 위해). (US 온실가스 및 저감원의 인벤토리; 1990-2003, 페이지 166의 표4-58에 대한 각주(U.S.EPA, 2005)를 참조하여라.)

가중평균배출량-의 산정치를 산정한다. 이 계산방법은 반도체 제조 시 소비되는 실리콘의 단위당 평균 총 배출량을 표현하는 일반배출계수에 좌우된다.

식 6.12

열전도 유체로부터 발생한 총 FC 배출량의 Tier1 산정방법

$$FC_{liquid,\ total} = EF_l \bullet C_u \bullet C_d$$

여기서:

$FC_{liquid,\ total}$ = C_6F_{14} 양으로 표시한 총 FC배출량, Mt C_6F_{14}

EF_l = 배출계수(C_6F_{14} 양으로 표시한 기간 중 소비된 실리콘 Gm^2당 총 FC 배출량(표 6.2 참조), Mt C_6F_{14}/Gm^2

C_u = 기간 중 국가 내 반도체 생산설비의 평균 이용률, 비율

C_d = 국가 내 반도체 제조설비의 용적, Gm^2

TIER 2 방법 열전도 유체

각각 FC 유체의 사용으로 발생하는 실제 배출량을 산정하는 한가지 Tier2 방법이 있다. 이 방법은 연중 액체 FC 사용량을 고려하는 물질수지 방식이다. 기업별 자료가 이용 가능할 때 적절한 방법이다. 1년 중 액체 FC는 새로이 구매한 설비를 채우고 설비운용 중 증발로 발생한 FC 유체 손실분을 대체하는 데 사용된다. Tier2 방법은 새로운 혹은 기존의 설비를 채우는 중에나 노후된 설비를 폐쇄할 때 발생하는 유체 손실을 간과한다(이렇듯 비싼 유체에 대해선 합리적임).[11] 유체손실을 인벤토리 작성자는 기업들로부터 그 배출량을 산정한 유체들의 화학성분을 확보해야 한다. 이 방법은 식 6.13에 나타나 있다.

식 6.13

열전도 유체로부터 발생한 FC 배출량의 Tier2 산정방법

$$FC_i = \rho_i \bullet [I_{i,t-1}(l) + P_{i,t}(l) - N_{i,t}(l) + R_{i,t}(l) - I_{i,t}(l) - D_{i,t}(l)]$$

여기서:

FC_i = FCi 배출량, kg

ρ_i = 액체 FCi의 밀도, kg/리터

$I_{i,t-1}(l)$ = 전기 말(the end of the previous period)의 액체 FCi의 인벤토리량, 리터

$P_{i,t}(l)$ = 기간 중 액체 FCi의 순 구매량(구매량과 회수량의 순량), 리터

$N_{i,t}(l)$ = 새로 설치된 총 충전량(또는 정격용량(nameplate capacity)) , 리터

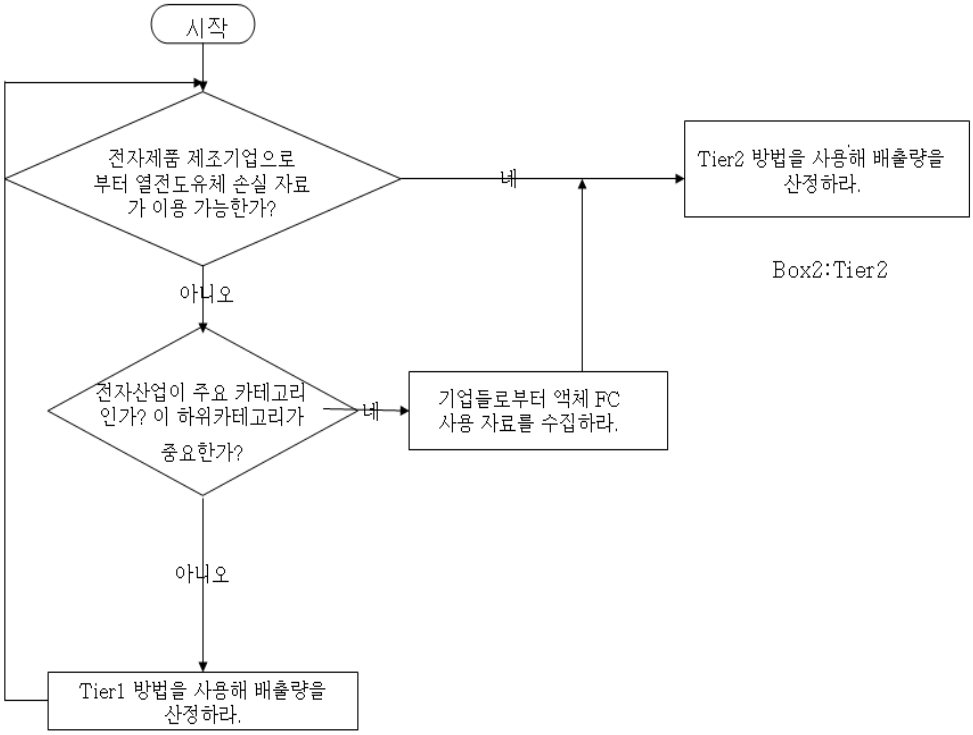
$R_{i,t}(l)$ = 퇴출된 혹은 판매된 설비의 총 충전량(또는 정격용량), 리터

$I_{i,t}(l)$ = 기말(the end of the period)의 액체 FCi의 인벤토리량, 리터, 리터

$D_{i,t}(l)$ = 기간 중 노후된 설비로부터 회수되고 방출된 FCi의 양, 리터

[11] 열전도유체의 가격은 리터당 $55-130로 변동한다. 대중적인 열전도유체의 제조업체인 3M은 2000년식 제조 공장이 연간 1900리터를 증발로 인해 방출할 것으로 산정한다. 열전도유체를 사용하는 시험장비의 제조업체는 증발손실을 감축하는 신 설비에 대해 시스템당 1년에 약 30 리터의 손실률을, 구 설비로부터는 50 리터의 손실률을 보고한다.

그림 6.2 전자제품 제조과정에서의 열전도 유체 손실로 인해 발생하는 FC 배출량 산정을 위한 의사 결정도



주 :
1. 핵심 카테고리와 의사결정도의 이용을 위해 제1권 4장의 방법론의 선택과 주 카테고리의 확인(제한된 자원과 관련된 4.1.2 절도 참고)을 참고하라.

6.2.2 배출계수의 선택[12]

6.2.2.1 반도체, 액정디스플레이 및 광전변환기기의 식각 및 CVD 세정

TIER 1

Tier 1 방법의 기본 배출계수는 아래 표 6.2에 나타나 있다.

Tier1 방법을 이용할 때, 어떤 식으로든 FC 집합이나 표 6.2에서 가정된 배출계수의 값을 수정하는 것은 *우수실행*이 아니다. 인벤토리 작성자는 Tier1을 이용해 산정된 배출량을 Tier2 혹은 Tier3 방법으로 산정한 배출량과 합산해서는 안 된다. 예를 들어, 인벤토리 작성자는 반도체로부터 발생한 CF_4 배출량을 산정하기 위해 CF_4에 대한 Tier1 계수를 사용하여 Tier2 혹은 Tier 3방법으로 얻은 다른 FC 기체 결과와 합산해서는 안 된다. 또한 표 6.2에 제시된 Tier1 배출계수는 국가 온실가스 인벤토리의 관리를 위해 반도체, TFT-FPD, 혹은 PV 제조로부터의 연간 FC 총 배출량을 산정하는 것 이외에는 어떤 목적으로도 사용되어서는 안 된다.

[12] 6장에 자세히 나와 있지 않을 경우 배출계수 개발의 출처 및 방법은 Burton(2006)에서 찾아볼 수 있다.

표 6.2
전자제품 제조과정에서 발생하는 FC 배출량에 대한 Tier 1 기체별 배출계수

전자산업부문	배출계수(EF) (공정된 기판 단위당 양)						
	CF_4	C_2F_6	CHF_3	C_3F_8	NF_3	SF_6	C_6F_{14}
반도체, kg/m2	0.9	1	0.04	0.05	0.04	0.2	NA
TFT-FPD, g/m2	0.5	NA	NA	NA	0.9	4	NA
PV-cells[a]	5	0.2	NA	NA	NA	NA	NA
열전도유체[b]**, kg/m2**	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.3

a Fthenakis, Alsema and Agostinelli(Fthenakis, 2005)의 미출판 논문으로부터 변경된 배출계수. 계수는 실리콘별 기술에만 적용가능하며 감축에 이용된다.

b 배출계수는 HTF가 같은 GWP를 보유하고 C6F14는 적절한 근사값을 나타낸다고 가정한다. 이 계수의 근원은 Burton, 2004에 기술되어 있으며 부분적으로 Tuma and Tousignant(2001)의 논문에 근거한다.

TIER 2

앞서 논의했듯이 간단한 전자제품 생산변수에 기초한 배출계수는 배출량에 영향을 미치는 모든 요소를 설명하기에는 적절치 않다. 다음의 각 입력변수에 대한 자료가 믿을 만한 산정치를 준비하는 데 필요하다.

- 사용된 기체
- 사용된 공정 형태(CVD 혹은 식각);
- 사용된 공정 도구의 상표
- 배출 감축 기술

Tier2a 와 2b 방법(그림 6.1 참조)에 사용되는 입력변수에 대한 기본값은 직접 측정, 문헌, 전문가의 판단에 기초하여 개발되어왔다.(표 6.3, 6.4 및 6.5 각각 반도체, TFT-FPD[13], PV 제조로부터의 FC 배출량에 대한 기본배출계수 참조) 전자산업내 다양한 생산조건을 대표하는 것이 어려우므로 기본배출 입력변수는 태생적으로 불확실하다. 측정된 자료가 늘어나고 계수가 비슷하거나 동일한 화학적 방법을 사용하는 유사과정에 적용될 때 정확도는 제고되지만 배출계수를 개발할 때에는 필연적으로 모든 자료에 대해 어떤 형태로든 평균값을 취하게 된다.

전자산업 전문가는 화학물질 및 설비 공급자와 전자제품 제조업자에 의한 급속한 기술 진보가 미래(2006년 이후)에 대대적으로 배출량을 감축할 것이라고 기대한다. 따라서 이런 부문에 대한 배출계수는 이런 변화를 반영하여 진화해 나가야 한다. 반도체와 TFT-FPD 산업은 각각 세계 반도체 기구(World Semiconductor Council)와 세계 LCD 산업 협력 위원회(World LCD Industry Cooperation Committee)를 통해 지구 배출량계수를 산정하기 위한 메커니즘을 확립하였다. PV

[13] TFT-FPD 제조업의 배출계수는 Nishida 외(2005)에서 공개된 기체별, 공정별 수치로부터 개발된 단순(비가중)평균이다.

산업은 PV 제조시 PFC 배출량을 추적하기 위한 메커니즘을 확립할 것을 고려하고 있을 것이다.(Fthenakis, 2006)

PV 제조시 FC-사용은 늘어날 수도 그렇지 않을 수도 있다. 기존의 근거들은 이 산업에서 FC-사용이 늘어나면 그 배출량을 제어하기 위한 노력이 기울여질 것임을 뒷받침한다.(Agostinelli 외, 2004; Rentsch 외, 2005) 인벤토리 작성자는 국제적 및 국가별 상황을 보다 잘 이해할 수 있도록 주기적으로 산업현장의 자문을 구하길 바란다.

표 6.3 및 6.4는 NF_3에 대한 두 개의 종류를 포함한다: 원격 NF_3와 NF_3. 첫번째는 NF_3(F-원자들)로부터 형성된 필름 세정제가 세정중인 방으로부터의 플라즈마 상류(원격의)에서 생산되는 세정방법을 말한다. 후자는 간단히 NF_3로 명명되듯이 C_2F_6와 C_3F_8와 같은 다른 세정기체들에 대한 공정방법과 유사한 복구 NF_3 세정방법을 일컫는다.

배송 용기 안에 남아있는 기체의 비율에 대한 기본값은 0.10이다.

표 6.3
반도체 제조과정에서 발생하는 FC 배출량에 대한 Tier 2 기본 배출계수

	TAR GWP가 있는 온실가스									TAR GWP가 없는 온실가스			GHG를 생성하지 않는 FC 부산물	
공정가스 (i)	CF_4	C_2F_6	CHF_3	CH_2F_2	C_3F_8	c-C_4F_8	NF_3 (Remote)	NF_3	SF_6	C_4F_6	C_5F_8	C_4F_8O	F_2	COF_2
Tier 2a														
1-Ui	0.9	0.6	0.4	0.1	0.4	0.1	0.02	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	NA	NA
B_{CF4}	NA	0.2	0.07	0.08	0.1	0.1	0.02†	0.09	NA	0.3	0.1	0.1	0.02†	0.02†
B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA	0.2	0.04	NA	NA	NA
B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.04	NA	NA
Tier 2b														
Etch 1-Ui	0.7*	0.4*	0.4*	0.06*	NA	0.2*	NA	0.2	0.2	0.1	0.2	NA	NA	NA
CVD 1-Ui	0.9	0.6	NA	NA	0.4	0.1	0.02	0.2	NA	NA	0.1	0.1	NA	NA
Etch B_{CF4}	NA	0.4*	0.07*	0.08*	NA	0.2	NA	NA	NA	0.3*	NA	NA	NA	NA
Etch B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	0.2	NA	NA	NA	0.2*	NA	NA	NA	NA
CVD B_{CF4}	NA	0.1	NA	NA	0.1	0.1	0.2†	0.1†	NA	NA	0.1	0.1	0.02†	0.02†
CVD B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.04	NA	NA

주 : NA는 현재 이용 가능한 정보에 기초해서는 적용 불가능함을 나타낸다.

+ F_2와 COF_2에 대한 기본배출계수는 CIF3가 있는 저유전상수 CVD 반응로 세정에 적용될 수 있다.

* 산정치는 다중 기체 식각과정을 포함한다.

+ 산정치는 탄소포함 FC 첨가물을 포함할 수 있는 저유전상수, 카바이드, 다중기체 식각과정의 존재를 반영한다.

표 6.4

LCD 제조과정에서 발생하는 FC 배출량에 대한 Tier 2 기본 배출계수

	TAR GWP가 있는 온실가스									TAR GWP가 없는 온실가스			GHG를 생성하지 않는 FC 부산물	
공정가스 (i)	CF_4	C_2F_6	CHF_3	CH_2F_2	C_3F_8	c-C_4F_8	NF_3 (Remote)	NF_3	SF_6	C_4F_6	C_5F_8	C_4F_8O	F_2	COF_2
Tier 2a														
1-Ui	0.6	NA	0.2	NA	NA	0.1	0.03	0.3	0.6	NA	NA	NA	NA	NA
B_{CF4}	NA	NA	0.07	NA	NA	0.009	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{CHF3}	NA	NA	NA	NA	NA	0.02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{C2F6}	NA	NA	0.05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Tier 2b														
Etch 1-Ui	0.6	NA	0.2	NA	NA	0.1	NA	NA	0.3	NA	NA	NA	NA	NA
CVD 1-Ui	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.03	0.3	0.9	NA	NA	NA	NA	NA
Etch B_{CF4}	NA	NA	0.07	NA	NA	0.009	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Etch B_{CHF3}	NA	NA	NA	NA	NA	0.02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Etch B_{C2F6}	NA	NA	0.05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{CF4}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

주: NA는 현재 이용 가능한 정보에 기초해서는 적용 불가능함을 나타낸다.

표 6.5
PV 제조과정에서 발생하는 FC 배출량에 대한 Tier 2 기본 배출계수

	TAR GWP가 있는 온실가스									TAR GWP가 없는 온실가스			GHG를 생성하지 않는 FC 부산물	
공정가스 (i)	CF_4	C_2F_6	CHF_3	CH_2F_2	C_3F_8	c-C_4F_8	NF_3 (Remote)	NF_3	SF_6	C_4F_6	C_5F_8	C_4F_8O	F_2	COF_2
Tier 2a														
1-Ui	0.7	0.6	0.4	NA	0.4	0.2	NA	0.2	0.4	NA	NA	NA	NA	NA
B_{CF4}	NA	0.2	NA	NA	0.2	0.1	NA	0.05	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Tier 2b														
Etch 1-Ui	0.7	0.4	0.4	NA	NA	0.2	NA	NA	0.4	NA	NA	NA	NA	NA
CVD 1-Ui	NA	0.6	NA	NA	0.1	0.1	NA	0.3	0.4	NA	NA	NA	NA	NA
Etch B_{CF4}	NA	0.2	NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Etch B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{CF4}	NA	0.2	NA	NA	0.2	0.1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

주: NA는 현재 이용 가능한 정보에 기초해서는 적용 불가능함을 나타낸다.

표 6.6

전자산업 FC 배출량 감축 기술[a,b,e]에 대한 Tier 2a와 2b 대표효율성 입력변수

배출감축기술	CF_4	C_2F_6	CHF_3	C_3F_8	c-C_4F_8	NF_3[f]	SF_6
파기[c]	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.95	0.9
회수/복구[d]	0.75	0.9	0.9	NT	NT	NT	0.9

[a] 수치는 모든 감축기술에 대한 파기효율성의 단순(비가중) 평균이다. 배출계수는 CF4가 주입기체나 부산물로 현존할 경우 CF4를 파기 혹은 제거효율성(DRE) 85% 이상으로 감축하고 여타의 FC 기체는 90 % 이상의 효율성으로 감축하지 못하는 배출조절기술에는 적용되지 않는다. 제조업체가 다른 종류의 배출조절기술을 이용한다면 파기효율성은 Tier2 방법을 사용할 경우 0%이다.

[b] Tier2 배출감축 기술 계수는 다음과 같은 전자적으로 가열된, 연료주입 연소, 플라즈마, 촉매장치에만 적용 가능하다.

* FC를 감축하기 위해 특별히 설계된 경우
* 제조업자의 특정 공정과정 내에서, 명시된 유지 일정에 따라 이용되는 경우
* 실제 공정조건하에서, 예를 들어 희석효과, 연소 감축 시스템에서의 산소 혹은 둘의 동시 사용뿐만 아니라 C_2F_6중 CF_4 부산물 형성을 포함해 알려진 측정 오차를 고려하는 기술적으로 안정적인 절차를 사용하여 측정되고 확인된 경우

[c] 연료주입 연소, 플라즈마, 촉매 감축기술에 대한 평균값

[d] 극저온 및 막 회수 및 복구 기술에 대한 평균값

[e] 반도체 제조업체로부터 확인된 판매자 자료. 계수는 배출조절기술이 감축 제조업자 상세수칙에 맞추어 이용, 유지되는 경우에만 이용되어야 한다.

[f] 식각과정에서의 NF3의 사용량은 CVD에 비해 작다. Tier2b 방법에서의 식각 및 CVD 로부터의 총 NF_3 배출량은 대체로 Tier2a 혹은 Tier1 방법의 산정치보다 크지 않을 것이다.

NT = 시험을 거치지 않음

공정도구(process tool) 배출계수

Tier2a 및 Tier2b 방법에서 공정도구 배출계수를 계산하는 과정은 동일하다. 공정도구 배출계수는 배출된 온실가스의 양을 공정과정 중 사용된 온실가스의 양으로 나눈 값으로 정의된다. 배출계수는 Tier2 공식에서 (1-Ui)에 해당한다. 예를 들어, CF_4에 대한 배출계수 값 0.9(앞에 표 6.3의 Tier2a 값 참조)는 공정과정 중에 사용된 CF_4의 90%가 CF_4로서 배출된다는 것을 의미한다.

부산물 배출계수 또한 계산되었다. 중요한 주요 부수적 배출량은 CF_4이다. CF_4를 부산물로 상당량 배출하는 유일한 기체는 C_2F_6와 C_3F_8임이 일반적으로 알려져 있지만 도구 제조업자와 화학물질 공급업자들이 제공한 자료에 따르면 CF_4는 또한 여러 기체(CHF_3 혹은 CH_2F_2를 포함하는)와 c-C_4F_8의 혼합과정에서도 생성된다. 이 논의의 결과, CF_4 부수적 배출계수는 CHF_3, CH_2F_2, C_2F_6, C_3F_8, c-C_4F_8 및 C_4F_8O 에 대해 계산된다. 예를 들어 C_3F_8의 값 0.1(위의 표 6.3 Tier 2a 해당 수치)은 사용된 C_3F_8의 10 %가 CF_4로 전환된다는 것을 의미한다. 그러나, C_2F_6는 C_4F_6과 같은

분자의 분해과정에서도 배출될 수 있다. 앞서 기술했듯이, CF_4는 또한 탄소 함유 필름이 있는 용기의 식각 혹은 세정과정에서도 형성될 수 있다.

Tier2b 공정도구 배출계수를 계산하기 위해서 공정설비 및 기체 제조업체로부터 자료가 수집되었다. 자료는 공정형태(CVD 혹은 식각) 및 기체 종류(C_2F_6, CF_4)에 따라 수집되었다. 배출량 테스트를 시행하기 위해 사용된 방법은 실시간 사중극자 질량 분석법 (QMS)과 퓨리에변환적외선광도법(FTIR)으로서 공정도구 배출량을 측정하기 위한 최상의 방법으로 알려져 있다. 교정표준 (대개 N2 잔고와의 1 % 혼합)이 결과를 수량화하는 데 이용되었다. 잇따른 측정과정 및 품질조절 준수사항 '반도체 설비의 환경조건 가이드라인'에 개괄되어 있다. (Meyer 외, 2001)[14] Tier2b의 배출계수(표 6.3, 6.4 참조)는 식각 및 CVD 에 대한 개별 기체에 대해 수집한 자료의 단순평균으로서 중요한 한자리 유효숫자로 올림하여 나타내었다.

Tier2a 공정도구 배출계수를 결정하기 위해서는 전형적인 반도체 제조과정에 사용되는 기체의 양을 알아야 한다. Tier2a 배출계수는 식각 및 세정과정에 사용된 개별 기체의 비율에 대해 산업전문가가 제공한 가중치를 이용해 산출되었다. 예를 들어, C_2F_6(표 6.3)에 대한 Tier2b 배출계수는 0.5(식각) 및 0.6(CVD)이다. 반도체 제조과정에서 식각 및 CVD 세정과정간 C_2F_6 사용량 비율은 20:80이다. 이 가중치를 각각 배출계수에 적용하면 C_2F_6에 대해 Tier2a 계수는 0.6이라는 중요한 하나의 수치로 요약된다. 마찬가지로 TFT-FPD에 제조시 SF_6의 사용비율은 50:50이며 이는 Tier2a 배출계수 0.6으로 요약된다.(표 6.4)[15]

Tier3 배출계수에 대해서는 반도체 제조업체는 위의 표 6.1에 나열된 기본값을 사용하기 보다는 기업별 혹은 공장별 수치를 사용한다. 배출계수의 품질을 보장하기 위해서 공인된 방식으로 배출량 테스트를 시행해야 한다.[16] 제 3자가 배출량테스트를 시행하면 반도체 제조업체는 제3자가 설비 환경조건 안내서(SIA, 2000) 개정판 3.0에 개괄된 준수사항을 모두 만족시킬 수 있는지 확인해야 한다. 공정도구 설비공급자가 제공하는 배출계수를 사용하는 반도체 제조업체는 배출계수가 그들의 특정 제조공정에 적용가능한지 확인해야 한다. 중심 조건으로부터 벗어난 공정 입력변수(압력, 플로우 속도)를 갖춘 제조방법은 도구 제조업체가 제공하는 것과는 다른 배출계수를 나타낼 수도 있다.

Tier2 방법의 배출 제어 기술계수

배출제어기술은 전자제품 제조기술과 더불어 급속히 발전하고 있다. 표 6.6의 대표제어기술 배출계수 특정 공정 및 도구에 대해 최적화된 제어 장치의 테스트에 기초해 산출되었다. 결과는 도구 및 기체 플로우 속도에 따라 달라질 수 있다. 배출계수는 반도체, 액정디스플레이, 및 광전변환기구 제조 설비에 있어 모든 도구 혹은 공정에 대해 적용할 수 있는 것은 아니다. 표 6.6의 Tier2 기본파기효율성 입력변수는 인벤토리 작성자가 설비관리자와 소통 및 연속적 문서화를 통해 배출제어기술이 제조업체 세부수칙에 따라 운용, 유지되고 있음을 보일 수 있을

[14] 이런 가이드라인은 또한 평면 디스플레이 제조업체에 의해 평면 장치 제조 중 FC 배출량을 측정하기 위해 채택되어 왔다.

[15] 50:50 SF_6 사용비율은 일본, 한국, 대만과 같은 TFT-FPD 선두 제조지역의 평균치를 나타낸다. 이 비율은 Nishida(2006)과 Kim(2006)에 의해 제시되었다.

[16] 국제적으로 인증받는 시험방법의 예는 Meyers 외(2001)이다.

때에만 적용 가능하다. 기업이 다른 종류의 감축 장치를 사용한다면 그 파기효율성은 Tier2a 및 2b 방법 하에서는 0 %라고 가정해야 한다.
Tier 2(a 및 b) 배출제어기술 배출계수는 다음을 가정한다.:

(i) 특정 배출제어기술은 나열되지 않는다. 각각의 화학물질에 대한 배출계수는 반도체 제조 공정에 배출제어기술을 테스트하는 중 달성된 결과에 기초에 확정되었다.

(ii) 배출계수는 감축이 표 6.6에 나열된 계수를 충족하거나 초과하는 감축 제조업체에 의해 설정된 운용범위 안에 드는 배출량에 적용되는 경우에만 이용되어야 한다.

(iii) 배출계수는 배출량 가운데 적절히 운용 및 유지되는 제어장치를 통과하는 부분에 대해서만 적용된다 제어장치가 무시되거나, 제조업체 세부수칙에 따라 운용되거나 유지되고 있지 않으면 배출계수를 적용해서는 안 된다.

(iv) 배출계수는 CF4가 주입기체나 부산물로 실재할 때 CF4를 파기제거효율(DRE) 85 % 이상으로 그리고 모든 다른 FC 기체는 DRE 90% 이상으로 감축할 수 없는 배출제어기술에는 적용되지 않는다. 제조업체가 다른 형태의 배출제어기술을 이용하면, Tier2 방법을 이용할 때 그 파기효율성은 0%이다.

표 6.6의 전자산업 FC 배출량 감축 기술에 대한 기본효율성 입력변수의 기본 Tier2 배출제어계수는 설비 공급자, 감축 기술 공급자, 및 전자장치 제조업자로부터 받은 자료로부터 계산되었다. 주목할 점은 오직 FC를 감축하기 위해 특별히 설계된 감축장치로부터의 자료만이 계산에 사용되었다는 것이다. 자료는 연소감축장치(모두 일정한 연료를 사용하는), 플라즈마 감축장치, 전기 가열 감축장치, 및 촉매 감축장치로부터 확보되었다.

표 6.6의 전자산업 FC 배출량 감축 기술에 대한 기본효율성 입력변수에 제시된 수치들은 최적화된 기술과 각각의 주입기체에 대해 받은 자료의 결과로, 다음 5 %로 내림하여 표시되었다. (예: 평균 98%는 0.95로 내림하여 표시한다.) 평균값은 (i) 배출제어장치는 어떤 기체를 파기하도록 최적화되었는지에 따라 그 효과성이 달라지며, (ii) 배출제어장치의 효과성은 설치된 도구의 형태(150, 200, 혹은 300 mm 웨이퍼)와 그 장치를 통해 흐르는 FC 기체의 양과 배출제어장치를 통한 총 배기가스의 흐름에 좌우된다는 점을 반영하여 내림하였다. 어떤 도구에서 FC 파기에 최적화되어 있을 때 FC의 99%를 파기할 수 있는 배출 제어 장치는 다른 것을 파기하도록 최적화되어 있을 때나 그것을 위해 설계된 것이 아닌 도구에 사용될 때 혹은 FC나 총 배기가스의 흐름이 일정 한도를 넘어설 경우 FC의 95 % 미만을 파기할 수 있다. 전자제품 제조업체와 감축도구 제조업체는 설치된 감축 시스템이 확실히 적절한 규모로 유지될 뿐 아니라 배출 제어장치가 표 6.6에 부각된 기본배출계수를 충족시키거나 초과할 수 있도록 해야 한다.

6.2.2.2 열 전도 유체

Tier1 방법에서의 배출계수는 표 6.2에 나타나 있다. 열전도유체의 증발로 발생하는 배출량을 산정하는 Tier2 방법에 해당하는 배출계수는 존재하지 않는다.

6.2.3 활동도 자료의 선택

전자산업의 활동도 자료는 기체 판매와 사용 혹은 연간 처리된 전자기판의 양(예, 반도체를 위해 처리된 실리콘의 m2)에 대한 자료로 구성되어 있다. 보다 자료집약적인 Tier2 방법에 대해서는 기업별 혹은 공장별 기체구입자료가 필요하다. Tier1 방법을 위해서는, 인벤토리 작성자가 매해 처리된 전자기판의 총 표면적을 결정할 필요가 있다. 실리콘 소비는 분기별로 국제 반도체 설비 및 재료협회(SEMI)가 발간하는 세계 Fab 데이터베이스(WFW Database)의 관련판을 이용해 산정할 수 있다.[17] 이 데이터베이스는 전세계의 일련의 공장(R&D, 파일럿 공장뿐 아니라 생산공장 등)의 위치, 생산능력, 웨이퍼 크기 외 많은 정보를 포함한다. 마찬가지로 SEMI의 '액정디스플레이 Fab 디스크' 데이터베이스는 세계 TFT-FPD 제조업의 유리소비 산정량을 제공한다.

표 6.7의 활동도 자료는 생산능력 수치를 반영한다. 반도체 및 TFT-FPD 제조 공장은 주어진 기간, 이를 테면 1년간 총생산능력만큼 운용되지 않는다. 대신 생산능력은 제품 수요에 따라 변동한다. 반도체 제조업의 경우, 공개된 산업 통계에 따르면 1991-2000년중 세계 연간 평균 설비이용률은 76 %와 91% 사이에서 변동했으며 평균 82%, 80%일 확률이 높다. 국가별 설비이용률 자료가 입수 불가능할 때, 제안된 반도체 제조업의 설비이용률은 80%이다. 이는 산정치의 시계열에 일관되게 사용되어야 한다. TFT-FPD 제조에서는 공개된 설비이용률 자료는 이용 가능하지 않다. TFT-FPD 제조산업은 반도체 제조산업과 같이 최고의 실제 공장설비 이용률을 유지하기 위해 제품 가격을 낮춘다. 따라서 마찬가지로 표 6.7에서 국가별 TFT-FPD 제조업의 설비능력을 이용한 기판 유리소비를 산정하기 위해서는 80 %를 사용할 것을 제안한다. PV 제조에서는 공개된 설비이용률은 77-92 % 범위에 있으며 2003, 2004년 평균값이 86 %에 이른다. 그러므로 86 %를 Cu(식 6.1. 참조)로 사용할 기본값으로 추천한다.

PV 제조시 배출량을 산정할 때에는 실제로 FC를 사용하는 산업의 비율(식 6.1의 C_PV)을 고려해야 한다. 최근의 서베이에 따르면 PV 제조업체의 40~50 %가 FC를 사용하고 이 이용추세는 증가할 수 있으므로 C_PV로 권고하는 기본값은 0.5이다.

표 6.7은 2003,4,5년 각국의 설비용적을 요약하고 있으며, 그 총계는 2003년 세계 설비의 90 % 이상을 설명한다.

[17] 용어 'fab'은 깨끗한 방/제조시설과 동의어이다. 반도체 및 평면 디스플레이 제조공장은 종종 조립공장(fabrication plant)라고 불리는데 이로부터 약자인 'fab'이 생겨났다.

표 6.7

2003, 2004 및 2005년 국가 총 실리콘 (Si)과 유리제품 용적 (Mm2)

	연간 Si 설비 용적, Mm2			연간 유리제품 용적, Mm^2		
국가총계	**2003**	**2004**	**2005**	**2003**	**2004**	**2005**
호주	0.0008	0.0008	0.0008	NA	NA	NA
오스트리아	0.0201	0.0201	0.0201	NA	NA	NA
벨기에	0.0040	0.0040	0.0040	NA	NA	NA
캐나다	0.0041	0.0041	0.0041	NA	NA	NA
중국	0.1436	0.1982	0.3243	0.0432	0.0432	0.8154
체코	0.0057	0.0057	0.0057	NA	NA	NA
프랑스	0.0653	0.0674	0.0674	NA	NA	NA
독일	0.1622	0.1622	0.1622	NA	NA	NA
중국, 홍콩	0.0059	0.0059	0.0059	NA	NA	NA
헝가리	0.0006	0.0006	0.0006	NA	NA	NA
인도	0.0128	0.0128	0.0128	NA	NA	NA
아일랜드	0.0175	0.0430	0.0430	NA	NA	NA
이탈리아	0.0431	0.0431	0.0609	NA	NA	NA
일본	0.9091	0.9235	0.9639	4.5746	5.3256	6.9201
라트비아	0.0019	0.0019	0.0019	NA	NA	NA
말레이시아	0.0284	0.0284	0.0284	NA	NA	NA
네덜란드	0.0301	0.0301	0.0301	0.0209	0.0209	0.0209
벨라루스	0.0077	0.0077	0.0077	NA	NA	NA
러시아	0.0250	00250	0.0325	NA	NA	NA
한국	0.3589	0.3742	0.3937	5.8789	9,4679	12.4857
싱가폴	0.1730	0.1730	0.1985	0.2821	0.2821	0.2821
슬로바키아	0.0043	0.0043	0.0043	NA	NA	NA
남아프리카공화국	0.0021	0.0021	0.0021	NA	NA	NA
스웨덴	0.0019	0.0019	0.0019	NA	NA	NA
스위스	0.0098	0.0098	0.0098	NA	NA	NA
태국	0.0000	0.0000	0.0094	NA	NA	NA
터키	0.0000	0.0000	0.0000	NA	NA	NA
영국	0.0597	0.0597	0.0936	NA	NA	NA
미국	0.6732	0.6921	0.7190	0.0000	0.0000	0.0000
베트남	0.0000	0.0000	0.0000	NA	NA	NA
총계	3.3206	3.4972	3.8849	15.0572	23.9959	33.7459

1. 국가별 총계는 생산중인 fab포함

2. 국가별 총계는 건설 중이거나 발표된 fab 포함

NA = 적용불가능

A 자료원 :세계 Fab 데이터베이스로부터 추출, 반도체 제조와 평면 디스플레이 Fab 디스크 데이터베이스 2004년 1월판 (전략적 마케팅 어소시에이트, 2004a), TFT-FPD 00제조업 2004년 10월판 (전략적 마케팅 어소시에이트, 2004b).

표 6.8 2003년 국가 총 PV 생산설비용적, Mm^2	
호주	0.135
오스트리아	0.0307
캐나다	0.0154
덴마크	0.00254
프랑스	0.162
독일	0.817
이탈리아	0.100
일본	3.72
노르웨이	0.0138
포르투갈	0.115
한국	0.462
스페인	0.715
스웨덴	0.377
스위스	0.00238
영국	0.0269
미국	1.02
모든 PV 제조기술에 대해 생산설비용적은 PV 제조공정에 FC를 사용하지 않을 수 있는 설비도 포함한다 2003년 세계평균 생산설비이용률=86% 자료원: IEA, 2004, PV 설문참여국가	

6.2.4 완전성

기업과 공장의 수는 제한되어 있기 때문에 대부분의 국가에서 반도체 산업의 배출량에 대한 완전한 회계가 가능해야 한다. 완전성과 관련하여 다루어져야 하는 네 가지 문제는 다음과 같다.

- **기타 부산물**: 다수의 변환 부산물이 용기 세정 및 식각을 위한 FC 사용의 결과로 발생한다. 위에서 강조했듯이 CF_4 및 C_2F_6의 형성은 다른 FC 기체의 분해과정에서 일어날 수도 있다. 또한 CF_4의 형성은 저유전상수 CVD 용기의 세정과정에서 관찰된 바 있다. 이 경우 정확한 배출량 산정을 위해 Tier3 방법이 이용되어야 한다.
- **새로운 화학물질**: 이 산업이 제품 개선을 위해 새로운 화학 공정방법을 평가하고 도입함에 따라 장래에 완전성이 문제가 될 수 있다. FC 배출량을 줄이려는 산업전체적인 노력은 또한 새로운 화학물질의 검토를 촉진하고 있다. 따라서 이 산업을 위한 *우수실행(good practice)*은 IPCC 제3차 평가보고서(TAR)에 열거되지 않은 온실가스(예, C4F6, C5F8, Fluorinerts, Galdens)를 설명하는 메커니즘을 도입하는 것이다. 이런 새로운 FC 물질은 GWP가 높고, 고 GWP 부수적 배출을 생성할 수 있다.

- **기타 배출원**: 적은 양의 FC가 기체를 다루는 과정(예, 배분)에서 방출될 수 있고 연구개발(예, 대학) 규모 공장과 도구 공급업체와 같은 배출원에 의해 방출될 수도 있다. 이런 배출량은 심각한 수준은 아닌 것으로 생각된다.(예, 산업 총 배출량의 1 % 미만)
- **기타 제품 또는 공정**: FC 사용은 전자산업 가운데 다음과 같이 배출량이 있는 공정에서 확인되었다. 마이크로 전자기계 시스템(MEMS),[18] 하드디스크 드라이브 제조, 장치 시험(FC 유체), 증기상 역류 솔더링(Vapor phase reflow soldering)[19] 및 정밀세정.[20]

6.2.5 일관된 시계열 개발

반도체 산업에서의 FC 사용은 1970년대 말에 시작되었으며 1990년대 초에 급격히 가속되었다. 1995년 이전에 발생한 배출량에 대한 자료가 거의 없기 때문에 기준년도 배출량의 수준을 결정하는 것은 어려운 과제다. 과거의 배출량 산정치가 간단한 가정(예, 동일한 배출량을 사용)에 근거해 있다면 이런 산정치들은 위에 설명한 방법들을 적용하여 개선될 여지가 있다. 과거의 자료가 없어 Tier 3 혹은 2 방법을 이용할 수 없기 때문에 기본배출 입력변수를 이용한Tier1 방법이 사후적으로 이용될 수 있다. 더 많은 자료가 이용 가능하여 비교치나 기준치를 제시할 수 있는 해에 대해서는 Tier1과 Tier2 방법을 동시에 적용할 수 있다. 이는 제1권 5장에 제시된 안내에 따라 행해져야 한다.

시점에 따라 일관된 배출기록을 확보하기 위해 인벤토리 작성자는 배출량 계산절차에 변화가 있었다고(예, 인벤토리 작성자가 기본값을 사용하다가 공장별로 결정된 실제값을 이용하기로 한 경우) 보고된 해에 대해서 FC 배출량을 재계산해야 한다. 공장별 자료가 모든 해에 대해 이용 가능하지 않다면 인벤토리 작성자는 현재의 공장자료가 이런 해의 배출량 재계산에 어떻게 이용될 수 있을지 고려해 보아야 한다. 공장운용이 크게 달라지지 않았다면 현재의 공장별 배출 입력변수를 전년도의 판매 자료에 적용해 볼 수 있다. 이런 재계산은 배출량 추세에서 보이는 어떤 변화라도 실제로 일어난 것이며 절차가 바뀜으로 인해 발생한 것이 아님을 확인하기 위해 필요하다.

6.3. 불확도 평가

Tier 3 방법은 가장 덜 불확실한 인벤토리량을 산출할 것이다. 공장의 수가 제한적이라는 점과 공장별 생산공정이 긴밀히 모니터링되고 있다는 점을 고려한다면 Tier2b 혹은 Tier3 방법에 사용하기 위한 자료 수집은 기술적으로 가능해야 한다. 인벤토리 작성자는 제1권 3장에 개괄된 전문가의 판단을 얻기 위한 접근법을 이용하여 불확도에 대해 산업현장의 조언을 구해야 한다.

모든 방법 가운데 Tier1이 가장 불확실하다. 다양한 반도체 제품으로부터의 FC 배출량을 설명하기 위해 계수 하나만을 이용하는 것은 명백한 단순화이다. 표 6.2에 제시된 계수들은 실리콘

[18] 마이크로 전자기계시스템(MEMS) 제조로부터의 배출량은 다른 전자 부문에 사용된 것과 유사한 방법을 이용하여 산정할 수 있다. 기업별 배출 및 감축계수가 필요하다. 또한 매우 소량의 FC가 연구개발 연구실/시설에서 사용된다.

[19] 증기상 역류 솔더링(Vapor phase reflow soldering)으로부터의 배출량은 솔더링 설비를 유지하기 위한 연간 순 FC 구매량과 같은 것으로 산정될 수 있다.

[20] 정밀세정으로부터의 배출량은 이 권의 7.2절에서 설명된다.

웨이퍼에 제조된 층이 각각3내지 5개가 있는 선진 1990년대 말년식 메모리와 논리 제품의 제조에 높은 가중치를 두고 있다. 현재 최신 기술(그리고 FC 배출량 감축을 위한 방법을 사용하지 않는)을 이용하는 제품을 제조하고 있는 나라들에 대한 계수는 더 클 것이며 반면 오래된 기술을 사용하는 제품이나 단순장치를 제조하는 국가들은 같거나 훨씬 더 작은 계수를 사용할 것이다.

TFT-FPD 제조업의 Tier1 배출계수는 자료입수가 가능한 면적에 대해 TFT-FPD 제조 중 소비된 기판유리의 면적당 산정된 총 PFC 배출량을 나타낸다.(Burton, 2004b) 일본에 대해 보고된 배출량 산정치는 반도체 제조업(Nishida 외, 2004)에서의 *국가 온실가스 인벤토리에 대한 우수실행지침 및 불확도 관리* (IPCC, 2000) 로부터 반도체 제조업에 대한 Tier2b 계수를 이용하였다. 대만의 TFT-FPD 제조업체로부터의 배출량에 대해서는 배출량 산정 방식이 보고되지 않았다.(Leu 외, 2004) 그러나 Leu(2004)는 곧이어 Burton(2004b)에 의해 개발된 것과 비슷한 크기의 총 배출계수를 보고했다. TFT-FPD 제조에 대한 Tier1 배출계수의 불확도는 크겠지만 지금으로선 정확히 알려져 있지 않다.

반도체와 TFT-FPD 제조업에 대해 Tier3 방법을 사용할 때 결과로 얻은 배출량의 산정치는 Tier2a, 2b, 혹은 Tier1 방법보다 30% 가량(95% 신뢰구간) 더 정확할 것이다. 배출제어기술의 효과성에 있어서의 불확도는 이 불확도, 특히 배출제어장치 가동시간의 변화와 장치설계한도를 초과할 수도 있는 배출제어장치의 플로우 속도의 변화에 가장 영향을 미치는 것으로 보인다.

Tier2 방법을 이용하여 열전도유체를 이용할 때 발생하는 배출량을 산정하는 것은 Tier1 방법보다 20 % 가량 더욱 정확하다.(95% 신뢰구간)

6.3.1 배출계수 불확도

Tier2b와 2a 방법에 대해 제기된 배출계수의 불확도는 반도체 제조에 대해서는 표 6.9에 TFT-FPD 제조에 대해선 표 6.10에 나타나 있다. 계수는 이 안내를 위해 특별히 개발되었다. Tier2b 에 대해서는 각각의 개체(Tier2b의 경우 공정과정 및 기체)에 대한 상대오차가 전문가 집단에 의해 제공된 계수의 표준편차로 산정되었는데 단순평균으로 표준화한 뒤 유효숫자로 올림하여 나타내었다. 각각의 산정치는 그 후 95 % 신뢰구간을 산정하기 위해 두 배를 해 주었다. 같은 절차가 생산형성계수(B)에 대한 상대오차를 산정하기 위해 사용되었다. Tier2b 산정치에 해당하는Tier2a 방법의 산정치를 배출계수 개발에 사용된 기체사용량의 산정치를 이용하여 구하였다.(6.2.2절 Tier2 참조)

Tier1 배출계수는 0에서 200%까지 확장된 값에 편향된 불확도의 범위를 갖게 될 것이다.(반도체 및 TFT-FPD 제조업체에 대한 95 % 신뢰구간) PV 제조업체에 대한 불확도 산정치는 이용 가능하지 않다.

6.3.2 활동도 불확도

기체소비는 Tier 2a 및 2b 방법에 있어서 반도체, TFT-FPD 및 PV 제조 중 배출량을 산정하기 위한 활동도의 단위를 구성한다. 기체소비는 측정되거나 기체 판매에 대하 자료로부터 산정될 수 있으며 배송용기 내에서 기체공급자에게 반환된 미사용 기체, h에 대한 지식을 필요로 한다.

기체소비와 h에 대한 불확도는 측정되었던 전문가의 판단을 이용하여 산정되었던, 표 6.10 반도체와TFT-FPD 제조에 대한 Tier2a 및 Tier 2b 방법의 활동도 자료 상대 오차(95% 신뢰도 구간)에 나타나 있다.

Tier 1 방법은 활동도의 단위가 기판소비이다. Tier1 활동도 자료의 불확도는 원칙적으로 WFW와 FPD 데이터베이스에서 누락된 자료 때문이다. 표 6.7에서 WFW로부터 도출된 자료의 신뢰도에 대한 산정치는 ±10%(95% 신뢰구간)로서 데이터베이스에서의 누락되거나 잘못 기재된 데이터로 인한 오차를 반영한다. 1991-2000년중 설비이용률의 95 % 신뢰구간은 ±12% 포인트(예, 70% 이용률부터 94% 이용률까지)이다. TFT-FPD 및 PV 제조에 해당하는 자료는 반도체 제조에 사용된 것과 동일하다고 가정한다.

표 6.9
반도체 제조과정에서의 FC 배출량에 대한 상대적 오차의 Tier2 산정치, 95% 신뢰도 구간

	TAR GWP가 있는 온실가스									TAR GWP가 없는 온실가스			GHG를 생성하지 않는 FC 부산물	
공정가스 (i)	CF_4	C_2F_6	CHF_3	CH_2F_2	C_3F_8	c-C_4F_8	NF_3 (Remote)	NF_3	SF_6	C_4F_6	C_5F_8	C_4F_8O	F_2	COF_2
Tier 2a														
1-Ui	15	30	100	400	20	80	400	70	300	300	80 †	40	NA	NA
B_{CF4}	NA	90	300	200	60	100	200	200	NA	200	100 †	80	200	200
B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	200	NA	NA	NA	200	200	NA	NA	NA
B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40	NA	NA
Tier 2b														
Etch 1-Ui	60	100	100	700	NA	200	NA	300	300	300	200 †	NA	NA	NA
CVD 1-Ui	10	30	NA	NA	0.4	30	400	70	NA	NA	30 †	40	NA	NA
Etch B_{CF4}	NA	200	300	200	NA	200	NA	NA	NA	200	200 †	NA	NA	NA
Etch B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	200	NA	NA	NA	200	200 †	NA	NA	NA
CVD B_{CF4}	NA	80	NA	NA	60	60	200	200	NA	NA	60 †	80	200	200
CVD B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40	NA	NA

주: NA는 현재 이용 가능한 정보에 기초해서는 적용 불가능함을 나타낸다.
* 100%를 초과하는 수치는 0부터 주어진 값까지 확장된 값으로 편향된 분포를 내포한다.
+ 이 산정치는C5F8에 대한 자료가 신뢰구간을 산정하기엔 부족하여 c-C4F8을 바탕으로 유추하여 계산하였다.

표 6.10

LCD 제조과정에서의 FC 배출량에 대한 상대적 오차의 Tier2 산정치, 95% 신뢰도 구간

	TAR GWP가 있는 온실가스									TAR GWP가 없는 온실가스			GHG를 생성하지 않는 FC 부산물	
공정가스 (i)	CF_4	C_2F_6	CHF_3	CH_2F_2	C_3F_8	c-C_4F_8	NF_3 (Remote)	NF_3	SF_6	C_4F_6	C_5F_8	C_4F_8O	F_2	COF_2
Tier 2a														
1-Ui	50	NA	8	NA	NA	5	70	20	20	NA	NA	NA	NA	NA
B_{CF4}	NA	NA	30	NA	NA	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{CHF3}	NA	NA	NA	NA	NA	20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
B_{C2F6}	NA	NA	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Tier 2b														
Etch 1-Ui	50	100	8	NA	NA	5	NA	60	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD 1-Ui	NA	NA	NA	NA	NA	NA	70	20	6	NA	NA	NA	NA	NA
Etch B_{CF4}	NA	NA	30	NA	NA	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Etch B_{CHF3}	NA	NA	NA	NA	NA	20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Etch B_{C2F6}	NA	NA	40	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{CF4}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C2F6}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
CVD B_{C3F8}	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

주: NA는 현재 이용 가능한 정보에 기초해서는 적용 불가능함을 나타낸다.

6.4 품질보증 및 품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

6.4.1 품질보증 및 품질관리(QA/QC)

제1권 6장에서 개괄되었듯이 품질관리와 배출량 산정치의 전문가 검토를 시행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 1권에서 개괄된 부가적인 품질관리와 품질보증절차 또한 적용 가능한데, 특히 이 부문으로부터의 배출량을 결정하기 위해 고급 방법이 이용된다면 더욱 그러하다. 인벤토리 관리자는 제1권 4장에서 확인된 주요부문에 대해 고급 QA/QC를 사용하기를 권장한다.

고급 QA/QC 절차에 대한 부가적인 일반 안내는 제1권 6장에도 포함되어 있다. 반도체 산업은 경쟁이 매우 심한 속성 탓에 사업 기밀 정보를 다루는 조항이 확인 절차에 포함되어 있어야 한다. 사용된 방법은 문서화되어야 하며 자료의 측정과 계산을 주기적으로 감사하는 것을 고려해야 한다. 공정과정과 절차의 AQ 감사 또한 고려해 보아야 한다.

6.4.2 보고 및 문서화

반도체 제조에 사용된 HFC와 더불어 ODS 대체재로 사용된 HFC의 배출량을 포함하지 않도록 주의해야 한다. 제1권 6.11절에 개괄된 국가 배출량 인벤토리 산정치를 산출하는 데 필요한 모든 정도를 문서화하고 보관해두는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 국가 인벤토리 보고서에 모든 문서를 포함하는 것은 실용적이지 않다. 그러나 인벤토리보고서는 보고된 배출량 산정치의 투명성을 확보하고 계산과정을 재검해볼 수 있도록 사용방법과 레퍼런스는 포함해야 한다.

이 산업에서의 배출량을 확실히 보고하는 것은 배출량의 투명성과 비교가능성을 향상시킨다. 많은 FC 기체가 이 산업에서 배출되므로 화학물질별로 보다는 개별 기체별로 보고하는 것이 자료의 투명도와 유용성을 높인다. 투명도를 제고하려는 노력은 특정 기체 사용된 관련한 사업기밀 정보의 보호를 고려해야 한다. 기체별 배출량 자료를 국가별로 합산할 때에도 셋 이상의 제조업체가 있는 나라에서는 이 정보를 보호해야 한다. 표 6.11 전자제품 제조과정에서의 배출량 산정치의 투명도 제고를 위해 필요한 정보는 보고된 배출량 산정치의 투명도를 위해 필요한 후원정보를 보여준다.

Tier3 의 *우수실행(good practice)*은 국가별 배출계수의 개발을 문서화하고 일반 기본값으로부터의 편차를 설명하는 것이다. 비밀성을 고려할 때, 인벤토리 관리자는 이 정보를 제조업체 전체에 대해 합산할 수 있다. 한 국가의 제조업체들이 특정 FC와 공정과정 혹은 공정형태에 대해 서로 다른 배출 혹은 전환계수를 보고했을 경우 인벤토리 작성자는 보고되고 사용된 계수의 범위를 제출할 수 있다.

표 6.11 전자제품 제조과정에서의 배출량 산정치의 투명도 제고를 위해 필요한 정보

자료	Tier1	Tier2a	Tier2b	Tier3
공정된 전자기판의 총 표면적(예, m^2 실리콘, m^2 유리)	x			
반도체, TFT-FPD 및 PV제조업의 설비이용률	x			
FC 기체를 사용하는 PV 제조설비의 비율	x			
각각 FC 배출량(모든 FC의 총량 대신)		x	x	x
각 FC 배출량판매량/각각의 FC구매량		x		
각각의 공정과정 및 공정형태에 사용된 개별 FC의 양			x	x
배출조절기술이 있는 공정에 사용된 각각의 FC 비율		x	x	x
각각의 공정과정 및 공정형태에 대한 개별 FC의 사용률(이것과 다음의 정보는 기본값이 사용되지 않을 때만 필요)				x
각각의 공정과정 및 공정형태에 대해 CF_4로 변환된 각각 FC의 비율				x
배송용기 내 잔류 기체 비율				x
배출조절기술에 의해 파기된 개별 FC 비율				x
배출조절기술에 의해 파기된 CF_4부산물의 비율				x

참고문헌

Agnostinelli, G., Dekkers, H. F. W., DeWolf, S. and Beaucarne, G. (2004) "Dry Etching and Texturing Processes for Crystalline Silicon Solar Cells: Sustainability for Mass Production", presented at the 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, 2004.

Alsema, E. A., Bauman, A.E., Hill, R. and Patterson, M. H. (1997) "Health, Safety and Environmental Issues in Thin Film Manufacturing", 14th European PV Solar Energy Conference, Barcelona, Spain, 1997.

Burton, C.S. (2004a) "Usesand Air Emissions of Liquid PFC Heat Transfer Fluids from the Electronics Sector: Initial Findings", report prepared for U.S. EPA's Climate Change Division, October 2004.

Burton, C. S. (2004b) "PFC Uses, Emissions, and Trends in FPD Manufacture: An Update", draft report prepared for U.S. EPA's Climate Change Division, June 2004.

Burton, C. S. (2006) " Sources and Methods Used to Develop PFC Emission Factors form the Electronics Sector", report prepared for U.S. EPA's Climate Change Division, February 2006.

Cowles, D. (1999) "Oxide Etch Tool Emissions Comparison for C5F8 and C4F8 Process Recipes", presented at a Partnership for PFC Emissions Reduction, SEMICON Southwest 99, Austin, TX. October 1999.

Fthenakis, V. (2005) Personal communication to S. Bartos on 5 February 2005 of data tables quantifying historical and current CF4 and C2F6 usage in PV manufacture for U.S. and Europe.

Fthenakis, V. (2006) Personal communication to S. Burton and S. Bartos explaining proposalto begin monitoring FC emissions from European PV industry. Feb. 6, 2006

IEA (2004) 'Trends in Photovoltaic Applications: Survey report of selected IEA Countries between 1992-2003', Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS), International Energy Agency, Report IEA-PVPS T1-13:2004, September 2004.

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

ITRS (2004), "International Technology Roadmap for Semiconductors" available at http://public.itrs.net/report.htm

Kim, D-H., (2006) 9 January 2006 Personal communication to Hideki Nishida identifying the historical average (50:50) proportion of SF6 usage for etching and CVD chamber-cleaning in Japanese, Korean and Taiwan TFT-FPD manufacture.

Leu, C-H., (2004) " SF6 Abatement Strategy in Taiwan", presented at SF6 Power Reduction Partnership for Electric Power Systems, Scottsdale, Az., 1-3 December 2004.

Leu, C-H et al. (2004) "PFC emissions Abatement for TFT-LCD Industry in Taiwan", available in the Proceedings of the 15thAnnual Earth Technology Forum, Washington, D.C., 13-15 April 2004.

Maycock, P. (2005) "PV market update: global PV production continues to increase", Renewable

Energy World, Vol. 8(4), pp 86-99.

Mayers, J., Maroulis, P., Reagan, B. and Green, D. (2001) "Guidelines for Environmental Characterization of Semiconductor Equipment", Technology Transfer #01104197A-XFR, pub. International SEMATECH, Austin, Texas, USA. December 2004, See: www.sematech.org/docubase/document/4197axfr.pdf.

Nishida, H. et al. (2004) "Voluntary PFC Emission Reduction in the LCS Industry", available in the Proceedings of the 15th Annual Earth Technology Forum, Washington D.C., 13-15 April 2004.

Nishida, H., Marsumura, K., Kurokawa, H., Hoshino, A. and Masui, S. (2005), "PFC emission-reduction strategy for the LCD industry", J. Society for Information Display, Vol 13, pp. 841-848 (2005).

Nishida, H. (2006) 7 January 2006 Personal communication to D-H. Kim confirming historical average 50:50 proportion of SF6 usage for etching and CVD chamber-cleaning in Japan, Korean and Taiwan TFT-FPD manufacture.

Phylipsen, G. J. M. and Alsema, E. A., (1995) "Environmental life-cycle assessment of multicrystalline silicon solar cell modules" report prepared for Netherlands Agency for Energy and the Environment, Report No. 95057, September 1995.

Rentsch, J., Schetter C., Schlemm H., Roth, K. and Preu, R. (2005) "Industrialization of Dry Phosphorous Silicate Glass Etching and Edge Isolation for Crystalline Silicon Solar Cells", Presented at the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona, Spain 6-10 June, 2005.

Sekiya, A. (2003) "Climate-Friendly Alternative Refrigerant and the Others: New Evaluations for sustainability", The Earth Technologies Forum, Washington D.C., 23 April, 2003.

Shah, A., Meier, J., Buechel, A., Kroll, U., Steinhauser, J., Meillaud, F. and Schade, H. (2004), "Toward Very Low-Cost Mass Production of Thin-film silicon Photovoltaic (PV) Solar Modules on Glass", presented at ICCG5 Conference in Saarbrucken, Germany, July 2004.

SIA (2000) "Equipment Environmental Characterization Guidelines", Revision 3.0, Semiconductor Industry Association (SIA), San Jose, California, USA, February 2000

Strategic Marketing Associates (2004a) World Fab Watch: The Industry's Encyclopedia of Wafer Fabs since 1994, January 2004 Edition.

Strategic Marketing Associates (2004a) World Fab Watch: The Industry's Encyclopedia of Wafer Fabs since 1994, October 2004 Edition.

Tuma, P. E. and Tousignant, L. (2001) "Reducing Emissions of PFC Heat Transfer Fluids," Presented at Semicon West, San Francisco, July 2001.

U.S. EPA (2005) U.S. Environmental Protection Agency, Inventory of U.S Greenhouse Gas and Sinks: 1990-2003, EPA 430-R-05-003, April 2005.

제7장

오존층 파괴물질에 대한 불소화 대체물질의 배출

저자

Paul Ashford (영국)

James A. Baker (미국), Denis Clodic (프랑스), Sukumar Devotta (인도), David Godwin (미국), Jochen Harnisch (독일), William Irving (미국), Mike Jeffs (벨기에), Lambert Kuijpers (네덜란드), Archie McCulloch (영국), Roberto De Aguiar Peixoto (브라질), Shigehiro Uemura (일본), Danel P. Verdonik (미국)

부저자

William G. Kenyon (미국), Sally Rand (미국), Ashley Woodcock (미국)

목 차

7 오존층 파괴물질(ODS)에 대한 불소화 대체물질의 배출.....7.8
7.1 서론.....7.8
7.1.1 화학물질과 적합한 용도.....7.8
7.1.2 모든 ODS 대체물 용도에 대한 일반적 방법론적 이슈.....7.10
7.1.2.1 ODS 대체물 문제에 대한 개관.....7.10
7.1.2.2 방법의 선택.....7.16
7.1.2.3 배출계수의 선택.....7.23
7.1.2.4 활동도 자료의 선택.....7.24
7.1.2.5 완전성.....7.27
7.1.2.6 일관성 있는 시계열 개발.....7.27
7.1.3 불확도 평가.....7.27
7.1.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 모든 ODS 대체물 용도에 대한 보고 및 문서화...7.28
7.1.4.1 모든 ODS 대체물 용도에 대한 품질보증/품질관리(QA/QC).....7.28
7.1.4.2 모든 ODS 대체물 용도에 대한 보고 및 문서화.....7.29
7.2 용매(Solvents) (비에어로졸).....7.31
7.2.1 이 용도 분야에서 다루는 화학물질.....7.31
7.2.2 방법론적 이슈.....7.31
7.2.2.1 방법의 선택.....7.31
7.2.2.2 배출계수의 선택.....7.32
7.2.2.3 활동도 자료의 선택.....7.34
7.2.2.4 완전성.....7.35
7.2.2.5 일관성 있는 시계열 개발.....7.36
7.2.3 불확도 평가.....7.36
7.2.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화.....7.36
7.2.4.1 품질보증/품질관리(QA/QC).....7.36
7.1.4.2 보고 및 문서화.....7.36
7.3 에어로졸 (추진제와 용매).....7.38
7.3.1 이 용도 분야에서 다루어지는 화학물질.....7.38
7.3.2 방법론적 이슈.....7.38
7.3.2.1 방법의 선택.....7.38

7.3.2.2 배출계수의 선택.....7.40
7.3.2.3 활동도 자료의 선택.....7.41
7.3.2.4 완전성.....7.42
7.3.2.5 일관성 있는 시계열 개발.....7.42
7.3.3 불확도 평가.....7.42
7.3.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화.....7.42
7.3.4.1 품질보증/품질관리(QA/QC).....7.42
7.3.4.2 보고 및 문서화.....7.43
7.4 수지 발포제(Foam 발포제).....7.43
7.4.1 이 용도 분야에서 다루어지는 화학물질.....7.43
7.4.2 방법론적 이슈.....7.45
7.4.2.1 방법의 선택.....7.46
7.4.2.2 배출계수의 선택.....7.48
7.4.2.3 활동도 자료의 선택.....7.51
7.4.2.4 주요 방법 요약.....7.52
7.4.2.5 완전성.....7.55
7.3.2.6 일관성 있는 시계열 개발.....7.55
7.4.3 불확도 평가.....7.56
7.4.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화.....7.56
7.4.4.1 품질보증/품질관리(QA/QC).....7.56
7.4.4.2 보고 및 문서화.....7.56
7.5 냉동과 냉방.....7.58
7.5.1 이 용도 분야에서 다루어지는 화학물질.....7.58
7.5.2 방법론적 이슈.....7.60
7.5.2.1 방법의 선택.....7.60
7.5.2.2 배출계수의 선택.....7.69
7.5.2.3 활동도 자료의 선택.....7.71
7.5.2.4 Tier 2 방법 적용 - 이동식 냉각 장치(MAC)의 예.....7.73
7.5.2.5 완전성.....7.77
7.5.2.6 일관성 있는 시계열 개발.....7.77
7.5.3 불확도 평가.....7.78
7.5.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화.....7.78
7.5.4.1 품질보증/품질관리(QA/QC).....7.78
7.5.4.2 보고 및 문서화.....7.80

7.6 화재 방재(Fire Protection).....7.81
7.6.1 해당 용도 분야에서 다루어지는 화학물질.....7.81
7.6.2 방법론적 이슈.....7.81
7.6.2.1 방법의 선택.....7.81
7.6.2.2 배출계수의 선택.....7.84
7.6.2.3 활동도 자료의 선택.....7.85
7.6.2.4 완전성.....7.85
7.6.2.5 일관성 있는 시계열 개발.....7.85
7.6.3 불확도 평가.....7.86
7.6.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화.....7.86
7.6.4.1 품질보증/품질관리(QA/QC).....7.86
7.6.4.2 보고 및 문서화.....7.86
7.7 그 외 용도 7.87
7.7.1 해당 용도 분야에서 다루어지는 화학물질.....7.87
7.7.2 방법론적 이슈.....7.87
7.7.2.1 방법의 선택.....7.87
7.7.2.2 배출계수의 선택.....7.89
7.7.2.3 활동도 자료의 선택.....7.89
7.7.2.4 완전성.....7.89
7.7.2.5 일관성 있는 시계열 개발.....7.89
7.7.3 불확도 평가.....7.89
7.7.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화.....7.89
7.7.4.1 품질보증/품질관리(QA/QC).....7.89
7.7.4.2 보고 및 문서화.....7.90
참고 문헌.....7.91

식

식 7.1 특정 용도에서 화학물질의 순 소비량(순 소비량)의 계산.....7.17
식 7.2A 특정 용도에서 화학 물질의 배출량 계산.....7.17
식 7.2B 뱅크(bank)가 있는 용도에서 화학물질의 배출량 계산.....7.18
식 7.3 TIER 1b를 위한 일반적인 물질수지 식.....7.19

식 7.4 라이프 사이클의 단계에 근거한 배출 식 요약.....7.22
식 7.5 용매 사용 배출 계산 방법.....7.32
식 7.6 에어로졸 사용에 대한 배출 계산 방법.....7.38
식 7.7 기포제(Foams)를 위한 일반적인 배출-계수 접근법(A).....7.45
식 7.8 열린 셀 발포제로부터의 배출에 대한 일반적인 계산 방법.....7.46
식 7.9 물질수지에 의한 냉매 배출량 결정.....7.64
식 7.10 배출원 요약.....7.66
식 7.11 용기 관리로부터의 배출의 배출원.....7.67
식 7.12 새로운 설비를 충전할 때 배출의 배출원식.....7.67
식 7.13 설비 수명 동안 배출의 배출원.....7.68
식 7.14 시스템 최종 사용에서의 배출.....7.68
식 7.15 수요와 공급 평가에 대한 검증.....7.78
식 7.16 연간 냉매 시장 계산.....7.79
식 7.17 화재 방재 설비로부터의 배출의 시간 종속성.....7.82
식 7.18 기타 용도로부터의 즉각적인 배출원 평가.....7.88
식 7.19 기타 포함된 용도로부터의 배출 평가.....7.88

그 림

그림 7.1 용도에 따른 화학적 자료의 세분화.....7.11
그림 7.2 용매 용도로부터의 실제 배출에 대한 의사 결정도.....7.34
그림 7.3 에어로졸 용도로부터의 실제 배출에 대한 의사 결정도.....7.40
그림 7.4 거품 용도로부터의 배출에 대한 의사 결정도.....7.49
그림 7.5 Tier 1a 방법에 대한 스프레드시트 계산의 예시.....7.54
그림 7.6 냉동과 냉방(RAC) 용도로부터의 실제 배출에 대한 의사 결정도.....7.62
그림 7.7 Tier 1 a/b 평가에 대한 스프레드시트 계산의 예시.....7.63
그림 7.8 Tier 1 방법에 대한 스프레드시트 계산의 예.....7.83
그림 7.9 화재 방재 용도로부터의 실제 배출에 대한 의사 결정도.....7.84
그림 7.10 다른 용도로부터의 실제 배출에 대한 의사 결정도.....7.90

표

표 7.1 오존층 파괴물질(ODS) 대체물로 사용되는 HFCs와 PFCs의 주요 용도.....7.9
표 7.2 다양한 Tiers와 접근법을 위한 자료 요건 개관.....7.16
표 7.3 용도 분야에 의한 HFC/PFC 사용의 배포 예시.....7.21
표 7.4 발포제 산업에서 HFCs의 사용.....7.44
표 7.5 폐쇄된 셀 발포제로부터 HFC에 대한 기본 배출계수.....7.48
표 7.6 HFC-134a와 HFC-152a 사용에 대한 기본 배출계수(기포제 하위용도).....7.50
표 7.7 HFC-245fa/HFC-365mfc/HFC-227ea 사용에 대한 기본 배출계수
(기포제 하위용도).....7.50
표 7.8 혼합물 (HFCs와(또는) PFCs를 포함하고 있는 다수).....7.59
표 7.9 냉동과 냉방 시스템에 대한 충전량, 수명, 배출계수 산정.....7.70
표 7.10 냉동과 냉방 시스템을 위한 *우수실행(Good Practice)* 문서화.....7.80

박 스

박스 7.1 ODS 대체물에 대한 세계적 그리고 지역적 데이터베이스.....7.13
박스 7.2 세계적으로나 지역적으로 도출된 자료를 사용하는 기포제 용도에 대한
Tier 2a 이용.....7.52
박스 7.3 냉매와 설비의 수입과 수출에 대한 설명.....7.72
박스 7.4 이동식 냉각 장치에 대한 Tier 2a 계산의 적용 사례.....7.73

7 오존층 파괴 물질에 대한 불소화 대체물질의 배출

7.1 서론

7.1.1 화학 물질과 적합한 용도

수소화염화불화탄소(HFCs)와 매우 제한된 범위 내에서의 과불화탄소(PFCs)는 몬트리올 의정서에서 단계적으로 제거하기로 한 오존층 파괴 물질(ozone depleting substances; ODS)을 대체하는 역할을 한다. 수소화염화불화탄소(HFCs)와 PFCs를 현재 적용 할 수 있는 분야와 향후 예상되는 적용 분야는 다음과 같다. (IPCC /TEAP, 2005)

- 냉동과 냉방
- 화재 진압과 폭발 방재
- 에어로졸
- 용매 세척(solvent cleaning)
- 수지발포제 (Foam blowings)
- 그 외 용도(other applications)[1]

본 장에서는 현재와 향후의 사용(usage)에 대한 이와 같은 주요 분류를 오존층 파괴물질(ODS) 대체물 카테고리에 한하여 '용도(applications)'라 일컫는다. 서론(7.1절)에서는 오존층 파괴물질(ODS) 대체물의 배출량을 산정하는 일반적인 구조을 제시하고, 이어지는 절은(7.2에서 7.7까지) 앞서 제시된 각각의 용도에 대한 보다 전문적인 지침을 제시할 것이다. 이 중 몇몇 용도에 대해서는 다양한 배출 특성과 더불어 산출물과 사용법(uses)이 함께 제시될 것이다. 국가에서 세분화된 평가법(상위 tier)으로 이와 같은 다양성을 설명하면 보다 정밀한 추정치를 산출해 낼 것이다. 게다가 경질 발포제나 냉동, 화재 진압과 같은 용도에서 HFCs와 PFCs의 사용은 장기간 지속되는 물질의 뱅크*(banks)*를 가져올 수 있다. 특히 경질 발포제(rigid foam)(대체로 폐쇄된 셀 발포제; closed-cell foam)의 경우 그렇다. 이 경우, 배출 패턴은 특히 복잡할 수 있으며, 정확한 배출량 산정을 위해서는 세분화된 자료 세트를 쓰는 방법이 필수적이다. 에어로졸이나 용매 세척과 같은 그 외 다른 용도는 원료의 단기적 인벤토리(short-term inventory of stock)만 지닐 수 있지만, 배출량 산정의 맥락에서 살펴볼 때, 이 또한 즉각적인 배출의 배출원으로 고려될 수 있다. 이는 연질 발포제(flexible foam)(대체로 열린 셀 발포제; open-cell foam)에도 적용된다.

HFCs와 PFCs는 성층권의 오존층 파괴에 기여하지 않으므로 몬트리올 의정서에서 억제하지 않는

[1] HFCs와 PFCs는 또한 담배 팽화(tobacco expansion) 용도와 멸균설비에서의 ODS 대체물, 또한 접착제나 코팅제, 잉크 제작 공정에서 용매로 사용될 수 있다.

다. HFCs는 수소와 탄소, 불소만을 포함하는 화학물질이다. 몬트리올 의정서나 오존층 파괴물질(ODS)의 단계적 제거 이전에 생산되었던 유일한 HFCs는 HFC-152a이었으며, 이는 냉매 혼합물 R-500와 HCFC-22[2] 생산의 부산물인 저온 냉매 HFC-23의 구성물질이다. HFC-134a는 1991년에 생산되기 시작하였고, 이 외에도 다양한 종류의 HFCs가 도입되고 있으며, 현재 여러 용도 중에서도 오존층 파괴물질(ODS) 대체물로 사용되고 있다. (IPCC /TEAP, 2005) 보고를 목적으로 HFC와 PFC의 소비에 대한 자료를 수집할 때에는 그 같은 혼합물 상태인 HFCs를 포함시키는 문제에 신중을 기해야 한다. 그러나 동시에 보고할 필요가 없는 혼합물의 구성성분들을 배제시킬 때에도 신중을 기해야 한다.(예를 들어 CFCs and HCFCs)

HFCs와 PFCs의 경우 지구온난화지수(GWPs)가 상당히 높고, PFCs의 경우 대기 체류 시간이 길다. 가장 중요한 HFCs와 PFCs의 개관과 주요 용도는 표 7.1과 같다. (IPCC Second Assessment Report (IPCC, 1996); IPCC Third Assessment Report (IPCC, 2001); IPCC/TEAP, 2005) 각각의 HFCs와 PFCs는 각기 다른 온실가스로의 잠재 가능성을 지니고 있다. PFCs는 대기 체류 시간이 길기 때문에 채택한 통합 시평(the integrated time horizon adopted)에 관계없이 지구온난화지수(GWPs)가 매우 높다. 그러므로 이런 부류의 화학 물질의 배출량이 지구 온난화에 얼마나 기여하는가에 대한 유용한 평가를 위해서는 개별 가스와 관련된 소비 패턴이 알려져야 하며, 또한 타당한 정확도로 산정되어야 한다. CFCs와 칼론, 4염화탄소, 메틸 클로로포름, HCFCs이 최종적으로 제거되고 있으므로[3], HFCs는 현재 이들의 대체 물질로 선택적으로 사용되고 있다. PFCs도 현재 사용되고 있으나 오직 제한적인 범위일 뿐이다. 비 불화탄소(non fluorocarbon) 기술이 맡고 있는 CFC의 용도가 75퍼센트에 이르지만, (IPCC /TEAP, 2005), HFC의 사용은 적어도 당분간은 증가할 것으로 보인다.

표 7.1
오존층 파괴물질(ODS) 대체물로 사용되는 HFCs와 PFCs의 주요 용도[1]

화학물질	냉동과 냉방	화재 진압과 폭발 방재	에어로졸		용매 세척	수지 발포제	그 외 용도[2]
			추진제	용매			
HFC-23	X	X					
HFC-32	X						
HFC-125	X	X					
HFC-134a	X	X	X			X	X
HFC-143a	X						
HFC-152a	X		X			X	
HFC-227ea	X	X	X			X	X
HFC-236fa	X	X					
HFC-245fa				X		X	
HFC-365mfc				X	X	X	
HFC-43-10mee				X	X		
PFC-14[3] (CF_4)		X					
PFC-116 (C_2F_6)							X
PFC-218 (C_3F_8)							
PFC-31-10 (C_4F_{10})		X					

[2] HCFCs - 수소화염화불화탄소(hydrochlorofluorocarbons)

[3] 몬트리올 의정서에서 명령한 단계적 제거 계획은 http://hq.unep.org/ozone/ 참조

PFC-51-14[4] (C_6F_{14})					X		

1. 몇몇 용도에서 HFCs와 PFCs는 혼합물의 구성성분으로 사용된다. 그 혼합물에는 때때로 오존층 파괴물질(ODSs)과 (또는) 비온실기체(nongreenhouse gases) 같은 성분도 포함된다. 몇몇 HFCs와 PFCs, 혼합물은 다양한 상표로 판매된다. 본 장에서는 일반적인 명칭만을 사용한다.
2. 그 외 용도로는 살균장치나 담배 팽화, 전자칩의 플라스마 애칭(PFC-116), 접착용 코팅제와 잉크의 공정에서의 용매가 있다. (Kroeze, 1995; U.S. EPA, 1992a)
3. PFC-14(화학적으로 CF_4)는 독점제품(proprietary blend)에 소량의 구성성분으로 사용된다. 주로 반도체 애칭에서 사용된다.
4. PFC-51-14는 비활성 물질이며 토양을 용해하는 능력이 거의 없거나 전혀 없다. 다른 용매의 담체로 또는 디스크 드라이브 윤활유를 용해하거나 침전시키는데 사용된다. PFCs는 봉인된 성분이 실제로 밀봉되었는지 테스트하는 데에도 사용된다.

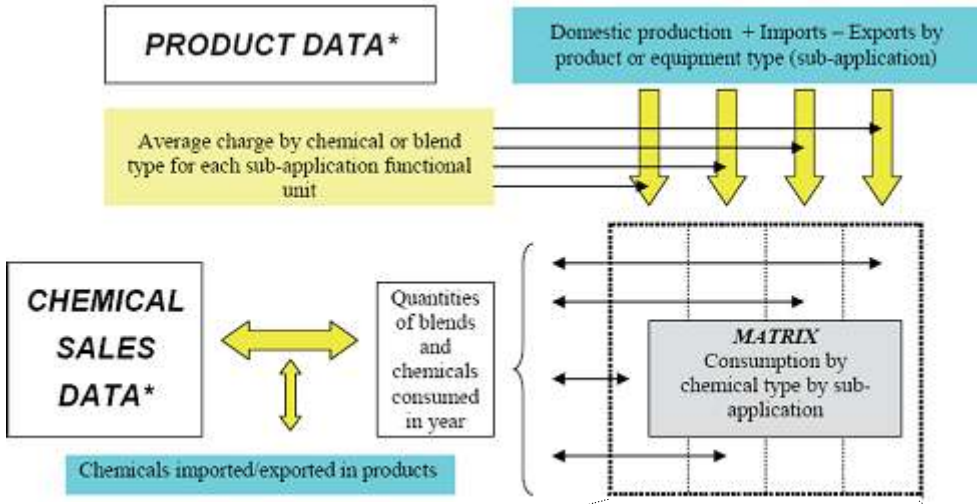
7.1.2 모든 ODS 대체물 용도에 대한 일반적 방법론적 이슈

7.1.2.1 ODS 대체물 문제에 대한 개관

자료 수집 수준

위에서 논의된 각각의 용도는 하위용도로 나뉠 수 있다. 배출량을 산정하는 방법을 선택 할 때 하위용도의 수와 적합성, 자료의 유용성, 배출 패턴을 고려하는 것이 '*우수실행(Good Practice)*'이다. 하위용도가 많은 용도(냉동에는 6개의 주요 하위용도가 있고, 발포의 경우에는 더 많다.)는 하위용도간의 이질성이 존재하므로 일반적으로 자료 세트를 상위 수준에서 세분화하는 것이 유리하다. 그러므로 인벤토리 작성자는 정밀한 배출 산정치를 위해서 각 하위용도의 배출량을 개별적으로 산정하는 방법을 선호 할 것이다. 그런 접근법을 본 장에서는 Tier 2 방법으로 정의한다. 반면, 용도 수준(application level)에서 수합한 자료 세트에 근거한 방법을 모두 Tier 1로 분류한다. 하위용도가 거의 없는 경우에도 하위용도로 나누어 배출을 산출하는 것은 여전히 가장 적절한 방법인데, 이는 배출 패턴과(또는) 화학 물질 사용, 자료 수집 방법론, 유용성의 이질성이 존재하기 때문이다. 예를 들어 방화(fire protection)에는 두 가지 주요 하위용도가 있으나 각각은 독특한 배출 특성을 갖고 있다. 따라서 분화된 방법(Tier 2)으로 배출을 산정하는 것이 더 유리하다. 반면, 하위용도의 배출 패턴이 유사하고, 세분화된 자료를 수집하는 것이 어렵다면 통합적인 용도 수준(aggregated application level)(Tier 1)에서 배출량을 산정하는 것이 신뢰도 있는 배출 산정치를 산출할 수 있는 적절한 방법일 것이다. 예를 들어, 에어로졸 추진제의 경우 몇몇의 하위용도가 존재하지만, 배출 패턴과 사용된 화학 물질이 비슷하므로, 용도 수준에서 배출량을 산정하는 방법이 좋은 결과를 산출하기에 충분하다.

그림 7.1 용도에 따른 화학적 자료의 세분화



** 시계열로써 둘 다 필요하다.*

화학 소비, 뱅크(bank) (bank) 또는 배출	용도에 대한 자료						
	하위용도 1			하위용도 2			기타
	국내 생산	+수입	-수출	국내 생산	+수입	-수출	
용도에 대한 화학적 자료	화학 물질 1						
	화학 물질 2		사용 가능한 화학 물질과 제품 자료를 이용하여 하시오. (몇몇은 값이 0일 수 있음) 혼합물의 경우 개별 화학 구성물로 자료를 분화하시오. 화학 자료에 혼합물 형태로 소비되는 화학물질이 포함되어 있는지 결정하시오.				
	화학 물질 3						
	혼합물 A						
	혼합물 B						
	기타						

자료의 유형

산정 초기 단계에서 자료를 어떻게 그리고 어떤 곳으로부터 수집할 것인가를 결정하는 것은 중요하다. 화학물질 판매에 대한 자료는 (때때로 하향식 자료로 일컬어짐), 혼합물을 사용한다면 복잡해질 수도 있지만, 대체로 물질 하나하나에 근거한 것이다. 시장에 대한 자료는 (때때로 상향식 자료로 일컬어짐), 대체로 해당 설비나 제품의 수입과 수출에 의해 영향을 받기는 하지만, 하위용도에서 설비나 제품 판매의 형태를 띠는 경향이 있다. 이러한 자료에는 종종 특정 기술을 사용하는 시장의 점유율 산정이 수반되어야한다. 예를 들어, 다양한 화학 물질이 (몇몇 보고 대상이 아닌 것도 포함하여) 동일 하위용도에서 사용될 수도 있기 때문이다. 게다가, 하위용도 내에서 각각의 제품 유형에 사용되는 화학 물질의 평균 양이 다를 수도 있다. 두 개의 루트(화학 물질과 제품)는 매트릭스의 두 축을

나타내며, 세분화된 접근법을 이용할 경우 그 매트릭스(그림 7.1)가 완성되거나 거의 완성되어야 한다. 매트릭스를 완성하기 위해서는 대체로 두 가지 종류의 자료(즉, 하향식과 상향식 둘 다)를 동시에 사용하고, 결과를 비교하고, 적절히 조절해야 한다.

자료의 이용성

국가 수준의 화학 물질 공급자가 자료의 은폐와 연루된 기밀 문제가 존재한다고 생각한다면 Tier 1과 Tier 2 자료 수집이 둘 다 어려울 것이다. 실제로 이것이 국가 수준에서의 신뢰성 있는 배출 산정에 가장 주요한 장애가 되고 있다.

이와 같은 한계점을 극복하기 위해 최근에는 특정용도와 하위용도에 대한 국가 수준의 과거 및 현재의 활동도(화학물질 소비) 자료에 대한 정보를 제공하는 세계적, 지역적 데이터베이스를 구축하려는 노력이 이어지고 있다. 이와 같은 접근법의 가치는 자료의 타당성이 지역적, 세계적인 화학 물질 판매에 대해 입증될 수 있다는 것이며, 이로써 공급자에 의한 기밀 제한 문제도 피해갈 수 있다. 이와 같은 데이터베이스가 개발되고 있기 때문에 (예를 들어 그와 같은 데이터베이스는 몬트리올 의정서 하의 국제연합환경계획 기술옵션위원회(UNEP Technical Options Committees)의 감독하에 개발되고 있다.) 하위용도 수준 (박스 7.1 참조)에서 종종 잘 이해되는 사용 패턴 분석이 점차적으로 정교해지고 있다. 이는 앞서 설명했던 매트릭스의 두 축이 이 자료 세트로부터 채워질 수 있으며 국가 수준에서 자원을 대량 투자하지 않고도 Tier 2 방법이 용이해질 수 있다는 것을 의미한다. 이 활동도 자료는 적절한 배출 산정치를 산출하기 위해 배출계수 기본값이나, 사용 가능한 경우, 국가별 배출계수와 결합될 수 있다. 물론 그와 같은 데이터베이스를 사용할 때에는 신중해야 하며 평판이 좋고 잘 문서화된 선택하는 것도 중요하다. 그럼에도 불구하고, 세계적으로 또는 지역적으로 얻어진 이 같은 유형의 자료는 신뢰할 만한 산정치를 산출해 낸다. 국가적으로 수집된 자료를 벤치마크로 테스트하기 위해 그와 같은 데이터베이스로부터 생성된 정보를 이용하는 방법도 대체 전략이 될 수 있다.

어느 경우에나 자료가 보고서 요구 사항에 잘 들어맞는 형식으로 생성되어야 한다는 점이 중요하다. (예를 들어, 기후변화협약(UNFCCC)의 공통적인 보고 형식) 이와 같은 요건은 지침(guideline)의 수명(lifetime) 중 그 시기에 따라 달라질 수 있다. 따라서 활동 자료 세트는 그와 같은 변화에 충분히 대처할 만큼 유연성 있게 구조화되어야 한다.

몇몇 경우, 화학 물질과 설비 공급 연쇄의 복잡성으로 인해 자료 수집이 어려워질 수 있다. 7.5절에서 강조하듯이, 일정 범위의 용기들이 이동식 냉각 장치 시장에 공급되고 있다. OEMs을 위한 중규모 용기로부터 보통 차량 서비스 센터(vehicle serving center) (10-15 kg)에서 사용되는 중간 용기, 작은 300-500 g의 셀프 서비스 가게의 용기에 이르기 까지 그 크기가 다양하다. 이와 같은 다양한 공급 연쇄 접근에 따라 폐기물 수준에서 상당한 차이가 생길 수 있기 때문에, 인벤토리 작성자는 실제로 나타나는 이와 같은 손실을 어떻게 평가할 것인가 신중히 고려해야 한다. 용기의 사용은 이동식 냉각 장치에 국한되지 않는다. 냉동 시장이나 에어로졸 그리고 화재 진압 부분에 있어서도 빈번하다. 인벤토리 작성자는 오존파괴 대체물질의 공급 처리를 인벤토리의 개별 요소로 간주할 수 있을 것이다. 그러나 이 루트를 선택할지라도, 실제로 사용된 크기 범위와 각각의 비율을 이해하려면 하위용도에 대한 상세한 지식을 지녀야할 것이다. 통일성을 확보하려면 비슷한 크기의 용기를 사용하여 다양한 용도와 다양한 하위용도 간에 산정되는 손실(losses)을 비교해야 하며, 그것이 *우수실행(Good*

*Practice)*이겠지만, 각각의 용도와 하위용도 내에서 생기는 용기 손실(container losses)(종종 heels로 불려지는)을 산정하여 비교하는 것이 가장 적합하다고 본다.

박스 7.1

ODS 대체물에 대한 세계적 그리고 지역적 데이터베이스

세계적인 그리고 지역적인 데이터베이스는 해당 분야의 전문가에 의해 개발되는데, 대체로 특정 용도를 위해 개발된다. 이 전문가들은 전문적으로, 그리고 빈번히 산업 정보에 접촉할 수 있고, 지역이나 나라의 소비 패턴에 대한 정보를 제공하는 시장 조사나 보고서에도 손쉽게 접근할 수 있다. 이 같은 지적 근간으로, 화학 물질 소비 자료를 이용하여 지역적으로나 세계적 수준에서 제품자료를 교차 참조하는 것이 가능하다. 그런 자료를 통해 현재의 소비를 평가할 뿐 아니라 미래의 소비까지 예측하는 것 또한 흔한 일이다. 이를 통해 데이터베이스는 정책 개발 도구로서의 가치도 갖게 된다. 반면 데이터베이스는 새로운 경향이나 그 외 다른 불일치를 가져오는 원인을 설명할 수 있어야 하고 가능한 그것을 조정했다고 확증되어야 한다. 이를 위해서 데이터베이스를 가능할 때마다 적절히 보수하고 정기적으로 교차 검토하는 것이 매우 중요하다.

예를 들어, 몬트리올 의정서 산하 기후변화협약(UNFCCC)의 기술옵션 위원회의 개별 구성원은 여러 국가에게 ODS 대체물질의 배출량 산정 준비에 도움을 주는 다양한 세계적 활동도 자료 세트를 준비해왔다. 그 중에서도 특별히 적절한 자료세트로 IPCC/TEAP의 '오존층 보존과 지구 기후 체계(IPCC/TEAP Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System): 수소불화탄소와 과불화탄소와 관련된 문제'에 대한 특별 보고서 개발을 지원하는데 사용된 자료세트가 있다. (IPCC/TEAP, 2005) 오존층 파괴물질의 단계적 제거에 대한 정보는 물질의 단계적 도입 산정에 직결되기 때문에 적절한 것이다. 이 자료세트에 대한 가정은 http://epa.gov/ozone/snap/emissions/index.html에서 발견되는 수많은 요약 보고서를 통해 증명되었다. (예를 들어, Clodic D., Palander, L., McCulloch, A., Ashford, P. and Kuipers., L.. 2015년까지 발포와 냉동 분야에 대한 HCFC와 HFC의 상대적 배출 개요 결정,' ADEME와 US EPA를 위한 보고서., 2004). 이와 같은 현존하는 자료 세트들은 정기적으로 적절한 TOCs내에서 다른 전문가에 의해 검토되고 있으며, 화학물질 시장과 화학물질 사용 패턴에서의 변화 추이를 평가하기 위한 목적으로 몬트리올 의정서에 대한 해당국가에 의해 사용되어 왔다.

만약 국가의 자료를 획득하기가 어렵다면 위에서 논의되었던 자료 세트를 찾기 위해 IPCC 배출계수 자료 세트를 검색해볼 수도 있다. 모든 그러한 데이터베이스들은 인벤토리 보고에서의 사용을 용의하게 하기위해 구조화되어야 한다. EFDB는 오래지 않아 이미 다루어진 용도에 대한 추가적인 공급원으로서 또는 이전에 다루어지지 않았던 용도에 대한 새로운 공급원으로서 그와 같은 수많은 전 세계적/지역적인 데이터베이스의 본산지가 될 것 같다. 비록 EFDB에 있는 데이터베이스를 포함시키는 것이 일정 과정에 대한 일반적인 확증을 제공하지만, 국가가 EFDB에서 가져온 모든 자료가 각 국가의 환경에 적합하다는 것을 증명하고 동료평가가 이 같은 복잡한 영역의 활동도에 충분했다는 것을 증명하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다.

배출량 산정의 유형

앞서 제시된 지침과 달리, 본 장에서 제시된 Tier 1과 Tier 2 방법은 잠재적 배출량 보다는 실제 배출량을 산정한다. 이는 ODS 대체물의 소비와 배출 사이의 시차를 고려한다는 사실을 반영한다. 또한, 앞서 언급했듯이, 시차는 폐쇄된 셀 발포나 냉동, 소화 설비와 같은 적용 분야에서 상당할 것이다. 시차(time lag)는 새로운 제품에 놓인 화학물질이 서서히 빠져 나올 수도 있으며, 종종 폐기될 때 까지도 배출되지 않을 수도 있다는 사실에 기인한다. 예를 들어, 가정에서 아용하는 냉동장치의 경우 제품을 사용하는 동안 냉매가 거의 또는 전혀 발산되지 않으며, 생산 후 수년이 지난 후인 폐기 시 까지 대부분의 양이 배출되지 않는다. 심지어 그 때에도 냉매와 냉동 장치 안의 발포제(발포제)가 모두 재활용이나 파괴를 위해 모아진다면, 폐기 시에도 중요한 배출이 수반되지는 않는다.

잠재적인 배출 방법은 배출이 국가에서 매년 소비되는 최초의 화학물질(virgin chemical)의 양에서 해당 연도에 폐기되거나 수출된 화학물질의 양을 뺀 값과 동일하다고 가정된 것으로, QA/QC 부분에서 참조 시나리오로만 제시된다. 위에서 강조하였듯이, 잠재적 방법은 다양한 제품과 장치에서 화학 물질이 축적되는 것이나 배출이 늦춰지는 것[4]을 설명하지 않는다. 이는 또한 단기간 동안의 (예를 들어, 10-15년) 산정치가 부정확할 수 있다는 것을 의미한다. 그러므로 국가적 산정에 잠재적 방법을 사용하는 것은 *우수실행(Good Practice)*이 아니라고 고려된다.[5]

배출 시기와 뱅크(bank)의 중요도

HFCs와 PFCs와 같은 ODS 대체물질은 많은 용도에서 그것들이 어딘가에 담겨져 있어야 그 역할을 할 수 있다(예를 들어,냉동과 냉방). 한편, 다른 용도에서는 그것들이 배출되도록 의도된다. (예를 들어, 에어로졸과 추진제) 이 같은 차이점을 이해하는 것은 중요한데, 이를 숙지해야 배출이 일어나는 연도를 정확히 평가할 수 있고, 실제의 배출을 정확히 산정할 수 있기 때문이다.

최초 2년간 일어나는 배출은 대체로 *즉각적인(prompt)* 배출로 일컬어진다. 즉각적인 배출을 보이는 용도와 하위용도로는 에어로졸과 에어로졸 용매, 열린 셀 발포제, 몇몇 경우의 비 에어로졸 용매가 있다. 일반적으로 *즉각적인* 배출을 보이는 용도나 하위용도의 배출은 연간 화학 소비량을 정함으로써, 그리고 모든 배출이 초기 1년이나 2년간의 소비에서 일어난다고 가정함으로써 산정될 수 있다. 그러므로 만약 화학 소비가 어떤 시점까지 사전에 알려지지 않는다면, 그것이 알려진 후 1년이나 2년에 대한 배출 산정치는 그럼에도 불구하고 정확하지만, 그 시점 이전의 화학 소비를 검색하거나 산정함으로써 얻어진 배출 산정치의 정확도는 상대적으로 낮게 된다.

배출이 지체되는 경우, 어떤 용도나 하위용도에서 소비된 화학 물질과 이미 배출된 화학 물질 사이의 누적된 차이가 뱅크(bank)로 알려져 있다. 전형적으로 뱅크(bank)가 생기는 용도에는 냉동과 냉방, 화재 예방, 폐쇄된 셀 발포제, 비 에어로졸 용매가 있다. 뱅크(bank)의 정의에는 그 화학 물

[4] 때때로 halocarbon 기술로 변환된 설비나 제품 유형으로부터

[5] UNFCCC에 대한 당사국 협의(Conference of the Parties to the UNFCCC)는 세 번째 세션에서 '수소화불화탄소와 과불화탄소, 육불화황(sulphur hexafluoride)의 실제 배출(actual emissions)을 산정해야 하며, 자료를 이용할 수 있는 경우, 실제 배출이 배출 보고를 위해 사용되어야 한다. Parties는 필요한 자료의 배출원을 개발하기 위해 모든 노력을 다해야 한다.'라고 확언하였다. (Decision 2/CP.3, 교토 의전서와 관련된 방법론적 이슈)

질이 전과정(life-cycle)의 모든 부분에 존재한다는 것이 포함되며, 심지어는 폐기물의 흐름까지도 포함된다. 한 예를 들자면 이미 매립된 발포제 제품에 여전히 존재하는 발포제도 여전히 뱅크(bank)의 일부분인데, 그 이유는 그것이 이미 소비되었지만 아직도 배출되지 않은 채 남아있는 화학물질이기 때문이다. 실제로 대부분의 설비와 관계된 하위용도(예를 들어, 냉동과 화재방지)는 충전물(charges)을 폐기물의 흐름(waste stream)까지 가져갈 가능성이 낮으며, 설비가 사용될 당시에 그 안에 담겨져 있는 화학물질의 총량이 실제 뱅크(bank)에 가깝다.

용도나 하위용도 내 뱅크(bank)의 규모 산정은 대체로 어떤 화학 물질의 과거의 소비를 평가하고 적절한 배출계수를 적용함으로써 이루어진다. 하위용도가 하나 이상 존재하지만 Tier 1 방법을 따르고 있을 경우 합성 배출계수(composite emission factors)를 적용해야 한다. 그러나, 그런 합성 배출계수에 대한 불확실성을 고려해볼 때, 다양한 하위용도를 가진 용도의 경우에는 Tier 2 방법을 늘 선호하게 된다. 특히 하위용도의 특성이 상이한 경우에 더욱 선호된다.

또한 현재의 설비나 제품의 재고(stock)에 대한 상세한 정보를 통해 뱅크(bank)의 규모를 산정할 수 있다. 이동식 냉방장치가 좋은 사례인데, 자동차에 대한 통계로 차의 유형이나 연식(age), 심지어 냉방장치의 유무까지 포함된 차량 조사 자료를 제공 받을 수 있기 때문이다. 평균 충전량(charge)에 대한 정보를 이용하면, 화학 물질의 역사적 소비에 대한 상세한 정보 없이도 뱅크(bank)를 산정할 수 있다. 그러나 이 방법은 보통 교차 검토시에 유용한 것이다.

배출 산정에 대한 접근법

한 동안 화학 물질을 포함한 용도 간에, 매우 중요한 특징이 있다. 몇몇의 사례에서 (예를 들어, 냉동) HFC와 PFC의 양은 대체로 일상적인 서비스 과정에서 가득 채워진다. 만약 설비가 매년 채워지고 반면 시장은 정적일 때, (다시 말해, 설비 재고량이 증가하지 않을 때), 해당 년도 실제 배출량과 소비가 일치할 것이다. 그와 같은 환경에서, HFC와 PFC의 소비에 대한 정보가 하위용도 수준에서 제공되는 한, 정확한 설비 재고를 알 필요가 없다. 이것이 본 장에서 접근법 B로 언급되는 물질수지 접근의 기초이다. 물질수지 접근은 본권의 1장 1.5절 에서 보다 논의된다. 그러나 물질수지 접근은 소비가 제조 과정 중 어느 시점에서 일어나지만 배출은 제한된 양에서 제품이 사용되는 내내 일어나는 상황이나 제품에는 적절하지 않다. (예를 들어, 발포제) 그런 경우에는, 배출계수 접근법으로 전환하는 것이 바람직하다. (즉, 활동도 (소비) 자료와 배출계수에 근거한 방법) 그런 방법은 집합적인 수준 (Tier 1)과 세분화된 수준 (Tier 2) 모두에서 작동되며, 본 장에서 접근법 A로 불린다. 따라서 Tier 1a 방법은 세분화 수준이 낮은 배출계수 접근법이고, Tier 2b 방법은 (적어도 하위용도 단계에서는) 세분화 수준이 높은 물질수지 접근법이다. 물질수지 접근법과 배출계수 접근법의 선택에 대한 논의는 1장의 1.5 절에서 좀 더 이루어진다. 일반적으로 물질수지 접근법이 압축된 용기에 저장되거나 그런 용기에서 사용되는 ODS 대체물에 대한 유일한 접근법으로 간주되며 많은 용도에서 접근법 B를 전혀 고려하지 않는다. 접근법 B가 고려되는 경우 (예를 들어 냉동과 화재 예방) 방법의 선택은 문제되는 용도를 언급하는 7장의 부분에서 논의된다.

이 같은 특정 용도를 위해 기술된 몇몇 방법은 두 접근법 특징을 모두 지닐 수 있다. 그리고 물질수지 접근법은 활동도 (소비) 자료/배출계수 접근법의 결과를 교차 검토하고 타당성을 점검하는 작업에서 사용될 수 있다. 따라서 혼돈을 막기 위해 분류 협약(labelling conventions)이 바뀌지 않은 채 유지될 것이지만, 몇 몇 방법은 Tier 1a/b 또는 Tier 2a/b로 분류될 것인데, 그 이유는 그

것들이 두 개의 접근법에 대한 요소를 모두 포함하는 것으로 보이기 때문이다. 이것은 자료가 한정적이고 하나의 접근법이 다른 것을 교차 검토하기 위해 매우 유용하게 사용되는 Tier 1 방법에서 가장 일반적이다.

아래 표 7.2는 다양한 tiers와 접근법을 실시하기 위해 필요한 자료의 종류를 요약한 것이다.

표 7.2
다양한 Tiers와 접근법을 위한 자료 요건 개관

	접근법 A **(배출계수 접근법)**	**접근법 B** **(물질수지 접근법)**
Tier 2 (세분화된 수준에서 배출량 산정)	• 하위용도에 따른 화학제품 판매와 사용 패턴에 대한 자료 (국가별 또는 전 세계적으로/지역적으로 도출된) • 하위용도에 따른 배출계수 (국가별 또는 기본값)	• 하위용도에 따른 화학제품 판매에 대한 자료(국가별 또는 전 세계적으로/지역적으로 얻어진) • 하위용도의 수입/수출을 고려하여 조정된 역사적 그리고 현재의 설비 판매에 대한 자료(국가별 또는 전 세계적으로/지역적으로 얻어진)
Tier 1 (집합적 수준에서 배출량 산정)	• 용도에 따른 화학 판매 자료(국가별 또는 전 세계적으로/지역적으로 얻어진) • 용도에 따른 배출계수 (국가별 또는 (합성) 기본값)	• 용도에 따른 화학제품 판매에 대한 자료 (국가별 또는 전 세계적으로/지역적으로 얻어진) • 용도의 수입/수출을 고려하여 조정된 역사적 그리고 현재의 설비 판매에 대한 자료(국가별의 또는 전 세계적으로/지역적으로 얻어진)

다음 6개의 절(7.2절에서 7.7까지)에, 필요한 자료의 특성을 가려내고 각 하위용도에 대한 접근법 선택을 돕기 위해, 각 용도에 대한 의사 결정도가 포함되어 있다.

7.1.2.2 방법의 선택

이미 기술된 대로 ODS 대체물의 배출량은 다양한 복잡도와 자료의 집약도를 지닌 다양한 방법으로 산정될 수 있다. 본 장은 덜 자료 집약적인 그리고 대체로 세분화 수준이 낮은 Tier 1 방법과 좀 더 자료 집약적이며 높은 수준의 세분화를 필요로 하는 Tier 2 방법을 제시한다. 점오염원(point source)로부터 배출량을 실제 관찰하고 산정한 것에 근거한 세 번째 Tier (Tier 3) 역시 기술적으로는 특정 하위용도에 한하여 사용 가능하나, 각각의 오염원이 매우 넓게 퍼져있기 때문에 행여 사용된다 하더라도 거의 드물게 사용된다. 따라서 Tier 3 방법은 본 장에서 더 이상 언급되지 않는다.

Tier 1 방법

Tier 1 방법은 배출 산정이 대체로 개별 제품이나 설비보다는 용도 수준에서 이루어지기 때문에 Tier 2 보다 덜 자료 집약적이고 덜 복잡한 경향이 있다. 그러나 제안된 접근법은 특정 용도의 특성에 따라 상당히 다양하다. Tier 1a 접근법과 Tier 1b 접근법, 그리고 때로는 그 둘을 결합한 방법 (Tier 1a/b)이 있을 수 있다. 후자는 자료의 공급이 부족할 때 사용된다. 효과적으로 Tier 1a

접근법의 산출물은 Tier 1b 방법을 사용하여 교차 검토 될 수 있다. 그러나 일반적으로 간단한 방법은 즉각적인 배출 용도에 대한 배출계수 기본값이 100퍼센트에 이르는 Tier 1a 접근법(배출계수 접근법)에 주로 근거하는 경향이 있다.

보다 단순한 Tier 1 접근법을 위해서는, 용도 수준에서의 화학제품 판매 자료가 보통 충분하다. 그러나 혼합물의 개별 구성성분을 분류해내는 것이 여전히 쉽지 않다. 선택한 Tier 1 방법론에 관계없이, 국가에서는 개별 HFCs와 PFCs의 배출량을 보고해야 할 것이다. 따라서 다양한 공업적 형태의 HFC/PFC 냉매, 발포제(발포제s), 용매 등의 실제 사용에 대한 정보가 요구되어진다. 이러한 제품의 다수가 두 개나 그 이상의 HFCs와(또는) PFCs의 결합물이고, 비슷한 용도를 위한 유체 합성(composition of fluids)은 다양한 화학약품 회사에서 개별한 각각의 공식에 따라 다양해진다.

Tier 1a - 용도 수준에서 배출계수 접근법

Tier 1a는 설비나 제품 형태(하위용도) 수준 보다는 용도 수준에서의 기본 적인 활동도 자료의 사용 가능성에 좌우된다. 이 활동도 자료는 아마 연간 화학물질 소비 자료로 구성 되어질 것이며, 지체된 배출을 보이는 용도에 대해서는, 뱅크(bank)가 그것으로부터 유도된다. 일단 활동도 자료가 용도 수준에서 확정되면, 합성 배출계수(7.1.2.3절 참조)가 용도 수준에서 적용될 수 있다. 이와 같이 좀 더 집약된 배출계수는 (예를 들어 모든 경질 발포제) 개별 설비나 제품 형태를 다루는 Tier 2a를 위해 개발된 합성 배출계수나, 배출계수의 가중 평균치(weighted average)일 수 있다. (예를 들어, Galmen et al. 1986)

Tier 1a 방법 내에서 순 소비량을 위한 계산 공식은 다음과 같다.

식 7.1

특정 용도에서 화학물질의 순 소비량(순 소비량)의 계산

순 소비량(순 소비량) = 생산(production) + 수입(imports) - 수출(exports) - 폐기(destruction)

각각의 HFC나 PFC에 대한 순 소비량 값은 즉각적 배출을 보이는 용도에 대한 연간 배출을 계산하는데 다음과 같이 사용될 수 있다.

식 7.2A

특정 용도에서 화학 물질의 배출량 계산

연간 배출량(Annual Emissions) = 순 소비량 · 합성 EF(Composite EF)

여기에서

순 소비량 = 용도에 대한 순 소비량

합성 EF = 용도에 대한 합성 배출계수

활동도 자료의 선택 절에서 논의 되었듯이, 인벤토리 작성자는 아마 용도에 의한 화학 소비 자료보다 집합적 수준에서 화학 소비 자료에 접근할 것이라는 점에 주목하라. 이 경우, 각 용도에 의해 대표되는 총 소비 점유율(the share of total consumption)을 결정하는 것이 초기 단계에 필요할 것이다.

식 7.1에서 생산은 새로운 화학물질의 생산을 일컫는다. 회수된 유체의 재가공을 소비 산정에 포함해서는 안 된다. 수입(Imports)과 수출(Exports)은 전체(bulk) 화학물질을 포함한다. 그러나 지역 할당 시스템이나 비슷한 다른 방법이 사용되지 않는 이상, Tier 1 방법에 냉동장치, 냉방장치, 포장재, 절연기포, 방화제 등의 제품에 담겨져 있는 화학물질의 양이 포함되지는 않을 것 같다. 합성 배출계수라는 용어는 다양한 유형의 설비와 제품의 배출량과 좀 더 일반적으로 ODS 적용 분야 내에 있는 하위용도의 배출량을 요약한 배출량을 말한다. 합성 배출계수(composite emission factor)는 부품 조립, 작동, 그리고 시계열 상에서 적절하다면 폐기 배출까지 설명해야 한다.

비록 순수 HFCs와 PFCs의 파괴가 현재 널리 실행되고 있지는 않고 몇몇 사례에서는 기술적으로 어렵기도 하지만 (UNEP TEAP Task Force on Destruction Technologies (UNEP-TEAP, 2002)), 소비를 줄이기 위한 잠재적 방안으로 포함되어야 한다. 여기에서 고찰되고 있듯이, 순수 화학물질의 파괴는 HFCs와 PFCs의 사용 마지막 단계(end-of-life)에서 파괴되는 것과는 구별되어야 한다. 엄밀히 말해 그것은 배출 감소 조치이기 때문이다. HFC/PFC 생산 과정에서의 부산물 배출과 생산이나 배포와 관련된 탈루배출은 개별적으로 계산되어야 한다.

심지어 간단한 Tier 1a 방법에서도, 뱅크(bank)가 일어나는 경우, 뱅크(bank)의 잠재적인 발달을 설명하는 것이 보통 필요하다. 뱅크(bank)는 라이프사이클 동안에 공급 망이나 생산물, 설비 또는 폐기 흐름에서 축적되었으나 최근 년도의 말에 배출되지 않은 화학물의 양이다. 만약 제품의 도입 후 매년 historic 순 소비량을 알 수 있다면, 또는 이 기간이 제품이나 설비의 평균 수명을 초과한다면, 용도 수준에서 뱅크(bank)는 상대적으로 간단한(straightforward) 알고리즘과 가정을 사용하여 산정될 수 있다. 적절한 용도 수준의 배출계수가 제품이나 설비의 사용 수명 중 배출을 다루기 위하여 뱅크(bank)에 적용된다. 이와 동일한 과정이 Tier 2a 방법에서 이루어지지만, 그 경우에는 하위용도 수준에서 이루어진다. 뱅크(bank)에 대한 좀 더 일반적인 정보는 7.1.2.1절에 있다.

뱅크(bank)가 일어나는 경우, 식 7.2A는 다음과 같이 수정될 수 있다.

식 7.2B

뱅크(bank)가 있는 용도에서 화학물질의 배출량 계산

$$\textit{연간 배출량} = \textit{순소비량} \bullet \textit{합성 } EF_{FY}\textit{(Composite } EF_{FY}\textit{)} + \textit{총 축적된 화학물질(Total Banked Chemical)} \bullet \textit{합성 } EF_{B}\textit{(Composite } EF_{B}\textit{)}$$

여기에서

순소비량 = 용도에 대한 순소비량

합성 EF_{FY} = 첫 번째 년도의 용도에 대한 합성 배출계수

총 축적된 화학물질 = 용도에 대한 화학물질의 뱅크(bank)

합성 EF_B = 뱅크(bank)에 대한 용도에 대한 합성 배출계수

합성 배출계수는 적용 가능한 하위용도 배출계수의 평균을 내서 결정할 수 있고, 각 하위용도의 활동도에 따라 가중된다. 하위용도 배출계수는 알려지거나 기본값인 경우 국가별의 수치일 수 있다. 실제에서, 하위용도 자료가 알려진다면 인벤토리 작성자는 Tier 2를 선택할 것이다 (세분화된 접근법). 만약, 용도 수준 자료만 알려져 있다면, 다양한 연구에서 가져온 대표적인 합성 배출계수나 본 장에서 소개한 기본값 합성 배출계수를 사용할 수 있다.

Tier 1b - 적용 수준에서의 물질수지 접근법

물질수지 접근법은 또한 조립과 작동 폐기에서의 배출량을 산정하지만, 배출계수에 의존하지는 않는다. 대신 해당 국가에서 특정 화학물질이나 고찰되고 있는 설비의 산정된 소비(즉, 판매)를 사용한다. 이는 일반적으로 압축 시스템에 담겨져 있는 ODS 대체물에 한한다. 일반적인 식은 다음과 같다.[6]

식 7.3
TIER 1b를 위한 일반적인 물질수지식

배출량 = 새로운 화학 물질의 연간 판매량 - (새로운 설비의 총 충전량 - 폐기하는 설비의 본래 총 충전량)

산업은 현재 설비 재고로부터 누출(즉, 배출)을 대체하기 위하여 제조업자로부터 새로운 화학 물질을 구입해야 한다. 그렇지 않으면 그 설비는 제대로 작동하지 않을 것이다. 설비 재고가 매년 바뀌지 않는다면, 연간 화학 물질 소비만으로도 실제 누출이나 배출에 대한 타당한 산정량을 제공할 수 있을 것이다. 그러나 총 설비 재고나 그것이 포함하고 있는 화학 물질 충전은 매년 변화한다. 화학물질이 충전된 약간의 양의 새로운 설비가 매년 도입되고 있으며, 본래 충전되었던 약간의 양의 구설비가 매년 퇴각하고 있다. 만약 모든 설비에 담겨져 있는 화학물질 충전이 이와 같은 연간 재편성의 결과 증가한다면, 총 연간 화학적 소비는 배출을 과다 산정하게 될 것이다. (즉, 새로운 설비에 포함되어있는 충전이 퇴각한 설비의 본래 충전보다 많다.) 반대로, 만약 모든 설비에 있는 총 화학 충전이 줄어든다면, 총 연간 화학적 소비는 배출을 과소 산정하게 될 것이다.

새로운 화학 물질의 판매에 대한 자료를 잘 사용하기 위해서는, 새로운 설비에 충전된 화학 물의 총량과 폐기되는 설비에 포함되어 있는 본래 충전을 산정해야할 필요가 있다. 새로운 설비의 총 충전에서 폐기되는 설비의 본래 총 충전을 뺀 것이 설비 재고 충전의 순 변화량(the net change)이다. (물질수지 접근법을 사용하면, 배출을 산정하기 위해 설비 재고에 있는 각 화학물질의 총 량을 알 필요가 없다.) 순 변화량이 양(positive)인 경우, 총 충전의 증가분을 채우기 위해 새로운 화학물이 사용되고 있으며, 따라서 전년도 배출을 대체한다고 말할 수 없다.

산업은 또한 폐기된 가스를 대체하기 위해 그리고 사재기(만일을 위한 비축량 stockpile)를 대비하여 새로운 화학 물질을 필요로 한다. 또한, 모든 설비가 매년 서비스 되지는 않는다. 이와 같은 요인을 설명하기 위해 일반적인 식에 조건이 추가 될 수 있다. 그러나 대체로 간단한 Tier 1b 방법에서는 그런 조건이 채택되지 않는다.

이 방법론은 냉동장치와 냉장장치, 화재 예방에 사용되는 압축 설비에 가장 직접적으로 적용되는데 그 이유는 이들이 화학 제품 판매가 가장 전형적으로 작동 중 배출을 상쇄하기 위해 사용되는 것들이기 때문이다. 그러나 기본적인 방법을 적용하는 것이 상대적으로 쉽기 때문에, 접근법을 하위용도 수준(즉, Tier 2b 방법)에 까지 확대하는 것이 보다 전형적이다. 보다 이 접근법을 정교화하고 수정한 것은 각 용도에 대한 설명에서 제시된다. 실제상으로는, Tier 1b 방법이 Tier 1a 방법을 추후에 교차 검토하기 위해 가장 흔히 사용된다. 기본적인 순 소비량 자료가 부족할 경우에, 국가 수준에서 다양한 최후 사용(하위용도)에 대한 지역적인 화학 판매를 할당하는 지역적이고 국

[6] 경계 조건; 만약 총 설비 충전량에 순 변화량이 생기지 않는다면 연간 판매량은 배출량과 동일하다. 만약 총 설비 충전량에서 순 변화량이 연간 판매량과 동일하다면 배출량은 0이다.

제적인 데이터베이스와 모델들이 개발되어 왔다.

Tier 2 방법 - 하위용도 수준에서 적용된

Tier 2 방법에는 두 개의 버전이 있는데, 이 둘 모두 하위용도 수준에서 그리고 하위용도 내에서 화학적으로 개별적이고 특징 있는 형태의 제품이나 설비의 배출량을 산정한다. 하위용도 내에서 개별 화학물질과 제품/설비는 본 절의 앞에서 언급하였던 매트릭스를 형성한다. 그리고 그것들의 분석은 CFCs와 HCFCs, HFCs에 대한 대체 불화탄소류의 환경적 적용성 평가연구(AFEAS)에서 현재 적용하고 있는 방법에 필적한다(McCulloch, Midgley and Ashford, 2001 and 2003; Ashford, Clodic, Kuijpers and McCulloch, 2004).

Tier 2 방법의 두 개 버전은 모두 다음 두 일반적인 단계를 따른다.

i 배출 계산을 위한 소비에 대한 기초를 다지기 위해, 상대적으로 상세한 제품이나 설비 수준에서 각각의 개별 HFC와 PFC 화학물질의 순 소비량의 시계열을 계산하거나 산정함 (예를 들어, 냉동장치나 다른 고정 냉장/AC 장치, 용도 발포제(appliance foams), 절연 패널, 파이프 단열 등)

ii 활동도 자료를 이용한 배출 계산과 결과적으로 얻는 (ⅰ)단계에서 도출된 뱅크(bank) 계산, 다양한 과정과 제품, 설비(Tier 2a)와 관계된 특유의 배출 특징을 반영하는 배출계수 또는 물질수지 접근법을 뒷받침하기 위한 하위용도 수준에서 적합한 신/구 설비에 대한 정보

Tier 2a와 Tier 2b 방법의 차이는 Tier 1a와 Tier1b의 차이와 동일하다. 다시 말해, Tier 2a 방법이 배출-계수 접근법을 사용하는 반면 Tier 2b 방법은 물질수지 접근법을 사용한다. 그러나 둘 다 Tier 2 방법에 적합한 세분화된 수준에서 작동될 필요가 있다. 적어도 하위용도 수준에서는 대체로 그렇다.

필요한 자료를 이용할 수 있다면, ODS 대체물의 배출량 계산을 산정하는데 Tier 2 방법이 선호된다. 특히 전반적인 용도 범위 내에서 하위용도가 상대적으로 이질적인 경우에 그렇다. 몇몇의 국가는 아마 Tier 2 방법론을 적용하는데 이미 적합한 이용 가능한 정보를 지니고 있을 것이다. 하지만 다른 국가들은 현재 Tier 2 자료에 접근하지 못할 수도 있다. 그러나 그 국가들도 어떤 용도 범위 내에서 화학물질과 하위 용도에 의한 국가별 또는 세계적으로나 지역적으로 도출된 활동도 자료를 수집하는 루틴을 확립하도록 장려되고 있다. (예를 들어, 다양한 유형의 냉동장치와 냉방장치 하위용도) 반대로 Tier 1은 좀 더 집합적 용도 수준에서의 자료 수집을 필요로 한다. (예를 들어, 냉동장치와 냉방장치를 통틀어(in totality))

Tier 2 방법을 사용하는 첫 번째 단계로, 국가에서는 (i) 단계에서 필요한 정보에 대해 1차 근사(first order approximation)하기를 원할 수도 있다. 이는 어떤 용도 분야나 하위용도에서 좀 더 집중된 자료 수집을 하게 할 것이다. 표 7.3은 선택된 국가의 다양한 용도 분야에서 2002년 용도 수준의 HFC/PFC 소비 배포의 예를 보여준다. HFCs와 PFCs가 몇몇 용도에서는 최근에 시장에 진입했으므로, 각각의 용도에서 상대적인 소비 규모는 지속적으로 변화할 것이며, 국가 수준에서 정기적으로 업데이트 되어야 한다.

표 7.3
용도 분야에 의한 HFC/PFC 사용의 배포 예시(2002)[a]

국가	냉동 냉장	발포제	용매[b]	화재 예방[b]	에어로졸 추진제[b]	다른 용도[b]
오스트리아	18%	81%	0%	1%	0%	0%
덴마크	81%	18%	0%	0%	1%	0%
노르웨이	72%	11%	0%	16%	1%	0%
스웨덴	48%	42%	0%	4%	6%	0%
영국	31%	22%	0%	9%	38%	0%

[a] UNFCCC는 2004년에 재 제출한 대로 2002년에 대한 자료를 보고하였다.
[b] 0은 항상 비사용을 반영한 것이 아니라 다른 카테고리 하에 보고된다는 것을 보여주는 것이다.

본 절에서 *우수실행(Good Practice)*은 Tier 2 방법의 변동(variations)을 다룬다. 일전에 다루었던 Tier 1 방법은 일반적으로 용도가 주 카테고리*(key category)*가 아니며 자료 이용가능성이 제한적인 기본값 방법으로 간주된다. (예외적으로, 화재 예방에서는, 국가 고유의 활동도 자료와 배출계수를 갖춘 Tier 1a 방법이 주 카테고리(key category)로 확인된 경우에 사용될 것이다.) 각각의 7.2절에서 7.7절의 각각의 하위 절에서는 어떻게 이와 같은 방법을 특정 ODS 용도에 적용하는가와 기존의 자료 배출원을 어떻게 관찰할 것인가, 그 안에 있는 차이를 어떻게 규명할 것인가에 대해 논의한다.

Tier 2a - 배출계수 접근법

Tier 2a 접근법에 필요한 국가별 자료는 ODS 대체물이 담겨져 있거나 ODS 대체물의 최종 배출이 일어나는 각각의 하위용도에 해당하는 여러 제품과 최종 사용으로부터 도출된다. 이와 같은 접근법은 해당 화학물질을 사용하는 설비 단위나 제품의 수, 그리고 평균 화학 충전량(charges), 평균 서비스 기간, 배출 비율, 회수, 폐기, 그 외 관계있는 변수에 대한 정보를 필요로 한다. 이와 같은 정보는 일반적으로 제품이나 설비의 분류 수준에서 수집된다. (예를 들어, 경질 발포제: 일체외피(integral skin), 지속적 패널(continuous panel), 비지속적 패널(discontinuous panel), 설비(appliance), 기포 주입 제품(injected Foam product) 등) 연간 배출량은 제품이나 단위의 생애 내내 전과정(ife cycle)의 시기에 적절한 배출계수를 적용함으로써 이 변수들의 함수로 산정된다. 설비와 다른 제품들은 사용되는 화학물질의 양이나 서비스 기간, 배출 비율에 있어서의 변화가 상당하므로, 이와 같은 설비들의 특징을 기술하는 것은 상당한 자료를 필요로 하는 일이다. 최종 설비와 제품이 더 오래 사용될수록, 특정 하위용도 내의 제품이나 설비의 유형이 더욱 다양해지고, 배출량을 설명하기 위해 필요한 자료 접근 역시 복잡해진다. 그럼에도 그 접근법으로 정확히 배출을 산정할 수 있다. 단, 설비나 제품의 적절한 유형과 제작연도에 대해 다음 식에서 필요로 하는 자료를 모두 사용가능한 경우에 정확한 산정이 가능하다.

식 7.4
전과정의 단계에 근거한 배출량 수식 요약

PFC나 HFC 각각에 대한 총 배출량 = 조립/제작(Assembly/Manufacturing) 배출량
+ 작동(Operation) 배출량
+ 폐기(Disposal) 배출량

새로운 설비에 처음으로 화약물질을 채울 때나 어떤 제품을 제작할 때, *제작이나 결합시의 배출*은 탈루배출로 일어난다. 설비와 제품의 *작동 배출(Operation Emissions)이* 누출의 형태로 일어나거나 제품이나 장치의 사용 시기 중(서비스를 포함하여) 확산에 의해 일어난다. 몇몇 경우에, 심지어는, 작동 중 의도적인 배출이 일어날 수도 있다. 마지막으로, 폐기 배출(Disposal Emissions)은 설비나 제품이 수명의 끝에 이르러 퇴각, 처분될 때 일어날 수 있다. 이 경우, 제품이나 설비에 남아있는 HFC/PFC는 공기로 날아갈 수도 있으며 회수될 수도 있고, 파괴될 수도 있다.

Tier 1a 방법에서와 같이, 몇 몇 용도에서는 뱅크(bank)의 발달(the development of banks)을 대비할 필요가 있다. 이는 하위용도 수준에서 복잡하고 복합적인 계산식을 가져올 수 있는데, 아마 뱅크(bank)의 동력(dynamics)이 상당히 변화하기 때문일 것이다. 그러나 각각의 알고리즘이 비배출(non-emitted) 소비에 대한 간단한 순차 계산에 의존하기 때문에 (다시 말해, 소비 - 연속된 해의 배출) 훌륭한 배출 평가는 잘 구조화되고 유지되는 국가 모형으로부터 얻어질 수 있다.

설비와 제품 인벤토리를 연간 기초자료로 업데이트할 필요가 있다는 것이 한정된 자원을 갖고 있는 인벤토리 작성자가 실제 수행 시 직면하는 가장 큰 어려움(도전)이다. 이 같은 어려움(도전)이 좀 더 쉬워 질 수도 있다. 만약 다른 시장 변수의 종합적인 세트를 이용할 수 있다면, 아마 연간 화학 소비를 수집할 필요가 없기 때문이다. (예를 들어, 국내에서 생산된 냉동장치의 수, 등) 몇몇 국가나 지역의 협동조합(trade association)이 그 같은 자료를 얻을 수 있는 매우 중요한 배출원이 될 수 있다. 그렇지 않다면(그런 자료를 얻을 수 없다면), 구체적인 시장 조사가 필요할 것이다. 그와 같은 시장 변수가 활동도 조사의 주요 배출원인 경우에 있어서, 단위 수준에서 나타나는 약간의 이질성(discrepancies)은 잠재적인 중대한 오차를 가져올 수 있다. 이 때문에 질적 보장을 목적으로 화학 물질 소비 자료 교차 검토 하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이 된다. 본장의 QA/QC절에서 각각의 용도에 대해 그런 교차 검토를 어떻게 할 것인가에 대한 안내를 한다.

연간 소비 자료와 뱅크(bank)의 상태, 이 두 자료를 관리하는 짐을 덜기위해서는 다음 방법을 이용할 수 있다. 국가 모형을 유지하기 위해 그와 같은 정보가 담겨있는 세계적 자료 베이스와 지역적 데이터베이스에 접근하여 국가적 또는 지역적으로 타당성이 증명된 자료를 입수하는 것이다. 또한 이와 같은 데이터베이스는 국가 수준에서 자료를 수집하고(수집하거나) 출판할 때 야기되는 기밀 유지 문제를 극복하는 데에도 도움이 된다. 그런 데이터베이스를 이용하는 것에 대한 정보는 7.1.2.4절과 박스 7.1에 제시되어 있다.

국가 수준에서 종합적인 국가별 활동도 자료가 존재하는 상황에서는, 세계적으로 그리고 지역적인 자료로 구성된 데이터베이스로 만들어진 평가 자료에 반대하는 결과물을 벤치마킹하는 것도 *우수실행(Good Practice)*이다.

Tier 2b - 물질수지 접근법

Tier 2 물질수지 접근법은 하위용도수준에서 적용된다는 것만 제외하면, Tier 1b에서 기술된 접근법과 유사하다. 이것은 특히나 상대적으로 이질적인 하위용도가 다수 존재하는 냉동 부문에서 유용한 접근법이다. Tier 1 방법의 경우와 마찬가지로, 도출된 결과가 견고하다는 것을 증명하기 위해 배출-계수 접근법(을 결합하여 적용하는 것도 드물지 않다.(흔한 편이다.) 그와 같은 접근법은 실제로 혼합(hybrid) Tier 2a/b 방법으로 기술될 수 있으며, 그렇게 특징이 규명될 수 있다. 그리고 이제 이어질 절에 제시되어 있는 구체적-용도 부문에서 이 접근법을 살펴 볼 수 있다.

또한, 물질수지 접근법이 하위용도 수준의 활동도자료를 요구하기 때문에, 국제적 또는 지역적으로 타당한 자료를 얻기 위해 국제적인 데이터베이스나 지역적인 데이터베이스를 이용하는 것이 좀 더 자료 활용 면에 있어 효율적이다. Tier 2a에서 정한 선택에 대한 규준이 Tier 2b 방법에도 적용된다. 따라서 Tier 2a에서와 같이 Tier 2b 방법에서도 타당도가 입증된 자료 세트를 선택할 때 신중을 기해야 한다.

7.1.2.3 배출계수의 선택

접근법 A를 따르는 모든 방법에 배출계수가 필요하다. 일반적인 조건에서, 배출계수는 다음 두 개의 특징적인 유형을 지닌다.

1. 국가 수준에서 제품이나 설비를 라이프 사이클의 다양한 시기에 걸쳐 실제로 산정하여 얻은 배출계수 (국가별, country-specific)

또는

2. 좀 더 넓은 범위의 지역이나 세계의 하위용도 경험(global sub-application experience)으로부터 추정된 배출계수 (예를 들어, 기본값(default))

필요한 배출계수의 유형은 하위용도 내 동질성 수준과 실행하고 있는 Tier 접근법, 실제 적용 분야의 배출계수 의존성, 뱅크(bank)의 역할, 특정한 국가 환경의 가능성에 따라 결정된다. 몇몇은 그 용도에서 완전한 배출이 이루어진다고 간주하며, 그 경우에는 해당 연도의 순 소비량이 그 해의 배출량이 된다. (예를 들어, 많은 경우의 에어로졸 용도) 그 같은 상황에서 배출계수 기본값은 보통 적정치보다 높다. 그러나 ODS 대체물 포함한 대부분의 경우, 배출의 지연이 예상된다. 따라서 배출계수가 좀 더 정교해져야 하며, 특히 하위용도 수준(Tier 2)에 적용될 때 그렇다.

Tier 1 방법은 전형적으로 용도 수준에서 작동하며, 따라서 합성 배출계수(composite emission factors)를 사용할 필요가 있다. 그 계수는 이미 알려진 하위용도 배출계수의 가중된 평균치나(국가별 또는 기본값) 타당성이 입증된 유사 접근법에 근거할 수있 다. Tier 1 방법은 적용 시 간단하도록 의도된 것이다. 따라서 인벤토리 작성자는 기존의 다른 것들의 작업에 근거한 기존의 합성 배출계수를 사용하는 선택권을 갖게 된다. 7.2절에서 7.7절에 개괄적으로 소개된 Tier 1a 접근법에 그와 같은 예비를 한다.

Tier 2 방법에서 인벤토리 작성자는 국가에서 하위용도를 둘러싸고 있는 특정 환경을 알아야 할

필요가 있다. 제품과 설비의 유형이 어떤 지역에서, 또는 심지어 세계적으로 유사하더라도, 제품이나 설비의 수명(lifetime)동안 배출계수에 상당한 차이가 생길 수 있다. 그와 같은 차이는 기후 요인과 설치 방법(construction methods), 규정 접근법(regulatory approaches), 특히 이를 적용하는 서비스 방법(servicing methods)에 기인한다. 많은 국가에서 고려해야할 추가 요인은 제품과 설비의 service life 말기에 이루어지는 폐기 처분에 대한 관리인데, 이는 총 배출량에 상당한 영향을 끼친다. 그 단계에서 시스템에 남아있는 화학물질은 처음에 사용되었던 양의 90퍼센트나 그 이상일 수 있다. 배출계수와 관계된 특정 문제들은 관련된 용도에 대한 절에서 논의된다.

그러므로 인벤토리 작성자는 도출과정에서 잠재적인 변동의 원인이 되는 것들을 확실히 고려해야 한다. 이 작업을 가장 잘 할 수 있는 방법은 (국가에서) 선택한 것(selections)과 비슷한 환경의 다른 국가에서 선택한 것들을 비교하는 것이다. 배출계수 변동이 상당한 경우 (예를 들어 선진국과 개발도상국의 냉동장치의 체험(experience)의 구분) 그 항목은 본 장의 해당 특정 용도에 대한 절에서 좀 더 강조하게 된다.

인벤토리 작성자를 더욱 지원해줄 수 있는 것이 있다. 가장 중요한 배출계수인데, 그것은 IPCC에 의해 관리되는 배출계수 데이터베이스(EFDB)에 포함되어 있다. 광범위한 편집진들이 검토 작업을 하기 때문에 EFDB에 등재된 배출계수는 확실히 적절한 방법으로 검증되고, 그 확고함이 보장된다. EFDB의 배출계수는 국가적 유도된 활동도 자료나 지역적으로 유도된 활동도 자료에 비해 조정되는 횟수가 적은 경향이 있으므로, 검토 작업으로 보통 개발에 뒤떨어지지 않으며, 이로써 등재된 값들이 현재 널리 존재한다는 것을 확실히 한다.

7.1.2.4 활동도 자료의 선택

ODS 대체물에 대한 활동도 자료는 매년 어떤 국가에서 소비되는 각 각의 화학물질의 순 량(net amount)이다. 또는 ODS 대체물에 대한 활동도 자료는 어떤 용도나 하위용도, 또는 좀 더 상세한 설비/제품 유형에 포함된 각 각의 화학물질이 매년 국가에서 소비되는 순 량이다. Tier 2a 방법을 채택할 때, 이미 소비되었거나 또는 뱅크(bank)에 있는 화학물질의 양을 산정하기 위해, 현재 존재하는 특정 설비나 제품 유형의 단위 수에 대한 활동도 자료를 수집할 필요가 있다. 화학 물질의 뱅크(bank)가 일어날 가능성이 있는 경우, 과거의 연간 순 소비량 경향에 대한 정보가 필요하다. 화학물질이 도입된 해 이후 정보, 또는 용도/하위용도하의 제품이나 설비의 평균 수명(lifetime) 동안의 정보가 필요하다. 이를 통해, 배출계수가 반드시 적용되어야만 하는 경우, 축적된 뱅크(bank)의 계산이 가능해진다. (Tier 1a 또는 Tier 2b 방법)

앞서 주목했듯이, 회수된 유체의 재공정을 소비 산정에 포함하지 말아야 한다. 수입과 수출은 전체(bulk) 화학물질뿐만 아니라, 특히 Tier 2 방법에서는, 냉동장치, 냉방장치, 포장재, 절연기포(insulating foams), 방화 설비 등의 제품에 포함되어있는 화학물질의 양까지 포함한다. 그리고 이것은 지역적인 분배를 했는가, 하지 않았는가에 따라 달라진다. 특정 관세 제도가 유독 이 문제를 위해 세워져 있지 않은 이상, 보통 설비나 제품에 담긴 HFCs와 PFCs에 대한 자료를 획득하는 것은 무척 어렵다. 중요한 제품이나 설비의 교역이 이루어질 것으로 예상된다면, 이는 (그런 자료를 획득하는 것은) Tier 2 방법을 함께 이용해야만 가능할 것이며, Tier 1 방법으로는 불가능할 것이다. 그래서 세계적으로 또는 지역적으로 도출한 자료들이 특히 더 중요해진다. 적어도 그 자료들을 교차검토로라도 사용할 수 있기 때문이다.

그와 같은 세계적으로 또는 지역적으로 이끌어진 순 소비량(활동도) 자료는 지역/세계 데이터베이스에 담긴 자료세트로부터 얻을 수 있다. 이 같은 접근법 하에서 화학물질 판매 자료는 때때로 인구, GDP 또는 거주민 수 와 같은 지리-경제학적 요인에 근거한 좀 더 넓은 지역의 소비 자료로부터 설정될 수 있다. 이처럼 시장에 근거한 할당 방법을 사용할 때, 만약 지역적 처리가 지역내 교류로부터 빠진다면 수입되거나 수출되는 제품에 들어있는 HFCs와 PFCs를 설명할 필요는 없다. (즉, 어떤 지역 내 HFCs와 PFCs를 담은 제품의 수입과 수출은 대략적으로 균형이 맞는다.) 그 외부 지역으로의 교류(extra-regional trade)가 상당할 경우, 제품에 담긴 HFCs와 PFCs를 좀더 신중히 고려해야 할 것이다.

활동도자료는 배출계수보다 연간 변화가 생기기 좀더 쉬우므로, 인벤토리 작성자가 사용하는 세계적으로 또는 지역적으로 유도된 자료는 정기적으로 업데이트되어야 한다. 이 정보를 갖고 있는 믿을만한 세계적 데이터베이스는 개별 화학물질과 하위용도의 세계적 판매 자료를 가지고 정기적으로 교차 검토된다. 이를 통해 정기적으로 타당도를 입증한다. 그와 같은 데이터베이스에 접근할 때, 인벤토리 작성자가 얻은 자료가 그렇게 타당도가 입증된 것이라는 점 확실히 하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 박스 7.1에서 주목했듯이, IPCC EFDB에 포함된 ODS 대체물에 대한 세계적 지역적 데이터베이스는 일정 처리 과정을 일반적으로 고수한다. 하지만 국가에서 EFDB에서 얻어진 모든 자료가 국가의 환경에 적합한지를 확인하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다.

국가별 활동도자료를 수집할 때 특별히 고려할 문제

국가별 활동도 자료의 수집에는 각 화학물질에 대한 HFC/PFC 순 소비량 인벤토리가 필요하며, 소비에 비해 배출이 늦춰질 경우 뱅크(bank)된 화학물질의 인벤토리도 필요하다. 몇몇 인벤토리 작성자는 무역 잡지나 기술 보고서에서 출판한 국가 자료에 접근할 수 있을 수도 있다. 만약 그런 자료를 직접적으로 이용할 수 없다면, 기존의 단위(units)나 화학물의 인벤토리를 산정하는 특별한 연구를 통해 이를 산정할 수 있다. 또한 전문가 패널들이 그 같은 정보의 생성을 용이하게 해준다. 단, 인용되는 자료세트의 범위가 충분히 숙지되어야 하고, 어떤 차이가 존재하는 지 분명히 구분하도록 신중을 기해야 한다.

또한, 인벤토리 작성자는 다양한 유형의 설비/제품의 인벤토리를 업데이트하기 위해 해마다 한번씩 조사를 실시하기로 결정할 수도 있다. 이에 대한 대안으로는 해당 하위용도 각각의 생산 성장을 계산하거나 산정하는 것이다. 그 자료는 매년 도입되는 새로운 단위(units)나 오래되거나 제대로 작동하지 않아 폐기되는 단위를 반영해야 한다.

만약 기밀 유지 문제가 개입되지 않는다면, 국가적인 화학물질 사용에 대한 자료를 획득하는 것이 배출에 책임이 있는 설비의 양에 대한 자료를 획득하는 것보다 더 쉬울 수 있다. 화학물질 제조업자나 수입자로부터 연간 총 판매량에 대한 자료를 얻는 것이 언제나 *우수실행(Good Practice)*이다. 새로운 설비의 총량에 대한 가장 좋은 자료는 아마도 설비 생산자나 그 생산자들을 대표하는 협동조합(trade association)일 것이다. 폐기되는(retiring) 설비의 총량에 있어서는, 다음 정보를 얻거나 다음을 산정하는 것이 필수적이다: 제품/설비의 (i)수명(lifetime), (ii)(a) 제품/설비의 과거 판매량(historical sales)과 과거 평균 충전량(charge size) 또는 제제(foamulation), 또는 (b) 해당 기간 동안 그와 같은 판매량이나 충전량의 성장률. 그리고 그와 같은 정보는 해당 년도에 대해 알려져 있다.

소비되는 새로운 화학물질의 전부 또는 대부분을 수입하는 국가의 인벤토리 작성자는 상당량의 화학물질을 국가에서 생산하는 국가의 인벤토리 작성자에 비해 자료 활용도(data availability)와 관련된 다양한 문제에 직면할 가능성이 높다. 만약 대부분의 화학물질을 수입한다면, 벌크 단위이든, 설비나 제품의 단위이든, 배출량 계산을 위해 몇몇 유형의 수입 자료를 필요로 할 것이다. 이상적으로는, 세관 직원들이 화학 물품 수입 통계자료를 추적하여, 이용 가능한 상태로 지니고 있는 것이다. 기포제(foam)와 에어로졸과 같은 몇몇 제품의 경우 세관 직원들이 제품에 포함되어 있는 화학 물질의 유형을 추적하는 것이 불가능할 것이다. (예를 들어, 에어로졸에 포함된 것이 탄화수소인(Hydrocarbons)인가, HFCs가 인가) 또는 수입된 설비 안에 어떤 제품이 들어있는 가를 추적하는 것도 불가능할 것이다. (예를 들어, 냉동장치 안에 있는 폐쇄된 셀 기포제 (closed cell foam)) 그와 같은 경우에, 주요 배급업자(distributors)나 최종 사용자(end-users)의 도움을 얻어 자료를 수집하거나 산정할 필요가 있을 것이다.

본 절에서 이미 살펴보았듯이, 적절한 국가별의 활동도 자료와 뱅킹 정보(banking infoamation)를 국가 수준에서 일관성있는 근거에 기반하여 획득할 수 있는가는 기밀 유지나 downstream industry networks의 부재, HFCs와(또는) PFCs를 포함하는 제품의 교역에 대한 정보의 부재에 의해 제한 될 수 있다. 그와 같은 경우에는 조정(reconciliation)을 지역 수준이나 세계 수준에서 하는 것이 더 유리하다. 여기에서 주목할 점은 '국가특유의 자료'와 '지역적 또는 세계적으로 이끌어낸 자료', 이 둘의 사용은 둘 중 하나를 선택하는 문제(either/or 선택의 문제)가 아니라는 것이다. 많은 경우, 국가의 전반적인 인벤토리의 개발은 두 자료의 출처를 조합한 것에 의존할 것이다. (두 자료를 모두 조합하여 사용해야 할 것이다.) 어떤 경우이든, 하나를 증명하기 위해 다른 하나를 사용하는 것이 *우수실행(Good Practice)*으로 장려되고 있다.

물질수지 접근법을 사용할 때 특히 고려할 점 (Tier 1b 또는 Tier 2b)

물질수지 접근법(Tier 1b 또는 Tier 2b)은 배출의 근원(sources)보다는 화학물의 배치(deployment)에 좀 더 집중한다. 이와 같은 활동도 자료는 새로운 화학물의 연간 판매량과 새로운 설비의 총량(the total charge), 폐기되는(retiring) 설비의 총 량을 포함한다. 그런 자료를 국가 수준에서 사용할 수 없다면, 접근법 A(배출계수 접근법)에서와 마찬가지로 세계적으로 또는 지역적으로 도출된 자료를 사용할 수 있다. 물질수지 접근법은 일반적으로 냉동 장치나 냉방 장치, 화재 예방 용도에서 압축화된 설비를 위해 비축되기 때문에, 전반적인 세계 데이터베이스가 이미 존재한다는 사실을 미리 알아두는 것이 유용하다.

이와 같은 지침에 포함된 자료의 시간 의존성

ODS 대체물이 사용되는 제품과 설비는 시간이 흐름에 다라 상당히 변화하고, 또한 앞으로 계속 변화할 것으로 예측된다. 결국, 활동도 자료와 배출계수 기본값에 대한 정보가 본 지침에 포함되어 있는데, 이 경우, 전반적인 배출량을 결정하는 배출계수보다 활동도 자료가 좀 더 변하기 쉬운 요소라는 점을 주목해야 한다. 그러므로 여기 포함되어 있는 어떤 기본값 활동도 정보는 더 빨리 '노화'될 것이고, 시장의 성장에 맞추어 적절히 조정되지 않는다면 시간이 흐름에 따라 그 부정확도가 훨씬 더 커질 것이다. 박스 7.1에서 살펴보았던 ODS 배출량에 대한 세계적 그리고 지역적 데이터베이스는 일반적으로 이런 변화를 반영한 것들이다. ODS 변화가 미래에 존재하므로, 정적인(static) 활동도 자료를 채택하는 것은 배출량 예측에 매우 심각한 오류를 가져올 것이다.

7.1.2.5 완전성

완전성은 잘 문서화된 ODS 자체 사용 패턴의 결과로 입증되며, 용도와 하위용도 수준에서 평가된 활동도 자료가 전체 화학물질 판매에 대해서도 타당하다는 사실에 의해서도 입증된다. 특히 ODS 대체물로만 사용되는 HFCs와 PFCs의 경우가 그렇다. 그럼에도, 현재 사용 중인 모든 잠재적 HFCs와 PFCs를 구분할 수 있는 가는 여전히 중요하다. 표 7.1은 주요 HFCs와 PFCs를 개괄적으로 보여준다. 그렇지만, 이 표의 자료가 완전하지는 아니다. 특히, 혼합물의 구성성분은 빈번히 매우 복잡한 양상을 띠므로 그 구성성분에 대한 표의 자료가 완전하지 않을 수 있다.

이 배출원 카테고리 내에서 보통 다루어지지 않는 배출의 한 세트는 화학 물질 생산 자체에서 생기는 것들이다. 그러나 이런 배출을 산정하는 방법은 3장 3.10절에서 다루어진다.

당 해 년도 이전에 축적된 뱅크(bank)때문에, 그해 일어나는 배출이 소비(활동)을 초과할 수 있다. 그러므로 보고 시 배출의 완전성은 Tier 2 접근법에서 소비와 배출이 일어나는 총 기간 동안의 누적 배출과 누적 활동을 구분함으로써 확립될 수 있다.(즉, 누적 소비는 누적 배출에 누적 폐기(destruction)를 제외한 현재의 뱅크(bank)를 더한 것 과 같다.)

7.1.2.6 일관성있는 시계열 개발

과거에 기본적인 (Tier 1) 산정을 준비한 인벤토리 작성자는 미래에 Tier 2 산정을 준비하는 능력을 개발하도록 장려된다. 같은 시계열에서 실제 배출 산정량만을 포함하도록 분명히 하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 인벤토리 작성자가 접근법을 바꾼다면 과거의 배출을 우선시되는 실제 방법으로 재계산해야 한다. Tier 1과 Tier 2 접근법은 모두 실제 쓰는 방법이므로 다양한 용도나 하위용도에 이 접근법을 혼합하는 데 전혀 문제가 없다. 그러나 만약 잠재적 배출 방법이 사전에 사용되었다면, 시계열은 재계산 되어야 한다. 자료를 사용할 수 없다면, 그 두 가지 방법은 일관성을 확보하기 위하여 조정되어야 한다. 또한 재조정시에는 1장 5장에 제시되어 있는 재계산 지침을 따라야 한다. 재계산 시에는 완전히 문서화하여 투명성을 증명하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다.

배출계수는 보통 기존 시장에서 사용되는 다른 화학 물질(예를 들어, CFCs)에 대한 과거의 자료로부터 얻어진다. 이 계수는 새로운 획득(uptake)이 필요한 새로운 화학 물질(예를 들어, ODS 대체물)에도 적용될 필요가 있다. 기준년도 배포(base year deployment)에 대한 국가적 자료가 현재 사용 가능하다(또는 known uncertainty로 개산될 수 있다.)

7.1.3 불확도 평가

최종 단계에서 의미 있는 회수 작업이 이루어지지 않는다면, 오랜 기간에 걸쳐 (몇몇 용도의 경우엔 50년 넘는 기간 동안) ODS 대체물의 한 국가에서의 그리고 동일한 시간 틀에서의 축적 배출량은 축적 소비량과 일치하는 경향을 보일 것이다. 주어진 해 동안 ODS에 대한 불확도 량을 산정하는 것은 매우 난해한데, 이는 다양하고 수많은 배출원이 존재하고, 또한 배출 패턴이 다양하기 때문이다. Tier 1b와 Tier 2b 방법에서 전반적인 불확도는 용도나 하위용도 수준에서 얻은 화학적 판매와 수입 자료의 질과 완성도에 직결될 것이다. 이 요인들은 Tier 1a 방법에서도 동일하게 중요하지만, Tier 1a 방법에는 합성 배출계수의 사용과 특정 알고리즘을 완성하는데 필요한 다른 가정에 기인한 추가적인

불확도의 원인이 있다. Tier 2a 방법에서 불확도는 자료 조사의 확실도와 배출을 특징짓기 위해 하위 용도 수준에서 개발한 배출계수의 적절성을 반영할 것이다. 불확도에 대한 이 이상의 조언은 이어지는 여섯 개의 용도 분야의 개별 부분에서 제공된다.

7.1.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 모든 ODS 대체물 용도에 대한 보고 및 문서화

7.1.4.1 모든 ODS 대체물 용도에 대한 품질보증/품질관리(QA/QC)

1권 6장에서 개괄한 품질 관리 검사를 실시하고 배출 산정에 대한 전문가 검토를 하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 1권에 제시된 추가적인 품질 관리 검사와 질보증 방법도 아마 적용 가능할 것이며, 특히, 상위 tier 방법이 용도나 하위용도로부터의 배출을 결정하기 위해 사용되는 경우에 그렇다. 인벤토리 작성자는 1권 4장에 구분된 주 카테고리에 대해 상위 tier QA/QC를 사용하도록 장려된다. 1권의 지침에 더해, 이 배출원 카테고리에 적합한 세부 절차가 아래 개괄되어 있다.

활동도 자료를 다루기 위한 그와 같은 대비에도 불구하고, 당해의 실제 배출 자료는, 산정 방법을 얼마나 정교화 하느냐에 상관없이, 결코 정확히 알려지지 않을 것이다. 그러므로 동일 시간 내의 뱅킹(banking) 판단과 함께 HFC/PFC의 실제 순 소비량에 대해 통합된 배출량 값(integrated emission figures)의 교차 검사가 정기적으로 이루어져야 하고, 입력 계수는 기간 동안 합의를 이루도록 조정되어야 한다.

다양한 접근법을 사용하는 배출 산정의 비교

인벤토리 작성자는, 적절하다면, 용도 수준 (Tier 2a)에서 설비/재품에 근거한 배출량과 , 적절하다면, 물질수지 Tier 1b 또는 Tier 2b를 비교해야 한다. 그 이유는 제품 수준의 배출계수가 본래 지니고 있는 불확도가 있기 때문이다. 이 방법은 또한 설비/제품에 근거한 접근법에서 어떤 최종 사용이 설명되지 않는다는 가능성을 최소화할 것이다.

참조 시나리오(reference scenario)로 잠재적 배출량 산정

인벤토리 작성자는 또한 Tier 1이나 Tier 2의 실제 산정에 대한 검토 작업으로 잠재적 배출 참고 시나리오를 사용하기로 선택할 수도 있다. 인벤토리 작성자는 아마도 잠재적 배출 산정량과 실제 산정량을 조정할 수 있는 계산 모델(accounting models) 개발을 고려할 것이고, 국가별 배출계수의 결정을 개선할 것이다. 대기 농도 결정으로부터 실제 배출을 산정하는 것과 함께 채택될 때, 이 시나리오는 배출이 지연되면서 축적(bank)된 온실가스의 성장을 감시하는 데에도 도움이 된다. 그럼으로써 미래에 직면할 것 같은 환경 문제를 놓치지 않고 따라갈 수도 있다. 이 물질수지 확증의 궁극적인 방법은 특히 HFCs와 PFCs에 있어 강력하며, 그 이유는 HFCs와 PFCs의 독특한 특징과 자연적 자원의 부족 때문이다.

특정 화학 물질의 잠재적 배출(potential emissions)은 '국가에서 매년 소비되는 순수 화학 물질의 양'에서 '해당 연도의 파기나 수출을 위해 회수된 화학물질의 양'을 뺀 것과 같다. (본 권의 첨부 2를 참고) 소비되는 모든 화학물질은 영원히 캡슐에 보관되지 않는 이상, 결국엔 대기로 배출될 것이다[7]. 그리고 HFCs와(또는) PFCs의 사용을 궁극적으로 중지하고 포집이나 파기가 실행되지 않

[7] 불화탄소의 파기는 비용이 많이 들 수 있으나 몬트리올 의정서 당사국에서 추천하는 몇몇 파기 과정이 있

는 용도에서, 오랜 기간 동안 (몇 몇 용도에서는 50년 이상) 누적 잠재 배출량은 누적 실제 배출량과 동일할 것이다.

현재 냉동과 기포제와 같은 사용의 주요 분야에서, 축적(accumlation)이 지배적인 과정으로 여겨지기 때문에, 잠재적인 배출 계산은 배출을 과다 산정할 것이며, 공식적인 연간 보고 방법으로는 적절하지 않다.

HFC/PFC를 담고 있는 설비와 제품의 퇴각이 시작되기 까지 충분한 시간이 경과할 때 오류를 최소화 할 수 있다. 그렇지만 그 때에도 추후의 배출량은 선택된 최종 사용 전략에 좌우될 것이다. 그러나 배출이 소비에 비해 뒤처지고, 소비가 계속 증가되는 한, 과다 산정은 계속될 것이다. 배출이 지연되지 않거나 오랜 기간 동안의 소비 증가 비율이 0이라면, 오류는 0이다.

국가적 활동도 자료 검토

Tier 2 방법에서, 인벤토리 작성자는, 국가별이든 지역적 또는 세계적으로 도출되었든 간에, 설비와 제품의 인벤토리 산정과 연관지어 QA/QC 절차를 평가해야 하는데, 이것은 QA/QC 계획에 개괄된 일반적인 절차를 충족시킨다는 것과 대표적인 표본(샘플링) 절차를 사용했다는 것을 확실히 하기 위함이다. 이는 특히 ODS 대체물 설비/제품 유형에 있어 중요한데, 설비나 제품의 개수가 많기 때문이다.

Tier 1b (물질수지) 방법에 있어서, 인벤토리 작성자는 화학 배치(chemical deployment) 정보를 생산해 내는 데 책임 있는 단체가 행한 QA/QC 절차를 평가하고 참조해야한다. 판매 자료는 가스 제조자나 수입자, 배포업자, 협동조합으로부터 얻어질 수 있다. 만약 2차적 자료와 관계있는 QC가 부적절하다면, 인벤토리 작성자는 2차적 자료에 관한 자체의 QC 검사를 확립하고, 그 자료에서 도출된 배출 자료의 불확실성을 재산정하고, 어떻게 자료가 사용되는지 다시 고찰해 보아야 한다.

배출계수 검토

Tier 2a 방법을 위해 사용되는 배출계수는, 이상적으로는, 국가별 연구에 근거해야 한다. 그와 같은 접근법이 사용되는 경우에, 인벤토리 작성자는 이런 계수와 기본값 그리고 EFDB나 그 외 Tier 2a 방법을 지원하는 것에 포함되어 있는 어떤 값을 비교해야 한다. 인벤토리 작성자는 또한 해당 하위용도를 둘러싸고 있는 국가적인 환경과 그 기본값 내에서 가정하고 있는 환경 사이의 유사점이나 차이점으로, 국가별 값이 타당한지 결정해야 한다. 국가 고유 계수와 계수 기본값 사이의 차이는 설명되어야 하고 문서화 되어야 한다.

7.1.4.2 모든 ODS 대체물 용도에 대한 보고 및 문서화

1권 6.11 절에서 개괄했던 국가의 배출 인벤토리 산정치를 생산하는데 필요한 모든 자료를 문서화하고 수집하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다.

위에서 논의되었듯이, 인벤토리 작성자는 가능한 많은 하위용도에 대한 실제 배출 산정을 준비하고 보고해야 한다. 이 과정은 지역적 데이터베이스와 세계적 데이터베이스(박스 7.1 참조)에서 국가적으

다: 액체 주입 소각; 반응조 크래킹; 가스상/증기 산화; 로타리 킬른 소각장; 시멘트 킬른; 플라즈마 폐기(plasma destruction); 도시고형 소각장(기포제에서만)

로나 지역적으로 도출된 활동도 자료의 사용가능성에 의해 보조될 수 있으며, EFDB에 포함되어 있는 몇몇 하위용도에 대한 배출계수의 도움을 얻을 수도 있다. 그와 같이 하위용도 수준에서 실제 배출 산정을 준비할 수 없는 설비/제품 유형에 있어서(즉, Tier 2 산정), 이와 같은 추가적인 도움을 얻는다 하더라도, 인벤토리 작성자는 용도 수준에서는 Tier 1방법을 사용하여 실제 산정치를 준비하고 보고해야 한다.

자료의 기밀유지와 투명성유지, 이 둘 간의 조화는 신중히 다루어져야 한다. 신중하게 자료를 모음으로써 몇몇 문제를 해결할 수 있지만, 또 다른 방법(예를 들어, 제 3자 검토; third party audit)에 의해 결과를 확증해야할 것이다. 타당한 정보(propriety infoamation)의 기밀유지를 위해 자료를 모으는 상황에서, 자료를 모은 방법과 접근법을 진술하기 위해 질적인 설명을 제시해야 할 것이다.

7.2 용매(Solvents) (비에어로졸)

7.2.1 이 용도분야에서 다루는 화학물질

HFCs는 현재 단계적 제거 이전에 사용되었던 CFC-113에 비해 훨씬 낮은 범위에서 용매(solvent) 용도로 사용되고 있다. 그리고 PFCs는 여전히 매우 드물게 사용되고 있다. HFC/PFC 용매는 다음과 같은 네 가지 주요 분야에서 사용된다.

(ⅰ) 정밀 세척(Precision Cleaning)

(ⅱ) 전자 세척(Electronics Cleaning)

(ⅲ) 금속 세척(Metal Cleaning)

(ⅳ) 침전 용도(Deposition applications)

HFCs는 전형적으로 공비 혼합물(azeotrope)나 용매 세척을 위한 다른 혼합물의 형태로 사용된다. 가장 흔히 사용되는 HFC 용매는 HFC-43-10mee이다. 그리고 HFC-365mfc와 HFC-245fa(에어로졸 용매[8]로), 헵타불화시클로펜탄(heptafluorocyclopentane)도 몇몇 경우 이용된다(US. EPA, 2004b). 이로써 효과적인 세척과 제조공정에 있는 제품(work-piece)의 구성 물질과의 양립성의 조화를 이루게 된다. 순수 물질은 CFC-113의 세척 능력을 지니지 못하는데, 어떤 클로르 원자도 분자상태로 존재하지 않기 때문이다.

일반적으로 과불화탄소는 세척에서 거의 사용되지 않는데, 그 이유는 그것들이 본질적으로 비활성이며 지구온난화지수가 높고 기름을 용해하는 능력이 거의 없기 때문이다. (단, 디스크 드라이브 제작에서 윤화제로 쓰이는 물질의 침전물에 쓰이는 불소 오일(fluoro-oils)과 불소 가스(fluoro-gases) 제외) 따라서, PFCs는 용매 부분에서 2-프로판올 세척 시스템(2-propanol cleaning systems)을 위한 블랭킷 유체(blanketing fluids)로 거의 쓰이지 않는다(영국 항공우주 군대 부문 당; per British Aerospace military section) 또는 이제는 사라진 고도 증기 유지 제거(Advanced Vapour Degreasing; AVD) 불균질 공동 용매 시스템(heterogeneous co-solvent system)에서도 거의 쓰이지 않는다. 그와 같은 PFCs는 블랭킷 유체로 좀 더 비용 상 주요 유체의 손실을 막기 위해 이중 유체 증기상 납땜 시스템(dual-fluid vapour phase soldering systems)에서 사용될 수 있다. PFCs는 단일 유체 증기상 납땜 시스템(single-fluid vapour phase soldering system)에서 유일한 작용 유체로 사용될 수 있다. 부품 제조 부문에서 PFCs는 밀폐된 구성요소의 밀폐성을 테스트하는데 사용될 수 있다. 전자 산업에서 PFCs의 사용에 대한 더 많은 정보는 본 권의 6장에 있다.

일반적으로, 주요 PFC 제조자는 모든 이전의 PFC 사용자들을 세척 용도에서 HFC나 수소불화에테르(hydrofluoroether; HFE) 사용으로 전환시켰다.

[8] 에어로졸 용매의 배출은 에어로졸로 포함되어 있다. (7.3절 참조)

7.2.2 방법론적 이슈

7.2.2.1 방법의 선택

역사적으로, 용매 용도에서의 배출은 일반적으로 즉각적인 배출로 여겨져 왔는데, 100퍼센트의 화학물질이 대체로 초기 사용 후 2년 내에 배출되기 때문이다. (IPCC, 2000) 그와 같은 경우의 배출을 산정하기 위해서는, 매년 용매 생산에서 판매된 각각의 HFC나 PFC 화학물질의 총량을 알아야 한다. t 년도에 용매 사용에서 HFCs와 PFCs의 배출량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

식 7.5
용매 사용 배출 계산 방법

$$Emissions_t = S_t \cdot EF + S_{t-1} \cdot (1-EF) - D_{t-1}$$

여기에서

$Emissions_t$ = t년도에 배출된 양, 톤
S_t = t년도에 판매된 용매의 양, 톤
S_{t-1}= t-1년도에 판매된 용매의 양, 톤
EF = 용매 계수 (초기 사용 년도에 용매로부터 배출된 화학물의 비율), 비율
D_{t-1} = t-1 년도에 파괴된 용매의 양

7.1표는 용매 용도로 사용된 이미 알려진 HFCs와 PFCs를 보여준다. 하지만, 전에 밝히지 않았던 (unidentify) 용도가 나타날 경우를 대비하여 국가별 상황을 조사하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 조사의 범위는 인벤토리 작성자가 ODS가 사전에 사용되었던 용도만 검색한다는 사실로 도움을 받는다.

식 7.5에 설정된 접근법은 Tier 1a나 Tier 2a 방법에 적용될 수 있다. 접근법 A (배출-계수 접근법)에서도 동일하다는 것에 근거하여 접근법에 Tier 1이나 Tier 2중 어떤 것이 적합하냐는 보고하는 국가에 용매 사용 하에 구분할 만한 하위용도가 있느냐에 달려있다. (예를 들어, 네 개의 주요 부문(areas)이 위에 구분되어져 있다.) 좀 더 통제된 용매 환경으로 나아가는 경향이므로, Tier 2 접근법에 대한 수요가 증가하고 있다. 몇몇 경우에 통제 정도가 매우 높은 하위용도가 있을 수 있고, (예를 들어 정밀 전자 산업에서) 그리고 그런 상황에서는 특정 배출계수의 특징이 충분히 밝혀진다. 이 경우는 계수 기본값에 근거하는 좀 더 일반적인 용매 용도와 다르게 처리될 것이다. 식 7.5는 t년도에 사용한 배출계수에 관계없이 2년 내 용매의 총 배출을 추정한다는 점에 집중해야 한다. 게다가, 회수나 재활용을 전혀 고려하지 않았는데, 회수와 재활용은 어떤 상황에서 요인(factor)이 될 수도 있다. 그러나 일반적으로는, 회수나 재활용이 순수 물질(virgin materials)의 축소된 판매량에 반영된다고 가정했을 것이다. 회수되고 이어 파기되는 용매는 고려되지만 이에 관계된 화학물질의 비용을 유념하고 실시하는 것 같지는 않다.

7.2.2.2 배출계수의 선택

배출계수 EF는 t년도에 배출된 화학물질의 비율을 나타낸다. 제품의 수명(lifetime)을 2년 정도로 가정한다. 그러므로 첫해에 배출되지 않은 양은, 정의에 의해, 마지막 년도인 2년째에 배출될 것으로 가정한다. 실제 배출을 산정하는 의사 결정도는 표 7.2, 용매 용도로부터의 실제 배출에 대한 의사 결정도에 포함되어 있다. 자료 수집 방법은 7.2.2.3절에 설명되어 있다.

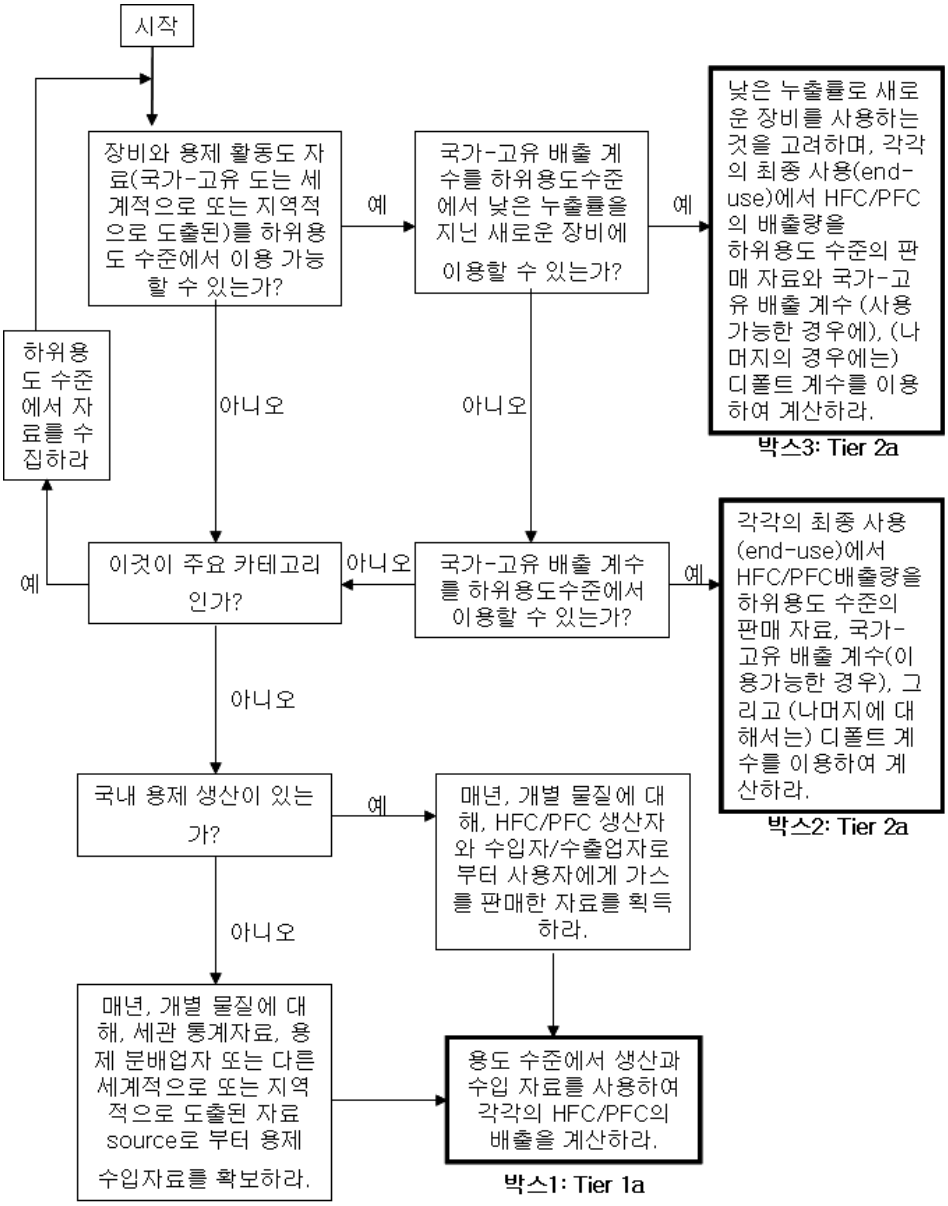
국가별 자료가 없는 상황에서는 용매 용도에 대한 초기 량(charge)/년의 50퍼센트에 대한 배출계수 기본값을 사용하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다.[9] 낮은 배출 디자인 특징을 통합한 새로운 설비를 갖춘 어떤 용도에서는 훨씬 더 낮은 손실 비율이 얻어질 수 있고, 배출은 2년 이상의 기간 동안 일어날 것이다. 그런 상황에서 대안 배출계수를 개발할 수 있는데, 그와 같은 설비의 사용에 대한 자료와 대안 배출계수에 대한 경험적 증거를 이용하여 개발할 수 있다.[10] 그 같은 국가별 배출계수는 완전히 문서화 되어야 한다. (Tier 2a) 어떤 지역이나 국가 내에서 '수동 회차식 세척 시스템(hand operated batch cleaning systems)'과 '자동 컨베이어 시스템(automated conveyorised systems)'의 결합은 매우 다른 배출을 가져올 수 있다. 적절한 작동 실행에 대한 집중과 작업 지역(work area)의 증가, 근로자들을 적절히 훈련시키는 것으로 용매 배출량을 상당히 낮출 수 있다. 그런 그룹 내에서 (회차식 또는 컨베이어식) 설비 노후, 낮은 배출 디자인 정교화, 제조품 디자인, 제조품 투입량, 유지보수의 성실도 등의 범위가 넓다. 이 같은 요인 모두가 특정 설비나 지역의 배출량에 영향을 줄 것이다.

개장된 설비의 적절한 산정치를 확보할 수 있다면, 용매의 회수와 재활용을 위한 수정 작업을 적용할 수 있다. HFC와 PFC 용매가 고비용의 이유로 사용 도중 여러 번 회수되고 재활용될 수 있지만, 대부분의 배출적 최종 사용(하위용도)에서 이 같은 화학 물질 사용하도록 배치된 상태에서 밀폐된 냉동 설비에서 보다도 훨씬 더 빠르게 배출 될 것이다.

[9] *국가 온실가스 인벤토리에 대한 우수실행지침 및 불확도 관리*(IPCC, 2000)

[10] 지침처럼, 새로운 설비에 대한 판매에서, 거의 10-20 퍼센트가 설비를 채우기 위해 사용된 나머지 용매와 함께 배출 된다 이어지는 수년간의 판매는 보충(replenishment)를 위한 것이고 궁극적으로 100퍼센트 배출되는 것으로 간주할 수 있다.

그림 7.2 용매 용도로부터의 실제 배출에 대한 의사 결정도



주:
1. *주 카테고리*에 대한 논의와 의사 결정도의 사용은 1권 4장, 방법론의 선택과 주 카테고리의 확인을 참조하라. (한정된 자료에 대한 4.1.2절에 주목할 것)

7.2.2.3 활동도 자료의 선택

식 7.5는 각각의 화학물질에 개별적으로 적용되어야 한다. 그리고 사용가능한 자료의 세분화에 따라, 하위용도(Tier 2a)에 의한 각각의 화학물질의 순 소비량을 평가하는 것이 적절할 수도 있다. 가능하다면, Tier 1a나 2a 방법에 도움이 되도록 활동도 자료를 용매 공급자나 사용자로부터 직접적으로 수집해야 한다. 그러나 직접적 수집이 불가능한 경우에는, 이용 가능한 곳에서는 세계적으로 또는 지역적으로 용도수준 또는 하위용도수준에서 도출된 활동된 자료를 이용할 수 있다.

이와 같은 최종-사용(end-use)에 대한 활동도 자료는 특정 년도에 용매로 판매된 각각의 대상 화학물질의 양과 동일하다. 따라서 국내 생산된 화학물질의 양과 수입된 화학물질의 양은 모두 공급자로부터 수집되어야 한다. 국가적 용매 산업의 특징에 따라 사용자와 함께 교차 검토 할 수 있다. (실행 가능하다면) 대부분의 국가에서 최종 사용자(end-users)는 대단히 다양하고, 공급에 기반을 둔 방법은 가장 실용적일 것이다. 그럼에도 불구하고 두 접근법의 결합은 종종 가장 효과적이기도 하다.

공급자 자료

공급자 활동도 자료는 매년 판매되거나 어떤 나라로 수입된 화학 용매의 양을 일컫는다. 국내에서 생산된 용매의 판매량은 화학 제조자로부터 직접적으로 사용가능해야 한다. 용매는 오직 몇몇 나라에서만 생산되기 때문에, 대부분의 국가는 소비의 일부 또는 전부를 수입할 것이다. 수입된 용매에 대한 자료는 수출하는 제조자로부터 수집될 수 있다. 하지만, 개별 국가에 대한 수출 자료는 기밀사항으로 간주될 수도 있다. 대안으로, 세관청(customs agency)으로부터 입수한 수입 통계나 수입된 용매의 분배 자료가 사용될 수 있다. 용매 수입 자료는 일반적으로 에어로졸 수입자료 보다 쉽게 얻을 수 있는데, 작은 용기보다는 대량으로 수입되기 때문이다.

사용자 자료

사용자 활동도 자료는 용매를 담고 있는 설비나 용기(canisters)의 수와 그것의 충전량(chagre)으로 구성된다. 상향식 접근법은 대규모의 회사들이 대부분의 판매된 용매를 소비할 때 적절한데, 이는 몇몇 큰 독립체(entities)로부터 상세한 최종-사용(end-use) 자료를 입수할 수 있어야 하기 때문이다. 상향식 접근법은 또한 설비-특유의 배출계수를 이용할 수 있을 때 가장 적절하다.

7.2.2.4 완전성

완전성은 활동도 자료의 사용여부에 달려있다. 국내에서 용매를 생산하지 않는 국가의 인벤토리 작성자는 아마도 활동도 자료를 산정하는데 전문가의 판단을 필요로 할 것이다. 이는 수입 통계치가 불완전할 가능성이 있기 때문이다. (1권, 2장과 3장을 참조)

전자 산업에서 HFC와 PFC의 사용을 다룬 제 3권 6장에 이중 산정이 일어날 가능성이 있다. 사전의 ODS 소비 패턴을 구분하는데 신중을 기한다면, 이중 산정은 일어나지 않을 것이다. 이중 산정이 일어나지 않도록 인벤토리 작성자에 의한 제출물의 양쪽 부분을 교차 검토하는 것이 언제나 좋은 실행 방안이다.

이중 계산에 있어서, 용매로 활동하는 HFCs와 PFCs가 에어로졸 내 어디에 담겨있는지를 신중히 고려해야 한다. 이런 것들을 설명하기 위한 분명한 정책이 확립되어야 한다. 에어로졸 소비에서 용매와 추진제의 구분을 짓는데서 야기되는 문제를 막기 위해 사용(uses)을 설명하는 것이 보통 *우수실행(Good Practice)*이며, 특히 하나의 화학물질이 두 개의 역할을 할 때 그렇다. 이 문제는 추후 7.3 절에서 다루어진다.

7.2.2.1절에서 주목하였듯이, 표 7.1에 등재되어 있는 HFCs나 PFCs 외에 어떤 HFCs나 PFCs도 용매 용도로 사용되고 있지 않다는 것을 확실히 하기 위해 조사를 실시하는 것이 *우수실행(Good Practice)* 이다. 생산자, 수입자, 그리고 분배자는 그 상황을 확실히 할 수 있어야 한다.

7.2.2.5 일관성 있는 시계열 개발

용매 부분에서의 배출은 매년 시계열에서 동일한 방법과 자료 source를 사용하여 계산되어야 한다. 일관성 있는 자료를 시계열의 어느 년도에 사용할 수 없다면, 1권 5장에 제시되어 있는 지침을 따라 차이를 재계산해야 한다.

7.2.3 불확도 평가

모든 용매가 거의 2년 내에 배출된다는 가정(t년도에서 50퍼센트, 그리고 t+1년도에서 50퍼센트)은 전문가들에 의해 타당한 기본 가정으로 널리 받아들여지고 있다(*IPCC 국가 온실가스 인벤토리에 대한 우수실행지침 및 불확도 관리*, 2000) 그렇지만 이 가정에 의해 야기되는 오류의 크기는 그 보고 대상 국가의 용매 사용 패턴 성격에 달려있을 것이다. 일반적으로 기본값 가정은 주어진 해의 배출을 과다 산정하는, 이는 제품의 누출 견고성(leak tigntness)이 상승하기 때문이다. 그렇지만, 파기가 이루어지지 않는 한 누적되지는 않는다. 반대로, 회수되거나 재활용된 용매의 파기가 증가하면 궁극적으로 100퍼센트 배출에 대한 가정이 영향을 받을 수 있을 것이다. 화학 제조자가 수가 적고, 용매의 가격이 높고, 대부분의 용도에서 100퍼센트 배출하는 성격을 지녔기 때문에, 활동도 자료는 용도 수준에서 신뢰성 있어야 한다. 하지만 하위용도수준에서의 불확도는 주로 사용자가 제공하는 자료의 질과 설문 조사 시 완전성의 수준에 따라 정해질 것이다

7.2.4 품질보증/품질관리 (QA/QC), 보고 및 문서화

7.2.4.1 품질보증/품질관리

1권 6장에 개괄된 대로 품질 관리 검사를 하고 배출 산정치에 대한 전문가 검토를 하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 1권 6장에 개괄된 추가적인 품질 관리 검사와 품질 보증 절차도 또한 적용 가능할 것이며, 특히 이런 용도로부터의 배출을 산정하기 위해 상위 tier 방법을 사용한다면 그럴 것이다. 인벤토리 작성자는 1권 4장에서 구분한 주 카테고리에 대해 상위 tier QA/QC를 사용하도록 장려된다.

1권의 지침과 더불어, 이 용도에 적합한 특정 절차는 아래와 같다.

- 정확한 품질 관리/보증을 위해서 하향식 자료와 최종 사용(end-use) 자료가 모두 수집되어야 한다. 보고할 자료의 질의 수준을 독립적인 평가하려면, 제조업제와 배포자에 인터뷰한 최종 사용자를 다한 값을 표시해야 한다.
- 배출계수와 다양한 용매 용도 특유의 활동도 자료를 적용할 때 활동도 자료는 같은 수준의 상세함으로 획득되어야 한다.

7.2.4.2 보고 및 문서화

인벤토리 작성자는 사용한 배출계수와 어떤 국가별 요인에 대한 경험적 근거를 보고해야 한다. 활동도 자료에 있어서는, 제조자의 한정된 수와 위치에 대한 기밀 문제가 있는 게 아니라면, 화학적 판매와 수입을 보고해야 한다. (현재, 예를 들어, 각 구성성분에 유일한 생산자만 있을 수도 있다.) 용매로

사용되는 특정 화학물질의 제조업자가 3개 미만인 경우에는, 보고서 작성이 에어로졸 부문으로 합쳐질 수 있다. 둘 다 100퍼센트 배출하는 용도로 간주되기 때문이다. (아래 7.2.4.2절을 참조) 이 경우, 기밀을 유지하기 위해, 개별 가스의 배출은 명시되지 말아야 하며, 배출은 CO_2-등가 톤(equivalent tonnes)으로 보고되어야 한다.

7.3 에어로졸 (추진제와 용매)

7.3.1 이 용도 분야에서 다루어지는 화학물질

대부분의 에어로졸 패키지(packages)는 탄화수소(HC)를 추진제로 포함하지만, 소량의 에어로졸에서, HFCs와 PFCs가 추진제나 용매로 사용될 수도 있다. 에어로졸으로부터의 배출은 대체로 생산 직후에 일어나며, 보통 판매 후 6개월간 일어난다. 그러나 제조와 판매 사이의 시간은 포함된 하위용도에 따라 꽤 많이 달라질 수 있다. 에어로졸의 사용 중에, 화학물의 100퍼센트가 배출된다(Galmen et al., 1986; U.S.EPA, 1992b). 주요 5개의 하위용도는 다음과 같다.

(ⅰ) 계량 흡입기(Metered Dose Inhalers (MDIs));

(ⅱ) 개인용 케어 제품(Personal Care Products) (예를 들어, 헤어 케어, 디오도란트, 면도 크림);

(ⅲ) 가정용품 (예를 들어, 공기 청정기, 오븐 및 섬유 세제);

(ⅳ) 개인용품 (예를 들어, 전기용품, 윤활제, 파이프 냉동고 등에 대한 특수 세제 스프레이;

(ⅴ) 그 외 일반 제품 (예를 들어, silly string, tyre inflators, klaxons).

표 7.1에서 보여주듯이, 현재 추진재로 사용되는 HFCs는 HFC-134a와 HFC-227ea, HFC-152a이다. HFC-245fa와 HFC-365mfc, HFC-43-10mee, PFC, 과불화헥산 물질은 산업 에어로졸 제품에서 용매로 사용된다. 이 중에 HFC-43-10mee는 가장 널리 사용된다.[11] HFC-365mfc는 또한 가까운 미래에 사용될 것으로 기대된다.

7.3.2 방법론적 이슈

7.3.2.1 방법의 선택

에어로졸 배출은 즉각적 배출로 간주되는데, 이는 초기 충전량의 전부가 제조 후 1년이나 2년 내에 발산되기 때문이다. 대부분의 하위용도의 경우 대체로 판매 후 6개월 내에 발산된다. 그러므로 배출량을 산정하기 위해서는, 판매 전 제품 용기에 처음으로 충전된 에어로졸의 총 량을 알아야 한다. 각각의 개별 에어로졸의 t년도에 배출량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

식 7.6
에어로졸 사용에 대한 배출량 산정 방법

$$Emissions_t = S_t \cdot EF + S_{t-1} \cdot (1-EF)$$

여기에서

$Emissions_t$ = t년도의 배출량, 톤

S_t = t년도에 판매된 에어로졸 제품에 포함된 HFC와 PFC의 양, 톤

S_{t-1} = t-1년도에 판매된 에어로졸 제품에 포함된 HFC와 PFC의 양, 톤

EF = 배출계수 (=첫 해에 배출된 화학물질의 비율), 비율

이 식은 각각의 화학물질에 개별적으로 적용되어야한다. 가능한 경우라면 언제든 활동도자료를 에

[11] HFC-43-10mee는 오로지 용매로 사용되지만, 에어로졸 양철통(canister)으로 배달될 때 에어로졸로 간주한다.

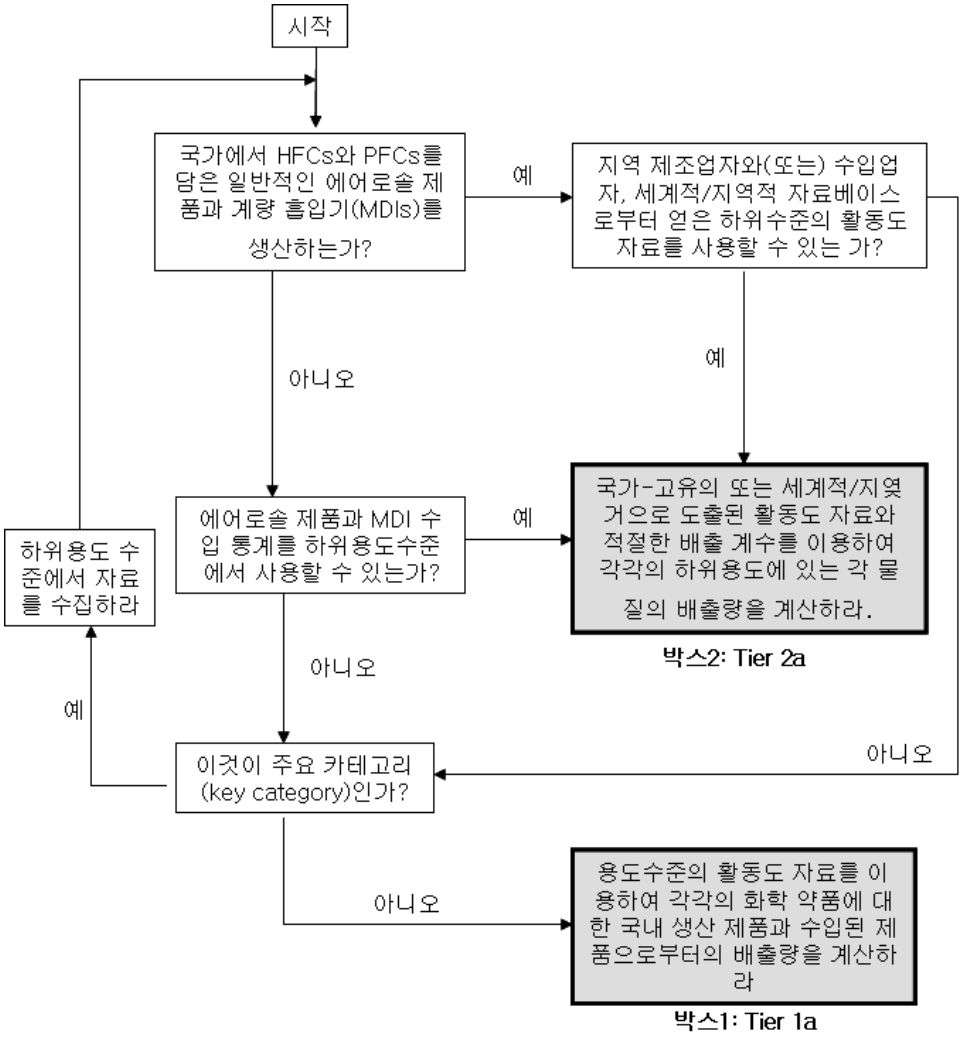
어로졸의 제조업자나 배포업자로부터 직접적으로 수집해야 한다. 이상적으로는, 하위용도에서 Tier 2a 접근법을 용이하게 하기 위해 그렇게 되어야 한다. 세계적으로 또는 지역적으로 도출된 활동도 자료는 국가별 자료가 존재하지 않는 상황에서 하위용도 분석을 제공하는데 사용될 수 있다. 만약 하위용도 수준 자료를 어떤 source에서든 사용할 수 없다면, 용도수준의 활동도 자료는 식 7.6을 사용하여 얻어질 수 있고 적용될 수 있다(Tier 1a).

제품의 수명이 2년 이하로 가정되기 때문에, 처음 1년동안 배출되지 않은 양은 정의대로라면 두 번 째 해, 즉 마지막 해에 배출되어야 한다. 실제로, 대부분의 배출이 제품 구입 후 첫 해에 일어난다. 하지만 식 7.6은 제조 시기와 구입과 사용 시기의 지체되는 시간을 적절히 설명한다. 그러나 식 7.6을 적용할 때 판매 시점(Point of Sale)을 정의하는 데 신중을 기해야 한다. 판매시점은 배출 산정을 목적으로 하는 것으로 제품이 제조업자로부터 공급 연쇄로 들어가는 그 시기를 의미한다. 즉, 소매업자나 최종 사용자에게 공급되는 시기를 의미하는 것이 아니다. 판매 자료는 보통 제조업자나 주요 배포자로부터 얻어지기 때문에, 이 접근법이 가장 적절하다고 볼 수 있다.

용매의 경우와 달리, 회수나 재활용, 파기를 설명할 필요가 없는데, 이는 재고에 있는 제품이 낡을 경우(out-of-date)에만 이런 일이 일어나기 때문이다. 정상적으로 공급 연쇄(supply-chain)되는 상황에서는 이런 일은 매우 드물다.

실제 배출량을 산정하는 의사 결정도가 표 7.3, 에어로졸 용도로부터의 실제 배출량에 대한 의사 결정도에 제시되어 있다.

그림 7.3 에어로졸 용도로부터의 실제 배출에 대한 의사 결정도



주:
1. 주 카테고리에 대한 논의와 의사 결정도의 사용은 1권 4장, 방법론의 선택과 주 카테고리의 확인을 참조하라(한정된 자료에 대한 4.1.2절에 주목할 것).

7.3.2.2 배출계수의 선택

용도 수준에서 평가될 때에는, 광범위한 에어로졸 제품에 대해 연간 초기 충전량의 50퍼센트의 배출계수 기본값을 사용하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. (Tier 1a) 이는 1년간 화학물질 충전량의 절반이 발산되고, 나머지는 다음 해에 발산된다는 것을 의미한다(Gamlen et al, 1986). 인벤토리 작성자는 용도 수준 (Tier 1a)이나 하위용도 수준 (Tier 2a)에서 대부분의 에어로졸 제품에 대한 경험적인 증거를 사용할 수 있을 때에만 대안 배출계수를 사용해야 한다. 어떤 경우에도 배출 퍼센트 계수의 합이 충전량이 배출될 것으로 가정된 그 기간에 걸쳐 대체로 100퍼센트에 이르러야 한다. 국가별 배출계수의 개발은 완전히 문서화 되어야 한다. 일반적인 에어로졸과 MDI 제조업자는 아마도 과정 손실(process losses)에 대한 자료를 제공할 수 있을 것이다.

일반적인 관찰에서 에어로졸의 일관적 배출성(consistently emissive nature)은 한편 국가별 배출계수와 배출계수 기본값을 구별하고, 또 다른 한편으로는 다른 용도의 경우 보다는 전반적인 배출에 덜 영향을 미치는 다양한 하위용도 내에서 배출계수간의 차이점을 만들어낸다. 그러므로 더 세분화된 (Tier 1a 접근법에도 도움이 되는) Tier 2a 접근법을 따르는 이점은 에어로졸의 경우에서는 덜 분명하다. 그러나 계속 하위용도를 분리시켜 보고하는 데에는 아마 다른 이유가 있을 것이고, 많은 국가에서 정책적인 이유로 MIDs로부터의 배출을 다른 일반적인 에어로졸과 분리시켜 감시하고자 할 것이다.

7.3.2.3 활동도 자료의 선택

Tier 1a 방법에서 요구되어지는 활동도 자료는 어느 국가에서 소비된 모든 에어로졸 제품에 들어가는 각 화학물질의 총량이다(국내 판매와 수입 모두). 100퍼센트의 에어로졸 제품을 수입하는 나라에서 활동도 자료는 수입과 동일하다.

이 용도에 대한 활동도 자료는 하위용도 수준에서 공급자에 근거한 접근법이나 사용자에 근거한 접근법으로 수집될 수 있고, 접근법의 선택은 자료의 이용도와 질에 달려있다(Tier 2a). 사용자에 근거한 접근법은 하위용도 수준에서 판매되고 수입된 에어로졸 제품의 수와 용기 당 평균 충전량에 관한 자료를 필요로 한다(예를 들어, 다양한 계량흡입기나 모발 관리 제품, 타이어 팽창기의 수). 이는 아마도 몇몇 사용 부문(some sectors of use)에 대해 세계적으로 또는 지역적으로 도출된 활동도 자료를 요구한다. 공급자에 근거한 접근법은 판매 자료가 국가 수준에서 충분히 견고한 화학제품 제조업체로부터 에어로졸과 MDI 화학 판매 자료를 직접적으로 수집하는 것을 포함한다. 많은 경우 두 가지 자료의 공급원이 모두 필요할 것이다.

국내 에어로졸 생산: 국내 생산을 하는 나라에 있어서 일반적인 에어로졸과 MDI 제조업체는 보통 그 국가의 소비를 위해 생산된 에어로졸 제품의 양과 수출되는 에어로졸의 수, 에어로졸당 평균 충전량, 사용되는 추진제나 용매의 유형에 대한 자료를 제공할 수 있다(즉, HFC/PFC의) 국내에서 생산된 에어로졸 제품의 연간 총 사용은 주어진 해에 국내에서 판매된 에어로졸 제품의 수(the number)에 각 제품의 HFC/PFC 충전량을 곱해 계산할 수 있다. 물론 총체적인 상황을 파악하기 위해서는 여기에 수입된 에어로졸을 더해야할 필요가 있다. 만약 에어로졸 원 생산자로부터 하위용도 자료를 얻어 사용할 수 없다면, 국내 화학 생산자가 국내 제조업자에게 팔린 계량흡입기 내 HFCs의 양에 대한 자료를 제공할 수 있고, 다른 에어로졸 생산자에게 판매 자료를 모아줄 수 있다. (위의 카테고리 ii, iii, iv v) 만약 에어로졸과 MDI 제조업자가 HFCs를 수입한다면 화학 수입업자나 해위 공급자로부터 정보를 얻을 수 있다. 하지만, 해외 공급자는 기밀 유지의 문제 때문에 개별 국가로된 수출에 관한 자료를 제공할 수 는 없을 것이다. 세관 직원과 화학 배포업자는 화학 수입 자료에 대한 또 다른 가능한 공급원이다. 세계적으로 또는 지역적으로 도출된 활동도 자료는 아마도 이미 존재하는 자료세트의 차이를 채우고 에어로졸 제조업자와 화학 공급업자로부터 획득한 자료를 교차 검토하는 역할을 모두 할 것이다.

수입된 에어로졸 생산(Imported aerosol production): 대부분의 나라가 총 에어로졸 제품의 상당량을 수입할 것이다. HFC를 담고 있는 일반적 에어로졸의 수입에 대한 자료를 수입하는 것이 어려울 것인데, 이는 에어로졸에 대한 공식 수입 통계치가 대체로 HFC를 담고 있는 에어로졸과 그

렇지 않은 것들을 구분하지 않기 때문이다. 통계치를 세관청으로부터 얻어 사용할 수 없을 때에는 아마 제품 배포업자나 특정 최종 사용자(end-users)로부터 자료를 구한 자료를 사용할 수 있을 것이다. 예를 들어, MDIs의 경우, 한정된 수의 제약회사들이 대개 제품을 수입하고 이 회사들은 필요한 정보를 얻기 위하여 조사될 수 있다. 또다시 세계적으로나 지역적으로 도출된 활동도 자료도 어떤 경우에서는 유용할 것이다.

7.3.2.4 완전성

완전성은 다루어지는 각 화학물질의 활동도 자료의 이용가능성에 달려 있다. 7.3.1 절(그리고 표 7.1)은 현재 사용되고 있는 HFCs와 PFCs의 평가(assessments)를 제시하지만, 인벤토리 작성자는 지역적 상황에 적합한 화학물질을 확인하기 위해 국가 내 공급원으로 상황을 체크해야 한다. 국내 에어로졸 생산을 하지 않는 국가의 인벤토리 작성자는 활동도 자료를 산정하는데 전문가의 판단을 아마도 필요로 할 것이다. 수입 통계치는 불완전할 가능성이 있으며 (1권 2, 3장을 참조), 특히 포함된 추진제와 용매의 경우 그렇기 때문이다. 세계적으로나 지역적으로 확인된 활동도 데이터베이스는 아마도 그런 경우에 특히 도움이 될 것이다.

7.3.2.5 일관성있는 시계열 개발

에어로졸로부터의 배출은 시계열에서 매년(for every year in the time seires) 동일한 방법과 자료 공급원 계산되어야 한다. 시계열에서 어느 해에 일관성 있는 자료를 사용할 수 없다면, 차이는 1권 5장에 제시되어 있는 지침을 따라 차이를 재계산해야 한다.

7.3.3 불확도 평가

일반 에어로졸 부문에서 HFCs의 사용이 대체로 MDI 부문에서의 HFCs 사용보다 크다. HFC 제조업자로와 수입업자로부터 얻은 일반 에어로졸 부문에 대한 판매 자료는, 현재에는, HFC-134a에 비해 국제 규준으로 잘 정의되어 있지는 않다. 이와 같은 자료는 추가 자료 수집 활동과 세계적 데이터베이스와 지역적 데이터베이스의 개발로 개선될 수 있다. 일반 에어로졸 부문의 발산성은 신뢰성 있는 상향식 자료 (Tier 2a)의 획득에 지역의 산업 전문가를 통한 국가에 기초한 특정 연구가 필요하다는 것을 뜻한다. 그리고 그 전문가들의 조언은 1권 3장에 요약 제시한 전문가 판단에 대한 접근법을 사용하여 불확도에 대해 주어져야 한다.

MDI 부문에 대한 신뢰할 만한 자료의 몇몇 공급원이 있다. 그리고 그것은 인벤토리 배출 산정에 반영되어야 하는 자료에 있어서의 높은 수준의 확실성을 가져온다. 그러나 단일 국가에 대한 보고에서는 일반적인 에어로졸 부문에 대한 믿을만한 자료의 부재가 배출 자료가 계수에 의해 1/3에서 3배정도 과소 또는 과대 평가될 수 있다는 것을 의미할 수 있다.

7.3.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

7.3.4.1 품질보증/품질관리(QA/QC)

1권 6장에 개괄된 대로 품질 보증 검사를 하고 배출 산정에 대한 전문가 검토를 조직하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 1권 6장에 개괄된 추가적인 품질 관리 검사와 품질 보증 절차도 또한 적용할 수 있을 것이다. 특히 상위 tier 방법이 이 용도로부터의 배출 산정을 위해 사용된다면 그럴 것이

다. 인벤토리 작성자는 1권 4장에서 확인된 주 카테고리(key categories)에 대해 상위 tier QA/QC를 사용하도록 권장된다.

1권의 지침에 더해, 이 용도의 적절성에 대한 특정 절차는 다음과 같다. 한편으로는 에어로졸 제조와 수입 자료, 또 다른 한편으로는 화학 공급 자료가 배출 산정 개발 중이나 그 후에 실시되는 상호 교차 검토에 사용될 수 있다. t-1 년으로부터 배출량을 계산하는데 사용된 자료는 전년도의 인벤토리 산정에 사용된 자료와 일관성 있어야 한다. 그래서 두 해의 자료 합계가 100이 된다. 만약 이런 경우가 아니라면, 불일치에 대한 이유를 보고해야 한다. 위에서 제시된 자료 수집 부문에 따라 실시된 자료 수집은 적절한 품질 관리를 제공해야 한다. 보고하는 자료의 질 수준을 독립적으로 평가하기 위해, 에어로졸의 제조업자 수와 수입업자의 수를 더한 값이 수량화되어야 한다.

7.3.4.2 보고 및 문서화

계량흡입기에 대한 배출 산정은 인벤토리 작성자에 의해 다른 에어로졸에 대한 배출 산정과 별개로 보고될 수 있다. 그런 경우에, 사용된 구체적인 배출계수가 문서화되어야 한다. 만약 국가별 배출계수가 기본값 계수에 우선하여 사용된다면, 그것의 개발은 문서화되어야 한다. 세밀한 활동도 자료는 그것이 사업 기밀 정보를 드러내지 않는 범위 내에서 보고되어야 한다. 몇몇 자료가 기밀인 경우에, 그 국가에서 소비되고 수입되고 생산된 에어로졸 제품의 유형에 대한 질적인 정보가 제공되어야 한다. 추진제나 용매에 사용된 HFC의 유형과 MDIs와 일반적인 에어로졸의 개별 국가로의 판매는 기밀로 간주될 수 있다[12]. 용매로 사용 되는 특정 화학 물질의 제조업자가 3개 미만일 경우에, 보고는 이 부문에서 합쳐질 수 있다. 왜냐하면 둘 다 100퍼센트 배출성 용도로 간주되기 때문이다(위의 7.2.4.2절 참조).

[12] 개별 에어로졸 부문에 대한 사용 자료의 수량화는 좀 더 신뢰할만한 미래의 예측이 개발되게 하며 배출 감소 전량을 고려하게 할 것이다.

7.4 수지발포제

7.4.1 이 용도에서 다루어지는 화학물질

점점 더 많이 HFCs가 기포제(foams)에서 CFCs와 HFCFs의 대체물로 사용되고 있다. 그리고 특히 절연 용도에서 그렇다. 현재 사용되고 있는 혼합물은 표 7.1과 같이 HFC-245fa, HFC-365mfc, HFC-227ea, HFC-134a, HFC-152a이다. 이 처럼 다양한 HFCs가 사용되고 있는 과정과 용도는 표 7.4에 제시되어져 있으며, 열린-셀 기포제가 음영 부분이다.

표 7.4
발포제 산업에서 HFCs의 사용(Use of HFCs in the foam blowing industry)

Cell Type	Sub-application	HFC Foam Blowing Agent Alternatives			
		HFC-134a	HFC-152a	HFC-245fa	HFC-365mfc (+ HFC-227ea)
OPEN	PU[a] Flexible Foam				
	PU Flexible Moulded Foam				
	PU Integral Skin Foam	✔		✔	
	PU One Component Foam	✔	✔		
CLOSED	PU Continuous Panel	✔		✔	✔
	PU Discontinuous Panel	✔		✔	✔
	PU Appliance Foam	✔		✔	✔
	PU Injected Foam	✔		✔	✔
	PU Continuous Block			✔	✔
	PU Discontinuous Block			✔	✔
	PU Continuous Laminate			✔	✔
	PU Spray Foam			✔	✔
	PU Pipe-in-Pipe	✔		✔	✔
	Extruded Polystyrene	✔	✔		
	Phenolic Block			✔	✔
	Phenolic Laminate			✔	✔

[a] PU denotes polyurethane

열린 셀과 폐쇄된 셀로 기포제를 나누는 것은 기포제가 생산으로부터 사라지는 방법에 관계한다. 열린 셀 기포제의 경우 기포제로 사용되는 HFCs의 배출은 제조 과정이나 바로 직후에 일어날 가능성이 높다. 폐쇄된 셀에서는 오직 발포의 일부(소수)만 제조 시기에 일어난다. 그러므로 배출은 사용기로 확대된다. 자주 배출의 대다수가 사용 말(end-of-life)까지 일어나지 않는다(폐로 손실 de-commissioning losses). 따라서 폐쇄된 기포제로부터의 배출은 제조 시기부터 50년이나 그 보다 더 긴 시간 동안 일어날 수 있다.

열린 셀 기포제는 가정의 가구 쿠션이나 매트리스, 자동차 시트, 자동차 운전대와 사무용 가구처럼

틀에 넣어 만들어진 제품(moulded products) 같은 용도로 사용된다. 폐쇄된 셀 기포제는, 반면, 선택된 기포제의 가스질의 열전도제가 제품의 사용 기간(lifetime) 내내 절연 기능을 위해 사용되는 절연 용도로 주로 사용된다.

7.4.2 방법론적 이슈

이전의 지침은 초기의 두 개의 배출 시점(즉, 제조 시 그리고 사용 기간 중)을 설명하는 폐쇄된 셀 기포제로부터 배출량을 계산하기 위한 식을 제시하였다. 이것은 일반적으로 초기 단계의 HFC 흡수를 설명하는 데 충분하다. 그러나 이 배출원으로부터의 완전한 배출을 준비하기 위해서는, 자료를 사용할 수 있는 경우, 폐로(decommissioning) 시 손실과 화학적 파괴(chemical destruction)를 설명하기 위한 세 번째 및 네 번째 항을 식에 더하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 그래서 적절한 식은 다음과 같다.

식 7.7
기포제(foams)를 위한 일반적인 배출-계수 접근법(A)

$$Emissions_t = M_t \cdot EF_{FYL} + Bank_t \cdot EF_{AL} + DL_t - RD_t$$

여기서;

$Emissions_t$ = t년도에 폐쇄된 셀 기포제로부터의 배출, 톤

M_t = t년도에 새로운 폐쇄된 셀 기포제를 제조하는데 사용된 총 HFC, 톤

EF_{FYL} = 처음 연도 배출계수, 비율

$Bank_t$ = t년도와 t-n년도에 폐쇄된 셀 기포제 제조로 들어간 HFC의 양

EF_A = 연간 손실 배출계수, 비율

DL_t = t년도에 폐로시 손실(decomissioning losses) = 제품/설비가 폐기될 때인 서비스의 최종 시기에 화학물질의 손실, 이는 남아있는 화학물질의 양과 최종시기 손실계수로부터 계산되고, 손실계수는 채택된[13] 최종 시기 처리 유형에 의존한다. 톤

RD_t = t년도에 회수와 기포제의 파괴, 그리고 그것의 기포제에 의해 방해받은 HFC 배출, 톤

n = 폐쇄된 셀 기포제의 제품 수명(lifetime)

t = 현재 년도

(t-n) = 기포제로 사용된 HFCs가 여전히 존재하는 총 기간

식 7.7은 폐쇄된 셀 기포제에 초점이 맞춰진 것이지만 열린 셀 기포제에도 동일하게 적용될 수 있다는 점에 주목해야 한다. 이런 의미에 있어서 식 7.7은 모든 기포제에 대한 보편적인 식이다. 열린 셀 기포제의 경우에, 처음 연도 손실 배출계수(Loss Emission Factor)는 대체로 100퍼센트이다. 그리고 식은 그것의 첫 번째 구성요소로 단순화되며, 그리고 그것은 식 7.8로 더 단순화 된다.

따라서 기포제의 성격이 분명하지 않을 경우에는 식 7.7을 각각의 화학물질에 적용해야 하고, Tier 2a방법을 추구할 시에는 식 7.7을 주요 기포제 하위용도에 개별적으로 적용해야 한다.

배출 프로파일(profiles)은 전반적인 기포제 용도 내에서도 하위용도에 따라 상당히 다르므로, Tier 2

[13] 대부분의 폐로 절차는 남아있는 발포체의 모든 배출을 가져오지는 않을 것이다. 열린 auto-shredder를 통한 과정에서도 과정의 시점에 남아있는 발포체의 50 퍼센트 미만의 배출이 일어난 것으로 발견 되었다. (U.S. EPA/AHAM, 2005). 따라서 발포체 뱅크(bank)는 폐기물 흐름에서 더욱 추적될 수 있다. (예를 들어, landfills)-7.4.2.1절 참조

방법을 가능한 경우 채택할 시 증가하는 값이 상당히 있다. 이상적으로는 이것이 개별 국가의 활동도를 연구함으로써 얻어져야 한다. 그러나, 실제로는, 사용되는 기포제를 확인하기 위한 시스템을 설치하는 것이 상당히 어려운 기포제의 지역 내 교역 (intra- regional trade)은 국가별 활동도 자료에 근거한 방법을 하위용도에서 실행하는 것을 매우 어렵게 한다. 세분화된 활동도 자료와 관계된 배출계수는 둘 다 국가 수준에서 획득하기 어렵다는 것을 인지하였기 때문에, UNEP 기포제 기술 옵션 위원회(Foams Technical Options Committee; UNEP -FTOC, 1999; UNEP-FTOC, 2003)과 다른 이들에 의해 세계적으로나 지역적으로 도출된 활동도 자료와 CFcs, HCFCs, 그리고 탄화수소(HCs)에 대한 하위용도 배출계수 기본값을 제공하기 위한 많은 노력이 이어져 왔다. 비록 HFCs가 추가적인 ODS 대체물로 중요하게 사용되는 유일한 것이지만, 비슷한 접근법이 이런 화학물질들을 위해, 인벤토리 작성자를 위해 유용한 정보의 공급원을 공급하기 위해 EFDB 내에서 사용 할 수 있는 배출계수들로 앞으로 행하여 질 것으로 기대되고 있다. 다른 데이터베이스들이 활동도 자료를 위한 본래의 FTOC 작업으로부터 나타나고 있다. 그리고 그것들은 특별히 HFCs를 담고 있는 제품 교역이 상당하지만, 이를 추적하는 것이 어려운 국가들에 도움이 될 것이다.

추가적으로 방법론적 고려 사항으로, 폐쇄된 셀 절연 기포제로부터의 많은 배출이 전년도의 소비로부터 생긴 수지발포제의 뱅크(bank)(banks)로부터 발생한다는 것을 주목해야 한다. 이 점은 오존층 보존과 지구 기후 체계: 수소불화탄소와 과불화탄소에 관련된 문제(IPCC/TEAP Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons)(IPCC/TEAP, 2005) IPCC 특별 보고서에서 강조되었다. 그리고 CFC 배출이 기포제에 있는 뱅크(bank)된 기포제로부터 21세기 중반까지 계속될 수 있다는 점에 주목하였다. 이는 적절히 뱅크(bank)의 발달을 반영하는 배출 산정 방법을 사용하는 것의 중요성을 설명해준다.

발포 인벤토리의 추가적인 특징은 상당히 주요한 배출이 폐쇄된 셀 기포제로부터 페로되는 시점이나 그 후에 일어난다는 것이다. 그러므로 인벤토리 작성자는 폐로 실행과 어떤 회수와 파기 실행을 국가 내에서 면밀히 연구하는 신중해야 한다. 추후의 결과로 제조와 실행을 통해 기포제가 모두 배출된다는 것을 가정하는 방법은 어떤 주어진 해의 배출을 상당히 과대 산정할 가능성이 있다. 따라서 방법은 대체적으로 가정한다. 폐로시의 완전한 기포제의 배출은 이를 뒷받침하는 확실한 증거가 있을 경우에만 가정한다. 일반적으로 좀더 적절한 배출함수에 근거하여 배출량을 다음 연도로 할당한다. 실제로 그와 같은 배출은 폐로 이후에 몇 년간 퍼질 가능 성 이 있다. 만약 기포제가 완전히 남아 있다면 (즉, 평균 분자 크기 > 8 mm) (U.S. EPA/AHAM, 2005)

일반적인 관찰에 따르면 물질수지 접근법(접근법 B)은 기포제에는 부적절한데 그 이유는 그런 제품이 실제로 서비스 되는 장치가 없기 때문이다.

7.4.2.1 방법의 선택

열린 셀 기포제(Open-Cell Foam): 열린 셀 기포제로 사용되는 HFCs는 즉각적으로 배출되기 때문에, 거의 모든 경우의 배출이 제조국에서 일어날 것이다. 유일한 예외는 아마도 채워진 용기가 한 국가에서 제조되지만 용기가 쉽게 거래되기 때문에 배출은 또 다른 국가에서 일어나는 OCF(단일 성분 기포제; One Component foams)이다. 배출은 다음 식을 따라 계산된다[14].

[14] 이 용도에 대해서 각 화학물질의 실제 배출은 잠재적 배출과 동일하다.

식 7.8
열린 셀 기포제로부터의 배출에 대한 일반적인 계산 방법

$$Emissions_t = M_t$$

여기에서

$Emissions_t$ = t년도에 열린 셀 기포제로부터의 배출량, 톤
M_t = 새로운 열린 셀 기포제를 제조하는데 사용된 총 HFC, 톤

이 식은 열린 셀 기포제 용도에 사용된 각각의 화학물질에 적용되어야 한다. 열린 셀 하위용도의 배출계수에 약간의 다양성이 있지만, 순 소비량 활동도 자료를 정확하게 평가하는 것을 쉽게 하기 위해서는 세분화된 Teir 2a 방법을 사용하는 것이 여전히 유리할 것이다. 그런 접근법은 자연스럽게 단일-성분 기포제(one-component foam)에서의 교역을 언급하게 된다. 단일-성분 기포제가 거의 사용되지 않는 경우에는, 식 7.8이 용도 수준에서 적용되는 Tier 1a 방법으로 돌아가는 것이 논리적일 것이다.

폐쇄된 셀 기포제: 폐쇄된 셀 기포제로부터의 배출은 세 개의 다른 시점에 일어나고, 그 시점은 이미 식 7.7에서 강조 되었다.

(ⅰ) 기포제 제조와 설치로부터의 첫 번째 연도 손실 : 이 배출은 제품이 제조되거나 설치되는 곳에서 일어난다.
(ii) 연간 손실(기포제 사용으로부터의 in-situ 손실) : 폐쇄된 셀 기포제는 그것의 초기 충전량의 일부를 폐로시 까지 매년 손실할 것이다. 이 배출은 제품이 사용되는 곳에서 일어난다.
(iii) 폐로 손실 : 폐로에서의 배출은 또한 제품이 사용되는 곳에서 일어난다.

이 세 시기를 포함하는 접근법을 이용하기 위해서는, 폐쇄된 셀 기포제의 평균 수명(50년 정도 까지)을 포함하여 HFCs가 이 용도로 사용되는 전 기간 동안 기포제 산업으로의 연간 화학 판매에 대한 현재와 과거의 자료를 수집할 필요가 있다. 이미 HFCs를 포함하고 있는 기포제 제제(foamulation)의 수입이나 수출도 고려되어야 한다. 유사하게, 국내에서 생산된 또는 공업적인 냉장 장치와 냉동장치와 같은 물건 또는 샌드위치 패널(sandwich panels), 보드(boards), 블록(blocks), 절연된 파이프와 같은 건설 부문 용도는 한 나라에서 생산되지만 또 다른 나라에서 사용될 수 있고, 이에 대한 수정이 있어야 한다.

초기의 평가에서 폐로되는 손실의 계산은 사용 마지막 단계에서 기포에 남아있는 모든 기포제가 폐로 단계에서 손실될 것이라는 전제에 근거한다. 배출의 견지에서 볼 때 이것은 최악의 시나리오이다. 심지어 회수와 파기를 목적으로 하지 않는 처리 방법으로도 최악이다. (각주 13 참조) 실제로, 기포제의 회수와 파기 또는 즉각적인 파기(예를 들어, 소각)는 이와 같은 손실을 경감시킬 것이다. 그러므로 식 7.7은 네 번째 구성성분을 운반하여 HFC 배출이 이런 방법으로 일어나지 않도록 막는다. UNEP TEAP 기포제 최후에 대한 대책본부 보고서(Task Force Report on Foams End-of-Life(UNEP-TEAP, 2005))는 그와 같은 방법의 효과를 평가하기 위해 기포제 배출량을 피하고, 회수 및 파기 효율(Recovery and Destruction Efficiency; RDE) 개념을 도입하는 많은 잠재적 방법을 언급하고 있다.

심지어 활동적인 회수와 파기(destruction) 방법이 실시되지 않는 경우에도 모든 기포제가 사용 마지막 단계(the end of life)에서 배출될 것 같지는 않다. 특히, 처분 시에 (예를 들어, land-filling) 기포가 대체로 처음 상태로 남아있는 때에 그렇다. 이와 같은 환경 하에서 상당한 비율의 기포제는 폐기물 흐름에 남아 있을 것이고, 추가적으로 뱅크(bank)된 배출원이 확립될 것이다. 그와 같은 뱅크(bank)로부터의 배출률이 100 퍼센트보다 낮을 것이기 때문에, 식 7.7은 국가에서 사용된 HFC를 담고 있는 상당한 비율의 기포가 이미 폐로된 경우의 배출을 과대평가할 것이다. 비록 이런 요소의 배출을 언급하기 위해 식 7.7에 다섯 번째 구성 요소를 파악하는 것이 가능하겠지만, 이 가이드라인에서 다루고 있는 HFC의 세계적인 측면을 위해 그런 접근법을 정당화하는 것이 충분히 적절하지 않다고 간주된다. 그러나 좀더 정교화된 세계적 또는 지역적으로 도출된 평가의 몇몇이 이 문제를 언급할 지도 모른다.

폐로화(decommissioning)에 대한 잠재적인 손실 관련 자료를 수집하는 것이 불가능하다면, 제조시 배출되지 않은 모든 화학물질이 기포(foam)의 수명 동안 배출된다고 가정해야 한다. 그러나 국내의 또는 공업적인 냉장, 냉동 장치와 같은 제품이 다른 나라로 재사용(re-use)을 위해 수출되지 않았는지 점검해야 한다. 기포제 용도가 하위용도수준으로 세분화되지 않고 세계적으로 또는 지역적으로 도출된 활동도 자료를 사용할 수 없는 경우에, Tier 1a 방법을 따라야 한다. Tier 1 방법을 선택하는 데 있어 *우수실행(Good Practice)*은 모든 폐쇄된 셀 기포제가 Galemn 모델을 따른다고 가정하는 것이다. (표 7.5 참조)

표 7.5
폐쇄된 셀 기포제로부터 HFC에 대한 배출계수 기본값
(Default Emission Factors for HFC from Closed Cell foam)

배출계수	기본값(default)
제품 수명	n = 20년
처음 년도 손실	본래 HFC 충전량/년도의 10%, 만약 상당한 재활용(recycling)이 제조시 일어난다면그 값이 5%로 떨어질 수는 있다.
연간 손실	본래 HFC 충전량/년도의 4.5%
Source: Galmen et al. (1986)	

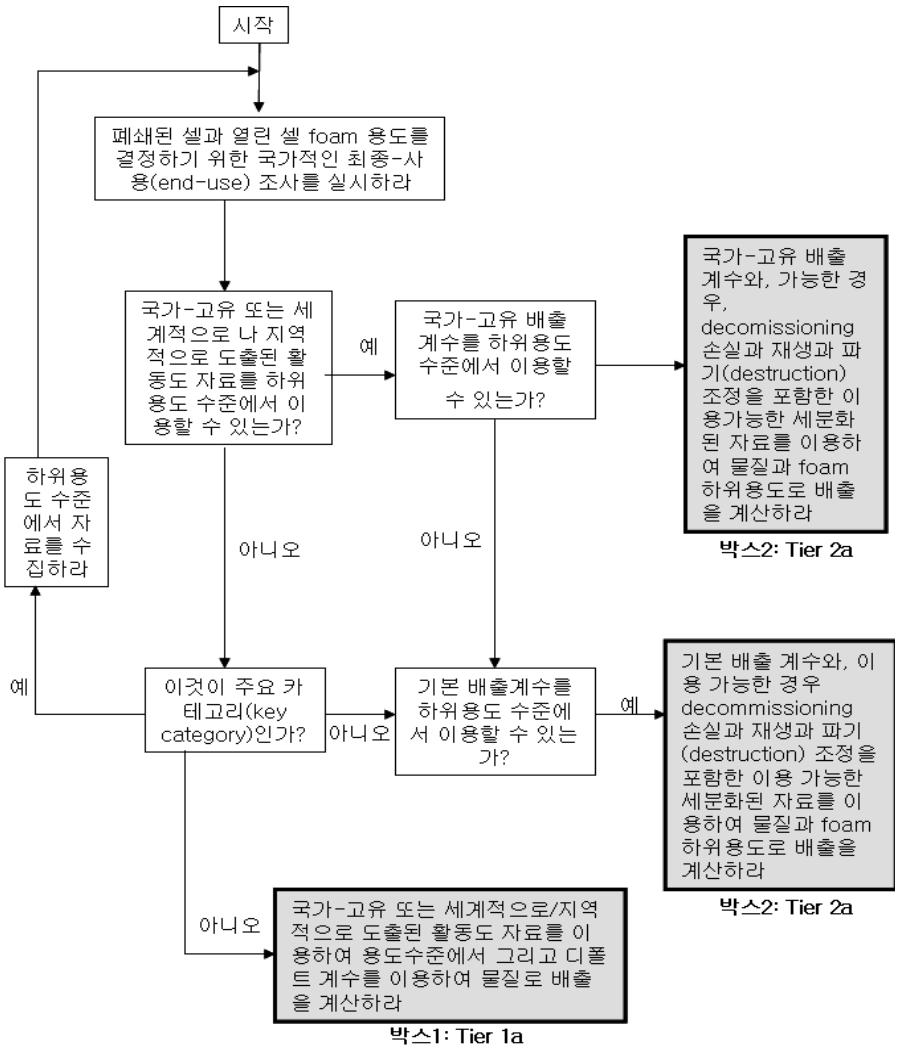
만약 폐쇄된 셀 기포제에 대해, 용도 수준에서 역사적 그리고 현재의 국가별 활동도 자료를 둘 다 이용할 수 있다면, 이 정보에 Gamlen 모델을 적용하는 것이 가능하다. 그러나 인벤토리 작성자에 대한 주요한 도전은 보통 국가 수준에서 역사적인 활동도 자료에 대한 특징을 짓는 것이다. 만약 그런 어려움이 존재한다면, 그리고 만약 지역적, 지역적으로나 세계적으로 타당한 활동도 자료가 알려진 상태라면, 보통 활동도 자료는 국가 수준에서, 지역-경제적 요인(geo-economic factor)로부터 산정하는 것이 가능하다. 이 접근법은 이후 7.4.2.3 절에서 다루어진다.

국가별 자료의 공급원으로부터 또는 세계적으로나 지역적으로 도출된 활동도 자료 세트로부터 순소비량 활동도 자료를 하위용도 수준에서 사용할 수 있는 경우, 세분화 수준을 반영하는 Tier 2 방법을 사용하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 이것은 특히 기포제에 있어서 중요한데, 다양한 하위용도의 이질성 때문이다. 표 7.4의 의사 결정도는 배출을 산정하는 방법을 선택하는 데 있어서의 *우수실행(Good Practice)*을 묘사하고 있다.

7.4.2.2 배출계수의 선택

다른 용도에서처럼, 배출계수의 첫 번째 선택은 동료 검토되고 잘 문서화된 국가별의 자료를 개발하고 사용한다. 여기에서 자료는 Tier 2a 접근법을 뒷받침 하는 것으로 각각의 기포제 유형(열린 셀과 폐쇄된 셀)에 대한 현장 조사에 기반 한 것이다. 이미 강조했 듯이, 하위용도 수준에서 정보를 사용할 수 없다면 배출계수를 배출계수 데이터베이스(EFDB)나 여기에서 포함된 자료로부터 채택할 수 있다. 그러나 이 절에 포함된 자료는 EFDB에서 처럼 최근화 된 것으로 대체되지 않았다는 점에 유의해야 한다. 국가별이나 세계적/지역적으로 도출된 접근법은 폐로화 손실(decommissioning losses)에 필요한 평가로 이끌 것이다[15].

그림 7.4 Faom 용도로부터의 배출에 대한 의사 결정도



주:

1. 주 카테고리에 대한 논의와 의사 결정도의 사용은 1권 4장, 방법론의 선택과 주 카테고리의 확인을 참조 (한정된 자료에 대한 4.1.2절에 주목할 것).

[15] 폐로가 그 시점에서 기포제의 모든 손실을 꼭 포함하지는 않는다는 점이 주목되어 왔다. 그 이유는 이차적 사용의 수준 때문이거나 그 아이템이 본래 상태로 폐기되었기 때문이다. (예를 들어, 많은 냉동장치) 이것들은 국가에서 이용 가능한 최종 사용 조정 선택 중 몇몇으로 여겨질 수 있으나 적합한 파기나 회수 기술에 비해서는 덜 효과적이다. 배출 모형은 최종 사용 문제에 적절히 집중해야 한다.

표 7.6, HFC-134a/HFC-152a에 대한 배출계수 기본값(기포제 하위용도)과 표 7.7 HFC-245a/HFC-365mfc/HFC-227ea에 대한 배출계수 기본값(기포제 하위용도)은 현재 가장 중요한 폐쇄된 셀 기포제 용도에 대한 배출계수 기본값 가정(assumptions)을 나열하고 있다. 이 계수에 대한 사용은, 이 하위용도에 대한 설비/제품에서의 화학물질의 뱅크(bank)가 적절히 고려되도록, 하위용도 수준에서 현재와 과거의 소비, 이 둘의 화학물질 판매에 대한 자료를 요구할 것이다.

표 7.6
HFC-134a와 HFC-152a 사용에 대한 배출계수 기본값 (기포제 하위용도)
(IPCC/TEAP, 2005)

하위용도	제품 수명 (연 단위로)	첫 번째 연도 손실 %	연간 손실 %	최대 잠재 최종 사용(End-of Life) 손실 %
폴리우레탄 - Integral Skin	12	95	2.5	0
폴리우레탄 - 연속적 패널	50	10	0.5	65
폴리우레탄 - 비연속적 패널	50	12.5	0.5	62.5
폴리우레탄 - 설비	15	7	0.5	85.5
폴리우레탄 - 주입된	15	12.5	0.5	80
단일 요소 기포제 (OCF)[a]	50	90	2.5	0
Extruded Polystyrene (XPS)[b] - HFC-134a	50	25	0.75	37.5
Extruded Polystyrene (XPS) - HFC-152a	50	50	25	0
Extruded Polyethylene (PE)[a]	50	40	3	0

출처:
a Ashford와 Jeffs(2004)는 UNEP FTOC Reports(UNEP-FTOC, 1999; UNEP-FTOC, 2003)를 모아 정리했다.
b Vo와 Paguet(2004): An Evaluation of Thermal Conductivity over time for Extruded Polystyrene foams blown with HFC-134a and HCFC-142b

냉장 트럭(reefer)이나 절연 트럭 몸체와 같은 몇몇 제품은 대부분의 실제적인 사용 기간을 국가간 단기체재로 보낼 수도 있다. 이 용도의 사용 중 배출이 매우 낮기 때문에 제조와 폐로 손실을 고려하는 것이 타당하다.

표 7.7
HFC-245fa/HFC-365mfc/HFC-227ea 사용에 대한 배출계수 기본값
(기포제 하위용도)

HFC-245a/HFC-365mfc 용도	제품 수명 (연 단위로)	첫 번째 연도 손실 %	연간 손실 %	최대 잠재 최종 사용(End-of Life) 손실 %
폴리우레탄 - 연속적 패널	50	5	0.5	70
폴리우레탄 - 비연속적 패널	50	12	0.5	63
폴리우레탄 - 설비	15	4	0.25	92.25

폴리우레탄 - 주입된	15	10	0.5	82.5
폴리우레탄 - Cont. Block	15	20	1	65
폴리우레탄 - Disc. Block for pipe sections	15	45	0.75	43.75
폴리우레탄 - Disc. Block for panels	50	15	0.5	60
폴리우레탄 - Cont. laminate / Boardstock	25	6	1	69
폴리우레탄 - Spray	50	15	1.5	10
폴리우레탄 - Pipe-in-Pipe	50	6	0.25	81.5
Phenolic - 비연속 Block	15	45	0.75	43.75
Phenolic - 비연속 Laminate	50	10	1	40
폴레우레탄 - Integral Skin	12	95	2.5	0
출처: [a] Ashford와 Jeffs(2004)는 UNEP FTOC Reports(UNEP-FTOC, 1999; UNEP-FTOC, 2003)를 모아 정리했다.				

만약 오직 폐쇄된 셀 기포제에 대한 집합된 화학 판매 자료만을 이용할 수 있고 특정 기포제 유형에 대한 자료를 얻을 수 없다면, Tier 1a 방법을 뒷받침하기 위해 표 7.5에 제시된 일반적인 배출계수 기본값을 이용할 수 있다[16]. 이는 *국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 1996 IPCC 가이드라인*(IPCC, 1997)에 포함된 이전의 Tier 2 지침을 되풀이 하고 있다. 그렇지만 ODS 대체물에 대한 잠재적 배출 방법을 배제하므로 Tier 1a 방법으로 분류된다.

이와 같은 배출계수 기본값의 사용은 90퍼센트의 초기 충전량이, 첫 연도의 10 퍼센트 배출 이후, 20 년간의 연간 사용으로 배출 되는 결과를 가져온다.

7.4.2.3 활동도 자료의 선택

배출 산정을 위해 두 유형의 활동도 자료가 필요하다.

1. 국가에서 제조하고 추후 수출되지 않는 기포제에 사용되는 화학물질의 양

2. 국가로 수입된 기포제 포함된 화학 물질의 양

이 두 영역에 관련된 자료 수집 문제에 차이가 있다.

기포제 제조에 사용된 화학물질

발포제 산업에 사용된 bulk 화학물질의 양은 국가 내에서 생산된 HFCs와 수입된 HFCs를 둘 다 포함해야 한다. 기포제 산업에 대한 국내 화학 판매 자료는 화학 물질 공급업자나 기포제 제조업자로부터 용도 수준(Tier 1a)에서 직접적으로 이용 가능해야 한다. 그리고 이는 하위용도 분석(Tier 2a)로 확대될 가능성도 있다. 다른 ODS 대체물 용도에서 처럼, 수입된 화학 자료는 세관 직원이나 화학 물질 배부업자로부터 이용할 수 있을 것이다.

과거의 소비 자료(historic consumption data)는 발포제 뱅크(bank)의 발달에 대한 상황을 적절히 파악하는데 필요하다. 그러나 이는 첫 년도에 발포제를 손실하는 열린 셀 기포제에 적용되지는 않는다. 열린 셀 기포제에 있어서 모든 배출은 제조 중에 일어날 것이다. 위에서 언급되었던 OCF 하위-부문은 제외한다. 그러므로 열린 셀 기포제의 제조와 관련된 화학 물질의 양(share)을 결정할 필요가 있다. 이와 같은 자료는 최종 사용 조사를 통해 결정될 수 있다. 또는 CFCs와 HCFCs에 대해 모아진

[16] 모든 배출이 첫 해에 일어나기 때문에 어떤 배출계수도 열린 셀 기포제에 대해서는 제공되지 않는다.

비슷한 최종-사용 자료를 검토함으로서 가까운 자료를 얻을 수 있다.

수입된 그리고 수출된 기포제에 포함된 화학물질
폐쇄된 셀 기포제를 수출하는 국가의 인벤토리 작성자는 연간 뱅크(banks)와 최종적으로 폐로 손실에 대한 그들의 계산으로부터 이 부피를 빼야 한다. 그 이유는 사용중 배출은 수입 국가에서 일어날 것이기 때문이다. 수출되는 폐쇄된 셀 기포제의 화학적 충전량에 대한 자료를 많은 제조업체로부터 이용할 수 있을 것이다. 그러나 만약 보고하는 국가에서 특별한 예비를 하지 않는다면 세관 자료 그것 만으로는 발포제 유형에 대한 적절한 정보를 산출하기 어려울 것 같다.

유사하게, 폐쇄된 셀 기포제를 포함한 제품을 수입하는 국가의 인벤토리 작성자는 완전도를 위해 그처럼 수입된 제품으로부터의 배출 산정치를 포함해야 한다. 인벤토리 작성자가 제조된 뒤 바로 수출되는 제품에 비해 국가 외부에서 제조되는 제품에 대해서는 지식이나 통제가 적을 것이기 때문에, 수입된 폐쇄된 셀 기포제 제품에 포함된 기포제에 대한 정보를 수집하는 것이 훨씬 더 어려울 것이다. 따라서, 배출이 오직 수입된 폐쇄된 셀 기포제에서만 일어나는 국가의 인벤토리 작성자는 이와 같은 자료를 산정하는데 전문가의 판단을 사용할 필요가 있을 것이다. (1권 2장과 3장을 참조)

과거에 인벤토리 작성자는 수입된 폐쇄된 셀 기포제에 포함되어 있는 화학물질의 산정을 개발하기 위해 세계적인 HFC 생산과 소비 자료 세트를 사용할 수 없었는데 이는 이런 자료 세트가 지역적인 사용과 교역 패턴 데이터베이스를 포함하지 않았기 때문이다. 예를 들어, 대안적인 불화탄소 환경적용인 연구(Alternative Fluorocarbons Environmental Accptavility Sutdy; (AFEAS))의 통계-수집 과정은 기포제 부문[17]에서의 HFC-134a에 대한 1997년까지의 세계적인 활동도 자료를 수집했다. 그러나 지역별로의 세분화는 사용할 수 없었다.

이 문제를 해결하기 위해, 몇몇 데이터베이스는 세계적인 HFC/PFC 소비와 배출 자료 세트를 이용함으로써 인벤토리 작성자를 돕는 국가적인 장치를 현재 포함하고 있다. 이는 세계적으로나 지역적으로 도출된 활동도 자료와 국가 내의 폐쇄된 셀 기포제에 포함된 기포제에 대한 뱅크(bank) 산정치에 접근하기 위한 것이다. 이는 Tier 2a 평가에 적용될 수 있을 것이며, 산정된 소비와 뱅크(bank) 자료를 하위용도 수준에서 제공할 수 있을 것이다. 그리고 그것에 표 7.6과 7.7에 포함되어 있는 (또는 EFDB에서 업데이트 된 버전이나 또는 그 외에서) 배출계수 기본값을 적용할 수 있다.

7.4.2.4 주요 방법의 요약

프록시 자료(proxy data)를 사용하는 Tier 2a 방법의 순차적 단계
박스 7.2는 프록시 자료(proxy data)를 사용하는 Tier 2a 방법을 이용하는데 필요한 전형적인 단계를 설명하고 있다.

박스 7.2
세계적으로나 지역적으로 도출된 자료를 사용하는 기포제 용도에 대한 Tier 2a 이용

[17] HFC-134a는 가장 흔히 사용되는 HFC이다. AFEAS 자료를 http://www.afeas.org에서 찾을 수 있다.

기포제 부문(the foam sector)에는 16개에 이르는 하위용도가 있다. 보고 국가는 이런 하위용도 중에 어떤 것이 상황에 적합하고, 어떤 것이 각각의 과정/용도를 위한 다음 단계를 수행하는지 고려할 필요가 있다.

소비

1. 과정/용도에서 사용되는 기포제의 총 톤 수를 확인하라.

2. 과정/용도에 사용된 기포제의 평균 밀도를 확정하고 그것으로 기포제 부피를 확정하라('단위당 기포제 부피'는 보통 주택이나 건물에 대해 사용되는 미터법을 따른다).

3. 근소한(nominal) 기포제 부피 비율을 결정하기 위해 그 해에 지어진 집의 수나 제조된/팔린 설비의 수를 확인하라. (unit 당 기포제 부피)

4. units 수와 기포제 부피 비율 모두의 성장 경향을 평가하고, 이런 경향을 과거나 미래 년도에 대한 기포제의 총 톤수 산정에 적용하라.(즉, 3단계 자료를 사용할 수 없는 년도에)

5. 시장의 분리나 각각의 과정/용도에 사용되는 다양한 기포제의 시장 점유율을 평가하라. 혼합물을 다룰 때에 특히 주의해야 한다.

6. 각각의 발포제 유형에 대한 전형적인 기포제 제제(formulations)을 확인하라. 그리고 이 제제 해당 발포제를 사용하는 과정/용도의 비율(proportion)에 적용하라.

7. 발포제 유형에 따른 기포제 소비량을 획득하기 위해 기포제 총 톤수에 제제(formulation)(질량비)과 시장 점유율을 곱하라.

8. 국가 수준에서 특정 발포제에 대해 사용가능한 판매 자료를 이용하여 상호 검토하라.

사용 중 배출 (Emissions-in-Use)

9. 과정/용도에 대한 첫 번째 연도 손실률(loss rate)을 확정하라. 이 시기에 유출되는 손실을 산정하기 위해, 그 손실률에 화학적 소비를 곱하라. 이와 같은 배출은 다른 배출원의 배출에 더해져야 한다.

10. 해당 연도에 배출되지 않은 소비량의 수지(balance)를 그 과정/용도에 저장되어 있는 발포제의 뱅크(bank)에 더한다.

11. 선형적인 배출량(emission rate)을 뱅크(bank)된 물질에 적용하라. 그래서 뱅크(bank) 기여의(bank contribution) 년도(vintage)에 기초한 평행 모형(parallel models)을 돌릴 필요를 배제한다.

12. 평균 사용중 배출량을 뱅크(bank)에 적용하라 그리고 *결과적으로 얻은 배출을 총 배출에 더하라.*

13. 예상되는 평균 제품 수명에 근거하여, 얼마나 많은 양의 뱅크(bank)가 현 년도에 폐로될지 확정하고, 그것을 뱅크(bank)에서 빼라.

폐로화, 회수 및 파기(Decommissioning, recovery and destruction)

14. 기포제에 대한 수많은 최종 사용 단계의 선택 사항(end-of-life options)이 있지만, *우수실행(Good Practice)*은 네 가지 주요 선택사항(options)을 고려할 것을 제안한다.

a. 재사용(Re-use)

b. 분쇄없이 매립

c. 회수 없는 분쇄

d. 총 회수 및 수집(회수, 직접 소각 등을 동반한 분쇄를 포함)

15. 주어진 해의 뱅크(banks) 중 폐로된 부분은 국가의 실행에 비례하여 위에 개괄된 4개의 옵션에 분배되어야 한다.

16. 폐로 중 그리고 다른 최종 사용(end-of-life) 조정 단계 중의 배출계수를 확정해야 한다. 그리고 그 배출계수를 과정/용도의 폐로 된 부분에 적용해야 한다. *이 배출량은 다른 배출원의 배출에 더해져야 한다.* 표 7.6과 7.7의 최대 배출계수는 일시적인 배출이 일어난다고 가정하는 것이 타당한 경우에만 적용해야 한다.

17. 최종 사용 관리(end-of-life management)으로부터의 배출이 계속 될 수 있는 경우에 (예를 들어, 재사용(re-use), 매립지 및 회수 없는 분쇄, 발포제의 축적을 추적하고 이런 배출원으로부터 계속되는 연간 배출을 산정하기 위해, 추후의 최종 사용(end-of-life) 뱅크(banks)가 확정되어야 한다.

18. 각각의 이와 같은 배출원에 대한 연간 배출계수는 최종 사용(end-of-life) 뱅크(banks)에 적용되어야 한다. *이 같은 배출은 다른 배출원의 배출에 더해져야 한다.*

Galmen 모형에 근거한 Tier 1a 방법의 사용

좀 더 한정된 대안으로, 국가의 폐쇄된 셀 발포제의 총 뱅크(bank)(bank)로부터의 배출을 산정하기 위해 Galmen 모형(표7.5)에 근거한 Tier 1a 방법 사용할 수 있다. 다음 발췌한 스프레드시트는 방법을 설명한다.[18]

[18] 도입이 느린 경우, '도입연도'는 실질적인 사용(substantive use)의 첫 년도로 간주되어야 한다.

그림 7.5 Tier 1a 방법에 대한 스프레드시트 계산의 예시

Country	Belgium	
Agent	HFC-134a	
Closed Cell Foam Consumption		Leave blank to use database value
Open Cell Foam Consumption		Leave blank to use database value

Current Year	2005	(Year for which estimate is made)
Year of Introduction	1993	
Emission in first year	10%	(Emissions from manufacture and installation)
Emission in subsequent years	4.50%	(Annual in-use losses)

Emissions from closed cell foams	55.4 tonnes
Emissions from open cell foams	0.8 tonnes
(Bank of agent in closed cell foams	635.9 tonnes)

Emissions from Closed Cell Foams							
Age	Year	Known Consumption data (tonnes)	interpolated consumption data	emission in first year	emission from bank	bank	total emission
0	2005	**133.6**	133.6	13.4	42.1	635.9	55.4
1	2004		123.3	12.3	36.1	557.8	48.4
2	2003		113.1	11.3	30.5	482.9	41.8
3	2002		102.8	10.3	25.4	411.6	35.7

Emissions from Open Cell Foams		
Known consumption data (tonnes)	interpolated consumption data	emission in first year
0.828939	0.8	0.8
	0.7	0.7
	0.6	0.6
	0.5	0.5

이 사례에서, 벨기에는 2005년에 폐쇄된 셀 발포제에서 133.6톤의 HFC-134a를 소비하고, 기포제 제조 활동의 첫 번째 년도에 13.4 톤을 배출하고, 2005년 자연증가로 생긴 기포제의 뱅크(banks)로부터 42.1 톤을 배출하여, 총 55.4톤의 HFC-134a를 배출한 것으로 산정된다. 이 평가는 HFC-134a가 1993년 벨기에에 실질적으로(substantively) 도입된 점을 충분히 이해하고 그것에 근거하고 있으며, 산정은 13년간의 자료를 포함한다. 지역적으로 도출한 자료에 근거할 때, 전반적인 접근법은 유럽에서 HFC-134a에 바탕을 둔 기술의 평균적인 흡수가 해당 국가에 반영되어 있다고 가정한다.

이 방법은 기포제 소비의 비율이 낮고, 건물에 기포제 부피 비율이 낮고, 이 지침의 효과적인 기간에 배출이 최소한인 국가와 지역에서 특별히 매력적이다. (예를 들어, 개발도상국에서) 그러나 건물에서 많은 량의 HFCs를 소비하는 지역에서는 Tier 2 방법이 강력이 추천되는데, 그 이유는 소비를 잘못 할당하는 것을 방지하고, 특히 Galmen 모형(표7.5)에서 암시적으로 한 가정과 소비 패턴의 평균화(averaging)로 인해 배출을 잘못 할당하는 것을 방지하려는 것이다.

7.4.2.5 완전성

적어도 16개의 기포제 잠재 하위용도와 발포제s로 사용되는 5개의 잠재적 화학물질(HFC-134a와 HFC-152a, HFC-245fa, HFC-35mfc, HFC-227ea)이 기포제 용도 내에서 확인되었다. 완전성을 위해서 인벤토리 작성자는 국가에서 실제로 실행하는 각 하위용도에서 HFC 발포제가 사용되는지를 정해야 한다. 여기에서 이론적으로는 80개의 가능한 조합을 제안하게 된다. (표 7.4 발포제 산업에서 HFC의 사용 참조) 실제로, 이 목록은 53개의 현실적으로 가능한 잠재적 화학물질/용도 조합으로 축소된다. 몇몇의 잠재적인 지역적 차이는 있다.

현 단계에 기술된 방법에서는 혼합물의 사용을 명확히 언급하지는 않고 있다는 점에 주목해야 한다. 그러나 이론상으로는 화학물질 하나, 하나에 의한 평가로 이를 다루어야 한다. 냉매의 사례에

서와 같은 도전은 (7.5절 참조) 하나의 감시하고 보고하는 활동일 것이다. 혼합물의 사용은 확실히 증가하고 있으며, 아마도 HFC-245fa와 HFC-365mfc의 조합과 같은 조합들을 포함할 것이다. 또한 한 제조업자에 의해 HFC-365mfa와 소량의 HFC-227ea의 혼합물이 도입되고 있다. 그렇지만 현 단계에서 그런 시스템에 서로 다른 배출계수를 할당하는 것은 시기상조이다.

7.4.2.6 일관성 있는 시계열 개발

인벤토리 작성자는 어떤 기간 동안 배출을 평가할 때 일관성 있는 방법을 유지해야 한다. 예를 들어, 인벤토리 과정 착수 시, 어떤 시스템도 실제 폐로를 감시하기 위해 정립되어 있지 않다면, 세계적으로나 지역적으로 도출된 자료로부터 국가별 자료로의 차이점을 고려하는 경우, 자료를 소급하여 얻는 것이 매우 어려울 것이다. 그러므로 보고 과정 초기에 이 결정을 신중히 고려해야 한다. 배출량에 대한 재계산은 1권 5장에 제시된 지침을 따라 실시하여야 한다. 이와 달리, 활동 수준 결정에 대한 접근법간의 차이를 소급적으로 실행하는 것은 더 용이할 것이다.

7.4.3 불확도 평가

순 소비 활동도 자료에 있어서, 현 판매 자료는 세계적인 산정치가 10 퍼센트 내에서, 지역적인 산정치는 30-40 퍼센트 범위 내에서, 그리고 국가 특유 소비 정보의 불확도는 50퍼센트 이상 정확하다는 것을 나타낸다. 1년간의 총 소비는 그 해 새로운 소비 산정치의 정확성에 부분적으로만 좌우된다는 점에 주목해야 한다. 산정치의 나머지는 기포제에 설치된 발포제에서 뱅크된(banked) 것과 그 해에 폐로 된 기포제에서 생겨날 것이다. 이와 같은 기여자(contributors)에 대한 산정은 기본적으로 역사적 소비 자료의 정확성에 좌우될 것이다.

접근법 A(배출계수 접근법)을 사용할 때, 배출계수는 불확도를 더할 것이며, 특히 유일한 배출계수 기본값을 사용할 경우 그럴 것이다. 폐로는 많은 경우에서 대부분의 배출을 일으키는 요인이므로, 제품 최종 사용 가정(product end-of-life assumptions)에 의해 아마도 최대한의 불확도가 도입될 것이다. 그러므로 인벤토리 작성자가 HFC를 포함한 제품의 산정치 기록을 보유하는 것과, 가능하다면, 실질적인 폐로를 감시할 수 있는 장치를 개발하는 것이 매우 중요하다. 이와 같은 기록은 최종 집계된 배출이 기간 동안의 총 입력을 초과하지 않는다는 것을 확실히 하는데 도움이 될 것이다.

7.4.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

7.4.4.1 품질보증/품질관리

1권 6장에 개괄된 대로 품질보증과 품질관리를 실시하고 배출 산정에 대한 전문가 검토를 하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 1장에 개괄된 추가적인 품질 관리 검사와 품질 보증 과정을 적용할 수 있으며, 특히 상위 tier 방법이 이 용도로부터의 배출을 결정하는데 사용된다면 그렇다. 인벤토리 작성자는 주 카테고리(key categories)에 대해 1권 4장에 확인된 대로 상위 tier QA/QC를 사용하도록 장려된다.

지역적 그리고 세계적 자료의 완전성(integrity)이 개별 국가 산정치를 합하는 과정에서 유지되는 것과 QC/QC 검토 과정의 주요 부분이 검토 참조를 통해 관여할 필요가 있는 것이 가장 중요한

문제 중 하나이다.

7.4.4.2 보고 및 문서화

배출계수는 국가별 자료 개발에 대한 문서화와 함께 보고되어야 한다. 발포제 산업에 대한 화학적 판매는 기밀 문제를 언급하는(address) 방법으로 보고되어야 한다. 자료 수집 과정에서 생기는 대부분의 기밀 문제는 가장 집약된 활동과 관계있다. 이를 다루기 위해서는, 만약 수(the number)의 개발이 적절한 기밀 조건 하에서 검토될 수 있다면, 기포제로부터의 배출은 단일 수(a single number)로 보고되어야 한다. 물론, 제조(첫 해), 사용(제품 사용 기간:product life), 폐로(최종 사용:end-of-life)로부터 강화된 배출의 신고가 항상 선호될 것인데, 이를 통해 이 분야의 각각에서 이루어지는 개선에 지속적인 중점을 둘 수 있기 때문이다. 만약 인벤토리 작성자가 세계적 또는 지역적인 데이터베이스로부터 도출한 활동도 자료를 사용한다면, 그들은 어떻게 배출을 국가 수준에 할당 했는가에 대한 결과를 보고해야 한다.

7.5 냉동과 냉방

7.5.1 이 용도분야에서 다루어지는 화학물질

냉동과 냉방(RAC) 시스템은 아마도 6개의 하위용도 영역이나 카테고리로 분류될 것이다. (UNEP-RTOC, 2003) 그렇지만, 단일 국가 수준에서는 대체로 더 적은 수의 하위용도가 사용된다. 이 카테고리는 지역과 목적에 따라 달라질 수 있는 하위용도에 상응하며, 그 목록은 다음과 같다.

(ⅰ) 가정용 (즉, 가계용) 냉동 장치

(ii) 자동판매기로부터 수퍼마켓의 중앙 냉동 장치에 이르는 다양한 유형의 설비를 포함하는 공업용 냉동 장치

(iii) 냉각 장치(chillers)와 냉동 저장, 식품에 사용되는 산업 열 펌프(industrial heat pumps), 석유화학 및 기타 산업(petrochemical and other industries)을 포함하는 산업 공정

(iv) 냉동 트럭과 저장고, reefers, 트럭에 사용되는 설비와 시스템을 포함하는 산업 공정

(v) 건설 및 거주 용도에 대한 공기 대 공기 시스템(air-to-air systems), 열 펌프(heat pumps) 그리고 냉각 장치[19]를 포함하는 고정 냉방장치

(vi) 승객용 자동차와 트럭, 버스, 기차에 사용되는 이동식 냉방 장치[20]

이러한 모든 하위용도에 대해, 다양한 HFCs가 점차적으로 CFCs와 HCFCs를 대체하고 있다. 예를 들어, 선진국과 몇몇 개발도상국에서, 가정용 냉동 장치, 고압 냉각장치, 이동식 냉방 장치의 CFC-12를 HFC-134a가 대체하고 있으며, R-407C(HFC-32/HFC-125/ HFC-134a)와 같은 HFCs의 혼합물이 HCFC-22를 주로 고정 냉방장치에서 대체하고 있다. HFC 혼합물 R-404A (HFC-125/HFC-143a/HFC-134a)와 R-507A(HFC-125 /HFC-143a)는 R-502(CFC-22/CFC-115)와 HCFC-22를 주로 공업용 냉동장치에서 대체하고 있다. 다른 non-HFC 물질이 또한 가정용 냉동장치나 산업용 냉동장치에서의 암모니아에 포함된 이소부탄(isobutane; HC-600a)과 같은 CFCs와 HCFCs를 대체하는 데 사용되고 있다.

HFCs와(또는) PFCs를 포함하고 있는 다수의 혼합물이 현재 냉동과 냉방 용도로 사용되고 있다. 표 7.8은 이 같은 혼합물 중 가장 흔한 것들을 보여준다.

[19] 많은 상업적 용도의 건물 (호텔, 사무실, 병원, 대학 등을 포함하는)에서 편안한 냉방장치(comfort air conditioning)는 주로 공기 처리 및 배포 시스템(air handling and distribution systems)과 물 냉각장치(water chillers)에 의해 공급된다.

[20] 이동식 냉방장치의 하위용도에서 수년간의 냉동과 냉방용도 내의 배출량 중 가장 큰 부분을 나타날 가능성이 있다. 이와 같은 배출을 계산하는 방법의 예시는 '7.5.2.4절, Tier 2 방법 적용 - 이동용 냉방장치(MAC)의 예'를 참조하라. 이 부분을 읽으면, 제한된 정보가 이 배출량에 근접하는데 필요하다는 것을 알 수 있고, 평균 배출계수와 HFC 냉방장치를 갖고 있는 차의 수를 곱한 간단한 계산이라는 것, 용기 관리나 충전, 최종 사용과 관련된 배출을 이에 더할 수 있다는 것을 알게 될 것이다.

표 7.8
혼합물 (HFCs와(또는) PFCs를 포함하고 있는 다수)

혼합물	구성물질	구성 비율
R-400	CFC-12/CFC-114	명시되어야 함[1]
R-401A	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	53.0/13.0/34.0
R-401B	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	61.0/11.0/28.0
R-401C	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	33.0/15.0/52.0
R-402A	HCFC-125/HC-290/HCFC-22	60.0/2.0/38.0
R-402B	HCFC-125/HC-290/HCFC-22	38.0/2.0/60.0
R-403A	HC-290/HCFC-22/PFC-218	5.0/75.0/20.0
R-403B	HC-290/HCFC-22/PFC-218	5.0/56.0/39.0
R-404A	HFC-125/HFC-143a/HFC-134a	44.0/52.0/4.0
R-405A	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-142b/PFC-318	45.0/7.0/5.5/42.5
R-406A	HCFC-22/HC-600a/HCFC-142b	55.0/14.0/41.0
R-407A	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	20.0/40.0/40.0
R-407B	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	10.0/70.0/20.0
R-407C	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	23.0/25.0/52.0
R-407D	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	15.0/15.0/70.0
R-407E	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	25.0/15.0/60.0
R-408A	HFC-125/HFC-143a/HCFC-22	7.0/46.0/47.0
R-409A	HFCF-22/HCFC-124/HCFC-142b	60.0/25.0/15.0
R-409B	HFCF-22/HCFC-124/HCFC-142b	65.0/25.0/10.0
R-410A	HFC-32/HFC-125	50.0/50.0
R-410B	HFC-32/HFC-125	45.0/55.0
R-411A	HC-1270/HCFC-22/HFC-152a	1.5/87.5/11.0
R-411B	HC-1270/HCFC-22/HFC-152a	3.0/94.0/3.0
R-411C	HC-1270/HCFC-22/HFC-152a	3.0/95.5/1.5
R-412A	HCFCF-22/PFC-218/HCFC-142b	70.0/5.0/25.0
R-413A	PFC-218/HFC-134a/HC-600a	9.0/88.0/3.0
R-414A	HCFC-22/HCFC-124/HC-600a/HCFC-142b	51.0/28.5/4.0/16.5
R-414B	HCFC-22/HCFC-124/HC-600a/HCFC-142b	50.0/39.0/1.5/9.5
R-415A	HCFC-22/HFC-152a	82.0/18.0
R-415B	HCFC-22/HFC-152a	25.0/75.0
R-416A	HFC-134a/HCFC-124/HC-600	59.0/39.5/1.5
R-417A	HFC-125/HFC-134a/HC-600	46.6/50.0/3.4
R-418A	HC-290/HCFC-22/HFC-152a	1.5/96.0/2.5
R-419A	HFC-125/HFC-134a/HE-E170	77.0/19.0/4.0
R-420A	HFC-134a/HCFC-142b	88.0/12.0
R-421A	HFC-125/HFC-134a	58.0/42.0
R-421B	HFC-125/HFC-134a	85.0/15.0
R-422A	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	85.1/11.5/3.4
R-422B	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	55.0/42.0/3.0
R-422C	HFC-125/HFC-134a/HC-600a	82.0/15.0/3.0
R-500	CFC-12/HFC-152a	73.8/26.2
R-501	HCFC-22/CFC-12	75.0/25.0
R-502	HCFC-22/CFC-115	48.8/51.2
R-503	HFC-23/CFC-13	40.1/59.9
R-504	HFC-32/CFC-115	48.2/51.8
R-505	CFC-12/HCFC-31	78.0/22.0
R-506	CFC-31/CFC-114	55.1/44.9

R-507A	HFC-125/HFC-143a	50.0/50.0
R-508A	HFC-23/PFC-116	39.0/61.0
R-508B	HFC-23/PFC-116	46.0/54.0
R-509A	HFCF-22/PFC-218	44.0/56.0
[1] R-400은 다양한 비율의 CFC-12와 CFC-114를 포함하고 있다. 정확한 구성비율을 명시해야 한다. 예를 들어, R-400(60/40)		

7.5.2 방법론적 이슈

7.5.2.1 방법의 선택

본 장의 도입 부분에서 논의되었듯이 Tier 1과 Tier 2는 둘 다 결과적으로 잠재적 배출량보다는 실제 배출량을 산정한다. 실제 배출량은, 소비와 배출 사이의 지연을 설명하는데, 특히 냉동과 냉방 부문에서 중요하고, 그 이유는 이 용도에서 사용되는 제품과 설비 내에 있는 냉매가 잠재적으로 긴 체류성(retention)을 지니기 때문이다.

냉매와 냉방 용도에 사용가능한 옵션은 그림 7.6 의사 결정도에 나타나 있다.

TIER 1

Tier 1 a/b

냉동과 냉방은 많은 국가에서 주 카테고리(key categories)일 것으로 예상된다. 표 7.2와 그림 7.6 의사 결정도로부터 얻은 이와 같은 결론이 함축하는 것은 보고를 완수하기 위해 국가별의 활동도 자료나 세계적으로나 지역적으로 도출된 활동도 자료 중 하나가 하위용도(세분화된) 수준에서 요구될 것이라는 점이다. 그러나 냉동과 냉방 용도가 훨씬 덜 중요한 매우 드문 경우에는, 집합된 자료에 대해 적절한 Tier1 방법을 이용할 수 있어야 한다.

몇몇 국가에서 냉매 소비량과 뱅크(banks)의 동력(dynamics)을 연구한 경험으로부터(UNEP-RTOC, 2003; Ashford, Clodic, Kuijpers and McCulloch, 2004; and supporting materials), 국가 수준에서 주어진 냉매의 판매를 평가하는데 도움이 될 수 있는 냉매 사용 평가를 허용하는 가정을 도출할 수 있다. 그와 같은 hybrid Tier 1 a/b 접근법은 다음 가정을 사용할 것이다.

1. 냉매를 포함하고 있는 설비의 수리는 설비가 설치된 후 3년이 지나야 시작한다.
2. 뱅크된(banked) 냉매로부터의 배출은 전체 RAC 용도 분야에 걸쳐 연간 평균 15퍼센트이다. 이 가정은 모든 하위용도에 있어서는 가중 평균(weighted average)으로 산정되는데, 그 하위용도의 배출계수 기본값은 표 7.9와 같다.
3. 안정된 시장(mature market)에서 냉매 판매의 2/3는 수리(servicing)에 사용되고, 1/3은 새로운 설비를 충전하는데 사용된다. 안정된 시장이란 ODS 대체물질을 사용하는 냉동설비가 널리 사용되고, 구입하고 설비를 보수하는 공급자와 사용자 간에 관계가 존재하는 시장이다.
4. 평균 설비의 수명은 15년이다. 이 가정은 또한 모든 하위용도에 대해서는 가중 평균으로 산정된다.
5. 새로운 냉매 기술로의 완전한 변천은 10년 정도의 기간에 걸쳐 일어날 것이다. 현재까지의

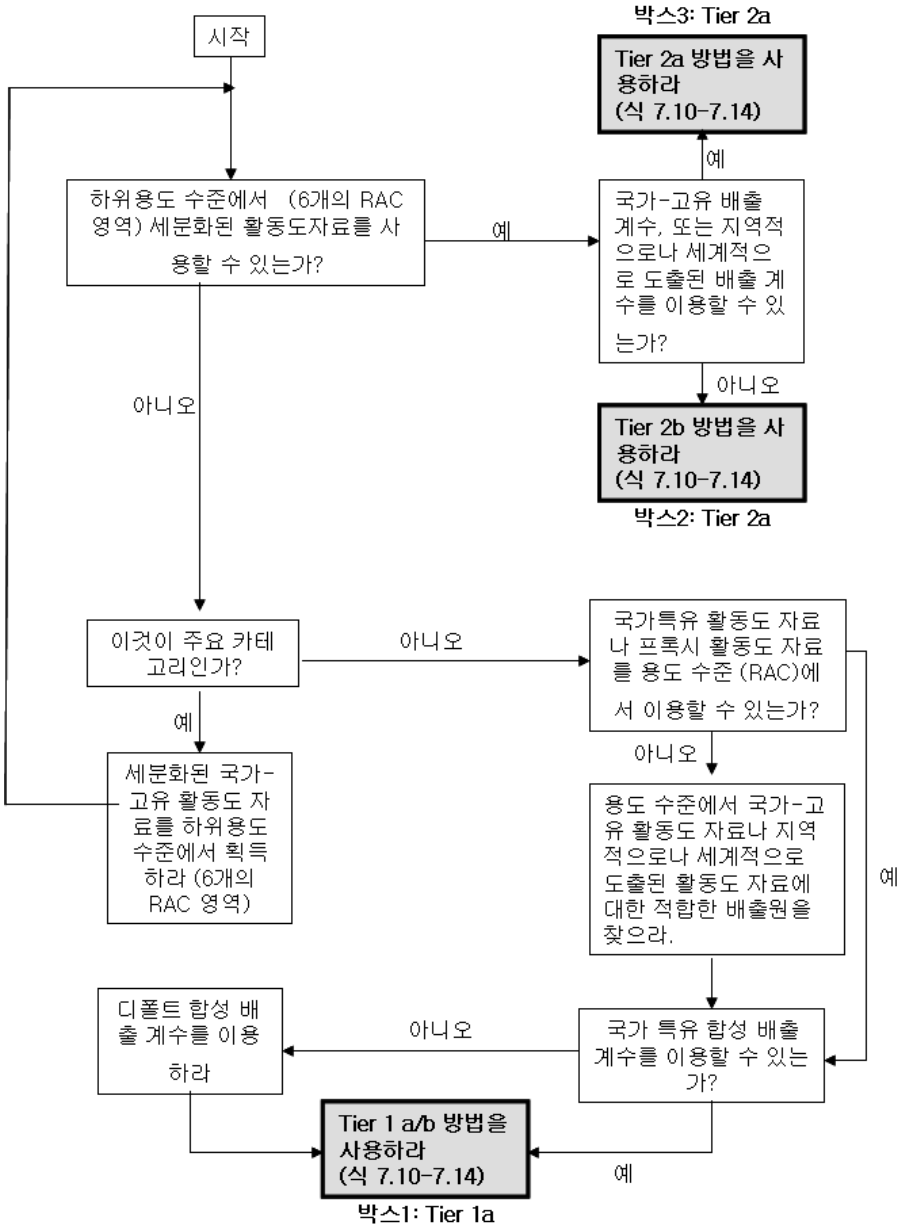
경험으로 볼 때, 이 가정은 단일 국가의 단일 화학물질에 대해서 유효하다고 생각된다.

이와 같은 적절한 가정과 함께, 다음 자료가 제공된다면, 배출을 도출할 수 있다.

- 보고 되는 연도 특정 냉매의 판매량
- 냉매가 도입된 연도
- 새로운 설비 판매의 성장률 (보통 평가 기간 동안 선형적일 것으로 추정됨)
- 수출된 새로운 설비의 퍼센트 추정치
- 수입된 새로운 설비의 퍼센트 추정치

Tier 1a/b 방법은 냉매 뱅크(banks)의 발달을 현재 보고 연도로부터 그것이 도입된 연도로 역 계산한다. 이 기간을 지도로 나타낼 때, 이 방법은 또한 새로운 설비에 대해 33% 그리고 수리 필요물에 대해 67%인 경험치에 근거하여 가정된, 성숙한 시장 상황에 대한 판매로부터 새로운 설비로의 전환을 구축한다. 새로운 냉매 기술로의 변환은 수입되는 설비에도 모두 동일하게 반영된다고 가정한다.

그림 7.6 냉동과 냉방 (RAC) 용도로 부터의 실제 배출에 대한 의사 결정도



주:
1. 주 카테고리에 대한 논의와 의사 결정도의 사용은 1권 4장, 방법론의 선택과 주 카테고리의 확인을 참조하라(한정된 자료에 대한 4.1.2절에 주목할 것).

다음 스프레드시트 예시는 Tier 1 a/b 방법이 선택된 냉매의 7년의 시계열동안의 배출을 어떻게 산정하는지를 보여준다. 냉매는 1998년에 도입되었고, 2005년 판매량이 1000톤이라는 것이 이미 알려진 상황이다. 2006 지침서 CDROM에 포함되어 있는 스프레드시트는 이 계산을 반영한다. 그리고 이 스프레드시트를 완성하려면 국가 수준에서 용도와 견고해진 하위용도 두 수준 모두 에서 세계적으로나 지역적으로 도출된 자료 세트[21]를 이용할 수 있어야 한다.

[21] 박스 7.1에서 주목하였듯이, IPCC 배출계수 데이터베이스 (EFDB)에 포함되었다는 것은 합당한 과정을 충실히 따랐다는 것을 의미한다. 하지만 EFDB에서 취한 모든 자료가 국가의 상황에 적합하다는 것을 확인하

그림 7.7 Tier 1 a/b 평가에 대한 스프레드시트 계산의 예시

Tier 1 Refrigeration
Argentina - HFC-143a

HFC-143a

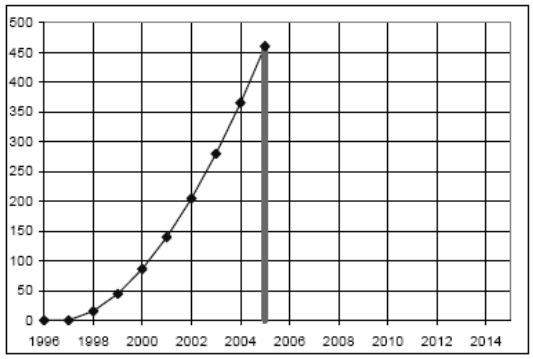
Summary
Country: Argentina
Agent: HFC-143a
Year: 2005
Emission: 460.7 tonnes
In Bank: 3071.1 tonnes

Current Year	2005

Use in current year - 2005 (tonnes)	Data Used Here
Production of HFC-143a	800
Imports in current Year	200
Exports in current year	0
Total new agent to domestic market	*1000*

Year of Introduction of HFC-143a	1998
Growth Rate in New Equipment Sales	3.0%

Tier 1 Defaults	
Assumed Equipment Lifetime (years)	15
Emission Factor from installed base	15%
% of HFC-143a destroyed at End-of-Life	0%



Estimated data for earlier years	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	**2005**
Production	0	0	81	167	259	355	458	566	680	**800**
Agent in Exports	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Agent in Imports	0	0	20	42	65	89	114	141	170	**200**
Total New Agent in Domestic Equipment	0	0	102	209	323	444	572	707	850	**1000**
Agent in Retired Equipment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Destruction of agent in retired equipment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Release of agent from retired equipment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Bank	0	0	102	296	575	933	1365	1867	2437	**3071**
Emission	0	0	15	44	86	140	205	280	365	**461**

이 가정적인(hypothetical) 사례에서, 특정 냉매의 생산량은 800톤이고, 수입된 설비로 추가된 것이 200톤, 따라서 2005년 총 소비량은 1,000톤이다. 이 소비량과 냉매 도입 연도에 근거하여, 그리고 지난 7년간의 뱅크(banks)의 발달에 근거하여, Tier 1a/b 방법은 461톤의 배출을 예측한다고 볼 수 있다. 2005년 뱅크(bank)는 3071 톤으로 산정되었다.

자료를 수집하는 것이 어려울 때, 그런 방법으로 배출량을 산정할 수 있지만, 국가별 순 소비량 활동도 자료나, 세계적으로나 지역적으로 산출된 순 소비량 활동도 자료를 정확히 평가할 필요가 여전히 있다는 점에 주목해야 한다. 표 7.8의 내용을 고려할 때 (특히 이 혼합물 중 몇몇이 설비 상태로 수입될 수 도 있을 때) 시장에서의 기술 선택(technology selection)에 대한 상당한 지식이 필요하다는 것이 분명하다. 냉매 공급자는 인벤토리 작성자를 이 부분에서 보조할 수 있어야 하지만, 질 높은 활동도 자료 세트를 개발하는 짐(burden)이 인벤토리 작성자로 하여금 Tier 2 옵션이 약간의 초과 작업으로 더 많은 값(values)을 제공한다는 결론에 이르게끔 할 수 있다. 실제로, 세계적으로나 지역적으로 확인된 활동도 자료를 구하는 경우에, 이것은 보통 본래 하위용도수준에서 세분화된 자료의 재구성이 될 것이다. 그래서 다용성(다방면으로 이용할 수 있는 특성, versatility)을 최대한 이용하고, 처

는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다.

음부터 Tier 2 방법을 추구하는 것이 가장 논리적인 방법일 것이다.

TIER 2

개관(Overview)

Tier 2a 방법론은

a) 몬트리올 의정서 계획(schedule)에 따른 CFCs와 HCFCs의 단계적 제거나, 단계적 축소, 가능한 국가적 또는 지역적 규정을 고려한다. 모든 용도에 대한 냉매 선택을 확립하기 위함이다.

b) 전형적인 냉매 충전(charge)과 하위용도 당 설비의 수명을 정의 한다;

c) 가동 중, 보수 시(at servicing), 최종 사용 단계에서(at end-of-life) 냉매 충전에 대한 배출계수를 정의한다.

총 설비 사용기간(lifetime)에 대한 배출 계산은 생산 연도(vintage)와 관계없이 설비의 총 재고량을 도출하는 것을 필요로 한다. 그렇게 함으로써, 하위용도 당 냉매 뱅크(bank)가 확정될 수 있다.

일관성을 달성하기 위하여, 새로운 설비에 충전된 냉매 량과 총 설비 재고를 보수하기 위해 사용되는 냉매 량으로부터 냉매의 연간 시장(the annual market of refrigerants)을 도출하는 것을 제안한다.

Tier 2b 물질수지 접근법은, 하위용도에 기반 하여, 냉매 연간 판매와 파괴된 냉매, 설비 재고에서 일어날 수 있는 변화에 대한 지식에 의존한다. (즉, 새로운 설비 판매와 설비 폐로) 설비 재고량이나 각각의 냉동과 냉장 하위용도와 관련된 배출계수에 대한 완전한 지식을 요구하지는 않는다.

Tier 2 방법론이 적용될 수 있는 방법에 대한 예시 본 절의 나머지 부분에서 제시된다.

Tier 2b -물질수지 접근

물질수지 접근은 특히 냉동과 냉방 용도에 적용할 수 있는데, 설비를 유지하는데 필요한 상당한 보수 구성요소(servicing compoenent) 때문이다. Tier 2b에 대한 일반적인 접근법은 3권 1장에 소개되고 있다.

물질수지 접근에 대해, 위에서 구분하였던 네 개의 배출 단계 (충전, 작동, 보수, 최종 사용)가 다음 단순화된 식에서 언급되고 있다.

식 7.9

물질수지에 의한 냉매 배출 결정

$$\text{배출} = \text{새로운 냉매의 연간 판매량} - \text{새로운 설비의 총 충전량} + \text{폐기되는 설비의 본래 총 충전량} - \text{의도적인 파괴 량}$$

*새로운 냉매의 연간 판매량(Annual Sales of New Refrigerant)*은 당해 년도에 특정 국가의 냉동 부문으로 도입된 화학물질의 양이다. 그것은 설비를 공장에서 충전했던지, 설치 후에 설비로 충전되었던지, 또는 보수 단계(servicing)에서 설비에 채워졌던지 간에, 설비를 채우고 다시 채우는데 사용된 모든 화학물질을 포함한다. 재활용하거나(recycle), 회수한(reclaim) 화학물질은 포함하지 않는다.

새로운 설비의 총 충전량(Total Charge of New Equipment)은 당해 년도에 국가에서 팔린 모든 새로운

설비의 모든 충천량의 합(sum)이다. 그것은 공장에서 설비를 충전하는 데 필요한 화학물질과 설치 후 설비에 충전해야 하는 화학물질을 모두 포함한다. 배출된 것을 채우거나 보수 단계에 설비에 다시 충전한 량은 포함하지 않는다.

*폐기되는 설비의 본래 총 충전량(Original Total Charge of Retiring Equipment)*은 당해 년도에 국가에서 폐기되는 설비의 모든 충전량의 합이다. 설비가 폐로시까지 보수되었고, 따라서 그것의 본래 충전량을 포함하는 것으로 가정한다.

*의도적인 파괴 량(Amount of Intentional Destruction)*은 승인된 파괴 기술로 정식으로 파괴된 화학물질의 양이다.

각 국가에는 냉매 물질의 기존 재고량(bank)을 포함하는 냉동 설비의 재고량이 있다. 따라서 새로운 화학 냉매의 연간 판매량을 다음 세 가지 목적 중 하나를 위해 사용해야 한다.

- 사용 중인 기존의 화학 물질 재고량을 증가시키기 위하여 (기존의 화학물질로부터 주어진 화학물질로 설비를 개장하는 것을 포함)
- 대기로 배출된 전년도 화학 물질 재고량의 일부를 대체하기 위하여 (예를 들어, 누출이나 보수 시 손실로 인한)
- 공급-연쇄 기폭제(supply-chain priming)이나 비축량(stockpiles)을 제공하기 위하여

이 목록의 세 번째 항목은 안정된 시장에서는 거의 필요하지 않기 때문에, 식 7.9에 포함되지 않는다. 비축(stockpiling)과 개장(retrofitting)을 설명하는 조건(terms)은 그와 같은 상황이 존재하는 경우 식 7.9에 더해질 수 있다.

판매된 가스의 총 량과 화학물질 재고량의 규모를 증가시키는데 사용되는 가스의 양의 차이는 대기로 배출된 화학물질의 양과 동일하다. 화학물질 재고량의 규모의 증가는 새로운 설비의 총 충전량과 폐기되는 설비의 총 충전량 사이의 차이와 동일하다.

문헌 연구로 참조한 배출계수보다는 가스의 현재 판매 자료와 역사적 판매 자료를 이용함으로써, 식은 조립, 작동, 폐기가 일어나는 시기와 장소에서의 배출을 반영하게 된다. 배출계수 기본값은 정확하지 않을 수 있는데, 그 이유는 배출량이 국가에 따라 달라지고, 심지어는 하나의 국가 내에서도 변화하기 때문이다.

3권 1장 1.5절에서 이미 논의하였듯이, 물질수지 접근법의 단점은 설비 재고량이 증가할 때 배출을 과소 평가(underestimate)할 수 있다는 것이다. 이는 배출이 일어나는 시기와 그것이 탐지된 시기 간 차이(지연)가 있을 수 있기 때문이다. (설비 보수로 인해) 이 과소 산정은 상대적으로 HFCs가 설비에서 10년이 안 되는 기간 동안 사용된 국가에서 상대적으로 클 것인데, 많은 설비가 보수되지 않고 누출될 것이기 때문이다. 그래서 HFCs가 10년 미만 동안 사용되는 국가는 대안 접근법을 이용하여 배출을 산정하도록 장려된다. 일반적으로, HFCs가 국가에서 더 오래 사용될수록, 물질수지와 관련된 과소 산정이 덜하다. 일단 HFCs를 포함하고 있는 설비의 퇴각되기(retire) 시작됨에 따라, 과소 산정의 수준이 낮은 수준으로 감소한다.

식 7.9는 설비의 개별 유형(하위용도)이나 좀 더 일반적인 국가의 모든 냉방과 냉동 설비(즉, Tier 1b)에 적용될 수 있는데, 그것은 이용 가능한 자료의 세분화 수준에 좌우된다. 만약 세분화된 자료를 이용할 수 있다면, 설비와 화학물질의 각각 유형에 대해 개발된 배출 산정이 모두 합해져서 용도의 총 배출을 결정하게 된다.

Tier 2a - 배출계수 접근법

Tier 2a 계산에서, t년도의 냉동과 냉방 시스템의 여섯 개[22] 각각의 하위용도로부터의 냉매 배출은 개별적으로 계산된다. 배출은 다음의 결과로 얻어진다.

- $E_{containers,t}$ = 냉매 저장고의 관리와 관계있는 배출
- $E_{charge,t}$ = 냉매 충전과 관계있는 배출 : 냉매 저장고나 냉매가 충전되는 새로운 설비와의 연결 또는 분리
- $E_{lifetime,t}$ = 작동(탈루배출 및 파열)이나 보수(servicing) 중 여섯 개의 하위용도와 관계있는 냉매의 banks로부터의 연간 배출
- $E_{end\text{-}of\text{-}life,t}$ = 시스템 파기 시의 배출

이와 같은 양(quantities)은 모두 킬로그램으로 표시되며, 여섯 개의 서로 다른 하위용도에서 사용된, HFC의 각 유형에 대해 계산되어야 한다.

식 7.10
배출원 요약

$$E_{total,t} = E_{containers,t} + E_{Charge,t} + El_{ifetime,t} + E_{end\text{-}of\text{-}life,t}$$

위에서 언급한 부분에 대한 평균 배출량을 산정하기 위한 방법은 아래에 개괄되어 있고, 생산년도(vintage)에 관계없이 모든 설비에 대해 냉매 당 계산될 필요가 있다. 만약 용기와 충전 배출에 대한 정보를 사용할 수 없다면, 인벤토리 작성자는 이와 같은 손실을 bank의 퍼센트로 산정할 수 있고, 그와 같은 손실을 설명하는 아래 식 7.13에서의 수명(lifetime; 작동+보수) 배출계수를 수정할 수 있다.

용기에 담긴 냉매 관리 (Refrigerant management of containers)

냉매의 용기와 관련된 배출은 bulk 저장고(보통 40톤)로부터 용량이 0.5kg(일회용 캔)에서 1톤(컨테이너)에 이르는 작은 용량으로부터의, 그리고 소위 refrigerant heels(증기와(또는) 액체)이라 불리는, 회수되거나 배출된 다양한 용기에 남아있는 남은 양으로부터의 냉매 운반과 관련된 모든 배출을 포괄한다.

식 7.11
용기 관리로부터의 배출에 대한 배출원

$$E_{containters,t} = RMt \cdot c/100$$

여기에서,

$E_{containers,t}$ = t년도 모든 HFC 용기로부터의 배출, kg

[22] 사용가능한 자료의 세분화된 수준에 따라, 여섯 개 이상의 하위용도가 사용될 수 있다.

RM_t = t년도 모든 냉동 용도의 새로운 설비와 보수에 대한 HFC 시장, kg
c = 현재 냉동 시장의 HFC 용기 관리에 대한 배출계수, 퍼센트

용기의 완전한 냉매 관리와 관련된 배출은 냉매 시장의 2에서 10퍼센트로 산정된다.

새로운 설비의 냉매 충전 배출

새로운 설비의 충전 과정에 기인한 냉매의 배출은 초기에 충전되었을 때 설비로 그리고 설비로부터 냉매 용기를 연결시키는 그리고 연결하지 않는 과정과 관계있다.

식 7.12
새로운 설비를 충전할 때 배출에 대한 배출원

$$E_{charge,t} = M \cdot k/100$$

여기서,

$E_{charge,t}$ = t년도, 시스템 제조/조립 중의 배출, kg
M_t = t년도 새로운 설비에 충전된 HFC의 양(하위용도 당), kg
k = 새로운 설비로 충전된 HFC의 조립 손실에 대한 배출계수 (하위용도 당), percent
주: 보수 중(during servicing) 연결(connecting)과 연결하지 않는(disconnecting) 과정과 관련된 배출은 식 7.13에서 다루어진다.

충전된 량(Mt)은 그 국가에서 충전되는 모든 시스템을 포함해야 하며, 수출을 위해 생산되는 것까지 포함해야 한다. 사전에 충전되어 수입되는 시스템은 고려하지 말아야 한다.

배출계수 k의 전형적인 범위는 0.1에서 3퍼센트 정도 이다. 배출이 낮은 공장에서 조립된 시스템(표 7.9 참조)과 배출이 2퍼센트에 이르는 현장 조립된(field-erected) 시스템에서의 충전 과정 중 배출은 매우 다르다.

수명(lifetime) 동안의 배출 (작동과 보수)

냉매 banks로부터의 연간 누출은 탈루 배출(fugitive emissions)을 대표한다.(즉, 조립(fittings), 접합(joints), shaft seals 등으로부터 누출 뿐만 아니라 냉매의 일부 또는 전체를 대기로 배출하는 pipes의 ruptures 또는 heat exchangers) 설비는 주로 탈루배출로 인한 냉매의 손실로 냉동 능력이 현저히 떨어질 때 보수 받는다. 용도에 따라 보수는, 예를 들자면, 매년 또는 3년에 한번 또는 가정 냉동 하위용도에서처럼 전 사용기간 내내 한 번도 없을 수도 있다. 몇몇 하위용도에서, 누출은 보수되는 동안 고쳐져야 하고, 냉매 회복도 필요하다. 그래서 배출계수를 산정할 때, 회복 효율성이 고려되어야 한다. 게다가, 하위용도 당 보수에 필요한 연간 냉매 수요를 알아야 새로운 설비에 충전된 냉매 량에 이를 더함으로써 국가적인 냉매시장을 결정할 수 있다(품질보증 및 품질관리 단락을 참조). 다음 계산 공식이 적용된다.

식 7.13
설비 수명 동안 배출의 배출원

$$E_{lifetime,t} = B_t \bullet x/100$$

여기서,

$E_{lifetime,t}$ = t년도에 시스템 작동 중에 배출된 HFC의 양, kg
B_t = t년도에 기존의 시스템에 뱅크(bank)된 HFC의 양 (하위용도 당), kg

x = 작동 중 각 하위용도 뱅크(bank) HFC의 연간 배출량(즉, 배출계수)
평균 연간 누출량과 보수 동안의 평균 연간 배출을 설명한다, 퍼센트

냉매 뱅크(bank)(Bt)를 계산할 때, 국가 내에서 작동 중인 모든 시스템 (국내에서 생산되거나 수입된)은 하위용도에 근거하여 하위용도에서 고려되어야 한다.

각각의 냉동 하위용도를 기술하는(describing) 다양한 유형의 설비에 대한 전형적인 누출량(x)의 예가 표 7.9에 제시되어 있다.

최종 사용 시의 배출 (Emissions at end-of-life)

폐기된 시스템으로부터 배출된 냉매의 양은 폐기 시에 남겨진 냉매의 양과 회수된 비율에 좌우된다. 기술적인 관점에서 볼 때, 남아있는 유체의 주요 부분을 회수시킬 수 있지만, 최종 사용 시의 회수는 규정과 재정적인 동기(incentives), 환경 의식(environmental consciousness)에 달려있다.

다음 계산 공식(식 7.14)을 시스템 폐기시의 배출을 산정하기 위해 적용할 수 있다.

식 7.14
시스템 최종 사용에서의 배출

$$E_{end-of-life,t} = M_{t-d} \bullet \frac{p}{100} \bullet (1 - \frac{\eta_{rec,d}}{100})$$

여기에서,

$E_{end\text{-}of\text{-}life,t}$ = t년도 시스템 폐기 시 배출된 HFC의 양, kg
M_{t-d} = (t-d)년도에 설치된 새로운 시스템에 초기 충전된 HFC의 양
p = 폐기된 설비에 남아있는 HFC의 충전량, 완전 충전된 량의 백분율로 표시함, 퍼센트
$\eta_{rec,d}$ = 폐기 시 회수 효율성, 시스템에 포함된 HFC에 관련된 회수된 HFC의 비율, 퍼센트

시스템에 초기 충전된 냉매의 양을 산정할 때(M_{t-d}), 그 국가에서 충전된 모든 시스템 (국내 시장을 위해)과 미리 충전되어 수입된 시스템을 고려해야 한다.

7.5.2.2 배출계수의 선택

Tier 1a/b 방법

7.5.2.1절, 방법의 선택에서 설명했듯이, 합성 배출계수(composite emission factor)는 Tier 1 방법을 완수하는데 필요하다. 냉동과 냉방 용도 내의 하위용도가 상대적으로 이질적이다. 그러므로 국가 내 하위용도의 특수한 혼합을 고려하지 않는다면, 어떤 유일한 합성배출계수의 타당성은 의심스럽다. 따라서 그 국가 내에서 실시한 연구에 근거하여 합성배출계수를 개발하는 것이 *우수실행*이다. 연간 뱅크(bank)의 15퍼센트의 아치형을 이루는 배출계수 기본값은 이 가이드라인에 첨부된 *2006 가이드라인* CDROM에 포함된 스프레드시트 계산의 사례에서 사용되고 있다.

Tier 2a 방법

배출계수를 선택하는 *우수실행*은 설비 제조업자와 수리업체(service providers), 폐기 회사, 독립적인 연구에 의해 제공되는 정보에 근거한 국가별 자료를 사용하는 것이다. 국가적인 자료를 사용할 수

없을 때에 인벤토리 작성자는 '표 7.9, 충전량, 수명(Lifetime), 배출계수에 대한 산정'에 제시된 배출계수 기본값을 이용해야 한다. 그 표는 최고의 설비 충전량, 수명, 그리고 배출계수의 산정을 요약한 것이다. 이 기본값은 산업에 대한 현재 상태의 지식을 반영하고, 점(point) 산정보다는 값의 범위로 제공된다. 라이프 타임과 배출계수 범위의 하한선(the lower end)은 선진국 내의 상태를 표시하도록 의도된 것이다. 반면 각 범위의 상한선(the upper end)은 개발 도상국가의 상태를 나타내도록 의도된 것이다. 인벤토리 작성자는 국가별 상태에 따라 범위를 선택해야 한다. 그리고 선택에 대한 이유를 문서로 제시해야 한다. 현장에서 수집한 자료를 표 7.9에 있는 하위용도로 나눌 수 없다면, 각 유형의 설비의 상대적인 점유율(share)를 산정하는데 전문가의 판단을 이용하는 것, 그리고 그 상대적인 점유율(share)에 따라 Tier 1a/b에 제안 되어 있는 대로 가중된(weighted) 합성 배출계수를 계산하는 것, 또는 가장 흔한 유형의 설비에 적절한 배출계수를 사용하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다.

표 7.9
냉동과 냉방 시스템에 대한 충전량, Lifetime, 배출계수 산정[1]

히위용도	충전량 (kg)	Lifetime (연)[2]	배출계수 (초기 충전/년 의 %)[3]		최종 사용 배출 End-of-Life Emissions (%)	
식의 계수	(M)	(d)	(k)	(x)	($\eta_{rec,d}$)	(p)
			초기 배출	작동 배출	회수 효율성[4]	남아 있는 초기 충전
가계 냉동	0.05≤M≤0.5	12≤d≤20	0.2≤k≤1	0.1≤x≤0.5	$0<\eta_{rec,d}<70$	0<p<80
Stand-alone 공업용 설비	0.2≤M≤6	10≤d≤15	0.5≤k≤3	1≤x≤15	$0<\eta_{rec,d}<70$	0<p<80
중형 & 대형 공업용 냉동	50≤M≤2000	7≤d≤15	0.5≤k≤3	10≤x≤35	$0<\eta_{rec,d}<70$	50<p<100
냉동 수송	3≤M≤8	6≤d≤9	0.2≤k≤1	15≤x≤50	$0<\eta_{rec,d}<70$	0<p<50
산업용 냉동 식 가공과 냉동 저장 포함	10≤M≤10,000	15≤d≤30	0.5≤k≤3	7≤x≤25	$0<\eta_{rec,d}<90$	50<p<100
냉각차(chillers)	10≤M≤2000	15≤d≤30	0.2≤k≤1	2≤x≤15	$0<\eta_{rec,d}<95$	80<p<100
주거용 그리고 공업용 A/C Heat Pumps 포함	0.5≤M≤100	10≤d≤20	0.2≤k≤1	1≤x≤10	$0<\eta_{rec,d}<80$	0<p<80
이동용 A/C	0.5≤M≤1.5	9≤d≤16	0.2≤k≤0.5	10≤x≤20[5]	$0<\eta_{rec,d}<50$	0<p<50

[1] UNEP RTOC Reports (UNEP-RTOC, 1999; UNEP-RTOC,2003)에 포함된 정보에 근거
[2, 3] 선진국에는 낮은 값, 개발 도상국에는 높은 값
[4] 낮은 경계(threshold)는 (0%) 몇몇 나라에서 회수가 전혀 이루어지지 않는다는 것을 강조한다.
[5] Schwarz와 Harnisch(2003)는 5.3%에서 10.6%의 누출량을 산정한다. 이 비율은 오직 1996년과 그 이후에 유럽 모델에 설치된 2세대 이동식 냉동 장치에만 적용된다.

7.5.2.3 활동도 자료의 선택

Tier 1a/b 방법

냉매 화학물질을 제조하는 국가의 인벤토리 작성자는 화학 제조업자에 의해 제공되는 정보를 활용하여 새로운 냉매의 연간 판매량을 산정해야 한다. 수입된 화학물질에 대한 자료는 관세 통계나 수입업자, 배포업자로부터 수집되어야 한다.

새로운 설비의 총 충전량은 다음 중 하나를 이용하여 산정할 수 있다.

- 설비 제조업자/수입업자로부터 얻은 제조하거나 수입하는 설비의 총 충전량에 대한 정보
- 설비 제조업자/수입업자로부터 얻은 설비 제조업자와 배포업자로의 판매량에 대한 정보

이 정보가, 원료나 다른 사용이 아닌, 냉매로서의 판매량만 포함한다는 것을 분명히 하라. 새로운 냉매의 총 판매량과 새로운 설비에 충전된 것의 차이점은 보수(servicing)를 위해 사용되는 것으로 추정된다. 새로운 설비 충전량에 대한 정보를 이용할 수 없는 경우, 안정된 시장(mature market)에서는 냉매의 2/3가 보수(servicing)를 위해 사용되고 1/3이 새로운 설비를 위해 사용되는 것으로 추정된다. 그러나 그와 같은 가정을 채택하는 것은 시장의 상태와 어떻게 이와 같은 가정을 잘 적용할 수 있을 가에 대한 몇몇 정당화를 수반해야 한다.

Tier 2 방법

Tier 2a와 Tier 2b 방법은 모두, 한편으로는 설비 유형에 기초한 다른 한편으로는 냉매 유형에 기초한, 각 각의 하위 용도에 대한 매트릭스의 개발을 필요로 한다. 또한 모든 제작 연도의 상품에 대한 설비 일부의 수를 도출하기 위해 역사적인 순 소비량 활동도 자료가 요구되어진다. 매트릭스의 연간 업데이트로 식 7.10과 7.14에서 상세히 설명된 모든 배출 유형을 매년 재계산할 수 있다. 게다가 냉매 선택은 변화하는 국가 규정(종종 다양한 시기의 CFC와 HCFC 단계적 제거와 관계된)과 변화하는 기술적 선택 때문에 연 단위로 평가되어야 한다. 몇몇 국가에서 HFC 냉매 규정이 효력을 발휘하기 시작 하였다.

국가별 자료를 이 수준으로 분석할 수 없는 경우, Tier 2 방법을 용이하게 하기 위하여, 모든 용도에 대해, 세계적으로나 지역적으로 타당화된 활동도 자료를 표 7.9에 제시된 냉매 충전량과 수명에 근거하여 믿을 만한 데이터베이스로부터 얻을 수 있다. 국가의 특정 상황에 따라 수많은 정제작업(refinements)이 보통 필요하다. 이를 위한 도움은 용도 전문가로부터 얻을 수 있다.

다른 공유되는 문제 (Other shared issues)

Tier 1 방법이나 Tier 2 방법 중 어떤 것을 뒷받침하는 국가별 활동도 자료를 수집하든 간에, 인벤토리 작성자는 냉매 혼합물을 다루는데 조심해야 한다. 표 7.8은 이미 존재하는 복잡성을 보여준다. 그리고 설비의 제조업자가 수행에서의 더 진전된 개선을 추구함에 따라, 특히 에너지 효율성의 측면에서, 혼합물이 더 증가할 것으로 기대된다. 혼합물이 HFCs와 다른 구성요소를 포함하는 경우, 오직 보고할만한 요소를 고려할 필요가 있다. 이것은 상당한 GWPs를 지닌 다른 구성요소의 경우에도 그렇다. (예를 들어, CFCs와 HCFCs)

인벤토리 작성자는 또한 어떻게 HFCs와(또는) PFCs를 담고 있는 설비와 제품 교역의 움직임을 감시

할 것인가를 고려해야 한다. 아래 박스 7.3은 수입과 수출을 적절히 산정하는데 필요한 몇몇 척도(measures)를 보여준다.(set out)

박스 7.3

냉매와 설비의 수입과 수출에 대한 설명

Tier 2b에서 요구하는 대로 *새로운 냉매의 연간 판매*, *새로운 설비의 총 충전*, *폐기되는 설비의 본래의 총 충전*을 산정하는 데 있어서, 인벤토리 작성자는 화학물질과 설비 모두의 수입과 수출을 설명해야 한다. 이것으로 그들이 화학물질과 설비의 실제 국내 소비를 capture했다는 것이 보증된다. 예를 들어, 만약 상당한 할당량의 HFC-134a를 수입한다면, 수입된 량은 **연간 판매**의 일부로 간주되어야 한다. 대안으로는, 만약 국가가 상당 수의 가계 냉동장치를 충전한 후에 수출한다면, **새로운 설비의 총 충전(Total Charge of New Equipment)**을 획득하기 위해서는 수출된 냉동장치의 총 충전을 그 국가에서 제작된 가계 냉동장치의 총 충전에서 빼야 한다.

일반적인 접근법: 일반적으로, 연간 판매를 다음 공식을 이용하여 산정해야 한다.

연간 판매 = 국내에서 제조된 화학물질
+수입된 대량 화학물질
-수출된 대량 화학물질
+공장에서 충전된 수입된 설비에 포함된 화학물질
-공장에서 충전된 수출된 설비에 포함된 화학물질

모든 량은 배출이 산정되고 있는 연도로부터 온 것이어야 한다. 유사하게, 새로운 설비의 총 충전량은 다음을 이용하여 산정해야 한다.

새로운 설비의 총 충전
= 공장에서 충전되지 않은 국내 생산 설비를 충전하기 위한 화학물질
+공장에서 충전된 국내 생산 설비를 충전하기 위한 화학물질
+공장에서 충전되지 않은 수입 설비를 충전하기 위한 화학물질
+공장에서 충전된 수입 설비에 포함되어 있는 화학물질
-공장에서 충전된 수출 설비에 포함되어 있는 화학물질

*퇴각되는 설비의 본래 총 충전*은 *새로운 설비의 총 충전*과 동일한 방법으로 산정되어야 한다. 단 모든 량은 폐기되는 설비의 제조나 수입 년도로부터 와야 한다.

단순화된 접근법: *연간 판매*와 *새로운 설비의 총 충전*을 산정하는데 있어서, 공장에서 충전된 설비 내에서 수입되거나 수출된 화학 물질의 양이 배출 계산에서 상쇄된다면, 그것을 무시할 수 있다. 그러나 단순화된 계산을 사용하는 인벤토리 작성자는 다음을 확실히 해야 한다: (1) 연간 판매와 새로운 설비의 총 충전을 산정하는데 있어서 공장에서 충전된 설비의 수입과 수출을 일관적으로 다룬다는 것, (2) *폐기되는 설비의 본래 총 충전*을 산정하는데 있어서 공장에서 충전된 설비의 수입과 수출을 지속적으로 설명한다는 것. 새로운 설비는 결국에는 폐기되는 설비가 될 것이므로, 국가는 공장에서 충전된 설비의 수입과 수출에 대한 정보가 현재 년도의 산정

을 개발하는데 꼭 필요하지 않다 하더라도, 그것을 추적하고자 할 것이다.

연간 판매에 대한 단순화된 공식은 다음과 같다:
연간 판매 = 국내에서 제조된 화학물질
+수입된 전체(bulk) 화학물질
- 수출된 전체(bulk) 화학물질

새로운 설비의 총 충전에 대한 단순화된 공식은 다음과 같다:
새로운 설비의 총 충전
= 국내에서 제조된 설비를 충전하는 화학물질
+공장에서 충전되지 않은 수입된 설비를 충전하는 화학물질
사전 충전된 설비의 수입과 수출을 설명하는 완전한 공식(full formula)은 *폐기되는 설비의 본래 총 충전*을 계산하는데 사용되어야 한다.

7.5.2.4 Tier 2 방법의 적용 - 이동 냉각 장치(Mobile Air Conditioning; MAC)의 예

아래 박스 7.4는 가설적인 국가 인벤토리의 이동 냉각 장치 하위 용도로부터의 배출을 평가하는데 필요한 단계적인 접근법을 보여준다. Tier 2b에 동일하게 적용할 수 있는 요소가 있지만 채택된 방법은 주로 Tier 2a 접근법이다. 그러므로 이 예는 실제상에 있어서 순수한 접근법와 방법은 드물다는 것을 강조한다. 국가별 자료와 세계적으로나 지역적으로 도출된 자료의 혼합, 배출-계수 접근법과 물질수지 접근법의 혼합이 또한 종종 있을 것이다. 7.1.2.1절에서 지적하였듯이, 하나의 방법이나 접근법, 자료세트가 다른 것을 교차 검토하기 위해 종종 사용될 것이다. 이 예는 또한 Tier 2a 방법의 상세한 이용에 하위용도에 대해 수집된 상당한 양의 정보가 필요하다는 것을 보여준다. 일단 확정되면, 다음 년도에 그 접근법을 이용하는 것은 덜 수고스럽다. 또한 만들어진 가정이 오직 예시를 위한 것이라는 점을 주목하라; 인벤토리 작성자는 주어진 가정을 이용하기 보다는 국가별 정보를 수집해야 한다.

박스 7.4
이동식 냉각 장치에 대한 Tier 2a 계산의 적용 사례

도입
지금까지의 국가 인벤토리와 다른 연구는 이동식 냉각 장치(MACs)로부터의 HFC-134a 배출이 냉동과 냉각(RAC) 배출과 ODS 대체물 카테고리 배출에 상당히 기여한다는 것을 보여준다. 많은 국가에서 MACs로부터의 배출은 50 퍼센트 또는 그 이상의 RAC 배출을 구성할 것이며 아마도 50 퍼센트 이상의 총 ODS 대체물 카테고리 배출을 구성할 것이다. 이것은 다음을 포함하는 많은 요인 때문이다.

- MACs에서 HFCs에 대한 ODSs의 단계적 제거는 거주 냉각과 상업용 냉장(수퍼마켓)과 같은

다른 하위용도, 이것들은 아직도 ODSs에 상당히 의존하는데, 이보다 더 이른 시기에 더 빠르게 일어났다.

- MACs는 물리적인 충격과 진동에 의해 극단적으로 된다. 그러므로 배출이 큰 경향을 보인다.
- MACs의 수명은 다수의 다른 RAC 하위용도에 비해 짧은 경향이 있다. 그러므로 최종 사용(end-of-life) 배출은 더 이른 것으로 보이며 ODSs에 의존하는 설비 재고량은 HFCs로 더 빨리 대체된다.
- 포함된 냉매의 작은 충전량 때문에, MACs로부터의 회수는 종종 비경제적으로 보인다. 그러므로 보수(service)나 폐기(disposal) 중 자주 실시되지는 않는다.

게다가, 국가의 수송수단 구입과 등록에 대한 자료는 종종 높은 질로 손쉽게 획득 된다. 그러므로 이 하위용도로부터의 배출을 산정하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 다음은 어떻게 RAC 용도에 대한 일반적인 식을 MAC 하위용도에 적용할 수 있는 가를 기술한다.

자료 수집과 가정

MAC 배출의 정확한 산정은 아마도 하위용도에서 자료를 수집하고 몇몇 기본적인 가정을 자료와 필요한 공식을 다음과 같이 단순화하는데 적용함으로써 얻어질 것이다.

냉매 유형. 냉매로 각각의 자료(data point)를 분리하는 것이 중요할 것이다. 그래서 각각의 냉매에 대한 배출은 개별적으로 계산된다. MACs에 있어서 이것은 아마도 모든 1990년대 중반과 후반 이후로 생산된 MACs가 냉매로 HFC-134a를 이용한다는 사실로 단순해질 것이다. 그러나 CFC-12는 과거에 사용되었고 아직도 몇몇 작동하는 시스템에서 존재한다. 게다가 HFC-152a와 R-744 (이산화탄소)와 같은 미래의 다른 냉매가 고려되고 있다.

용기 내에서 판매된 냉매 (RM_t). MACs에 있어서 냉매는 일반적으로 세 가지 기본적인 유형의 용기에 넣어진다 - 새로운 MACs를 채우기 위해 수송수단 제작자에게 보내진 '벌크 용기,' 개인이 소유하고 있는 설비를 보수(servicing)하는데 사용되는 300-500 grams의 냉매를 담고 있는 '작은 캔,' 다수의 수송수단을 보수하기 위해 상점에서 사용하는 10-15kg의 냉매를 담고 있는 '실린더.' 만약 벌크 용기 (아래 참조)로부터의 손실이 없다고 가정한다면, $E_{containers}$를 계산하기 위해 작은 캔(RM_{sc})과 실린더(RM_{cy})에 넣어져 판매된 총 냉매를 알 필요가 있다. MACs를 위해 판매된 냉매만 계산에서 사용하기 위해서는, 다양한 하위용도 (예를 들어, HFC-134a는 또한 냉각기(chillers)와 가계 냉동 하위용도로 사용된다.)로 판매된 냉매를 구분하는 것이 중요할 것이다. 이 자료는 아마도 작은 캔 포장업자(packagers)와 냉매 생산자/배포업자로부터 얻을 것이다.

Container Heels (c). 이 예에서, service 용기는 회수되지 않는다고 가정한다. (예를 들어, 실린더는 폐기 되지만 재사용되지 않는다.) 그리고 c_{sc}는 작은 캔에 있어서 20%이고, c_{cy}는 실린더에 있어서 2%이다. 벌크 냉매 용기가 일반적으로 냉매 생산자에게 돌아가고 다시 채워지기 때문에, 배출되는 heels이 없을 것으로 가정하며 그러므로 c_{bulk}는 0%이다.

MACs Produced Each Year (N_t). 만약 매년 service에 배치된 MACs의 수가 알려지지 않는다면, 매년 service에 놓인 차량의 수를 MACs로 판매된 퍼센티지의 산정치로 곱함으로써 산정을 할 수 있다. 아마도 자동차 제조업자나 MAC 생산자/공급업자, 수송과 산업 기반(infrastructure),

고속 도로 안전에 관계하는 정부 기관으로부터 이 자료를 얻을 수 있을 것이다. 한 가지 이상 유형의 냉매를 사용한다면 각각의 Nt를 다양한 냉매로 분리하는 것이 중요하다. 예를 들어 $N_{1994} = N_{1994,CFC-12} + N_{1994,HFC-134a}$

Nominal Charge of Each MAC (m_t). 이 계수는 수송수단 유형에 따라 달라질 것이다; 예를 들어 작은 승용차는 버스나 큰 차량보다 낮은 냉매 충전을 지닐 것이고, 특별히 다용도 증발기를 지닌 것들에서 그럴 것이다. 이와 마찬가지로 시간에 따라서도 달라질 것이다. 예를 들어, 제조업자가 동일한 수송수단 크기에 대해 더 작은 시스템을 만들수록 줄어들고, 더 큰 차량과 더 많은 다용도 증발기 단위가 시장에 들어올수록 증가한다. 이 예에서 우리는 기간에 대한 상수(constant)를 평균 m= 0.7 kg으로 가정한다. 그리고 그것은 소형으로부터 중형 승용차에 대해 전형적인 상수이다.

새로운 설비로 충전된 냉매 (M_t). 이것은 쉽게 $M_t = N_t \quad m_t = 0.7 \quad N_t$로 계산된다.

Assembly Losses (k). 이것은 충천 배출을 계산하는 데 사용되며, 또한 '첫 충전 배출량(First-Fill Emissions)'이라 일컬어지기도 한다. 이 손실률은 k= 0.5% 이하일 때 흔히 작다. 단순하게, 우리는 이 예에서 k=0으로 가정한다.

Lifetime (d). MAC의 가정된 수명. 이 변수는 국가적인 자료에 근거할 수 있고 다양한 유형의 MACs (승용차, 버스, 등)에 대해 달라질 수 있다. 이 예에서, 우리는 모든 MACs의 수명 d=12년으로 가정한다.

Bank in Existing Equipment (B). 뱅크(bank)는 service에 투입된 MACs 내의 냉매의 양에서 폐기된 MACs 내의 냉매의 양을 빼고, 여기에 MACs를 수리하기 위해 사용된 냉매의 양을 더하고, 누출된 양을 뺀 것이다. 실제로, 주어진 MAC는 아마 서비스되기 전에 수년에 걸쳐 누출될 것이다. 이것을 설명하려고 하기 보다는, 이 예에서 우리는 매년 산정한 각 MAC의 충전량이 명목상의 충전(nominal charge)과 동일하도록 모든 MACs가 매년 서비스 된다고 가정한 식 7.13을 적용한다. 연간 배출률은 이 가정을 설명하기 위해 평균화된다. 년단위로 판매되는 MACs의 양의 변화가 많지만 않다면, 이 방법으로 작은 오류만 생길 것이다. 그러므로 주어진 년도의 뱅크(bank)는 현재 년도로부터 추정되는 설비의 평균 수명까지 매년 새로운 설비로 충전된 냉매의 총합이다. 그러므로,

$$B_t = \sum_{i=1}^{d} M_{t-i+1}$$

예를 들어, d를 12년도로 하면, 2006년에 뱅크(bank)는 다음과 같을 것이다.

$B_{2006} = M_{2006} + M_{2005} + M_{2004} + ... + M_{1997} + M_{1996} + M_{1995}$

연간 배출률 (x). 이 계수는 서비스 도중의 배출뿐만 아니라 설비로부터의 누출도 설명한다. 이 항목들은 여러 유형의 MACs에서 그리고 언제 MAC를 생산하는가에 따라 달라질 수 있다. (즉, 오래된 MACs가 새로운 MACs보다 더 많이 누출된다.) 만약 연간 보수(annual servicing)가 일어나지 않는다면, 연간 비율을 얻기 위해, 어떤 보수시기에 누출된 양을 보수 시기 사이의 연도

에 대한 평균으로 해야 한다. 이 양은 국가적인 상황과 어떤 유형의 서비스를 행하였는가에 따라 달라질 수 있다. 서비스 이전에 주어진 충전의 회수가 이루어졌는가를 고려해야하고, 이것은 부분적으로 작은 캔과 실린더로 판매된 양을 검토함으로서 추론될 수 있다. 이 예에서 우리는 15%의 명목상의 충전(nominal charge)이 매년 누출 되었고 평균 11%가 보수 중에 배출되었다고 가정한다. 그러므로 x=26%이다.

폐기된 MACs에 남아있는 충전 (p). 폐기되기 전 해에 MAC가 보수되었고 연간 배출률이 산정된다고 가정하면, p=1-x로 쉽게 계산된다. 우리의 예에서, p=1-26%=0.74이다.

회수 효율성 (nrec). 폐기된 MACs로부터 냉매를 회수하도록 하는 어떤 규정이나 동기(incentives)가 없다면, 회수는 거의 일어나지 않을 것이다. 그래서, 이 예에서, 우리는 nrec=0으로 가정한다.

다양한 유형의 배출 계산

이제 이와 같은 자료를 수집하였고 가정을 했으므로, 배출 계산을 할 수 있을 것이다. t년도=2006의 예는 다음과 같다.

용기 배출 (식 7.11)

$E_{containers,2006} = RM_{cy,2006} \bullet c_{cy} + RM_{sc,2006} \bullet c_{sc} = 0.02 \bullet RM_{cy,2006} + 0.2 \bullet RM_{sc,2006}$

충전 배출 (식 7.11)

$E_{charge,2006} = M_{2006} \bullet k = 0$

수명(작동과 보수) 배출 (식 7.13)

$$E_{operation,2006} = B_{2006} \bullet x = 0.26 \cdot B_{2006} = ...$$
$$= 0.26 \bullet (M_{2006} + M_{2005} + M_{2004} + \cdots + M_{1997} + M_{1996} + M_{1995})$$
$$= 0.26 \bullet m \bullet (N_{2006} + N_{2005} + N_{2004} + \cdots + N_{1997} + N_{1996} + N_{1995})$$
$$= 0.26 \bullet 0.7 \bullet (N_{2006} + N_{2005} + N_{2004} + \cdots + N_{1997} + N_{1996} + N_{1995})$$
$$= 0.182 \bullet (N_{2006} + N_{2005} + N_{2004} + \cdots + N_{1997} + N_{1996} + N_{1995})$$

최종 사용 배출 (식 7.14)

$$E_{end\text{-}of\text{-}life,2006} = M_{2006\text{-}d} \quad p \quad (1\text{-}n_{rec}) = M_{2006\text{-}12} \quad 0.74 \quad (1\text{-}0)$$
$$= 0.74 \quad M_{1994} = 0.74 \quad 0.7 \quad N_{1994} = 0.518 \quad N_{1994}$$

총 배출 계산

총 MAC 배출 (식 7.8)

$$E_{total,2006} = E_{container,2006} + E_{charger,2006} + E_{lifetime,2006} + E_{serving,2006} + E_{end\text{-}of\text{-}life,2006}$$
$$= 0.02 \quad RM_{cy,2006} + 0.2 \quad RM_{sc,2006} + 0$$
$$+0.182 \quad (N_{2006} + N_{2005} + N_{2004} + \cdots + N_{1997} + N_{1996} + N_{1995}) + 0.518 \quad N_{1994}$$
$$= 0.02 \quad RM_{cy,2006} + 0.2 \quad RM_{sc,2006}$$
$$+0.182 \quad (N_{2006} + N_{2005} + N_{2004} + \cdots + N_{1997} + N_{1996} + N_{1995}) + 0.518 \quad N_{1994}$$

알려지지 않은 것들은

- RM_{sc} - MACs를 보수하기 위해 작은 캔에 넣어져 판매된 냉매(kg), 이것은 작은 캔 포장업자에게서만 얻을 수 있다.
- RM_{cy}- MACs를 보수하기 위해 실린더에 넣어져 판매된 냉매(kg), 이것은 냉매 생산자/배포업자에게서만 얻을 수 있다.
- N_t - 매년 서비스되는 MACs의 수, 이것은 자동차 제작자나 MAC 생산자/공급자, 수송, 산업기반(infrastructure), 고속도 안전과 관련된 정부 기관으로부터 얻을 수 있다.

만약 냉매 용기와 최종사용으로부터의 배출을 포함하지 않는다면, 예를 들어 그 해에 서비스 실린더가 완전히 진공처리 되고 최소한의 MACs가 최종사용에 이른다면, 이 식은 단지 배출계수(연간 배출률 곱하기 평균 충전 크기, 이 경우, MAC당 0.182kg)에 활동도(MACs의 수)를 곱하는 것으로 단순해질 것이다. 이 계산은 냉매의 kg으로 총 배출을 산출할 것이다. 각각의 냉매를 구분하고 각각의 합을 냉매의 GWP로 곱함으로써 배출과 동등한 CO_2의(CO_2 equivalent) kg을 산출하게 될 것이다. 10억(10_9)으로 나눔으로써 동등한 CO_2 등가(CO_2 equivalent)의 테가그램(teragrams)으로 배출을 산출하게 될 것이다.($TgCo_2eq$)

7.5.2.5 완전성

새로운 냉매와 현재 년도에 퇴각한 설비 내 냉매에 대한 자료를 사용할 수 있다면 Tier 1a/b 방법에 대한 완전성을 얻을 수 있다. Tier 2a와 2b 방법에 대한 완전성은 기존의 설비 뱅크(bank)에 대한 충분한 설명에 의존할 것이고 이것은 아마도 다량의 자료를 추적하는 것을 포함할 것이다.

7.5.2.6 일관성있는 시계열 개발

냉동과 냉방으로부터의 배출은 시계열에서 매년 같은 방법과 자료 배출원을 이용하여 계산해야 한다. 시계열의 어떤 연도에 좀 더 정밀한 방법을 위해 일관성있는 자료를 이용할 수 없는 경우에, 이 차이는 1권 5장에 제공된 지침을 따라서 재계산되어야 한다.

7.5.3 불확도 평가

표 7.8 냉동과 냉방 시스템에 대한 충전과 수명, 배출계수 산정은 이 부문과 관계된 불확도를 강조하는 배출계수 범위를 제시한다. 일반적으로 세분화된 방법(Tier 2)은 Tier 1 방법보다 불확도가 낮은데, 이는 하위용도의 이질성 때문이다. 배출계수에 의존하는 Tier 2 방법(Tier 2a)은 화학 판매 자료를 사용하는 물질수지 방법 (Tier 2b)보다 더 큰 불확도를 지닌다. 이것은 주로 대부분 설비의 작은 단위(unit) 사이즈와 작은 단위 오류의 잠재적인 증식 때문에 일어난다. 인벤토리 작성자는 1권 3장에 개관된 전문가의 판단을 구하는 방법론을 이용하여 불확실성에 대한 산업적인 조언을 구해야 한다.

7.5.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

7.5.4.1 품질보증/품질관리

*우수실행(Good Practice)*의 요건을 충족시키기 위해 꼭 필요하지는 않지만, Tier 2 방법에 대한 품질관리를 실시하기 위해 화학물질 제조업자나 냉매 배포업자가 밝힌 연간 국가적 HFC 냉매 시장과 Tier 2 방법으로 도출한 연간 HFC 냉매 수요를 비교할 수 있다. 냉매는 새로운 설비를 충전하거나 기존의 설비를 보수하는데 필요할 것이다. 설비를 충전하기 위해 필요한 것(즉, 구매되는 것)은 설비에 실제로 충전된 냉매에 어떤 관계있는 배출을 더한 것이다. (충전 과정 중 배출이나 충전을 위한 용기가 폐기되기 전에 완전히 비워지지 않은 것으로부터의 배출) 보수에 필요한 냉매는 폐기되기 전에 완전히 비워지지 않은 용기의 냉매뿐만 아니라 누출이나 누출로 인한 기존의 설비에서의 손실과 보수 중의 손실을 대체하는 냉매이다. 다음 공식은 이 verification에 이른다.

식 7.15
수요와 공급 평가에 대한 verification

$$RN_t = \sum_{j=1}^{6}\left(S_{prod\_t,j} \bullet m_{t,j}\right) + \sum_{j=1}^{6}\left(M_{t,j} \bullet k_j\right) + \sum_{j=1}^{6}\left(B_{t,j} \bullet x_j\right) + RM_t \bullet c$$

여기에서

RN_t = t년도의 HFC 냉매 수요, kg
j = 1에서 6까지 counter (또는 Tier 2 방법을 위해 선택한 하위용도의 수)
S_{prod_tj} = t년도 하위용도 영역 j에 대한 HFC 냉매를 사용한 설비의 국가적인 생산, 설비의 수
$m_{t,,j}$ = 하위용도 j 유형의 설비에서 초기 평균 HFC 충전량, kg
$M_{t,j}$ = t년도에 제조하는 하위용도 j의 설비로 충전된 HFC의 양, kg
k_j = 하위용도 j의 새로운 설비로 충전된 HFC 어셈블리 손실에 대한 배출계수, fraction
$B_{t,j}$ = t년도에 하위용도 j의 기존 시스템에 뱅크(bank)된 HFC의 양 (하위용도 당), kg
x_j = 작동 중 하위용도 j에 뱅크(bank)된 HFC의 연간 배출률 (즉, 배출계수), 보수 중 평균 연간 누출과 평균 연간 배출을 설명함, fraction
RM_t = t년도 새로운 설비와 모든 냉동 하위용도의 보수에 대한 HFC 시장, kg
c = 냉매 시장의 HFC 용기 관리에 대한 배출계수, fraction

첫 번째 term은 수출을 포함하여 현재 년도인 t년도에 국가에서 생산된 새로운 냉동 냉방 시스템의 냉매 충전에 해당한다.
두 번째 term은 새로운 수출을 포함하여 현재 년도인 t년도에 국가에서 생산된 새로운 냉동과 냉방 시스템의 초기 충전 중 배출한 냉매에 해당한다.
세 번째 term은 누출로 또는 보수 중에 배출된 냉매가 매년 완전히 가득 채워진다는 것을 가정했을 때, 보수를 위해 사용되는 냉매 충전에 해당한다.
마지막 term은 t년도에 전체 냉동과 냉방 시장의 용기로부터 배출한 냉매를 대표한다.

회수되고 동일한 소유자의 설비로 직접적으로 재충전된 냉매는 수요(need)로 보지 않는다; 그러나 회수되고 reclamation을 위해 보내진 냉매는 declared market에서 설명된다.

화학 제조업자나 냉매 배포자 RD에 의해 declare된 연간 냉매 시장은 식 7.16으로 계산된다.

식 7.16
연간 냉매 시장 계산

$$RD_t = R_{prod\_t} - R_{exp\_t} + R_{imp\_t} + R_{recl\_t} - R_{dest\_t}$$

여기에서

R_{prod_t} = 국내 HFC 냉매 생산량, kg

R_{exp_t} = 국내 HFC 냉매 생산량과 수출된 량, kg

R_{imp_t} = 수입된 HFC 냉매 량, kg

R_{recl_t} = 판매를 위해 회수되고 재처리된 HFC 냉매 량 as reclaimed HFC refrigerant less quantities going to reclaimers that have not yet been sold, kg

R_{dest_t} = 파기된 HFC 냉매 량, kg

모든 양은 t년도에 대해 계산된다.

인벤토리 방법으로 도출한 HFC 냉매 수요인 RN_t와 냉매 제조업자와 배포업자가 밝힌 HFC 냉매 시장인 RD_t를 비교하는 것은 인벤토리 방법과 세계적인 배출의 분명한 품질 관리를 제공한다. RN_t와 RD_t는 각각의 HFC 유형에 대해 계산된다.

인벤토리 작성자는 1권 4장에서 분류된 주 카테고리에 대한 상위 tier QA/QC를 사용하도록 장려된다.

합성 배출계수의 선택을 확증하는 Tier 2 분석을 실시하지 않고 Tier 1a/b 방법에 적절한 QA/QC 절차를 제공하는 것은 어렵다. 이것은 Tier 1 접근법의 목적을 달성할 수 없게 하는 것이므로, 가장 적합한 전략은 국가별한 합성배출계수 도출에 대한 외부적인 평가를 구하는 것이다. 대안은 Tier 1 결과와 지역적이거나 세계적인 데이터베이스의 예측을 비교하는 것일 것이다.

7.5.4.2 보고 및 문서화

보고된 배출 산정의 투명성을 확보하는데 필요한 보조 정보가 표 7.10 냉동과 냉방 시스템을 위한 *우수실행(Good Practice)* 문서화에 제시되어 있다.

표 7.10
냉동과 냉방 시스템을 위한 *우수실행(Good Practice)* 문서화

자료 배출원	보고되는 자료	Tier 1a/b	Tier 2a와 2b
CFCs와 HCFCs의 단계적 제거에 대한 규정	새로운 설비를 충전하는 것과 보수하는 것에 대한 단계적 제거 계획	X	X
정부 통계치나 폐지 회사	각 유형의 용도에 대한 폐지되는 설비의 수	X	X
냉매 제조업자와 배포업자	새로운 설비를 충전하기 위해 그리고 다양한 부문에서 보수하기 위해 판매된 모든 순수한 냉매	X	X
제조업자 연합 또는 시장 조사	HFC 냉매를 이용하여 국가적인 수준에서 생산된 설비 (여섯 하위용도에 대해)	X	X

수입/수출 회사, 정부 통계치, 제조업자 연합이나 시장 조사	HFCs를 사용하는 설비의 수 (수입되고 수출된)	X	X
정부나 냉매 배포업자	재처리나 파기를 위해 회수된 HFC 냉매? HFC refrigerants recovered for re-processing or for destruction	X	X
제조업자 연합	평균 설비의 수명	NA	X
제조업자 연합	시스템의 초기 충전량	X	X

7.6 화재 방재 (Fire Protection)

7.6.1 해당 용도 분야에서 다루어지는 화학물질

할론(halons)에 대한 부분적인 대체물로 HFCs와(또는) PFCs를 사용하는 두 가지 일반적인 유형이 화재 방재(화재 진압) 설비가 있다: 이동식(흐름; streaming) 설비와 고정된(대량; flooding) 설비. HFCs와 PFCs, 좀 더 최근에는 불화케톤(fluoroketone)이 대량(flooding) 설비에서 주로 할론, 전형적으로 할론 1301에 대한 대체물로 사용된다. PFCs가 할론 1301 대체물로 초기에 역할을 하였으나, 현재 사용은 사전에 설치된 시스템의 보충(replenishment)에 제한되고 있다. 대체로 할론 1211을 대체하는 이동식(흐름) 설비에서 HFCs는 사용가능하지만, 시장에서는 매우 제한된 범위에서 수용되었는데, 그 이유는 주로 고비용 때문이다. 새로운 이동식 소화기에서의 PFC 사용은 현재 HCFC 혼합물에 소량(몇 퍼센트)에만 제한되고 있다.

화재 방재 하위부문으로부터의 실제 배출이 상당히 소량일 것으로 기대되는 한편, 그 사용은 비상용 화재방재에서 보통 비-배출적이며, 그 사용이 증가하고 있다. 이 결과 미래의 잠재적 배출에 대한 뱅크(bank)가 축적된다.

여전히 화재 방재에 포함되었을 HFCs와 PFCs는 표 7.1에 제시되고 있다.

7.6.2 방법론적 이슈

7.6.2.1 방법론의 선택

냉동과 냉방 용도에서처럼, 화재 방재 용도는 접근법 A(배출-계수 접근법)과 접근법 B (물질수지 접근법)를 모두 사용할 가능성을 제공한다. 후자는 상당량의 순 소비량s이 새로운 설비보다는 설비 보수를 목적으로 할 것 이라는 사실로 정당화 된다. 그러나 화재방재 용도는 하위용도의 수가 적고 좀 더 동질적이라는 점에서 냉동과 냉방 용도와는 다르다. 이것은 Tier 1a나 Tier 1b 방법이 적절한 배출 보고를 제공하기에 적절하다는 것을 의미한다. 그렇지만 엄격하게 말하면, 최종 사용 고려를 포함하는 것이 보통 Tier 2 방법을 보증할 것이다.

그러나 기포제와 냉동/냉방 모두에서처럼, 화재 방재 용도에서 뱅크(bank)의 발달과 추적을 다룰 필요가 있다. 이것은 국가별 또는 세계적으로나 지역적으로 도출된 활동자료의 역사적인 시계열이 새로운 HFC나 PFC의 도입 시기까지 거슬러 올라가는 것을 필요로 한다는 점을 의미한다.

화재 방재에서 HFCs와 PFCs가 1년 이상의 기간 동안 배출되기 때문에, 국가에서는 전년도에 충전된 설비로부터의 배출을 나타낸 필요가 있다. 다년간(multi-year) 배출을 반영하는 연간 제품에 기초한 배출계수를 선택하는 것은 상당한 오류를 가져올 수 있고 *우수실행(Good Practice)*으로 간주되지 않는다.

식 7.17은 배출의 시간 종속성을 고려하고 어떤 활동도 자료가 가장 사용가능할 것인가를 고려하여 접근법을 어떻게 수정해야 하는 가를 보여준다.

식 7.17

화재 방재 설비로부터의 배출의 시간 종속성

$$Emissions_t = Bank_t \cdot EF + RRL_t$$

그리고

$$Bank_t = \sum_{i=t_0}^{t} \left(Production_i + Imports_i - Exports_i - Destruction_i - Emissions_{i-1} \right) - RRL_t$$

여기에서

$Emissions_t$ = t년도에 화재 방지 설비로부터의 물질(agent) 배출량, 톤

$Bank_t$ = t년도에 화재 방지 설비 내 물질의 뱅크(bank), 톤

EF = 매년 배출된 설비 내 물질의 비율(퇴각되거나 서비스로부터 제거된 설비로부터의 배출을 배제함), 무단위

RRL_t = 회수 배출이나 손실: t년도에 존재하는 화재 방재 설비의 사용을 제거하는 시기에 회수하거나이나 재활용, 폐기하는 중 물질의 배출, 톤

$Production_i$ = t년도에 생산된 화재 방재 설비에 새롭게 공급된 물질의 양 (즉, 재활용된 물질을 배제), 톤

$Imports_i$ = t년도에 수입된 화재 방재 설비 내 물질의 양, 톤

$Exports_i$ = t년도에 수출된 화재 방재 설비 내 물질의 양, 톤

$Destruction_i$ = 수집되고 파기된 퇴각한 화재 방재 설비 내 물질의 양, 톤

t = 배출이 산정되는 연도 (예를 들어, 2006, 2007 등)

t_0 = 화학물질을 생산하고(생산하거나) 사용한 첫 번째 연도

i = 화학 물질을 생산하고(생산하거나) 사용한 첫 번째 연도 t_0에서 현재 년도 t까지의 계수 (counter)

화재 장배 설비 내 각각의 개별 온실가스에 식 7.17을 적용하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 배출의 계산은 각각의 연도에 대해 행해져야 하며 다음 년도의 계산에 적용되어야 한다.

이와 같은 배경을 유념하면, 그림 7.9에 제시된 화재 방재 용도에 대한 의사 결정 분지도가 매우 분명해진다.

기포제와 냉동 및 냉방 모두에 채택된 Tier 1 방법으로, 뱅크(bank)의 발달과 그 결과 일어나는 배출을 설명하는 간단한 스프레드시트를 만들 수 있다. 다음 스트레드시트 발췌는 예시를 제공한다:

그림 7.8 Tier 1 방법에 대한 스프레드시트 계산의 예

Tier 1 FIRE PROTECTION
Austria - HFC-227ea

HFC-227ea

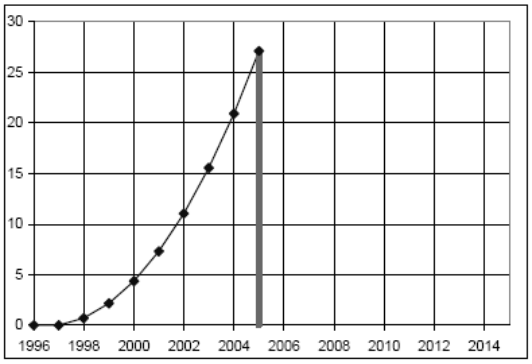
Summary
Country: Austria
Agent: HFC-227ea
Year: 2005
Emission: 27.1 tonnes
In Bank: 678.4 tonnes

Current Year	2005

Use in current year - 2005 (tonnes)	Data Used Here
Production of HFC-227ea	120
Imports in current Year	80
Exports in current year	24
Total new agent to domestic market	*176*

Year of Introduction of HFC-227ea	1998
Growth Rate in New Equipment Sales	3.0%

Tier 1 Defaults	
Assumed Equipment Lifetime (years)	15
Emission Factor from installed base	4%
% of HFC-227ea destroyed at End-of-Life	0%

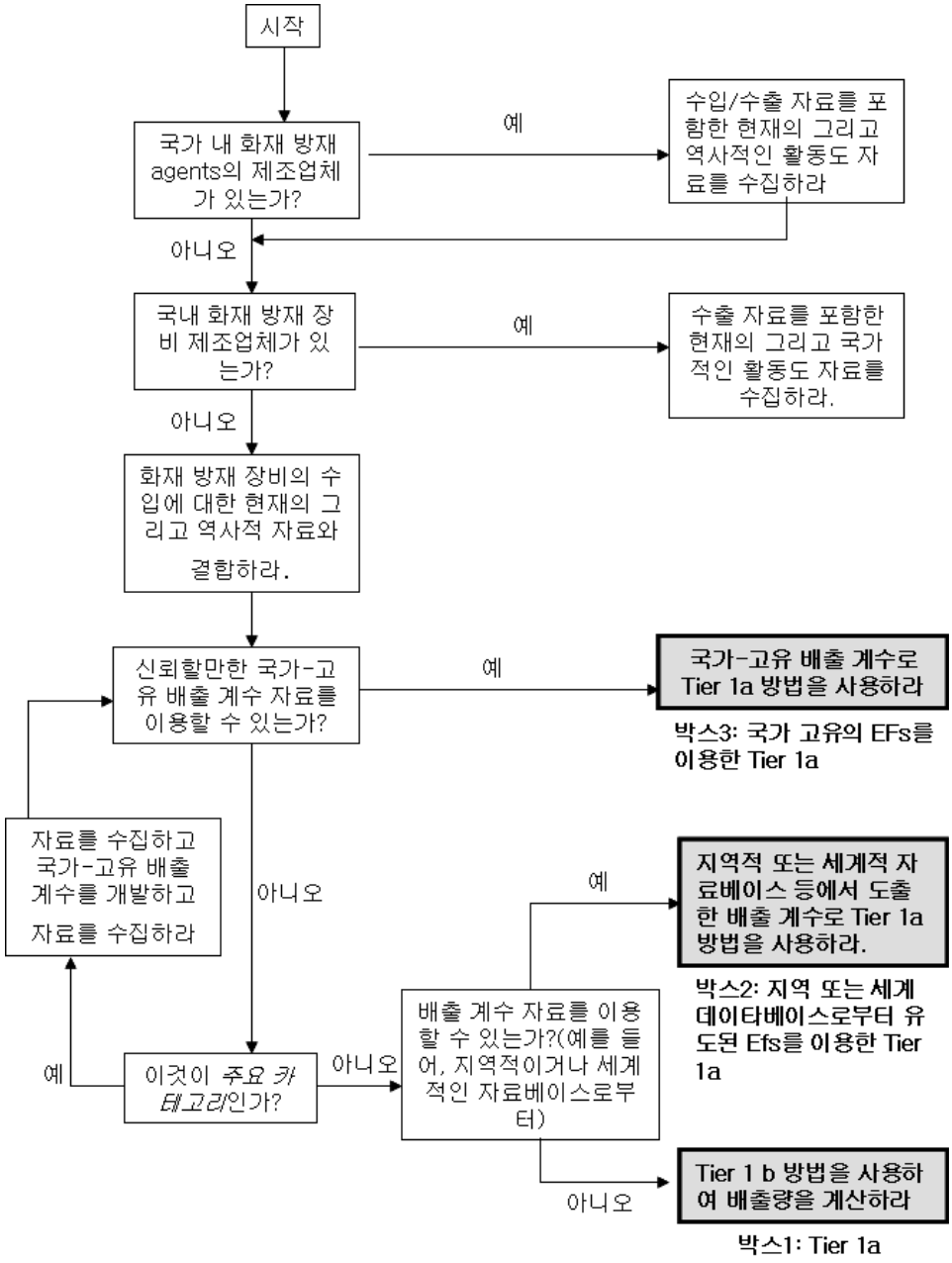


Estimated data for earlier years	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	**2005**
Production	0	0	12	25	39	53	69	85	102	**120**
Agent in Exports	0	0	2	5	8	11	14	17	20	**24**
Agent in Imports	0	0	8	17	26	36	46	57	68	**80**
Total New Agent in Domestic Equipment	0	0	18	37	57	78	101	124	150	**176**
Agent in Retired Equipment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Destruction of agent in retired equipment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Release of agent from retired equipment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
Bank	0	0	18	54	109	183	276	389	523	**678**
Emission	0	0	1	2	4	7	11	16	21	**27**

그와 같은 스프레드시트가, 필요한 경우, 적절한 세계적으로나 지역적으로 도출된 자료 세트로부터 얻은 활동도 자료의 보조를 받는 화재방지 용도에 대한 계산을 용의하게 하도록 의도된 것이다[23].

[23] 박스 7.1에서 주목했듯이, IPCC 배출계수 대이터베이스(EFDB)내 포함되어 있다는 것은 적절한 과정을 고수하였다는 것을 나타낸다. 그러나 EFDB에서 가져온 모든 자료가 국가 환경에 적절하다는 것을 확인하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다.

그림 7.9 화재 방재 용도로부터의 실제 배출에 대한 의사 결정도



주:

1. 주 카테고리에 대한 논의와 의사 결정도의 사용은 1권 4장, 방법론의 선택과 주 카테고리의 확인을 참조하라(한정된 자료에 대한 4.1.2절에 주목할 것).

7.6.2.2 배출계수의 선택

할론(halon) 물질의 제거 중 얻은 경험으로 사용과 배출 패턴에 대한 귀한 교훈을 얻었고, 이 교훈이 비슷한 목적으로 사용되는 온실가스에도 적합하다고 기대하는 것이 타당하다. 화재 방재 설비는 실제 화재에서 그것의 초기 충전을 배출하도록 설계된다. 최근 연구에 따르면 설치된 대량(flooding) 시스템으로부터의 연간 배출은 설치된 베이스(base)의 2±1 퍼센트의 범위에 있다. (Verdonik and Robin, 2004) 할론 1211 이동식 소화기에 대해, 할론 기술 옵션 위원회(halons Technical Options

Committee)(2003)는 2000에 대한 배출량이 고정된 시스템의 배출량의 거의 두 배라고 산정하였다. 그 계수를 적용하면 2에서 6 퍼센트 (즉, 4%±2%) 범위에서 사용 중 양(quantities)을 얻게 된다.

주어진 이 용도의 특징 하에서, 설비의 최종 단계에서 (또는 서비스로부터 제거될 때마다) 가스를 회수할 기회가 있다. 회수된 가스는 파기되거나 재활용될 수 있다. 그러므로 최종 사용에서 회수가 없는 것(zero)으로 기본값을 가정하면 최종 사용 배출을 과대 산정하게 될 수도 있다. 인벤토리 작성자는 입법(legislation), 산업 실행 규약(Industry Codes of Practice) 또는 다른 조치로 인해 생길 수 있는 회수에 대한 정보를 수집하기 위하여 적절한 산업과의 접촉을 확보해야 한다. 이 정보를 문서화하고 모든 가정을 보고하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다.

국가적인 산업 실행 규약(Industry Code of Practice)가 없는 국가에서는, agent가 시스템의 최종 사용 시 회수되지 않고 배출되는 것으로 가정하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 대량 시스템(flooding systems)의 전형적인 수명은 15에서 20년이다. 항공기나 군사 시스템과 같은 특수화된 용도에서 시스템은 25년에서 35년 혹은 그 이상 사용될 수 있다(UNEP-HTOC, 1994).

7.6.2.3 활동도 자료의 선택

화재 방재 물질(agent)을 생산하는 국가에서는, 1)물질이 벌크(bulk)로 수출되거나 2) 파기된다고 알려지지 않는다면, 물질의 모든 생산을 국가에 할당하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 물질을 생산하지 않고 화재 방재 시스템을 생산하고 충전하는 국가에서는, 국가로 수입된 모든 벌크 물질이 1) 벌크로 재수출되었거나 2)파기되었다고 알려지지 않는다면, 국가에 남아있을 것으로 간주한다. 물질이나 시스템을 생산하지 않는 국가에서는, 생산국가에서 인벤토리를 개발하기 위하여 개발한 활동도 자료를 사용할 것이다. 또는 그 국가로 수출된 증거를 갖고, 국가의 총 온실가스 배출의 중요성 이하로써의 화재 방지로부터의 배출량을 산정한다. 이 기본값 방법론은 물질을 생산하고 그것들을 시스템 제조를 위해 사용하는 국가에 주요한 책임을 부과한다. 생산국가가 이 방법론을 사용하기 위해서는 생산, 벌크 수입과 수출, 파기에 대한 활동도 자료를 개발되어야 할 필요가 있을 것이다.

요약하면, 활동도 자료는 화재 방재 물질이나 시스템을 생산하는 국가에서 얻는다. 단, 파기의 경우는 제외한다. 생산 국가가 물질의 생산으로부터 그 국가로 해당된(credit) 양을 감소시키기 위해서, 벌크 수출을 설명해야 한다. 이와 같은 벌크 수출은 생산 국가로부터는 설치된 베이스(base)를 줄이는 역할을 하지만, 수입 국가에 있어서는 그것들의 설치된 베이스를 결정하기 위한 활동도 자료로 역할을 할 것이다.

7.6.2.4 완전성

인벤토리 작성자는 화재 방재 산업에서 사용하는 모든 온실가스가 산정에 포함되었다는 것을 확실히 해야 한다. 또한 식 7.17을 온실가스 화재 방재 물질을 그 국가에 사용하는 첫 해 초기에 적용할 필요가 있다.

7.6.2.5 일관성있는 시계열 개발

몇몇 국가에서, 새로운 설비에 충전된 온실가스나 기존의 설비를 보수하는데 사용된 온실가스에 대한 역사적인 활동도 자료를 결정하는 것이 최근에 이와 같은 물질을 도입했기 때문에 어려울 수도

있다. 만약에 인벤토리 작성자가 할론에 대한 역사적 자료에 근거하여 예비(preliminary) 배출계수를 이 시기에 적용하고 변경한다면, 그들은 1권 5장에 기술되어 있는 대로 일관성 있는 시계열을 확보하는 *우수실행(Good Practice)*을 따라야 한다.

7.6.3 불확도 평가

세계적인 수준에서는, 평가가 생산에 근거할 것이고 완전한 물질의 균형을 공급하기 때문에, 높은 정도의 확실도를 기대할 수 있다. 언제든지, 세계적인 생산의 총 합(Aggregate Global Production)은 항상 세계적인 배출의 총 합(Aggregate Global Emissions)에 설비에 포함된 화학물질의 총 합(Aggregate Total Contained in Equipment)을 더한 것이다. 국가별 자료에는 더 많은 불확실성이 있다. 충전된 시스템의 수입과 수출을 포함하지 않는다면, 방법에 작은 오류가 생기게 될 것이다. 그러나 할론과 온실가스 대체물의 경험으로 볼 때, 충전된 시스템의 수입/수출에 대한 정확한 자료는 적당한 수준의 노력으로는 얻어질 수 없을 듯하다.

Verdonik(2004)는 할론 소비 보고와 CEFIC[24]로부터 얻은 세계적인 할론 생산에 대한 제조업자의 보고를 비교하였고, 개발도상국의 생산을 보고하였고, CEIT[25] 생산을 보고하였다. 그 결과는 선진국에 있어서는 16 퍼센트의 표준 편차, 개발도상국에 있어서는 15 퍼센트의 표준 편차, 세계적으로는 13 퍼센트의 표준 편차였다. HFC/PFC 배출 산정에 있어서의 불확실성은 이에 필적하거나 할론 소비 산정에서 보인 불확실성보다 높을 것으로 기대된다.

7.6.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

7.6.4.1 품질보증/품질관리(QA/QC)

1권 6장에 개괄된 대로 품질 관리 검사를 실시하고 배출 산정에 대한 전문가 검토를 하는 것인 *우수실행(Good Practice)*이다. 벤치마킹을 허용하는 동일 목적의 평가의 세계적이거나 지역적인 데이터베이스를 직접적으로 참조할 수도 있을 것이다. 상위 tier 방법을 이 용도로부터의 배출을 결정하기 위하여 사용했다면, 1권 6장에 개관된 추가적인 품질 관리 검사와 품질 보증 절차를 적용할 수도 있을 것이다. 그러나 이런 경우가 아니라면, 1권 6장에 개관된 기본적인 QA/QC 방법론을 채택할 수 있다.

1권의 지침에 추가하여, 이 용도에 적합한 특정 절차가 본 장의 마지막 부분, 참조에 개관되어있다.

7.6.4.2 보고 및 문서화

화학적 판매와 같은 자료에의 접근은 아마도 기밀을 보존을 하는 인벤토리의 능력에 좌우될 것이다. 자료의 기밀 보존과 투명성 확보의 균형은 중요한 문제이고, 특히 화재 방재와 같이 사용이 낮은 용도에 그렇다. 이 ODS 대체물은 몇몇의 생산자에 의해서만 제작되고, 다른 용도에서 아용되는 ODS 대체물에 비해 양도 매우 적다. GWP-가중 자료(weighted data)를 신중히 모는 것이 이 문제를 해결하는 방법일 것이다.

[24] CEFIC - 유럽 화학 산업 연맹(European Chemical Industry Association)

[25] CEIT - Countries with Economies in Transition

7.7 그 외 용도

7.7.1 해당 용도 분야에서 다루어지는 화학물질

HFCs와 PFCs는 본 장에서 개별적으로 다루지 않은 다양한 영역(niche)의 용도에 대해, 그것들을 매력적으로 만드는 특질을 지닌 큰 범위의 가스를 대표한다. 이것들은 전기 테스트와 열전도, 절연 유체, 의학용도, 아직은 개발되지 않은 다수의 새로운 용도를 포함한다. 이 용도에 있어서는 새로 나타나는 HFCs의 사용뿐만 아니라 몇몇 PFCs의 역사적인 사용도 있다. 이 용도의 누출량 범위는 적용 년도에 100 퍼센트 배출적인 것으로부터 연간 1퍼센트 정도에 이른다. 그러나 본 장은 특별히 직접적으로 오존층 파괴물질을 대체하는 HFCs아 PFCs의 사용에 집중하며, 이것은 범위가 훨씬 더 제한된 것이다.

본 권의 6장에서 다루었던, 전기 테스트, 열전도, 절연 용도를 포함하는, 전기 카테고리에서 이중-계산이 일어나지 않도록 확실히 할 필요가 있다. 용매 범위나 산업용 에어로졸에서 HFCs와(또는) PFCs가 용매로 포함되어 있는 범위에서의 다른 이중 계산은 가능하다. 이것은 ODS 대체물로 활동하는 것과 그렇지 않은 것 사이의 기술(delineation)이 매우 섬세해질 수 있는 주요 예이다. 혼동을 피하기 위해서, 본 장은 ODSs에서 HFC와(또는) PFC 기술로 직접적으로 일어나는 기술적 변환을 고려해야 하는 접근법을 택한다.

ODS 단계적 제거(CFCs와 HCFCs 둘 다)가 선진국에서 거의 완성단계로 나아가고 있다는 것을 유념한다면, 새로 나타나는 수많은 설비는 매우 제한적이다. 그러나 적어도 이론상으로는, 2040년의 최종적인 전 세계적 ODSs의 제거까지 새로운 설비가 나타날 수 있을 것이다.

7.7.2 방법론적 이슈

7.7.2.1 방법의 선택

우수실행(Good Practice) 방법의 선택은 국가적인 환경에 달려 있다. (표 7.10 다른 용도로부터의 실제적 배출에 대한 의사 결정 분지도 참조)

이 용도분야에 대한 방법을 선택할 때, 각각의 다른 용도를 개별적인 용도로 다룰 지 또는 그것들을 그룹으로 언급할 지 고려해볼 필요가 있다. 전자를 선택하면 Tier 2 방법의 연쇄를 이용해야 할 것이고, 후자를 선택하면 Tier 1 접근법 한 개만 이용하면 될 것이다.

이와 같은 영역의 용도에 대한 최종 사용자는 상당히 다양할 것이다. 결과적으로, 각각의 용도를 개별적으로 조사하는 것은 아마 실행 불가할 것이다. 대신, 잡다한 용도를 용매나 에어로졸과 유사한 고도로 배출적인 용도와 폐쇄된 셀 기포제와 냉매와 같이 용도에 포함된 덜 배출적인 것으로 구분하도록 제안된다. 이중 하나의 카테고리에 이르는 연간 가스 소비량의 분석은 최종 사용 용도에 대한 조사로 결정되어야 한다.

사용의 구분은 다음과 같을 것이다.

- 배출성 있는 = 총 소비의 X% (여기에서 X는 보통 50% 초과할 것으로 예상됨)

- 포함된 = 총 소비의 (100-X)%

이 접근법의 결과는, 각 분류(class)의 하위용도 수에 따라, 전적으로 Tier 1 방법론을 따를 수도 있고, 대안으로 Tier 2 방법을 채택할 수도 있다는 것이다. 주요한 구별자(differentiator)는 배출량이고 하위용도가 수리(servicing)를 필요로 할지 또는 하지 않을지 알려지지 않았기 때문에, 전적으로 접근법 A(배출-계수 접근법)를 사용하는 것이 제안된다. (즉, Tier 1a와(또는) Tier 2a)

이번에는 이 두 하위용도 분야(classes)를 모형화하는 것이 고려된다.

배출성있는 용도 Emissive Applications

에어로졸과 용매에 대해 기술된 방법과 유사한 Tier 1a 방법을 사용하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 이 용도 내 유체의 사용 중, 화학물질의 100 퍼센트가 보통 판매 후 6개월에 배출된다. 다시 말해 t년도 배출은 용매와 에어로졸에 대한 다음 식을 따라 계산될 수 있다.

식 7.18
다른 용도로부터의 즉각적인 배출원 평가

$$Emissions_t = S_t \bullet EF + S_{t-1} \bullet (1-EF)$$

여기에서

$Emissions_t$ = t년도 배출, 톤
S_t = t년도에 판매된 HFC와 PFC의 양, 톤
S_{t-1} = t-1년도에 판매된 HFC와 PFC의 양, 톤
EF = 배출계수 (=제조 후 첫 번째 년도 동안에 배출된 화학 물질의비율), 비율

배출계수(EF)는 제조 후 첫 번째 년도 동안에 배출된 화학물질의 비율을 나타낸다. 정의에 의하면, 2년간의 배출은 100퍼센트이어야 한다. 이 식은 각각의 화학물질에 개별적으로 적용되어야 한다.

포함된 용도 Contained applications

어떤 용도는 낮은 배출량을 지닌다. 적절한 자료를 이용할 수 있는 경우, 개별 배출 모형이 이 낮은 배출량에 조정되기 위하여 요구될 것이다. 자료가 존재하지 않는 경우, 세계적으로나 지역적으로 도출된 활동도 자료와 배출계수를 사용할 수 있다. 그러므로, 연간 배출에 대한 식은 다음과 같다:

식 7.19
다른 포함된 용도로부터의 배출 평가

$$배출 = 제품\ 제조\ 배출 + 제품\ 사용중(Life)\ 배출 + 제품\ 폐기\ 배출$$

여기에서

제품 제조 배출 = 연간 판매 • 제조 배출계수
제품 사용 중 배출 = 뱅크(bank) • 누출량
제품 폐기 배출 = 연간 판매 • 폐기 배출계수

7.7.2.2 배출계수의 선택

즉각적인 배출을 지닌 하위용도에 대한 배출계수는 용매(7.2.2.2절)와 에어로졸(7.3.2.2절)에 대한 것

들과 비슷한 선택 규준을 따를 것이다.

포함된 하위용도에 대한 배출계수는 하위용도의 특별한 성격에 좌우될 것이다. 만약 일련의 하위용도가 그 성격에 있어서 상당히 동질적이라면, Tier 1a 방법을 채택하고 합성 배출계수로 작업하는 것이 여전히 가능할 것이다. 그러나 포함된 하위용도의 성격에 상당한 변이가 있을 경우, 그리고 적절한 배출을 이용할 수 없다면, 이를 상세히 연구하는 것이 좀더 적절할 것이다. 어떤 경우에든 개별적인 배출계수에 대한 필요는 Tier 2a 방법의 채택으로 이어질 것이다.

7.7.2.3 활동도 자료의 선택

활동도 자료를 소량의 영역(niche) 용도에 있어서 확립하는 것은 항상 어려울 것이고, 인벤토리 작성자는 하위용도를 적합함을 확인하기 위하여 화학물질 공급업자의 협력에 의존하게 될 것이다. 그러나 일단 확인된다면, 이를 국가수준에서 수량화하는 것은 상당히 쉬울 것인데, 그 이유는 특성상에 있어서 상당히 전문화 경향이 있기 때문이다.

그림 7.10에 나타난 대로, 최종 사용조사를 정기적으로 실시하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다.

7.7.2.4 완전성

7.7.2.3절에서 주목하였듯이, 주요한 도전은 새로운 *다른 용도(Other Application)*를 그것들이 새로 나타남에 따라 지속적으로 업데이트하는 것이다. ODS 대체물 검토(Substitution Review)와의 정기적인 상호-참조 (예를 들어, UNEP 기술적 & 경제적 평가 패널 보고서; UNEP Technical & Economic Assessment Panel Reports))는 이 점에서 도움이 될 것이다.

7.7.2.5 일관성 있는 시계열 개발

*다른 용도*로부터의 배출은 시계열 중 매년 같은 방법과 자료 출처를 이용하여 계산되어야 한다. 시계열의 어떤 년도에 일관성 있는 자료를 이용할 수 없다면, 1권 5장에 제시되어 있는 지침을 따라 차이를 재계산해야 한다.

7.7.3 불확도 평가

넓은 범위의 *다른 용도*가 있을 수 있다. 그러므로 이 배출원에 대해 기본값 불확실성을 부여하는 것은 불가능하다. 그러나 1권 3장에 개괄된 실행을 따라 불확실성의 수준을 평가하기 위하여 절차를 배치해야 한다.

7.7.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

7.7.4.1 품질보증/품질관리(QA/QC)

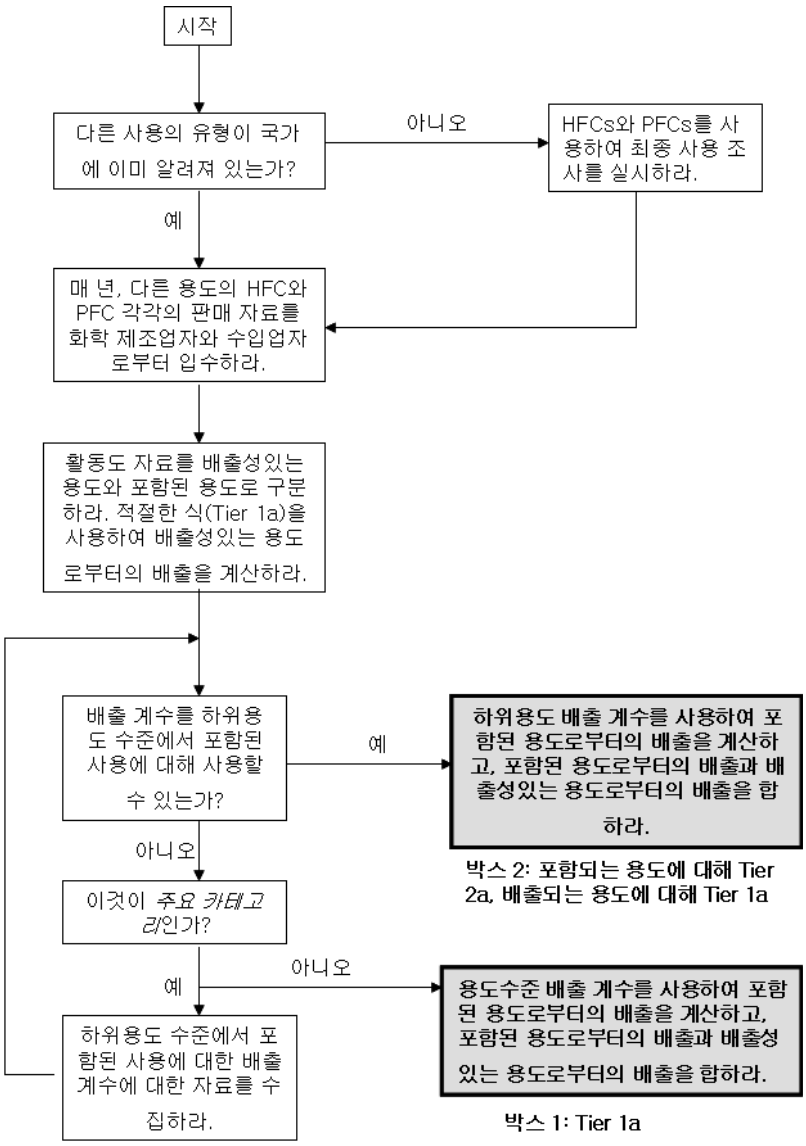
1권 6장에서 개괄한 대로 품질 관리 검사를 실시하고 배출 산정에 대한 전문가 검토를 하는 것이 *우수실행(Good Practice)*이다. 이것에는 아마도 벤치마킹을 허용하는 동일 목적의 평가에 대한 세계적이거나 지역적인 데이터베이스에 대한 직접적인 참조가 포함될 수 있을 것이다. 만약 상위 tier 방법을 이와 같은 하위용도로부터의 배출을 결정하기 위하여 사용한다면 1권 6장에 개괄된 추가적인 품질

관리 검사와 품질 보증 절차를 적용할 수 있을 것이다. 그러나 만약 그런 경우가 아니라면, 기본적인 1권 6장에 개괄한 QA/QC 접근법을 채택할 수 있다.

7.7.4.2 보고 및 문서화

자료의 기밀 유지와 투명성 보장의 균형을 맞추는 것이 중요한 문제이다. 특별히 적게 사용되는 하위용도에 있어서 그렇다.(especially in low-use sub-applications) 전문적인 ODS 대체물은 종종 소수의 생산자에 의해서만 제조되면 양에 있어서도 다른 용도에서 사용되는 ODS 대체물에 비해 훨씬 적다. GWP-가중(weighted) 자료를 신중히 모으는 것이 이 문제를 해결하는 방법이 될 것이다.

그림 7.10 다른 용도로부터의 실제 배출에 대한 의사 결정도



주:

1. 주 카테고리에 대한 논의와 의사 결정 분지도(decision tree)의 사용은 1권 4장, 방법론적 선택과 주 카테고리의 구분(Identification)을 참조라라. (한정된 자료에 대한 4.1.2절에 주목할 것)

참고문헌

Ashford, P., Clodic, D., Kuijpers, L. and McCulloch, A. (2004). Emission Profiles Foam the Foam and Refrigeration Sectors - Comparision with Atmospheric Concentrations, International Journal of Refrigeration, 2004.

Ashford, P. and Jeffs, M. (2004). Development of Emissions Functions for Foams and their use in Emissions Forecasting, ETF Proceedings, April 2004.

Clodic, D., Palandre, L., McCulloch, A., Ashford, P. and Kuijpers, L. (2004). Determination of comparative HCFC and HFC emission profiles for the Foam and Refrigeration sectors until 2015. Report for ADEME and US EPA. 2004.

Gamlen P.H., Lane B.C., Midgley P.M. and Steed J.M (1986). The production and release to the atmosphere of $CFCl_3$ and $CF2Cl_2$ (cholorofluorocarbons CFC-11 and CFC-12). Atmos. Environ. 20:1077-1085

IPCC (1996). Climate Change 1995: Impacts, Adaptation, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analysis. The Contribution of Working Group Ⅱ to the Second Assessment Report of the Inergovernmental Panel on Climate Change. R. T. Watson, M. C. Zinyowera, R. H. Moss, (eds.), Cambridge University Press, Cambridge.

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 Uncertianty 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). Climate Change 2001: Mitigation: Contribution of Working Group Ⅲ to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by Metz, B., Davidson, O., Swart, R. and Pan, J., Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC/TEAP (2005). IPCC/TEAP Specail Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System: Issues Related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons. Prepared by Working Ⅰ and Ⅲ of the Intergovernmental Panel on Climate Change, and the Technology and Economic Assessment Panel [Metz, B., L. Kuijpers, S. Solomon, S. O. Anderson, O. Davidson, J. Pons, D. de Jager, T. Kestin, M. Manning, and L. A. Meyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 499 pp.

Kroeze, C. (1995). Fluorocarbons and SF_6: Global emission inventory and control. RIVM Report No. 773001007, Bilthoven, The Netherlands.

McCulloch A., Ashford, P. and Midgley, P.M. (2001). Historic Emissions of Fluorotrichloromethane (CFC-11) Based on a Market Survey, *Atmos. Environ*, 35(26), 4387-4397

McCulloch A., Midgley, P.M. and Ashford, P. (2003). Release of Refrigerant Gases (CFC-12, HCFC-22 and HFC-134a) to the Atmosphere, *Atmos. Envrion*. 37(7), 889-902

Palandre L., Barrault, S. and Clodic, D. (2003). Inventaires et previsions des fluides frigorigenes et de leurs emissions, France. Annee 2001. Rapport pour l'ADEME, mai 2003.

Palandre, L., Barrault, S. and Clodic, D. (2004). Inventaires et previsions des emissions de fluides

frigorigenes France - Annee 2002. Rapport pour l'ADEME. Aout 2004.
Schwarz, W. and Harnisch, J. (2003). Establishing the leakage rates of Mobile Air Conditioners. Final report for the EC. Ref. B4-3040/2002/337136/MAR/C1. 17 April 2003.
UNEP-FTOC (1999). 1998 Report of the Rigid and Flexible Foams Technical Options Committee, UNEP, Ozone Secretariat, 1999.
UNEP-FTOC (2003). 2002 Report of the Rigid and Flexible Foams Technical Options Committee, UNEP, Ozone Secretariat, 2003.
UNEP-HTOC (1994). Assessment Report of the halons Technical Options Committee, Report prepared for the United Nations Environment Programme, Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, http://www.ozonelog. org.
UNEP-HTOC (2003). Assessment Report of the halons Technical Options Committee, Report prepared for the United Nations Environment Programme, Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya, http://www.ozonelog. org, 69 pp.

제8장

기타 제품 제조 및 사용

저자

8.1, 8.2, 및 8.3절

Deborah Ottinger Schaefer (미국)

Friedrich Ploger (독일), Winfried Schwarz (독일), Sven Thesen (미국),
Ewald Preisegger (독일), Ayite-Lo N. Ajavon (토고), Dadi Zhou (중국)

8.4절

Nigel Harper (영국)

목 차

8 기타 제품 제조 및 사용 8.6
8.1 서론 8.6
8.2 전기 설비로부터의 SF_6 및 PFCs의 배출 8.6
8.2.1 서론 8.6
8.2.2 방법론적 이슈들 8.7
8.2.2.1 방법론의 선택 8.7
8.2.2.2 배출계수의 선택 8.17
8.2.2.3 활동도 자료의 선택 8.20
8.2.2.4 완전성 8.23
8.2.2.5 일관성 있는 시계열 개발 8.23
8.2.3 불확도 평가 8.24
8.2.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 8.25
8.2.4.1 품질보증/품질관리 8.25
8.2.4.2 보고 및 문서화 8.26
8.3 기타 제품에서의 SF_6 및 PFCs의 사용 8.28
8.3.1 서론 8.28
8.3.2 방법론적 이슈들 8.28
8.3.2.1 방법론의 선택 8.28
8.3.2.2 배출계수의 선택 8.39
8.3.2.3 활동도 자료의 선택 8.39
8.3.2.4 완전성 8.39
8.3.2.5 일관성 있는 시계열 개발 8.39
8.3.3 불확도 평가 8.40
8.3.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 8.40
8.3.4.1 품질보증/품질관리 8.40
8.3.4.2 보고 및 문서화 8.41
8.4 제품 사용으로부터의 N_2O 8.42
8.4.1 서론 8.42
8.4.2 방법론적 이슈들 8.43
8.4.2.1 방법론의 선택 8.43

8.4.2.2 배출계수의 선택 8.44
8.4.2.3 활동도 자료의 선택 8.44
8.4.2.4 완전성 8.45
8.4.2.5 일관성 있는 시계열 개발 8.45
8.4.3 불확도 평가 8.45
8.4.3.1 배출계수의 불확도 8.45
8.4.3.2 활동도 자료의 불확도 8.45
8.4.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화 8.46
참고문헌 8.47
첨부 8A Tier 3 국가 SF_6 인벤토리 체계의 예 8.49

식

식 8.1 기본 배출계수 방법 8.8
식 8.2 국가 고유의 배출계수법에서의 설비 처분 배출량 8.9
식 8.3 Tier 3 총 배출량 8.10
식 8.4A 설비 생산 배출량 - 순 물질수지 8.11
식 8.4B 설비 생산 배출량 - 혼합법 8.11
식 8.5A 설비 설치 배출량 - 순 물질수지 8.12
식 8.5B 설비 설치 배출량 - 혼합법 8.12
식 8.6A 설비 사용 배출량 - 순 물질수지 8.12
식 8.6B 설비 사용 배출량 - 혼합법 8.12
식 8.7A 설비 폐기 및 최종 사용 배출량 - 순 물질수지 8.13
식 8.7B 설비 폐기 및 최종 사용 배출량 - 혼합법 8.14
식 8.8 SF_6의 재활용으로부터의 배출량 8.15
식 8.9 SF_6의 폐기로부터의 배출량 8.15
식 8.10 사업체 수준의 물질수지 접근법 8.16
식 8.11 회수되는 정격용량 8.21
식 8.12 AWACS로부터의 배출량(기본 배출계수) 8.29
식 8.13 AWACS로부터의 배출량(사용자 물질수지) 8.30
식 8.14 대학 및 연구기관 입자 가속기 배출량 (국가 수준) 8.32
식 8.15 대학 및 연구기관 입자 가속기 배출량(가속기 수준의 배출계수) 8.33
식 8.16 총 연구기관 가속기 배출량 8.33

식 8.17 연구기관 가속기 배출량(가속기 수준의 물질수지)..... 8.34
식 8.18 산업/의료 가속기 배출량(국가 수준)..... 8.35
식 8.19 단열 성질 용도..... 8.37
식 8.20 이중 유리 창문: 조립..... 8.37
식 8.21 이중 유리 창문: 사용..... 8.37
식 8.22 이중 유리 창문: 폐기..... 8.37
식 8.23 즉각적인 배출량..... 8.37
식 8.24 기타 제품 사용으로부터의 N_2O 배출..... 8.43

그 림

그림 8.1 전기 설비로부터의 SF_6 배출에 대한 의사결정도 8.8
그림 8.2 AWACS로부터의 SF_6에 대한 의사결정도.....8.29
그림 8.3 연구기관 가속기로부터의 SF_6에 대한 의사결정도.....8.32
그림 8.4 산업 및 의료 입자 가속기에 대한 의사결정도.....8.35
그림 8A.1 Tier 3 접근법의 예: 독일, 고전압 설비.....8.50
그림 8A.2 Tier 3 접근법의 예; 독일, 중간전압 설비.....8.51

표

표 8.1 배출량 이중산정 또는 배출량 간과의 예방; 두가지 예..... 8.15
표 8.2 SF_6를 함유하는 밀폐된 압력 전기 설비(MV 스위치기어); 기본 배출계수..... 8.18
표 8.3 SF_6를 함유하는 폐쇄된 압력 전기 설비(HV 스위치기어); 기본 배출계수..... 8.15
표 8.4 SF_6를 함유하는 가스 충전 변압기; 기본 배출계수.....8.18
표 8.5 기본 배출계수 및 수명에 대한 불확도.....8.25
표 8.6 tier에 의한 전기 설비로부터의 SF_6 배출량에 대한 우수실행 보고 정보.....8.27
표 8.7 연당 비행기당 SF_6 배출량.....8.30
표 8.8 국가 AWACS 함대.....8.30
표 8.9 공정묘사에 의한 입자 가속기 내 평균 SF_6 충전.....8.36
표 8.10 공정묘사에 의한 배출계수, (산업 및 의료 입자 가속기로부터의 SF_6 배출)....8.36

8 기타 제품 생산 및 사용

8.1 서론

이 장은 전기 설비의 생산 및 사용과 여러 가지 기타 제품으로부터의 육불화황(SF_6)와 과불화탄소(PFCs)의 배출량 산정에 관한 방법들을 약술한다. 또한 여러 제품으로부터의 아산화질소(N_2O)의 배출량을 산정하는 방법도 제공한다. 대부분의 적용에서 SF_6, PFC, 혹은 N_2O는 화학 물질의 물리적 성질들- 예를 들어 SF_6의 높은 유전체 성질, PFCs의 안정성, 그리고 N2O의 마취제 역할 등 - 을 활용하기 위하여 고의적으로 제품에 결합된다. 그러나 여기서는 넓은 범위의 배출 프로파일 - 모든 화학물질의 즉각적이고 피할 수 없는 배출 (e.g., 대기 추적자로서의 PFCs의 사용)부터 40년의 사용 후에 일어나는 누출방지 제품으로부터의 지연된 배출까지 포함하는 피할 수 있는 배출까지의 광범위한 - 을 가지는 적용들이 논의된다. 본 장에서 제시하는 산정 방법들은 배출 프로파일에서의 이러한 차이점들을 반영하기 위해 수정되었다.

8.2절은 전기 설비로부터의 SF6 및 PFC의 배출량 산정 방법을 자세하게 다루고 있다. 8.3절은 이 권의 다른 곳에서 논의되었던 부분(e.g., 6장에서 논의되었던 전기 제품 생산으로부터의 PFC 배출)을 제외한 나머지, 즉 SF6와 PFCs를 포함하는 다양한 기타 산업, 상업, 그리고 소비 제품의 사용 및 제품 생산으로부터의 배출량 산정 방법에 대해 자세하게 묘사하고 있다. (배제된 배출원 목록에 대해서는 8.3절의 서론을 참조하시오.) 마지막으로, 8.4절은 마취제, 추진제(propellant), 그리고 기타 제품의 사용으로부터의 N2O 배출량 산정 방법에 대해 다루고 있다.

8.2 전기 설비로부터의 SF_6 및 PFCs의 배출

8.2.1 서론

육불화황(SF_6)은 전기 전송과 배전에 사용되는 설비에서 전기 절연체와 전류 차단제로 사용된다. 전기 설비의 전과정(life cycle)의 각 단계, 즉 생산, 설치, 사용, 서비스, 그리고 처분에서 배출된다. 전기 설비에 사용되는 대부분의 SF_6는 가스 차단 개폐기 및 변전소(gas insulated switchgear and substations; GIS), 그리고 가스 순회 차단기(gas circuit breakers; GCB)에서 사용되나, 일부는 고전압 가스 차단선(gas-insulated lines; GIL), 실외 가스 차단 기기 변압기 및 기타 설비에 사용되기도 한다. 앞에서 말한 용도는 두 가지 봉쇄 카테고리로 구분될 수 있다. 첫 번째 카테고리는 사용 기간 동안 가스 보충이 필요 없는 설비로 정의되는, 그리고 일반적으로 기능 단위(functional unit[1]) 당 5 kg 이하의 가스를 포함하는 '봉인된 압력 시스템(Sealed Pressure Systems)' 혹은 '영구 봉인 설비(Sealed-for-life Equipment)'이다. 배전 설비가 일반적으로 이 카테고리에 속한다. 두 번째 카테고리는 사용 기간 동안 가스 보충이 필요한 설비를 포함하는 것으로 정의되는 '폐쇄된 압력 시스템'이다. 이러한 설비 유형은 일반적으로 기능 단위당 5에서 수백 kg사이의 가스를 포함한다. 송신 설비가 일반적으로 이 카테고리에 속한다. 양쪽 카테고리의 설비 모두 다 30-40년 이상의 사용기간을 갖는다. 아시아에서는 SF_6의 상당량이 가스 차단 동력 변압기(gas-insulfated power

[1] '봉인된 압력 시스템'과 '폐쇄된 압력 시스템'의 공식적인 정의는 국제 전기기술 위원회(International Electrotechnical Commission(IEC) 표준 60697 (IEC, 1996)에 나타나 있다.

transformers; GIT)에 사용된다.

전기 설비는 전 지구적으로 SF_6의 가장 큰 소비체 및 가장 중요한 사용체이다. 이는 전 세계 SF_6 배출량에 중요한 기여를 한다. 그러나 이 배출원의 중요성은 지역별로 그리고 나라별로 크게 달라진다. 이 카테고리로부터의 배출량은 설치된 혹은 사용된 SF_6의 양뿐만 아니라 제품의 견고성과 적용되는 취급 방법에도 의존한다. 현재 지역 평균 배출량은 1% 미만부터 10% 이상 사이에서 다양하다. 일반적으로 배출량은 1995년 이래로 현저하게 감소되었다. 유럽과 아시아에서는 목표 산업 실행(targeted industry action)이 50%에서 90%까지 배출량을 저감시켰다(Ecofys, 2005; Aoyama, 2004). 이러한 실행은 (1) 더 적은 양의 SF_6를 필요로 하는 설비와 더 효과적인 누출 방지 설비를 디자인하는 것과 (2) 모든 전과정 단계(life cycle stages[2])에 대한 취급 과정 및 취급 설비를 개선시키는 것을 포함한다.

어떤 지역에서는(e.g. 북미와 일본) 과불화탄소(PFCs)가 동력 변압기에서 유전체와 열전도체로 사용된다. 또한 PFCs는 CFC-113 냉매 트랜스의 대체물질로 사용되기도 한다. 이렇게 사용되는 PFC의 한 종류는 과불화헥산(C_6F_{14})이다. 절대적이면서 탄소-가중치 배출량의 의미에서, 전기 설비로부터의 PFC 배출량은 일반적으로 전기 설비로부터의 SF_6 배출량보다 훨씬 적다고 간주 된다; 그러나 이러한 경향에는 지역적 예외가 있을 수 있다.

8.2.2 방법론적 이슈들

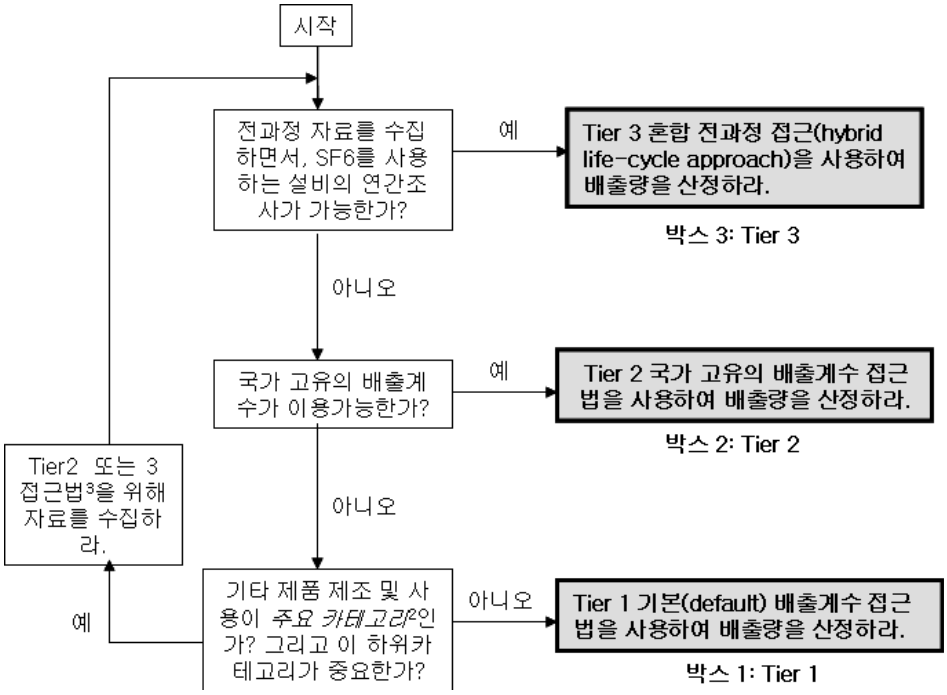
8.2.2.1 방법론의 선택

전기 설비로부터의 SF6 배출량은 복잡성의 정도와 자료 집적의 다양한 정도에 따라 다양한 방법으로 산정될 수 있다. 이 절은 Tier 1 방법, Tier 2 방법(국가 고유의 배출계수 접근법), Tier 3 방법(국가 고유 특성에 따라 물질 수지법 혹은 상이한 전과정 단계에 대한 배출계수 접근법의 혼합)의 사용에 대한 *우수실행(good practice)*을 기술한다. 일반적으로, 시설 수준에서 적용되는 Tier 3 방법을 사용해 개발된 배출량 산정법이 가장 정확할 것이다. Tier 1 방법을 사용해 개발된 산정법이 가장 덜 정확하다.

다른 배출원과 마찬가지로, tier는 자료의 이용도와 카테고리의 중요성에 따라 선택된다. 그림 8.1, 전기 설비로부터의 SF6에 대한 의사 결정도는 Tier 3, 2, 그리고 1 사이에서 선택하는 과정을 요약하고 있다. 물질 수지법과 Tier 3 접근법의 배출계수 변형법 사이에서의 선택에 대한 *우수실행(good practice)*이 1장의 1.5절에 논의되어 있다. 선택은 자료의 이용도와 국가 고유의 특성 모두에 의존하게 된다. 본 장에서 논의되는 전기 설비와 다른 카테고리에서의 SF_6 배출의 중요성을 평가하는 첫 번째 단계로, 인벤토리 작성자는 전기 설비 생산자와 사업체 그리고/또는 산업 협회뿐만 아니라 화학물질 생산자와 공급자와도 접촉하는 것을 권장한다. 이러한 조직들이 화학 물질의 소비와 설비 재고에 대한 기본적인 정보와, 인벤토리 작성자의 배출량 산정 및 상세한 조사를 통한 배출원 파악을 도와줄 수 있는 적용 용도를 제공할 수 있다. 또한 이러한 조직들은 Tier 2와 Tier 3 산정법을 뒷받침하기 위한 더 광범위한 자료 수합 시스템의 설립에 대한 중요한 조언과 지지를 제공할 수 있다.

[2] 대형 전기 시스템에 대한 국제 협의회(International Council on Large Electric Systems; CIGRE)는 SF_6 취급에 대한 가이드라인과 주문된 "실제 SF_6 취급 설명서"의 준비에 대한 가이드라인을 출판하였다., Task Force B3.02.01, CIGRE 출판 No.276, 2005년 8월 (CIGRE, 2005).

그림 8.1 전기 설비로부터의 SF_6 배출에 대한 의사 결정도[1]



참고:
1. 산정 방법을 선택하는 데 있어, 물질 수지법과 각 tier의 배출계수법 사이에서의 선택에 대한 본 권의 1장, 1.5절의 표1.7에 제시되어 있는 기준을 고려하는 것도 역시 *우수실행(good practice)*이다.
2. 중요 카테고리의 논의와 의사 결정도의 사용에 대해서 1권 4장, 방법론의 선택과 주 카테고리의 확인(제한된 자료에 대한 4.1.2절)을 참조하여라.
3. 실제 및 과거의 자료를 수집하고 확인하고 결집시키기 위해 시설의 국가/지역 협회와 생산자를 접촉하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

Tier 1 방법 - 배출계수 기본값

Tier 1 접근법은 전기 설비로부터의 SF_6 및 PFC 배출량을 산정하는 가장 단순한 접근법이다. (그래서 이 절에서는, 'SF_6'가 'SF_6 그리고/또는 'PFCs'를 일컫는다.) 이 방법에서는, 지역적 배출계수의 기본값에 설비 생산자의 SF_6 소비량 그리고/또는 국가의 생산을 넘어선 전과정의 각 단계에서의 설비의 정격(nameplate) SF_6 용량을 곱함으로써 산정된다. (1) 설치 배출량(Installation Emissions)이 일어나지 않거나 (i.e. 폐쇄된 압력 설비) 또는 (2) 설치 배출량이 생산 또는 사용으로부터의 배출에 대한 배출계수에 포함된다면, '설치 배출량(Installation Emissions)'이라는 용어는 생략될 수 있다. 배출계수 기본값은 표 8.2에서 8.4까지 나타나 있다.

다음 식을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

식 8.1

기본 배출계수 방법(Default Emission Factor Method)

총 배출량 = 생산 배출량 + 설비 설치 배출량 + 설비 이용 배출량 + 설비 처분 배출량

(Total Emissions = Manufacturing Emissions + Equipment Installation Emissions + Equipment Use Emissions + Equipment Disposal Emissions)

여기서,

생산 배출량 = 생산 배출계수 ● 설비 생산자에 의한 총 SF_6 소비량

설비 설치 배출량 = 설치 배출계수 ● 현지(시설이 아니라)에 설치된 새 설비의 총 정격용량

설비 사용 배출량 = 사용 배출계수 ● 설치된 설비의 총 정격용량. '사용 배출계수'는 불이행 뿐만 아니라 누수, 서비스, 그리고 유지로 인한 배출을 포함한다.

설비 처분 배출량 = 회수된 설비의 총 정격용량 ● 회수 시 잔존하는 SF_6의 비율

Tier 2 방법 - 국가 고유의 배출계수 방법

Tier 2 방법은 Tier 1에서와 같은 기본 식을 사용하지만, 각 전과정 단계에 대해 신뢰성 있는 국가 고유의 배출계수를 요구한다. 국가 고유의 배출계수는 특정 국가에서 사용되는 전기 설비의 독특한 상황을 반영하기 때문에 더욱 정확할 것이다. 뿐만 아니라, 설비 회수에 대한 자세한 자료를 이용할 수 있다면 회수로 인한 배출량을 더 정확하게 산정할 수 있다. Tier 2 방법에서의 설비 처분 배출량은 다음과 같이 회수와 처분 시 SF_6 회수에 대한 고려가 포함되어 있다.

식 8.2
국가 고유 배출계수법에서의 설비 처분 배출량

설비 처분 배출량 = 회수 설비의 총 정격용량 ● 회수 시 잔존하는 SF_6의 비율 ● (1-SF_6가 회수되는 회수 설비의 비율 ● 회수율 ● 더 이상의 처리 없이 재활용되거나 재사용되거나 폐기되는 회수된 SF_6의 비율*)

*이 마지막 항은 화학물질 재활용 및 폐기되는 동안의 배출량에 대해 고려하기 위함이다.

보다 자세한 Tier 2를 위해서, 오직 국가 고유의 배출계수를 사용할 때만이 산정법을 개발할 수 있다.

Tier 3 혼합 방법 - 설비의 전과정 단계에 의한 배출

Tier 3 방법은 전기 설비로부터의 SF_6의 실제 배출량 산정에 대한 가장 정확한 접근법이다. 이 방법은 자세하나 유동적이며, 국가 상황의 넓은 범위를 수용한다. 이 방법은 설비 생산, 설치, 이용, 그리고 처분을 포함하며, 시설 단위에서 적용되고 설비의 전과정의 각 단계에 대해 개별적인 수식을 포함한다. 설비 유형, 전과정 단계, 그리고 국가 고유의 상황에 따라 물질 수지법이나 국가(또는 시설) 고유의 배출계수가 사용될 수 있다. 일반적으로, 지난 10-20년 동안 전기 설비가 사용되지 않은 국가의 경우 즉, (1) 공정으로부터의 배출량이 물질 수지 방법을 사용할 때 필요한 측정값의 정밀도 근처 가까이 있거나 정밀도 이하일 때, (2) 설비가 사용 기간 동안 전혀 수리되지 않았을 때 또는 (3) 설비 재고가 매우 빠르게 성장할 때를 제외하고는, 물질 수지 방법을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

혼합 접근법은 일부 공정과 전과정 단계에 대한 물질 수지 접근법의 사용과, 기타 공정과 전과정 단계에 대한 배출계수 접근법의 사용을 허용함으로써 정확성을 높인다. 그러나 상이한 접근 방법의 조합은 배출량을 이중 산정하거나 간과할 수도 있다. 인벤토리 작성자는 이러한 문제에 대해 인식할 필요가 있으며, 이를 피하기 위해 단계별로 진행해야 한다. 표 8.1, 배출량의 이중 산정 혹은 배출량의 간과의 예방은 문제점과 일부 잠재적 해결법 모두의 예를 보여준다.

본 장의 첨부(첨부 8A)는 독일에서 적용되었던 것처럼 Tier 3 접근법의 예를 간략하게 묘사하고 있다. 이 예는 규정하기보다 예증하기 위해 삽입되었다; 어떤 특정 국가에 의해 선택된 정밀한 접근법은 국가 고유의 상황에 따른다.

이상적으로, 자료는 모든 설비 생산자, 전기 송신 및 배전 설비(사업체), 설비 처분자(생산자, 전기 사업체 또는 다른 단체일 수 있다), 그리고 국가 내 SF6 재활용 또는 폐기 시설에 대해 획득되며, 모든 생산자, 사업체, 폐기자, 그리고 재활용 또는 폐기 시설의 배출량은 국가 산정량을 개발하기 위해 합쳐진다. 기본 식은:

식 8.3
Tire 3 총 배출량

총 배출량 =∑설비 생산 배출량
+∑설비 설치 배출량
+∑설비 이용 배출량
+∑설비 폐기 및 최종 사용 배출량
+∑ SF6의 재활용 및 폐기로부터의 배출량

여기서:

시설 수준에서의 설비 생산 배출량은 식 8.4A와 8.4B에 의해 산정될 수 있다.
시설 수준에서의 설비 설치 배출량은 식 8.5A와 8.5B에 의해 산정될 수 있다.
시설 수준에서의 설비 이용 배출량은 식 8.6A와 8.6B에 의해 산정될 수 있다.
시설 수준에서의 설비 폐기 및 최종 사용 배출량은 식 8.7A와 8.7B에 의해 산정될 수 있다.
시설 수준에서의 SF6 재활용 및 폐기로부터의 배출량은 식 8.8과 8.9에 의해 산정될 수 있다.

위 식에서 각 단계의 국가 배출량은 모든 설비 생산자, 설비 사용자, 설비 폐기자, 또는 각 단계에서의 SF_6 재활용자/폐기자로부터의 배출량의 합과 같다. 실제로는, 모든 시설에 대한 자료의 획득이 언제나 가능하지는 않다; 이러한 상황에서는 국가는 8.2.2.3절, 활동도 자료의 선택에서 논의된 외삽법 중 하나를 사용할 수 있다.

설비 생산 배출량(Equipment manufacturing emissions)

*설비 생산 배출량*은 순수한 물질수지 접근법 혹은 일부 공정에 대한 물질 수지 접근법과 기타 공정에 대한 배출계수 접근법의 혼합으로 산정될 수 있다. 생산자 배출량의 상당한 비율이 물질 수지법을 적용할 때 필요한 측정치의 정밀로 이하로 배출량이 떨어지는 공정(e.g. 1년당 정격용량(nameplate capacity)의 3% 혹은 그 이하)으로부터 나올 때를 제외하고는, 순수한 물질수지법이 권장된다. 이러한 상황에서는, 매우 낮은 배출량을 가진 공정으로부터의 배출량을 산정하기 위해, 그리고 기타 생산 공정으로부터의 배출량을 산정하기 위한 물질 수지 접근법을 사용하기 위해, 배출계수를 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

순수 물질수지 접근법: 순수 물질수지 접근법을 이용해서, 각 설비 생산자의 총 배출량은 다음과 식을 사용해 산정될 수 있다.

식 8.4A
설비 생산 배출량 - 순 물질수지

설비 생산 배출량 = SF_6 인벤토리에서의 감소량 + SF_6의 획득량 - SF_6의 지출량
(Equipment manufacturing emissions = Decrease in SF_6 inventory + Acquisitions of SF_6 - Disbursements of SF_6)

여기서:

SF_6 인벤토리에서의 감소량 = 한 해의 시작 시점에서 컨테이너에 저장되어있는 SF_6 - 한 해의 마지막 시점에서 컨테이너에 저장되어 있는 SF_6

SF_6의 획득량 = 화학물질 생산자 혹은 전체적인 배분자로부터 구입된 SF_6 + 설비 사용자 혹은 설비를 지닌 배분자에 의해 회수된 SF_6 + 현지가 아닌 곳에서의 재활용 후 현재로 회수된 SF_6

SF_6의 지출량 = 고객에게 배달된 새로운 설비에 포함된 SF_6 + 컨테이너 내 설비 사용자에게 배달된 SF_6 + 공급자에게 되돌아 온 SF_6 + 재활용을 위해 현지가 아닌 곳으로 보내진 SF_6 + 폐기된 SF_6

혼합 접근법: 이 방법은 첫째, 배출계수 접근법이 사용되는 공정에 결합되어 있는 가스 흐름으로부터 물질수지 접근법이 사용되는 공정에 결합되어 있는 가스 흐름을 생산자가 분리해야 한다. 그 후 전자로부터의 배출량이 식 8.4A에 설명되어 있는 접근법을 사용함으로써 산정될 수 있다. 후자로부터의 배출량은 각 공정을 거치는 설비의 총 정격용량에 그 공정에 대한 국가 혹은 시설 고유의 배출계수를 곱함으로써 산정될 수 있다. 그 후 각 생산자에 대한 총 배출량은 다음의 식을 이용하여, 두 공정 세트 모두로부터의 배출량을 합함으로써 산정되어진다.

식 8.4B
설비 생산 배출량 - 혼합법

설비 생상 배출량 = 식 8.4A + ∑각 공정을 거치는 설비의 총 정격용량* ● 그 공정에 대한 배출계수

* 식 8.4A에 의해 설명되는 부분 제외

설비 설치 배출량

*설비 설치 배출량*은 물질수지법 또는 배출계수 접근법을 통해 산정될 수 있다. 다시 말하지만, 배출량이 매우 낮을 때를 제외하고는 물질수지법을 권장한다.

순수 물질수지 접근법: 물질수지 접근법을 이용하여, 각 설비 설치자의 총 배출량은 다음의 식을 사용하여 산정될 수 있다.

식 8.5A
설비 설치 배출량 – 순 물질수지법

설비 설치 배출량 = 설비를 채우기 위해 사용된 SF_6 - 새로운 설비의 정격용량
(Equipment Installation Emissions = SF_6 used to fill equipment - Nameplate capacity of new equipment)

혼합 접근법: 이 방법은 첫째, 배출계수 접근법이 사용되는 공정에 결합되어 있는 가스 흐름으로부터 물질수지 접근법이 사용되는 공정에 결합되어 있는 가스 흐름을 사용자가 분리해야 한다. 그 후 전자로부터의 배출량이 식 8.5A에 설명되어 있는 접근법을 사용함으로써 산정될 수 있다. 후자로부터의 배출량은 새롭게 설치된 각 설비 유형의 정격용량에 그 유형에 대한 국가 혹은 시설 고유의 배출계수를 곱함으로써 산정될 수 있다. 그 후 각 사용자에 대한 총 배출량은 다음의 식을 이용하여, 두 공정 세트 모두로부터의 배출량을 합함으로써 산정되어진다.

식 8.5B
설비 설치 배출량 - 혼합법

설비 설치 배출량 = 식 8.5A + ∑현지에 추가된 새로운 설비의 정격용량* ● 설치 배출계수

* 식 8.5A에 의해 설명되는 부분 제외

설비 사용 배출량

*설비 사용 배출량*은 순수 물질 수지법 또는 혼합 접근법을 이용해서 산정할 수 있다. 순수 물질수지 접근법은 (1) SF6를 사용하는 전기 설비가 20-30년 이상 사용되어지는 국가, 그리고 (2) 봉인된 압력 시스템으로부터의 배출량이 무시할 수 있을 정도인 국가에 대해서 적절하다고 보인다. 기타 다른 국가에 대해서는 혼합 접근법이 적절하다고 사료된다.

순수 물질수지 접근법: 순수 물질수지 접근법을 사용해서, 각 설비 사용자의 총 배출량은 다음과 식을 이용해서 산정될 수 있다.

식 8.6A
설비 사용 배출량 – 순 물질수지법

설비 사용 배출량 = 수리 시 폐쇄 압력 설비를 재충전하기 위해 사용된 SF_6
- 수리 시 폐쇄 압력 설비로부터 회수된 SF_6

혼합 접근법: 이 방법은 첫째, 배출계수 접근법이 사용되는 공정에 결합되어 있는 가스 흐름으로부터 물질수지 접근법이 사용되는 공정에 결합되어 있는 가스 흐름을 사용자가 분리해야 한다. 그 후 전자로부터의 배출량이 식 8.5A에 설명되어 있는 접근법을 사용함으로써 산정될 수 있다. 후자로부터의 배출량은 각 설비 유형의 정격용량에 그 유형에 대한 국가 혹은 시설 고유의 배출계수를 곱함으로써 산정될 수 있다. 배출계수 접근법이 폐쇄된 압력 설비와 전기 설비가 10에서 20년 이하로 사용된 국가에서의 모든 설비 유형에 대해서 더 정확하다고 사료된다. 그 후 각 사용자에 대한 총 배출량은 다음의 식을 이용하여, 두 공정 세트 모두로부터의 배출량을 합함으로써 산정되

어진다.

식 8.6B
설비 사용 배출량 - 혼합법

설비 사용 배출량 = 식 8.6A + Σ설치된 설비의 정격용량* ● 사용 배출계수

* 식 8.6A에 의해 설명되는 부분 제외

설비 폐기 및 최종 사용 배출량

*설비 폐기 및 최종 사용 배출량*은 국가 고유의 상황을 바탕으로, 순수 물질수지 또는 혼합 접근법을 사용하여 산정될 수 있다. 순수 물질수지법과 혼합 접근법 모두에서, 폐쇄된 압력 설비로부터의 배출량은 물질수지식을 사용해서 산정된다. 순수 물질수지 접근법에서는, 봉인된 압력 시스템으로부터의 배출량 역시 물질수지식을 이용해서 산정된다. 혼합 접근법에서는, 봉인된 압력 시스템으로부터의 배출량이 배출계수 항을 이용하여 산정된다.

순수 물질수지 접근법: 가스 수합 기반(회수 설비, 기술자 훈련, 그리고 회수에 대한 경제적 또는 법적 인센티브를 포함하는)이 잘 개발되어 있지 않거나 넓게 적용되지 않는 국가에서는, 다음과 같이 순수 물질수지 접근법을 사용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

식 8.7A
설비 폐기 및 최종 사용 배출량 - 순 물질수지법

폐기 및 최종 사용 배출량 = 폐쇄된 압력 설비로부터의 배출량
- 봉인된 압력 설비로부터의 배출량 (MB)
(Disposal and Fianl Use Emissions = Emissions from closed-pressure equipment + Emissions from sealed-pressure equipment (MB))

여기서:

폐쇄된 압력 설비로부터의 폐기 및 최종 사용 배출량 = 회수된 폐쇄-압력 설비의 정격용량 - 회수된 폐쇄 압력 설비로부터 회수된 SF_6, 그리고

봉인된 압력 설비로부터의 폐기 및 최종 사용 배출량(MB) = 회수된 봉인-압력 시스템의 정격용량 - 회수된 봉인-압력 시스템으로부터 회수된 SF_6

만약 인벤토리 작성자가 봉인된 압력 설비로부터의 '사용 배출량'을 산정하기 위해 배출계수 접근법을 사용한다면, 이중 산정을 피하기 위해 본 항을 반드시 두 번째 식에서 빼주어야 한다. 표 8.1, 배출량의 이중 산정 또는 배출량의 간과 예방에 있는 이 항에 대한 두 가지 예를 참조하여라.

혼합 접근법: 설비의 처분이 잘 조절되고 이해되며 봉인된 압력 설비의 사용으로부터의 배출량이 위의 '사용' 이하에서 고려되는 국가인 경우, 다음과 같이 혼합 접근법이 사용될 수 있다.

식 8.7B
설비 폐기 및 최종 사용 배출량 - 혼합법

폐기 및 최종 사용 배출량 = 폐쇄된 압력 설비로부터의 배출량
- 봉인된 압력 설비로부터의 배출량 (EE)

여기서:

폐쇄된 압력 설비로부터의 폐기 및 최종 사용 배출량 = 회수된 폐쇄-압력 설비의 정격용량 - 퍼수된 폐쇄-압력 설비로부터 회수된 SF_6, 그리고

봉인된 압력 설비로부터의 폐기 및 최종 사용 배출량 = [(회수된 봉인-압력 시스템의 정격용량) - (회수된 봉인-압력 시스템의 정격용량 • 사용 배출계수 • 설비의 수명)] • (1 - SF_6가 회수되는 회수 설비의 비율 • 회수율)

위에서 언급하였듯이, 위의 접근법을 사용하여 산정된 배출량은 주기적으로 확인(e.g., 순수한 물질수지 접근법을 사용함으로써, 또는 회수 주기 및 실제를 평가함으로써)되어야 한다. 인벤토리 작성자는 회수가 수행될 때 재생되는 충전 비율("회수율") 및 회수되는 SF_6의 회수 설비의 비율에 특별한 주의를 기울어야 한다. 회수 설비로부터 SF_6의 회수가 전형적으로 일어나는 국가에서도 일부 손실이 발생할 수 있으며, 기술적으로 달성할 수 있고 다른 한편으로는 배출계수에 대한 합리적인 근거가 될 수 있는 최소량을, 회수되는 설비에서 SF_6의 수%의 손실이 훨씬 초과하는 배출량을 야기할 수 있다.

SF_6 재활용 및 폐기로부터의 배출량

화학물질이 회수된 이후에 일부 SF_6 배출이 일어난다. 이러한 배출은 (1) SF_6의 재활용과 연관된 배출, 그리고 (2) SF_6의 폐기와 연관된 배출을 포함한다. (현지가 아닌 곳의 재활용자 혹은 폐기 장소로 SF_6를 발송하는 데 연관된 배출량은 무시할 수 있다고 간주한다.) SF_6의 재할용으로부터의 배출량은 일반적으로 적을 것으로 기대된다 - 재활용 공정으로 유입되는 총량의 1% 이하 정도로. 그러나 취급 장비와 취급 실제가 제대로 이루어지지 않을 때는 이러한 배출량이 클 수도 있다. 대부분의 경우에, 재활용은 설비 생산자 또는 사용자의 장소에서 일어나는 것으로 기대된다. 다른 상황에서는, 화학물질 생산자와 관련 없는 중앙 집중 재활용 설비에서 재활용이 일어날 수도 있다. 마지막으로, 화학물질 생산자의 건물에서 재활용이 일어날 수도 있다. 화학물질 생산자로부터의 재활용 배출량은 화학물질 생산 하에서 고려되어질 것이며(이 권의 3.10절을 참조하라), 여기서는 포함되어서는 안 된다.

SF_6의 폐기에 관련된 배출량은 공정의 폐기 효율과 공정으로 유입되는 SF_6의 양에 의존한다. 주어진 SF_6의 높은 안정성과 높은 해리 온도(dissociation temperature)에서 폐기 효율은 90% 정도로 낮을 수도 있다. 그래서, 폐기 공정으로 유입되는 SF_6의 10%까지는 배출될 수 있다. 폐기 공정으로 유입되는 가스의 양은 일반적으로 재활용되는 양에 비해 적다고 간주된다. 그러나 이는 국가마다 달라질 수 있다.

국가 고유의 세부 계획과 SF_6의 재활용 및 폐기 실제에 대한 완전한 고려를 바탕으로 재활용과 폐기에 대한 국가 고유의 배출계수를 개발하는 것은 *우수실행(good practice)*이다.

SF_6의 재활용으로부터의 배출량은 다음의 식을 사용해서 산정될 수 있다:

식 8.8
SF_6의 재활용으로부터의 배출량*

재활용으로부터의 배출량 = 재활용 배출계수 ● 재할용 공정으로 유입되는 SF_6의 양

*화학물질 생산 시설에서 일어나는 재활용으로부터의 배출량은 배제되어야 한다.

SF_6의 폐기로부터의 배출량은 다음 식을 이용해서 산정될 수 있다.

식 8.9
SF_6의 폐기로부터의 배출량

폐기로부터의 배출량 = 폐기 배출계수 ● 폐기 공정으로 유입되는 SF_6의 양

표 8.1
배출량 이중산정 및 배출량 간과의 예방 : 두가지 예

예 1 - 이중산정	예 2 - 누락
상황: 사용 기간동안 봉인된 압력 설비로부터의 배출량을 산정하기 위해 배출계수 접근법이 사용될 때. 그리고 봉인된 압력 설비의 폐기동안의 배출량을 산정하기 위해 물질수지법이 사용될 때.	**상황:** 폐쇄된 압력 설비의 사용 동안의 배출량을 산정하기 위해 물질 수지법이 이용되지만, 폐쇄된 압력 설비의 폐기 동안의 배출량을 산정하기 위해서는 배출계수 접근법이 사용될 때.
잠재적 문제점: 설비가 노출될 때 손실되는 일부 SF_6가 이미 사용 동안에 배출된 것으로 산정되었을 때, 사용 도중의 배출량은 이중 산정될 수 있다.	**잠재적 문제점:** 설비의 최종 수리와 폐기사이에서 일어나는 배출은 누락될 수 있다. 이러한 '최수 사용' 배출량은, 특히 설비가 매 10년 이상을 보충할 때, 총 사용 배출량의 중요한 분율을 차지할 수도 있다.
해법: 폐기 동안의 배출량으로부터 수명 사용 배출량(회수된 봉인-압력 시스템의 정격용량 ● 설비의 수명)을 감해 주어라	**해법:** 폐쇄된 압력 설비 전과정의 사용 및 폐기 단계 모두에 대해 물질수지법을 사용하여라.

Tier 3 방법의 특별한 케이스: 시설 수준의 순수 물질수지 접근법

설비 생산 외에도 순수 물질수지 접근법을 이용하는 데 있어 *우수실행(good practice)*의 기준(good practice criteria)을 만족시키는 국가는(i.e., 설비 설치, 사용, 그리고 폐기 동안의 배출량이 시설 수준의 가스 흐름의 3% 이상을 차지하는 국가, 10-20년 이상동안 전기 설비가 사용되어 온 국가, 그

리고 봉인된 압력 설비로부터의 배출이 무시할 수 있을 정도인 국가), 정확성의 손실이 거의 일어나지 않으면서 설비 사용 동안의 배출량을 산정하기 위해 Tier 3 방법의 단순화된 버전을 이용할 수 있다. 모두를 합하고 시설 수준의 가스 흐름의 관점에서 다시 수정하면, 식 8.5A, 8.6A, 그리고 8.7A는 다음과 같은 식을 유도한다.

식 8.10
사업체 수준 물질수지 접근법

사용자 배출량 = SF_6 인벤토리에서의 감소량 + SF_6의 획득량 - SF_6의 지출량 - 설비 정격용량의 순 증가량

(User Emissions = Decrease in SF_6 inventory + Acquisitions of SF_6 - Disbursements of SF_6 - Net Increase in the nameplate capacity of equipment)

여기서:

SF_6 인벤토리에서의 감소량 = 한 해의 시작 시점에 컨테이너에 저장되어 있는 SF6 - 한 해의 마지막 시점에 컨테이너에 저장되어 있는 SF_6

SF_6의 획득량 = 화학물질 생산자 혹은 전체적인 배분자로부터 구입된 SF_6 + 설비를 가진 설비 생산자 또는 분배자에 의해 구입된 SF_6 + 현지가 아닌 곳에서의 재활용 후 현지로 회수된 SF_6

SF_6의 지출량 = 다른 업체에게 매매된 설비에 포함되어 있는 SF_6 + 공급자에게 되돌아 온 SF_6 + 재활용을 위해 현지가 아닌 곳으로 보내진 SF_6 + 폐기된 SF_6

설비 정격용량의 순 증가량 = 새로운 설비의 정격용량 + 회수된 설비의 정격용량

사업체 수준의 접근법이 완전한 전과정 접근법에 비해 덜 자세하다고 할지라도, 이 방법은 간단하며 국가적 상황이 이 방법을 허용하는 국가에 대해서 이 방법은 실제 가스 손실에 밀접하게 관련된 산정량을 제공한다.

전기적 구성요소의 생산으로부터의 SF_6 배출

일부 전기 설비의 구성요소는 제품의 절연 매체 내에 1%(중량 기준) 이하의 SF_6를 함유할 수 있다. 이러한 구성 요소들은 중간 전압체 합성수지 변압기와 고전압 부싱(bushings) 이상을 포함할 수 있다. 중간 전압체(52 kV까지) 합성수지 기기 변합기에서, SF_6는 유전체의 품질과 제품의 지속성을 향상시키기 위해 합성수지 절연체의 미세 구멍을 막는 데에 사용된다. 고전압(52 kV 초과) 부싱에서는, 유전체의 품질과 제품의 지속성을 향상시키기 위해 절연체의 특정 부품 내 폴리우레탄 합성수지에 대한 발포제(blowing agent)로써 SF_6가 사용된다.

SF_6의 배출은 오로지 제품의 고체 절연체에 대한 거푸집/발포제 공정으로부터 기인한다. 사용된 모든 SF_6는 생산 단계에서 배출되는 것으로 가정한다. 이 배출원으로부터의 배출량을 산정하기 위해, 새로운 설비에 포함된 SF_6를 0으로 놓고 설비 생산자에 대한 순수 물질수지 접근법을 사용할 수 있다.

배출량 저감 수단들은 흡입 도구에 의한 손실의 최소화 및 재활용율의 향상, 그리고/또는 개선된 거푸집 공정에 초점을 맞춘다. 고전압 부싱에서의 이러한 유형의 SF6는 미래에 다른 발포제에 의

해 대체될 수도 있다.

8.2.2.2 배출계수의 선택

배출계수가 국가별뿐만 아니라 시설별로도 달라지기 때문에 배출계수에 근거한 방법을 사용하는 인벤토리 작성자는 그들 고유의 배출계수 사용 및 개발이 권장된다. 국가 내 사업체와 설비 생산자의 대표성 있는 표본을 조사하는 것은 이러한 배출계수를 개발하기 위한 효과적인 방법이다. 일반적으로, 선택된 배출계수를 뒷받침해주는 증거와 이유를 문서화하고 최소 매 5년마다 이러한 배출계수를 검토하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

배출량에 영향을 주는 요인들은 설비의 디자인(설비가 언제, 어디서 생산되었는지에 따라 달라진다), SF_6 실제 취급법, 최고 기술 수준의 취급 설비의 이용성, SF_6 가격, 그리고 규제(e.g., 회수 요건)를 포함한다. 이런 요인들 중 어떤 한 요인의 변이가 시간에 걸쳐 혹은 국가 간 배출량을 변화시킬 수 있다.

Tier 1 방법

제안된 배출계수 기본값이 최근의 연구를 바탕으로 일부 지역에 대해 개발되었다. 아래의 표 8.2-8.4에 이러한 요인들을 나타내었다.

이미 배출량이 산정되어진 국가와 유사한 설비 디자인 및 SF_6 실제 취급법을 지닌 지역 및 국가의 배출계수 기본값을 선택하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 일본과 유럽이 전기 설비에 대한 세계적 수요의 대부분을 공급하기 때문에, 설비 디자인은 일본이나 유럽의 설비들과 비슷할 확률이 높다. 미국에 대한 계수들을 제외하고는, 지역적 배출계수 기본값이 1995년에 대해 문서화되어 있다, i.e., 배출량 저감에 대한 특별 산업 대책이 시행되기 전에. 1995년 일본에서는, 생산 중 설비를 시험해보기 위해 사용된 SF_6의 약 70%가 회수되었으며, 110 kV 이상의 설비에 대한 유지관리 동안 회수된 SF_6의 %도 비슷하였다. (70%의 회수율은 약 5 bar 절대압의 초기 압력부터 1에서 1.5 bar 절대압의 최종 압력까지의 회수를 반영한다.) 110 kV 이하의 설비로부터는 어떤 가스도 회수되지 않았다 (Maruyama et al., 2000). 1995년 유럽에서는, 설비 생산에 대한 가스 공급 시스템이 일반적으로 분산되어 있었고, 충전관은 자동 폐쇄식이 아니었다. 생산 및 유지 동안 약 0.05 bar 절대압에 대해 가스가 회수되었다 (Ecofys, 2005).

표 8.2
SF_6를 함유하는 밀폐된 압력 전기 설비(MV 스위치기어); 기본 배출계수

지역 \ Phase	제조 (생산자에 의한 SF_6 소비량 비율)	사용(누수, 중요 결함/arc 결함 및 유지 손실) (설치된 모든 설비의 정격용량의 연당(per year) 비율)	처분 (처분된 설비의 정격용량의 비율)	
			수명(years)	폐기시 잔존하는 충전 비율[b]
유럽[a]	0.07	0.002	>35	0.93
일본[c]	0.29	0.007	보고되지 않은	0.95

a 배출원: 'Reductions of SF_6 Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe', Ecofys, June, 2005

b 이것은 설비의 수명이 끝난 시기에 잔존하는 정격용량 또는 원래의 충전 백분율을 일컫는다; 이는 설비가 재활용되거나 폐기되기 전에 잠재적으로 배출된 정격용량의 비율을 대표한다.

c Federation of Electric Power Companies(FEPC) 및 Japan Electrical Manufactures Association(JEMA)에 의해 보고된 자료에 근거함(FEPC and JEMA, 2004). 이러한 협회는 보고되는 평균 배출계수에 설비 유형을 구분하지 않는다. 그러므로 계수들은 밀폐된 압력 시스템, 폐쇄된 압력 시스템 및 가스 충진 변압기를 포함하여 모든 설비 유형에 적용되도록 의도되었다.

주: 위의 배출계수는 1995년, 즉 완화(mitigation) 수단이 적용되기 전에 현장의 기술 및 실제를 반영한다. 각주 a와 c에 해당하는 참조는 향후 다양한 자발적 수단의 성공적인 적용에 대해 이들이 어떻게 개발되는지를 보여준다. 또 다른 참고문헌(Schwarz, 2006)은 독일의 완화 수단에 대한 state-of-the-art 배출계수와 관련된다.

표 8.3
SF_6를 함유하는 폐쇄된 압력 전기 설비(HV 스위치기어); 기본 배출계수

지역 \ Phase	제조 (생산자에 의한 SF_6 소비량 비율)	사용(누수, 중요 결함/arc 결함 및 유지 손실) (설치된 모든 설비의 정격용량의 연당(per year) 비율)	처분 (처분된 설비의 정격용량의 비율)	
			수명(years)	폐기시 잔존하는 충전 비율[c]
유럽[a]	0.085[b]	0.026	>35	0.95
일본[d]	0.29[b]	0.007	보고되지 않은	0.95
미국[e]	[f]	0.14[g]	>35	[h]

a 배출원: 'Reductions of SF_6 Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe', Ecofys, June, 2005

b 설치로부터의 배출량을 포함한다.

c 이것은 설비의 수명이 끝난 시기에 잔존하는 정격용량 또는 원래의 충전 백분율을 일컫는다; 이는 설비가 재활용되거나 폐기되기 전에 잠재적으로 배출된 정격용량의 비율을 대표한다.

d Federation of Electric Power Companies(FEPC) 및 Japan Electrical Manufactures Association(JEMA)에 의해 보고된 자료에 근거함(FEPC and JEMA, 2004). 이러한 협회는 보고되는 평균 배출계수에 설비 유형을 구분하지 않는다. 그러므로 계수들은 밀폐된 압력 시스템, 폐쇄된 압력 시스템 및 가스 충진 변압기를 포함하여 모든 설비 유형에 적용되도록 의도되었다.

e U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks, 1990-2002(U.S.EPA, 2004). 수치는 대표성있는 국가 고유의 자료가 이용가능하기 시작했던 첫 해인 1990년으로부터.

f. 국가 고유의 자료가 존재하지 않음.

g. 설치로부터의 배출량을 포함한다.

h 처분 배출량은 US의 배출계수의 사용에 포함되어 있다.

주: 위의 배출계수는 1995년, 즉 완화(mitigation) 수단이 적용되기 전에 현장의 기술 및 실제를 반영한다. 각주 a와 c에 해당하는 참조는 향후 다양한 자발적 수단의 성공적인 적용에 대해 이들이 어떻게 개발되는지를 보여준다. 또 다른 참고문헌(Schwarz, 2006)은 독일의 완화 수단에 대한 state-of-the-art 배출계수와 관련된다.

표 8.4
SF_6를 함유하는 가스 충진 변압기; 배출계수

지역 \ Phase	제조 (생산자에 의한 SF_6 소비량 비율)	사용(누수, 중요 결함/arc 결함 및 유지 손실) (설치된 모든 설비의 정격용량의 연당(per year) 비율)	처분 (처분된 설비의 정격용량의 비율)	
			수명(years)	폐기시 잔존하는 충전 비율[a]
일본[b]	0.29	0.007	보고되지 않은	0.95

a 이것은 설비의 수명이 끝난 시기에 잔존하는 정격용량 또는 원래의 충전 백분율을 일컫는다; 이는 설비가 재활용되거나 폐기되기 전에 잠재적으로 배출된 정격용량의 비율을 대표한다.

b Federation of Electric Power Companies(FEPC) 및 Japan Electrical Manufactures Association(JEMA)에 의해 보고된 자료에 근거함(FEPC and JEMA, 2004). 이러한 협회는 보고되는 평균 배출계수에 설비 유형을 구분하지 않는다. 그러므로 계수들은 밀폐된 압력 시스템, 폐쇄된 압력 시스템 및 가스 충진 변압기를 포함하여 모든 설비 유형에 적용되도록 의도되었다.

주: 위의 배출계수는 1995년, 즉 완화(mitigation) 수단이 적용되기 전에 현장의 기술 및 실제를 반영한다. 각주 a와 c에 해당하는 참조는 향후 다양한 자발적 수단의 성공적인 적용에 대해 이들이 어떻게 개발되는지를 보여준다. 또 다른 참고문헌(Schwarz, 2006)은 독일의 완화 수단에 대한 state-of-the-art 배출계수와 관련된다.

Tier 2 방법

Tier 2 방법에 대한 배출계수는, 일반적으로 최소 1년 동안 시설에서 순수 물질수지법의 Tier 3를 본질적으로 사용하여 전과정 단계에 의해 배출량을 추적한 대표성 있는 생산자와 산업체로부터 수집한 자료를 근거로 개발된다. (폐기 배출계수는 아래에서 설명되는 것과 같이, 사업체 하류부분에서 일어나는 배출량에 대해 반드시 고려해야 한다.) 그 후 전과정 단계에 의한 이러한 배출량은 배출계수를 개발하기 위하여 그에 상응하는 SF_6의 소비량 혹은 전과정 단계에서의 설비 용량(i.e., 생산 배출량에 대한 SF_6 소비량, 사용 배출량에 대한 총 존재하는 설비 용량, 그리고 최종 사용과 폐기 배출량에 대한 회수 설비 용량)으로 나누어진다. 예를 들어, 생산에 대한 배출계수를 개발하기 위해 생산자의 표본조사를 통한 총 배출량이 합해지고 난 후 표본조사된 생산자의 총 SF_6 소비량으로 나누어진다. 그 후, 이 배출계수는 생산자에 의한 국가 SF_6 소비량을 사용하여 전체로써 생산 부문에 적용될 수 있다. 유사한 접근방법이 설비 사용에 대한 배출계수를 적용하고 산정하기 위해 사용될 수 있다.

폐기에 대한 배출계수는 세가지 요인을 완벽하게 고려해야 한다: (1) 회수 빈도 (충전기가 회수되는 설비의 비율), (2) 회수 효율 (회수가 실시될 때 재생되는 충전기의 비율), 그리고 (3) 회수된 가스의 재활용 및 폐기로부터의 배출. (1)과 (2)의 분량은 대표성 있는 사업체에서의 Tier 3의 물질수지법에 근거한 배출계수에 대해 자동적으로 고려될 것이다. 그러나 (3)에서의 분량은 사업체/사용자의 하류부분과 현지에서 모두 일어나는 배출량을 반영한다. 따라서 이는 반드시 개별적으로 고려되어야 한다. 재활용 및 폐기 배출계수 산정에의 지침에 대해 아래에 나와 있는 Tier 3 방법의

논의를 참고하여라.

Tier 3 접근법의 시설 수준 변형법은 배출계수를 개발하기 위해 사용될 수 있으나, 좀 더 집단적인 수준, 즉 전과정의 각 단계에서보다는 설비 생산 및 사용('사용'은 설치, 사용, 및 폐기를 포함한다)에서 적용될 것이다.

Tier 3 방법

Tier 3 방법은 공정으로부터의 배출량이 상당히 적을 때(1년당 용량의 3% 이하일 때) 또는 전기설비가 최근 들어서 사용되기 시작했을 때만 배출계수의 사용을 권장하기 때문에, 이 방법에 대한 배출계수는 물질수지 접근법을 이용하여 직접적으로 측정하기가 어려울 수 있다. 따라서 Tier 3 배출계수를 산정하기 위해서는 잠재적인 누수 지점과 손실 기작을 확인하고 이에 대한 확률과 배출량을 할당하는 공학 연구가 이용될 수 있다. 수리 및 유지로부터의 기대되는 손실률은, 설비의 충전 대부분을 손실하는 결과를 가져오는 드물지만 재앙적인 사건으로부터 손실되기 때문에 총 배출량에 영향을 미치는 요인으로 고려되어야 한다. 유사한 공정과 디자인을 가진 과거의 경험도 고려되어야 한다. 사용에 대한 배출계수를 검증하고 확인하기 위하여, 기대된 누수율과 측정 기기의 검출한계에 의해 결정되는 기간 내인 사용 몇 년 후에 현장에서의 설비 조사가 수행될 수 있다. 설비 실패율에 대한 생산자 통계는, 재앙적 또는 점진적인 손실율이 기대치보다 높지 않다는 것을 확신하기 위해 지속적으로 체크해야만 한다. 폐기 배출량은 회수 빈도(충전기가 회수되는 설비의 비율)와 회수 효율(회수가 실시될 때에 회수되는 충전기의 비율은 시간적 고려로 인해 기술적으로 달성할 수 있는 값보다 더 낮을 수 있다)에 극도로 민감하다. 따라서 폐기 배출계수를 설정하기 전에 이들을 지속적으로 체크해주어야 하고 주의 깊게 문서화해야 한다.

회수된 SF_6의 재활용에 대한 배출계수는 전문가적 판단에 근거할 수 있다. 파기에 대한 배출계수는, 기술이 유지되고 평가된 파기 효율을 유지하는 방법으로 운영된다고 가정할 때, 파기 기술에 대한 평가된 파기 효율에 근거할 수 있다.

8.2.2.3 활동도 자료의 선택

다양한 산정 방법을 수행하는 데 필요한 활동도 자료는 화학물질 생산자, 설비 생산자, 설비 사용자, 및 설비 폐기자 그리고/또는 국가 및 지역의 연관된 산업 협의체로부터 수집할 수 있다. 자료의 가장 좋은 공급원은 사용하는 방법과 국가 상황에 따라 변한다.

Tier 1 방법

설비 생산자에 의한 SF_6의 소비: 설비 생산자에 의한 SF_6 소비량은 생산자의 SF_6 구입, 화학물질 생산자한테로의 SF_6 반환, 그리고 생산자의 컨테이너에 있는 SF_6 인벤토리의 변화량에 대한 정보를 이용하여 산정할 수 있다. 만일 설비 생산자로부터의 정보가 이용 불가능하거나 완전하지 않다면, 화학물질 생산자와 (또는) 설비 생산자에 대한 판매 배분자(distributors)로부터의 정보가 이용될 수도 있다.

신규 및 회수되는 설비의 용량: 용량은 다음과 같은 자료 공급원 중 하나 이상을 이용하여 산정될 수 있다: (1) 생산되는 또는 수입 및 수출되는 설비의 총 용량에 대한 설비 생산자/수입자로부터의 정보, (2) 생산자가 매년 설치하고 회수하는 설비의 총 용량에 대한 사업체로부터의 정보, 또는

(3) 만일 (1) 또는 (2)로부터의 정보가 가능하지 않을 때는, 화학물질 생산자/수입자들이 설비 생산자에 대해 판매한 SF_6에 대한 정보. 처음 두 가지 자료 공급원이 세 번째 자료 공급원에 비해 더 선호되는데, 그 이유는 설비 생산자에게의 가스 판매는 특히 설비 수입 또는 수출이 중요한 국가에서 설치되는 신규 설비의 용량과 다르기 때문이다. 신규 및 회수 설비의 용량을 추정하는 데 있어, 인벤토리 작성자는 수입되는 설비의 용량을 포함시키는 한편 수출되는 설비의 용량은 배제시킨다. (이를 정량화하는 데 있어 수입과 수출을 어떻게 다룰 것인지에 대한 심층 논의에 대해서 언급한 7.5절 냉장, 박스 7.1의 냉매 및 설비의 수입과 수출에 대한 고려를 참조하여라.)

회수되는 설비의 경우에는, 현 연도의 회수되는 설비가 지어진 연도부터 출발하여 용량 또는 판매 정보가 반드시 과거로부터의 기록이 존재해야 한다. 전형적인 전기 설비의 수명은 30년부터 40년 정도이다. 만일 회수되는 설비의 총 용량에 대한 정보가 존재하지 않으면, 설비 용량의 추정 연 성장률을 이용하여 신규 용량으로부터 산정할 수 있다. 성장률을 산정하는 데 있어서는, 매년 판매된 설비 부품의 숫자와 설비의 평균 용량 둘 다에 대해서 고려하는 것이 *우수실행(good practice)* 이다[3].

이러한 정보가 직접적으로 이용 불가능할 때, 회수되는 용량을 산정하는 데 다음의 식을 이용할 수 있다.

식 8.11
회수되는 정격용량 (Retiring nameplate capacity)

$$\text{회수되는 정격용량} = \text{신규 정격용량} / (1+g)^{L}$$

여기서:

L = 설비 수명

g = 성장률

2004년 전 지구적 조사에 의하면, 1970년과 2000년 사이 설비 생산자에 대한 SF_6의 판매 평균 연 성장률은 약 9%였다 (Smythe, 2004). 따라서 국가 고유의 정보가 없을 때는, 9%를 기본값으로 사용할 수 있다.

설치된 설비의 총 정격용량: 설비의 총 정격용량은, 신규 및 회수되는 설비에 대한 정격용량을 산정하는 것과 마찬가지로 같은 자료 공급원을 이용하여 산정될 수 있다. 만약 설비 생산자로부터의 자료를 사용한다면, 반드시 설비의 수명(30-40년) 기간에 걸친 판매 자료를 포함해야 한다.

Tier 2 방법

위에서 언급한 Tier 1 방법과 동일하게 양을 산정할 수 있다.

Tier 3 방법

Tier 3 방법을 적용시키기 위해서는 두 수준에서의 정보를 수집해야 한다. 시설 수준에서는, Tier

[3] 매년 판매되는 설비 부품의 수가 일반적으로 증가하고 있는 반면, 평균 정격용량은 일반적으로 감소하고 있다.

3 방법에 따라서 반드시 가스 흐름을 정확하게 추적하여야 한다. 국가 수준에서는, 시설로부터의 정보(설비의 생산자, 사용자 및 폐기자)를 반드시 수집, 확인, 그리고 합해져야 한다. 그리고 필요하다면, 자료를 수집하지 못한 국가 내 시설들로부터의 배출량 산정을 포함하도록 외삽하여야 한다. 시설에 의해 추적되는 정보에 관한 지침은 위의 Tier 3 방법의 설명에 나타나 있다. 가스 소비량은 유량계를 사용하거나(e.g., 설비 생산 동안에) 한 해의 시작 및 끝 시점에서 가스 실린더의 무게를 재는 것 또는 충전 전- 후 또는 회수 작업 시에 가스 실린더의 무게를 재는 것으로 측정될 수 있다. 국가 수준에서는, 설비 생산자 및 산업체에 대한 무역 협회가 Tier 3 접근법에 대한 협회 구성원에 대한 지식을 보급하는 데 있어, 그리고 구성원들이 자료를 지속적으로 그리고 투명하게 보고하고 추적하는 데 있어 큰 도움을 줄 수 있다. 또한 무역 협회는 기밀의 또는 민감한 자료를 수집하여 대중에게 공표하는 제 3 집단으로 활동할 수도 있다. 무역 협회가 활동적인 나라에서는, 국가 인벤토리 작성자가 모델 배출량 추적 프로토콜의 개발 또는 Tier 3 접근법을 포함하는(embody) 기존의 산업 프로토콜을 채택함으로써 이러한 정보의 보고 및 검증뿐만 아니라 시설 수준에서의 정보 수집을 촉진시킬 수 있다(facilitate). 그 후 이러한 프로토콜은 설비 생산자, 사용자 및 폐기자에게 배포될 수 있다. 스프레드시트와 같은 전자 프로토콜은 배출량의 추적, 문서화, 및 보고를 한층 더 촉진시키며 산술적 오차를 야기하는 기회를 최소화한다.

배출량이 지역에 따라 그리고 시설에 따라 달라질 수 있기 때문에, 실제로 되도록 많은 시설을 대상으로 조사하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 생산자와 산업체뿐만 아니라, 국가도 산업현장(industrial site)과 기타부문의 현장(non-utility site)을 조사해야 한다(만약 이들이 전기 설비로부터의 배출량에 중요한 기여를 한다면). 만약 국가 내 시설의 숫자가 크다면(eg. 50개 이상)완벽한 보고를 하는 것이 어려울지 모른다. 이럴 때에는 이런 시설에 대해 Tier 2 방법을 적용시키거나 1권 2장의 '자료 수집에 대한 접근법'에서 설명한 대로 대안적인 활동도 자료를 이용하여 국가가 보고되지 않는 시설들(non-reporting facilities)로부터의 배출량을 산정할 수 있다.

Tier 3에 대한 대안적인 활동도 자료의 선택 및 사용에서의 부문 고유(sector-specific)의 고려

위에서 논의된 대로 Tier 3 방법을 적용할 때조차 모든 시설로부터의 자료 획득이 가능하지 않을 수도 있다. 시설을 완벽하게 고려하기 위해서는 대안적인 활용도 자료를 얻는 것이 가능할 수 있다. 보고되지 않는 생산자들로부터의 배출량을 산정하기 위해서 생산 용량 그리고/또는 보고되지 않는 생산자들의 집단 시장 할당몫(기능적 단위의 항으로)을 이용하는 것이 가능할 수 있다. 보고되지 않는 시설로부터의 배출량을 산정하기 위해서는, 가능한 대안 자료 세트 또는 추진체(driver)가 전송 라인의 길이, 전송과 배분 라인의 결합된 길이 또는 보고되지 않는 시설의 변전소의 수를 포함하나 여기에 제한되지는 않는다. 전송 킬로미터(transmission kilometers)는 미국에서와 같이 대부분의 SF6가 고전압 전송 설비에 사용되는 국가에서 훌륭한 예측치(predictor)가 될 확률이 높다. (미국에서 배출량을 산정하기 위해서 전송 킬로미터가 어떻게 사용되는 지에 대한 논의가 1권 2장 '자료 수집에 대한 접근'에 나타나 있다.) 높은 비율의 SF_6가 중간 전압 분배 설비 또는 가스-절연 변전소(gas-insulated substations)에 사용된다면, 자료의 기타 유형들 중 하나가 적절할 수 있다.

대안적 자료 세트가 사용되는 곳에서는 언제나 국가 SF_6 배출량의 결과 산정량이 편파적이지 않다는 것을 확실시하기 위해 시설들의 대표성 있는 세트로부터 배출계수들을 유도하는 것이 중요하다. 하나 이상의 요인이 적절할 수 있다는 것- 예를 들어, 도심 지역 대 교외 지역에 있는 상이한 크기의 사업체들에 대하여 - 을 주의하라. SF_6의 사용량과 배출량 경향이 시간에 따라서 변화

할 수 있기 때문에, 최소 매 5년마다 분석법과 배출계수(들)을 갱신하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. (예를 들어, 작은 누수 방지 설비가 크고 누수 되는 설비로 교체될 때, 그리고 봉인된 압력 설비가 점점 더 중요성을 가지면서, 배출량이 변할 수 있다.) 일부의 경우에는 국가가 유사한 전기 그리드를 가진 국가에서 개발된 배출계수들의 사용을 시행할 수 있다. 이러한 경우에는, 다른 국가로부터의 배출계수를 적용하기 전에 그리드 간 유사점들을 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

8.2.2.4 완전성

본 배출원 카테고리에 대한 완전성은 설비의 생산, 사용, 및 폐기의 기간 동안, 그리고 설비로부터 회수된 SF_6의 재활용 또는 폐기 기간 동안의 배출량에 대한 고려가 요구된다. Tier 3 방법이 사용되는 곳에서는, 모든 중요한 SF_6의 사용자들(생산자와 산업체)을 확인하는 것이 완전성에서 요구된다. 시설 수준의 배출량 자료가 이러한 모든 사용자들로부터 이용 가능하지 않을 때, 배출 산정량은 8.2.2.3절인 '활동도 자료의 선택'에 설명되었던 외삽법 중 한 방법을 이용하여 개발되어야 한다.

생산업 부문에서는, 완전성은 아래의 배출원으로부터의 배출량을 정량화하기 위해 필요하다:

- 가스 절연 개폐기(gas insulated switchgear; GIS), 가스 순회 차단기(gas circuit breakers; GCB), 고전압 가스 절연 라인(GIL), 실외 가스 절연 기기 변압기, 재폐쇄(creloser), 스위치, 그리고 두 가지 유형(각각 52 kV까지, 그리고 52 kV 이상인 봉인되고 폐쇄된 압력 시스템에 둘 다 포함되는 링 주요 부품, 그리고 주형 합성수지 기기 변압기와 주형 공정에 대한 또는 발포제로써 SF_6를 사용하는 부싱의 특정 유형;
- 가스 절연 동력 변합기(GIT)의 생산자;
- 설비 재제작(remaker)와 수리 회사를 포함하는, 중요치 않은 SF_6 사용자;
- 생산자 및 생산 시설로의 분배자로부터의 SF_6 분포의 일련.

사업체 및 폐기 부문에서는, 아래에 나타낸 다음 사항들과 관련된 모든 SF6의 손실량에 대해 고려해야 한다.

- 신규 전기 설비 설치;
- 누수, 재충전, 유지, 그리고 설비 실패;
- 처분된 전기 설비의 폐기;
- 설비로부터 회수된 SF_6의 재활용 또는 폐기 (그러나 화학물질 생산자로부터의 재활용되는 배출량은 화학물질 생산 하에 고려되어져야 하고, 결과적으로 본 권의 3.10절에서 다루어진다.)

만일 이 사항들이 전기 설비 배출원 카테고리로부터의 총 배출량에 중요한 기여를 한다면 산업, 군대 및 소규모 사업체에의 용도를 확인하고 포함시키는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

8.2.2.5 일관성 있는 시계열의 개발

장기간에 걸쳐 설비 사용자로부터의 배출량을 산정할 때에는, 해당 연도에 대한 사용자 지점에서의 완전한 설비 세트와 연관된 SF_6의 배출량을 고려하는 것이 필수적이다. 따라서 뱅크(bank)와 배출계수(e.g., Tier 2 접근)에 근거한 접근법을 이용하여 산정할 때에는, 해당 연도의 30-40년 전에 대해 설치되고 구입된 설비의 배출량과 용량에 대한 정보를 필요로 하게 된다.

사용자 부문에서, 만일 과거로부터의 자료를 이용할 수 없다면 하향식 방법을 이용하여(i.e., 산업 전문가와 인벤토리 작성자에 의한 전문가적 판단을 거친 후 아래에서 논의되는 것과 같이 조정을 거쳐 모델을 개발하라) 산정량을 개발하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 신규 설비와 재충전 빈도에 대한 평균 누수율과 정기적인 유지관리는 1970년과 1995년 사이에 모두 감소하였으며, 이러한 감소 경향은 현재까지 계속되고 있다. 과거 연도에 현재(2000년 이후)의 총 손실량을 적용하는 것은 *우수실행(good practice)*이 아니다. 이러한 경우에는 과거 판매 자료로부터 산정된 총계 손실률이 이용될 수 있다.

생산 측면에서는, 만일 1990/1995년에 대한 기준 연도 배출량을 개발하는 데 있어 과거로부터의 자료를 이용할 수 없다면 현재 연도에 대해 더 정확한 산정량에 대해 조정한 하향식 방법을 적용시킬 수 있다. 1995년 이래로 설비 사용자의 SF_6 취급법이 상당히 변화하였기 때문에, 과거 산정량에 대해 현재의 손실량을 적용시키는 것은 *우수실행(good practice)*이 아니다. 전 지구적 및 지역적 판매와 배출량 분석으로부터 결정된 총계 손실량은 이전 연도에 대한 편향되지 않은 산정량을 제공하는 데 있어 도움을 줄 수 있다. 모든 가정이 명백하게 문서화되어 있는 상태에서 1권 5장에 제공된 지침에 따라서 배출량을 재산정하는 것도 *우수실행(good practice)*이다.

8.2.3 불확도 평가

Tier 3 방법을 이용할 때, 배출량 산정 결과는 ±10% 정도의 정확성을 가지게 될 것이며 Tier 2 또는 Tier 1 방법에 의해 개발된 산정량보다 더 정확할 확률이 높다. 만일 조사가 불완전하다면, 연관된 불확도는 더 클 것이다. 불확도의 특정한 원인은 다음을 포함할 수 있다;

- 설비 생산자에 의해 수출된 SF_6 (설비 내에서, 혹은 개별적으로 컨테이너 내에서);
- 외국 설비 생산자에 의해 수입된 SF_6 (설비 내 또는 컨테이너 내에서);
- 외국 재활용 시설로 되돌아 온 SF_6;
- 질량, 밀도, 및 압력의 측정값 (일반적으로 총 질량의 1, 2% 내로 정확하지만, 만약 배출량이 낮다면 배출량의 상당한 %일 수도 있다);
- 배출계수(들);
- 배출과 수리 사이의 시간 지연[4];
- 설비의 수면;
- 어떠한 외삽에 의한 접근법에 연관된 회귀 오차.

Tier 1 방법에 대한 배출계수 기본값에서 산정된 불확도는 표 8.5, 전기 설비로부터의 SF_6 배출량

[4] 이 문제의 논의에 대해서는 본 권의 1장을 참조하여라.

에 대한 배출계수 기본값에 대한 불확도에 나타나 있다. 이 값들은 유럽의 배출계수에서 관측된 변이에 근거한다. 만약 표 8.2 - 8.4에 있는 계수들이, 이 계수들이 개발된 국가 및/또는 지역 외에서 적용된다면, 불확도를 더 커질 것이다.

표 8.5
기본 배출계수 및 수명에 대한 불확도

Phase / 설비 유형	제조	사용(누수, 중요 결함/arc 결함 및 유지 손실)	처분	
			수명(years)	폐기시 잔존하는 충전 비율
밀폐된 압력[a]	±20%	±20%	-20%/+40%	[d]
폐쇄된 압력[d]	±30%	±30%	-10%/+40%	[d]
가스 충진 변압기[c]	±30%	±30%	-10%/+40%	[d]

a 'Reductions of SF6 Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe,' Ecofys, June, 2005으로부터 산정됨; 일본에서는 어떠한 불확도도 이용가능하지 않다; USA에 대해서 적용가능하지 않다.

b 'Reductions of SF6 Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe,' Ecofys, June, 2005으로부터 산정됨; US 배출계수는 제조에 대해 더 높은 불확도(70%) 및 사용에 대해서는 약간 더 낮은 불확도(15%)를 가진다(US Inventory of Greenhouse Gases and Sinks (US EPA, 2004). 일본으로부터는 이용 가능한 불확도가 없다.

c 폐쇄된 압력 시스템과 유사한 방법으로 산정됨; 실제 불확도는 다소 높을 수 있다. 일본으로부터는 이용가능한 불확도가 없다.

d 회수시 잔존하는 충진(charge) 비율에 대해서는 이용가능한 불확도가 없다.

8.2.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

8.2.4.1 품질보증/품질관리

1권 6장에 요약되어 있듯이 품질관리 확인과 배출량 산정값의 전문가적 검토를 수행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 특히 이 배출원 카테고리로부터의 배출량을 결정하기 위해 상위 tier 방법이 사용될 때는, 1권에서 설명한 대로 부가적인 품질관리 확인과 품질 보장 과정도 적용할 수 있다. 1권 4장에서 확인된 대로 인벤토리 작성자는 중요 카테고리에 대한 상위 tier QA/QC를 이용하도록 권장된다.

전기 설비에 대한 고유의 부가적인 과정은 아래에 설명되어 있다;

다른 접근법을 이용한 배출량 산정의 비교

인벤토리 작성자는 상향식, Tier 3 방법의 일부를 이용한 시설 수준의 자료를 모두 합해야 하고, 국가 수준의 자료 (Tier 2 방법) 및 IPCC 배출계수 기본값을 이용한 국가 수준의 자료 (Tier 1 방법)를 사용하여 계산된 국가 수준 배출량에 대하여 자료와 교차 확인해야 한다. Tier 2 방법은 Tier 1 방법에 대하여 유사한 방식으로 대조할 수 있다. 국가는 산정된 결과를 7장의 식 7.3과 7.9에서 설명한 국가 수준의 물질 수지 접근법을 이용하여 유도된 결과와 비교해 볼 수도 있다. 만약 국가가 생산 시설을 가지고 있지 않다면, 뚜렷한 국가 소비 자료를 사용하여 산정된 잠재적인 배출량과 산정된 국가 결과를 비교해 볼 수 있다.

시설 수준 배출량 자료의 검토

현장 고유의 배출량 자료를 조사를 통해 얻을 수 있는 곳에서는, 인벤토리 작성자가 중요한 특이치(outlier)를 확인하기 위해 현장 간(상대적인 크기 혹은 용량에 대한 조절) 배출량을 비교하여야 한다. 만약 그 차이를 설명할 수 있는지에 대한 여부, 그리고 보고된 배출량에 오차가 있는지 여부를 결정하기 위해 인벤토리 작성자는 모든 특이치(outlier)를 조사하여야만 한다. 8.2.2.3절에 명시된 대로, 국가 인벤토리 작성자는 tier 3 접근법을 구체화하는 배출량 추적 프로토콜을 분배함으로써 시설 수준에서의 정보 검증과 정보 수집 모두를 촉진시킬 수 있다. 스프레드시트와 같은 전자 프로토콜은 산술적 오차를 일으킬 기회를 최소화하기 때문에 특히 유용하다. 제출된 후에, 이 프로토콜들(전자 프로토콜 여부에 관계없이)에 포함된 계산은 검증될 수 있다.

기타 국가의 배출량과의 비교

인벤토리 작성자는 효율적인 배출계수(손실률)를 같은 지역의 다른 국가에 의해 보고된 값 또는 유사한 디자인과 유사한 수준의 배출량 관리를 지닌 설비에 대한 과학적 문헌에 보고된 기본값과 비교해야만 한다. 위에 요약된 대로 투명한 보고는 국가간 비교를 위해 필수적이다.

8.2.4.2 보고 및 문서화

1권 6.11절에 요약된 대로 국가 배출량 인벤토리 산정량을 생산하는 데 필요한 모든 정보를 문서화하고 보관하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 국가 인벤토리 보고서에 모든 문서를 포함시키는 것은 실용적이지 못하다. 그러나 보고된 배출량 산정값이 투명하고 계산 단계를 되살필 수 있도록, 배출원 자료에 대한 참고문헌과 이용된 방법들의 요약서는 반드시 포함하여야 한다.

보고된 배출량 산정값의 투명성을 보증하는 이러한 배출원 카테고리에 대한 특수한 문서화와 보고의 일부 예들이 표 8.6, tier에 의한 전기적 설비로부터의 SF_6 배출량에 대한 정보의 좋은 보고에 제시되어 있다.

생산자 또는 사업체 수가 제한되어 있는 곳에서는 기밀성 문제가 있을 수 있다. 이러한 경우에는, 모든 전기 설비 부문 또는 심지어 모든 국가적 SF6의 용도에 대한 총계 보고가 필요할 수 있다. 사용자 및 생산자의 국가적 또는 지역적 협의체가 이러한 자료들을 과거로부터 계속 수집하고 있다면, 이들이 자료를 수집하고 확인하고 집약하려고 할지도 모른다. 그 후 기밀성 문제를 해결하기 위해, 이들이 인벤토리 작성자에게 집약된 정보를 보고할 수 있다. 만약 조사 응답이 대중 정보로 배포될 수 없다면, 자료의 검증 작업을 뒷받침하기 위해 조사 자료에 대한 제 3 집단의 검토가 필수적일 수 있다.

표 8.6
Tier에 의한 전기 설비로부터의 SF_6 배출량에 대한 우수실행 보고 정보

자료	Tier 3	Tier 2	Tier 1
설비 제조자에 의한 국가 전체의 SF_6 소비량, 연간.		X	X
신규 설비의 정격용량	X	X	X
기존 설비의 정격용량	X*	X	X
회수되는 설비의 정격용량	X	X	X
파기된 SF_6	X		
해의 시작시점의 인벤토리 내 SF_6	X		
해의 마지막 시점의 인벤토리 내 SF_6	X		
시설에 의해 구입된 SF_6	X		
시설에 의해 판매되거나 회수된 SF_6	X		
재활용을 위해 현지외로 보내어지는 SF_6	X		
재활용후 현지로 되돌려지는 SF_6	X		
신규 설비를 채우기 위해 사용되는 SF_6	X		
설비를 수리하기 위해 사용되는 SF_6	X		
회수되는 설비로부터 재생된 SF_6	X		
배출/재생 계수	X*	X	
국가 고유의 자료라면, 계수에 대한 문서화	X*	X	
*방법론의 일부 변형에 대해 필요한.			

8.3 기타 제품에서의 SF_6 및 PFCs의 사용

8.3.1 서론

본 배출원 카테고리는 *2006 가이드라인*의 다른 부분에 설명된 다음의 배출원 카테고리를 제외시킨다;

- SF_6 및 PFCs의 생산 (3.10절);
- 전기 설비의 생산 및 사용 (8.2절);
- 마그네슘과 알루미늄의 일차 및 이차 생산 (4장); 그리고
- 반도체와 평면 패널 디스플레이 생산 (6장)

본 배출원 카테고리에 남아있는 확인된 용도는 다음을 포함한다;

- 군대 용도로 사용된 SF_6 및 PFC. 특히 공군 레이더 시스템에 사용된 SF_6, e.g., AWACS (Airborne Warning and Control System; 공군 경보 및 관리 시스템)와 고동력 전기 용도에서 열전달 유동체로 사용된 PFCs;
- 대학 및 연구소 입자 가속기 설비에서 사용되는 SF_6;
- 산업 및 의료 입자 가속기 설비에서 사용되는 SF_6;
- SF_6 및 일부 PFCs의 고무를 통해 낮은 투과성을 이용하는 '단열' 용도, e.g., 자동차 타이어 및 스포츠 신발 바닥;
- 소음 방지 창문에 사용되는 SF_6;
- 상업 및 소비 용도에서의 열전달 유동체로써 사용되는 PFCs;
- 기타 용도 e.g. 연구의 가스-대기 추적자 및 누수 감지기 등.

8.3.2 방법론적 이슈들

8.3.2.1 방법론의 선택

SF_6 또는 PFC 용도의 주요 유형에 따라 분리하여, SF_6 또는 PFCs의 사용자로부터의 소비 자료 또는 국가의 SF_6생산자 및 분배자로부터의 하향식 수입, 수출 및 소비 자료 중 한 가지를 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 이러한 자료의 획득은 SF_6 및 PFC의 총 순소비량을 확인하기 위하여 SF_6 및 PFCs의 모든 생산자 및 분배자에 대한 조사를 수반할 것이다. 일단 자료가 얻어진 후, 본 배출원 카테고리 내의 용도에 의해 소비된 SF_6 및 PFC의 양을 반드시 산정하여야 한다.

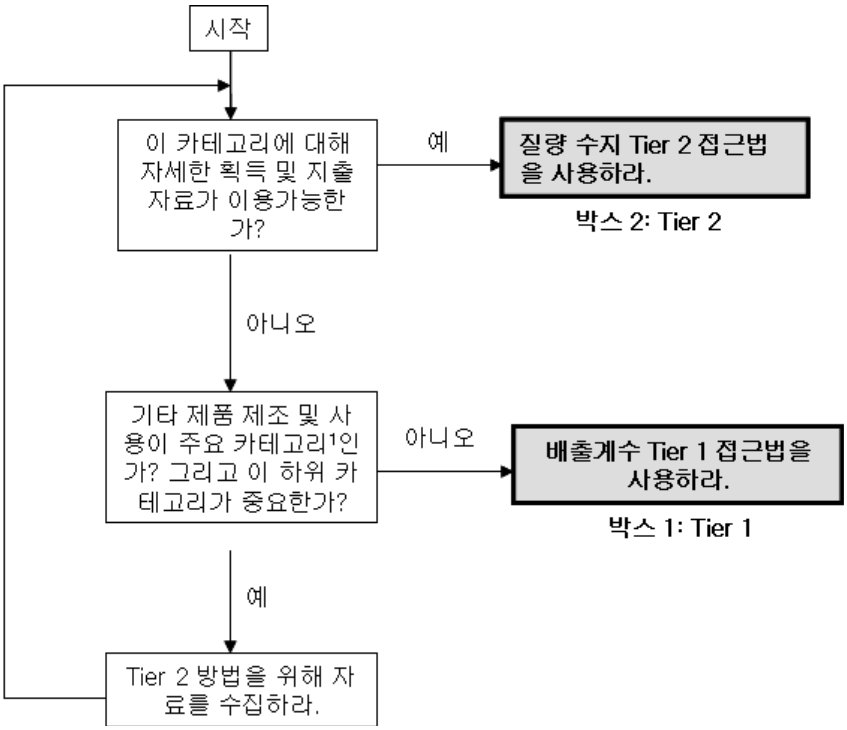
군대 용도

AWACS의 작동으로부터의 SF_6 배출

흔히 AWACS로 알려진, 보잉 E-3A 유형의 군대 정찰기의 레이더 시스템 내 절연 매체로써 SF_6가 사용된다. SF_6의 목적은 135 kV 이상의 고전압 보급 하에서 안테나의 속이 빈 전도체에서 전기적

방전을 방지하기 위함이다. 정찰기가 올라갈 때 시스템과 바깥 공기 사이에 적절한 압력 차를 유지하기 위하여 시스템으로부터 SF_6가 자동적으로 배출되어 대기로 유입된다. 정찰기가 하강할 때에는, SF_6가 보드 위의 SF_6 컨테이너로부터 시스템 내부로 자동적으로 충전된다. 대부분의 배출이 상승 시의 압력-균형 과정 동안에 일어나지만, 시스템 누수로부터의 배출은 비행의 다른 과정 또는 지표에 있는 시간동안에 일어나기도 한다. 비행기 당 연배출량은 740 kg 정도로 산정되어 온 반면, 각각의 시스템의 분담은 약 13 kg이다.

그림 8.2 AWACS로부터의 SF_6에 대한 의사결정도



주:
1. 주 카테고리의 논의 및 의사결정도의 사용에 대하여, 제 1권 4장, 방법론의 선택 및 주 카테고리의 확인 (제한된 자원에 대한 4.1.2절을 참조)을 참고하여라.

Tier 1 방법 - 비행기 당 SF_6 배출량

국가가 AWACS에 의한 SF_6 소비에 대한 자료를 가지고 있지 않다면, 배출량을 산정하기 위해 비행기 1대당 배출계수를 사용할 수 있다. 연당 비행기당 740 kg의 배출계수가 표 8.7에 제시되어 있다.; 이 숫자는 NATO Boeing E-3As로부터의 SF_6 배출량 산정에 근거하였다. 비행기 당 실제 배출량은 연당 비행기당 평균 이륙 횟수에 의해 크게 영향 받는다는 것을 주의하여라. 빈번한 이륙은 740 kg/plane을 초과하는 배출량을 가질 수 있다. 덜 빈번한 이륙은 배출량을 낮춘다. 비행 또는 지상에 있는 시간동안의 누수율 또한 배출량에 영향을 미칠 것이다.

식 8.12
AWACS로부터의 배출량 (기본 배출계수)

사용자 배출량 = 740 kg • AWACS 비행대의 비행기 숫자

표 8.7
연당(per year) 비행기당(per plane) SF_6 배출량

연당 비행기당 배출량 (kg SF_6)	불확도
740 kg	±100 kg
출처: Schwarz (2005)	

표 8.8은 국가 AWACS 전세계 비행대에 대한 정보를 포함한다 (Boeing, 2005); 기타 활동도 자료와 같이, 이것도 금방 구식이 될 지도 모른다. 국가는 그들의 AWACS 비행대에 있는 비행기의 숫자를 알기에 가장 좋은 위치에 있다.

표 8.8
국가 AWACS 비행대

국가/협회	USA	일본	프랑스	UK	기타 NATO	사우디아라비아	총
No. AWACS	33	4	4	7	17	5	70
출처: Boeing (2005)							

Tier 2 방법 - 사용자 물질수지법

AWACS로부터의 SF_6 배출량 산정에 있어 가장 정확한 방법은 시스템에 의한 SF_6 소비량을 추적하는 것이다. 그렇게 함으로써, 전기 설비에 대한 Tier 3 방법의 사업체 수준의 변형과 유사하게, 다음의 식들이 사용될 수 있다.

식 8.13
AWACS로부터의 배출량 (사용자 물질수지법)

사용자 배출량 = SF_6 인벤토리에서의 감소량 + SF_6의 획득량 - SF_6의 지출량 - SWACS 비행대 부담(Fleet Charge)에서의 순 증가량

여기서:

SF_6 인벤토리에서의 감소량 = 해당 연도의 시작 시점에 컨테이너에 저장된 SF_6 - 해당 연도의 끝 시점에 컨테이너에 저장된 SF_6

SF_6의 획득량 = 화학물질 생산자 또는 전체 분배자로부터 구입된 SF_6 + 신규 비행기의 AWACS 생산자 또는 분배자로부터 구입된 SF_6 + 현장이 아닌 곳에서의 재활용 후 현장으로 되돌아 온 SF_6

SF_6의 지출량 = 다른 업체로 전달된 AWACS 내의 SF_6 + 공급자에게 되돌려 진 SF_6 + 재활용을 위해 현장이 아닌 곳으로 보내어진 SF_6 + 폐기된 SF_6

SWACS 비행대 부담에서의 순 증가량 = 13 kg • (신규 AWACS - 회수되는 AWAS)

기타 군대 용도로부터의 SF_6 및 PFC의 배출

PFCs 및 SF_6를 이용한 군대의 용도는 그 범위가 넓다[5]. 군대의 전기는 PFC의 안정성과 유전체 성질 때문에 PFC 열전달 유동체로써의 용도가 중요성을 띄며 점차 증가하고 있다. 유동체는 지상

5 David Harris, James Hildebrandt, "Spray Cooling Electrical and Electronic Equipment", COTS Journal, November 2003; C. Shepherd Burton, "Use and Air Emissions of Liquid PFC Heat Transfer Fluids from the Electronics Sector," Draft report prepared for Scott C. Bartos, U.S. Environmental Protection Agency.

및 상층 레이더, 항공 전자공학, 미사일 유도 시스템, ECM(Electronic Counter Measures), 수중 음파 탐지기(또는 잠수함 탐지기), 육해군 공동의 돌격차, 기타 감시 비행기, 레이저, SDI(Strategic Defence Initiative; 전략적 방어 주도권), 그리고 스텔스 비행기에서 사용된다. PFCs는 특히 소음 저감이 필요한 용도 (e.g., 배와 잠수함에서)에서 전기 모터를 냉각시키기 위해 사용될 수 있다. 이러한 용도에서 사용되는 특수한 PFCs는 6장의 전기 생산의 열전달 유동체로써 확인된 PFCs와 유사하다고 간주된다. 스프레이 냉각, 고속분사냉각 및 풀 비등(pool boiling)은 열 제거에 대해 선호되는 시스템으로 보여진다. 이러한 모든 냉각 용도에서, PFC는 폐쇄된 시스템에 보관되어 있고 PFC 용매의 대체 또는 보충, 그 어떤 것도 필요하다고 보이지는 않는다. 따라서 배출량의 가장 큰 용도는 생산, 유지 관리, 그리고 특히 설비의 폐기이다.

클라이스트론(속도 변조관; klystron)으로부터의 고전압에서의 높은 진동수 에너지 펄스의 전송을 위한 레이더 시스템의 속이 빈 전도체로써, 지상 및 상층 레이더 시스템에서 SF_6가 사용된다. SF_6의 또다른 용도는 저장된 화학물질 에너지 추진 시스템(Stored Chemical Energy Propulsion System; SCEPS)의 리튬의 산화제로써 사용되는 것이다(e.g., 해군 지뢰와 적외선 유인장치에서). 명백하게, SF_6의 이러한 용도는 위에서 열거한 PFC의 열전달 유동체의 용도와 마찬가지로, 일반적으로 다소 에워싸여 있으나, 수리 및 검사 과정에서 배출을 야기한다. 지뢰 추진제의 소음 방지를 위한 SF_6의 사용 역시 보고되어 왔다 (NIST, 1997).

부가적으로, 연료 및 핵탄두 생산을 위한 핵물질 공정의 부산물로 SF6가 배출되기도 한다. SF6는 민간에서의 핵연료 생산 동안 여분의 불소를 중성화시키는 과정에서 배출되는 것으로도 알려져 있다 (AREVA, 2005).

본 부문에서 배출되고 소비되는 SF_6 및 PFCs의 총량이 중요하다고 간주될 지라도, 현재까지 배출량에 대한 어떠한 자료도 대중적으로 이용할 수 없었다. 그러므로 인벤토리 작성자는 연관된 당국 및 가능하다면 당국의 공급자로부터 더 자세한 정보를 수집하려고 노력해야 한다. 위에서 언급한 대로, 이러한 용도의 많은 부분에서 배출되는 배출량에 대한 가장 큰 경로는 설비의 생산, 유지 관리, 그리고 폐기라고 보여 진다. 따라서 만일 인벤토리 작성자가 생산된, 사용 중인, 그리고 폐기된 설비의 양과 더불어 설비의 생산, 유지 관리 및 폐기 동안의 배출량에 대한 정보를 얻을 수 있다면, 인벤토리 작성자는 전기 설비에 대한 배출량을 산정하기 위하여 Tier 2 또는 Tier 3 방법을 이용할 수 있다. 다른 배출량 프로파일(e.g., 즉각적인 배출량)을 지닌 용도에 대해서는, 8.2절에 있는 적절한 식이 이용될 수 있다.

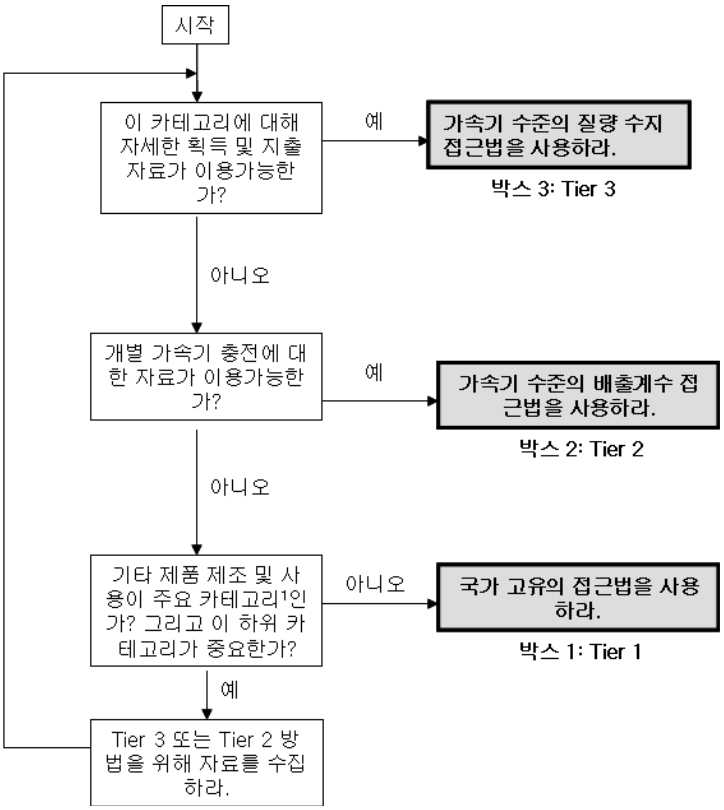
대학 및 연구기관 입자 가속기로부터의 SF_6 배출

대학 및 연구기관이 작동시키는 입자 가속기에서 SF_6가 절연 가스로 이용되기도 한다. 일반적으로 고전압 설비는 대기압을 초과하는 압력 하에서 SF_6로 충전된 용기 내에 보관되고 작동된다. 충전 범위는 일반적으로 500과 3,000 kg사이에 존재하지만, 5 킬로그램에서 10,000 킬로그램을 초과하는 범위를 가진다. 설비가 유지관리를 필요로 할 때는 SF_6가 저장 탱크로 이동된다. 압력 완화 밸브가 작동될 때 느린 누수를 통하여, 가스 재생 및 전달 중에 SF_6가 일차적으로 손실된다.

두 개의 최근 연구에 근거하며 연 SF_6 손실률은 일년 당 용기 용량의 5에서 7%까지의 범위를 가지며, 일반적으로 용기 개봉 빈도와 재생 및 전달 설비의 효율에 의존한다. 전 세계에 저장된 용량은 연 35 톤의 SF_6 배출량과 더불어 대략적으로 약 500 톤으로 추정된다.

스위스는 입자 가속기로부터의 SF_6 배출량을 저감시키기 위한 자발적인 프로그램을 개발하였다. 이러한 배출원으로부터의 SF_6 배출량을 저감시키기 위한 제안과 기술이 아래와 같이 존재한다.

그림 8.3 연구 가속기로부터의 SF_6에 대한 의사결정도



주:

1. 주 카테고리의 논의 및 의사결정도의 사용에 대하여, 제 1권 4장, 방법론의 선택 및 주 카테고리의 확인 (제한된 자원에 대한 4.1.2절을 참조)을 참고하여라.

Tier 1 방법 - 국가 수준에서의 방법

개별적인 사용자 가속기 전하 자료가 존재하지 않는 경우에는, 식 8.14에 나타난 대로 국내 대학 및 연구기관의 입자 가속기의 총 숫자를 결정하고 국가 수준 연 배출량을 결정하기 위한 몇 가지 변수를 이용하는 대략적인 방법을 사용할 수 있다.

식 8.14
대학 및 연구기관의 입자 가속기 배출량 (국가 수준)

$$\text{배출량} = (\text{대학 및 연구기관의 입자 가속기 숫자}) \bullet (SF_6 \text{ 사용 변수}) \bullet (SF_6 \text{ 충전 변수, kg}) \bullet (SF_6\text{의 대학 및 연구기관 입자 가속기 배출계수})$$

여기서:

대학 및 연구기관의 입자 가속기 숫자 = 국가 내 대학 및 연구기관의 입자 가속기의 총 수

이런 대략적인 방법은 국가가 SF_6를 사용하는 가속기의 숫자를 결정하라고 요구하지는

않는다. 국가가 입자 가속기를 가지고 있는 지의 여부를 결정하기 위해서는, http://www-elsa.physik.uni-bonn.de/Information/accelerator_list.html 사이트를 참조하여라.

SF_6 사용 변수 = 0.33, 대학 및 연구 기관 입자 가속기의 약 1/3이 절연제로 SF6를 사용한다.

SF_6 충전 변수 = 2400 kg, SF_6, 대학 및 연구기관의 입자 가속기에서의 평균 SF6 충전량

SF_6의 대학 및 연구기관 입자 가속기 배출계수 = 0.07, 총 충전 비율로써의 연평균 대학 및 연구기관 입자 가속기 배출율.

Tier 2 방법 - 가속기 수준에서의 배출계수 접근법

만약 각각의 대학 및 연구기관 입자 가속기에 포함되어 있는 SF6의 양에 대한 자료가 존재한다면, 7%의 배출계수 기본값에 국가의 대학 및 연구기관에 포함되어 있는 총 SF6의 충전량을 곱할 수 있다. 그러므로 대학 및 연구기관 가속기로부터의 총 국가 SF6 배출량은 식 8.15로부터 계산된다.

식 8.15
대학 및 연구기관의 입자 가속기 배출량 (가속기 수준 배출계수)

총 배출량 = SF_6의 대학 및 연구기관 입자 가속기 배출계수 • ∑개별적인 가속기 충전량

여기서;

SF_6의 대학 및 연구기관 입자 가속기 배출계수 = 0.07, 총 충전량의 비율로써 연평균 대학 및 연구기관 입자 가속기 배출량.

개별적인 가속기 충전량 = 각각의 대학 및 연구기관 가속기 내에 포함되어 있는 SF_6.

Tier 3 방법 - 가속기 수준에서의 물질수지법

대학 및 연구 시설에서 작동하는 입자 가속기로부터의 SF_6 배출량은 매 가속기별의 사용자 수준에서 가장 정확하게 결정될 수 있다. 배출량 계산은 SF_6의 소비량과 폐기량뿐만 아니라 가속기 충전량을 추적함으로써 산정된다. 식 8.16에 자세하게 표현된 대로, 총 배출량은 개개의 사용자 배출량의 합과 같다. 이 방법을 사용할 때에는 생산에서 손실된 SF_6가 무시할 수 있을 정도이고 계산에 포함되지 않기 때문에, 입자 가속기로부터의 총 SF_6 배출량은 기타 SF_6 용도의 배출량에 비해 작다는 것을 알아두어라.

식 8.16
총 연구기관 가속기 배출량

총 배출량 = ∑개별적인 가속기 배출량

각 입자 가속기의 배출량은 다음과 같이 계산될 수 있다;

식 8.17
연구기관 가속기 배출량 (가속기 수준에서의 물질수지)

가속기 배출량 = SF_6 인벤토리에서의 감소량 + SF_6의 획득량 - SF_6의 지출량 - 가속기 충전에서의 순 증가량

여기서;

SF_6 인벤토리에서의 감소량 = 해당 연도의 시작 시점에 컨테이너에 저장되어 있는 SF_6 - 해당 연도의 끝 시점에 컨테이너에 저장되어 있는 SF_6

SF_6의 획득량 = 화학물질 생산자 또는 전체 분배자로부터 구입된 SF_6 + 신규 가속기 부품과 더불어 가속기 생산자 및 분배자로부터 구입된 SF_6 + 현장이 아닌 곳에서의 재활용 후 현장으로 되돌아 온 SF_6

SF_6의 지출량 = 다른 업체로 전송된 부품 내 포함되어 있는 SF_6 + 공급자에게 되돌아 간 SF_6 + 재활용을 위해 현장이 아닌 곳으로 보내진 SF_6 + 폐기된 SF_6

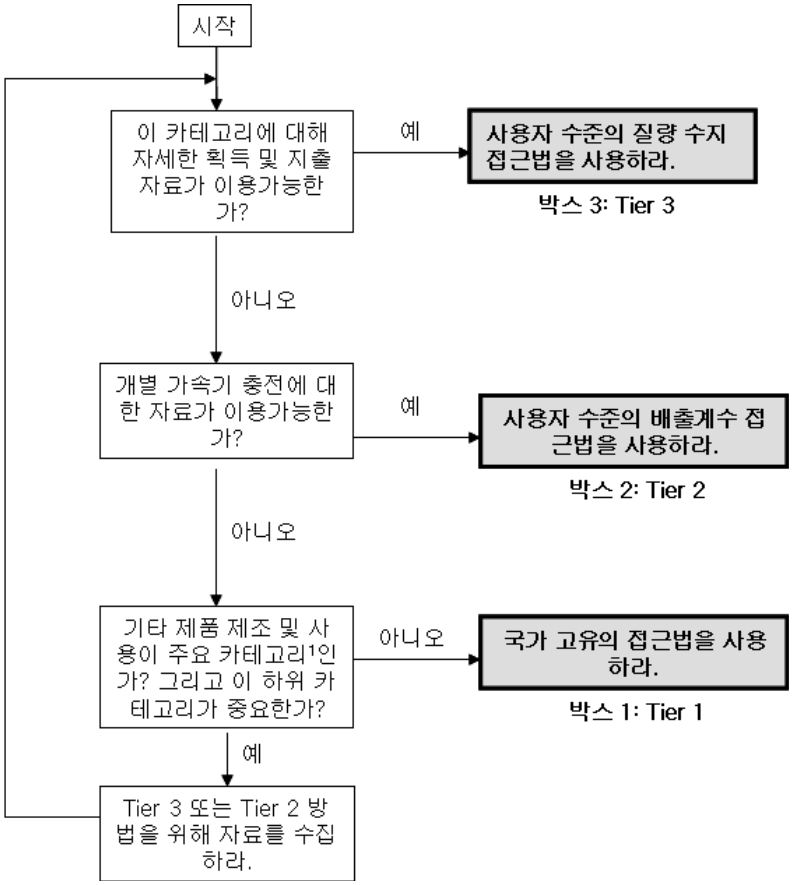
가속기 충전에서의 순 증가량 = 신규 부품의 SF_6 충전 - 회수되는 설비의 SF_6 충전

산업 및 의료 입자 가속기로부터의 SF_6 배출

대학 및 연구기관 입자 가속기의 경우에서처럼, 두 가지 유형의 산업 입자 가속기와 의료(암 치료) 입자 가속기에서 SF_6가 절연 가스로 사용된다. 그러나 산업 및 의료 입자 가속기에 대한 배출계수와 충전 변수는 아래에서 설명하는 대로 대학 및 연구기관 가속기에 대한 값들과 다르다.

산업적 입자 가속기에 대한 전 지구적 저장 용량은 35톤의 SF_6 연 배출량과 더불어 대략적으로 약 500톤으로 추정된다. 의료 입자 가속기에 대한 전 지구적 저장 용량은 5톤 이하의 SF_6 연 배출량과 더불어 대략적으로 약 5 톤 미만으로 산정된다(Schwarz, 2005).

그림 8.4 산업 및 의료 입자 가속기에 대한 의사결정도



주:

1. 주 카테고리의 논의 및 의사결정도의 사용에 대하여, 제 1권 4장, 방법론의 선택 및 주 카테고리의 확인(제한된 자원에 대한 4.1.2절을 참조)을 참고하여라.

Tier 1 방법 - 국가 수준에서의 방법

개별적인 사용자 가속기 충전 자료가 존재하지 않는 경우에는, 식 8.18에 표시한 대로 국가 수준의 연 배출량을 결정하기 위하여 국가 내 공정 묘사에 의한 입자 가속기의 총 숫자를 결정하고 변수들을 이용하여 대략적으로 산정할 수 있다. 이러한 Tier 1 방법에 대해서, 수집이 필요한 자료는 오직 해당 국가에서의 공정에 의해 SF6를 포함하는 입자 가속기의 총 숫자뿐이다.

식 8.18

산업/의료 가속기 배출량 (국가 수준)

$$\text{배출량} = (\text{국가의 공정 묘사에 의한 } SF_6\text{를 사용하는 입자 가속기의 숫자}) \bullet (SF_6 \text{ 충전 변수, kg}) \bullet (\text{적용할 수 있는 } SF_6\text{의 입자 가속기 배출계수})$$

여기서:

국가의 공정 묘사에 의한 SF_6를 사용하는 입자 가속기의 숫자 = 해당 국가에서 SF6를 사용하는 유형별(산업 고전압, 산업 저전압 및 방사선 치료) 입자 가속기의 총 숫자, 1, 2 등

SF_6 충전 변수 = 아래에 묘사된 대로 공정 묘사에 의한 입자 가속기 내 평균 SF_6의 충전

SF_6의 입자 가속기 배출계수 = 공정 묘사에 의한 총 충전량의 비율로써의 SF_6의 연평균 입자 가속기 배출

표 8.9
공정 묘사에 의한 입자 가속기 내 평균 SF_6 충전

공정 묘사	SF_6 충전 계수, kg
산업 입자 가속기- 고전압(0.3-23 MV)	1300
산업 입자 가속기- 저전압(<0.3MV)	115
의료(방사선 치료)	0.5[a]

a 이것은 모델 및 제조사에 따라 수치 범위가 0.05 kg에서 0.8kg을 초과하기도 한다.
출처: Schwarz (2005)

Tier 2 방법 - 사용자 수준에서의 배출계수 접근법

만약 각각의 산업 및 의료 기관 가속기 내에 포함되어 있는 SF_6의 양에 대한 자료가 이용 가능하면, 대학 및 연구 기관에 대한 Tier 2의 방법을 사용하라; 그러나 아래에 제공된 각 공정 묘사에 대한 배출계수를 그 공정 묘사에 대한 총 국가 고유의 SF_6 충전량과 곱하여라.

표 8.10
공정 묘사에 의한 배출계수,
(산업 및 의료 입자 가속기로부터의 SF_6 배출)

공정 묘사	SF_6 충전 계수, kg
산업 입자 가속기- 고전압(0.3-23 MV)	0.07
산업 입자 가속기- 저전압(<0.3MV)	0.013
의료(방사선 치료)	2.0[a]

a 이것은 모델 및 제조사에 따라 수치 범위가 충진 kg당 1 kg에서 10 kg까지 다양하다.
출처: Schwarz (2005)

Tier 3 방법 - 사용자 수준에서의 물질수지법

산업 및 의료 기관 입자 가속기로부터의 SF_6 배출량을 계산하기 위해서, 대학 및 연구기관에서와 마찬가지로 동일한 Tier 3 방법을 이용하여라. 설비의 생산자 및 분배자에 대한 고객 서비스 조직이 설비 재고, 수입, 수출, 그리고 설비를 충전하고 재충전하기 위해 사용되는 SF_6의 양에 대한 정보를 가지고 있을 확률이 높다.

SF_6 및 PFCs의 기타 용도로부터의 배출량

SF_6 및 PFC 사용자를 확인하고 위에서 언급된 카테고리 외의 배출원 카테고리의 가스 소비량을 조사하기 위하여 모든 가스 생산자/분배자에게 접촉하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 아래에서 설명되는 용도 사이의 주요 차이점은 SF_6 또는 PFC의 구입과 화학물질의 배출 사이의 전형적인 지연이다. 일부 경우(e.g., 방음 유리에 사용되는 SF_6, 열전달 유동체로써 사용되는 PFCs)에는 화학물질이 설비 혹은 제품의 수명동안 상당히 잘 보관되어 있어서, 대부분의 배출이 제품의 생산과 폐기 과정에서 일어난다. 이러한 경우에 화학물질의 구입과 화학물질의 최종 배출량 사이의 지연은 제품의 수명에 의존하며, 타이어와 운동화의 3년에서 방음 유리의 25년까지 다양하다. 다른 경우에는(e.g., 추적자로써의 SF_6 및 PFCs의 사용 또는 의료 용도에서의 사용) 화학물질이 구입 후

1년 내에 완전히 배출된다. 만약 초기 조사의 결과로써 뚜렷하게 지연되는 배출량을 지닌 용도가 중요한 기여를 한다면, 배출량의 지연을 염두에 두고 배출원 카테고리 고유의 배출량 계산을 사용하는 것이 실행 방안이다.

단열적 사용

SF_6 및 일부 PFCs의 단열적 사용은 고무를 통과하는 이런 가스들의 낮은 투과성을 활용한다. 과거로부터 SF_6는 이러한 용도에서 주로 사용되어 온 가스였다. 그러나 유사한 분자량을 가진 PFCs(C3F8과 같은)는 최근 들어서 사용되기 시작하였다. 3년의 지연 기간을 가진 용도는 차타이어, 운동화 바닥 그리고 테니스 공을 포함한다. 3년까지 지연되는 배출량을 지난 용도에 대해서 다음의 식이 사용될 수 있다.

식 8.19
단열 성질 용도

연도 t의 배출량 = (t-3)년 동안의 판매량

방음 유리

방음 창문의 이중 유리: 구입된 SF_6의 총량의 약 1/3이 조립 도중에 배출된다 (i.e., 이중 유리창의 충진) (Schwarz/Leisewitz, 1999). 유리창 내부에 잔존하는 가스 저장량에 대해서 매년 1%의 누출률이 가정된다 (유리 파손을 포함해서). 따라서 약 75%의 초기 저장량이 유리창 수명인 25년까지 남아있다. 유리창에서의 SF_6 사용은 1975년부터 시작되었으므로, 폐기는 지금 막 일어나기 시작하고 있다. 이 배출원 하위 카테고리로부터의 배출량은 식 8.20부터 8.22까지 이용하여 계산되어야 한다.

식 8.20
이중 유리 창문; 조립

연도 t의 조립 배출량 = 0.33 • 연도 t에 조립된 창문을 충진하기 위해 구입된 SF6

식 8.21
이중 유리 창문; 사용

연도 t의 누출 배출량 = 0.01 • 연도 t에 존재하는 유리창의 용량

식 8.22
이중 유리 창문; 폐기

연도 t의 폐기 배출량 = 연도 t의 수명 마지막 시점의 유리창에 잔존하는 양 • (1 - 회수율)

국가 고유의 자료를 이용할 수 없다면, 기본 회수율인 0이 식 8.22에 사용되어야 한다. 이러한 하위 배출원 카테고리에 대해 특수한 정보가 존재하지 않는다면, 이들을 즉각적인 배출량으로 다루는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

소비자 및 상업적 용도에서 열전달 유동체로써 사용되는 PFCs

PFCs는 다수의 고동력 밀도 상업 및 소비자 전기 용도에서 열전달 유동체로 사용된다. 상업적 용도는 고속 열차의 추진 단위(정류관)뿐만 아니라 슈퍼 컴퓨터의 냉각, 전자통신 및 공항 레이더 시스템을 포함한다(Burton, 2006). 이러한 용도는 전기 생산보다 훨씬 적은 부피의 액체 PFCs를 소모하지만, 사소한(niche) 용도사이에서는 중요하다고 간주된다. 소비자 용도는 데스크탑 컴퓨터에서 작업 속도를 높이기 위해 고전압에서 작동되는, 테스크탑 컴퓨터를 위한 냉각 부품을 포함한다. 이러한 용도에서 사용되는 특수한 PFCs는 6장의 전기 생산에서의 열전달 유동체로써 확인된 용도들과 유사하다고 간주한다. 이러한 모든 용도에서 액체 PFC는 폐쇄된 모듈에서 사용되며, 이는 설비 또는 제품의 생산, 유지 관리, 및 폐기 중에 대부분의 배출이 일어난다는 것을 보여준다. 따라서 만약 인벤토리 작성자가 매년 생산되고 사용되며 폐기된 설비의 양과 함께 설비의 생산, 유지관리 및 폐기 중의 배출량 정보를 얻을 수 있다면, 배출량을 산정하기 위해 전기 설비에 대한 Tier 2 또는 Tier 3 방법을 사용할 수 있다. 다른 배출 프로파일을 지닌 용도에 대해서는, 8.2절로부터 적절한 식을 이용할 수 있다.

미용 및 의료 용도에서 사용되는 PFCs

비교적 큰 분자량을 가진 PFCs(e.g., C10F18)은 이들이 산소를 생명 조직에게 전달하는 능력을 개발하여 미용 및 의료 용도에서 사용된다(May, 2006). 미용 용도는 주름 방지 크림을 포함하고, 상당히 적은 양을 소비하는 것으로 추정된다. 현재 및 잠재적인 의료 용도로는 이식을 위한 췌관 조직의 저장고(이중 격막 방법을 이용하여), 눈 수술(망막 눈물을 고치기 위하여), 폐 절제술(폐 치료와 진단), 초음파 및 MRI 검사의 대조체로써의 사용, 혈액 확장, 상처 치료 및 중이(middle year)의 질병 치료를 포함한다. 처음 두 가지 의료 용도를 제외한 모든 용도가 단지 적은 양만을 포함하고 (또는) 연구 단계에만 존재한다. 췌관 조직의 저장량은 적으나 계속 성장하는 용도이다. 의료 용도로부터의 배출량은 불확실하나 적다고 간주된다.

이러한 모든 용도에서 PFC의 구입 후 1년 이내에 PFCs는 대기로 배출된다고 간주된다. 따라서 이러한 배출원으로부터의 배출량은 즉각적인 배출량을 위한 식 8.23을 사용하여 산정할 수 있다.

SF_6 및 PFCs의 기타 사용

위에서 특별히 언급하지 않은 SF_6 및 PFCs의 다른 용도로는 추적자로써의 사용(누수 감지, 공기량의 실내 및 실외 추적 및 기름 회수[6])과 광케이블(유리 섬유의 fluorodoping[7])의 생산에 사용되는 SF_6를 포함한다. 종종 가스 또는 액체가 구입 1년 이내에 배출되기도 한다. 이러한 경우에는 이러한 '즉각적인' 배출을 가진 용도로부터의 SF_6 및 PFC 배출량을 계산하는 데 다음의 식을 이용하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

[6] D. Vlachogiannis et al., (2005) 이 논문은 주입된 PFCs와 SF_6의 일부 비율이 연료 연소 도중에 파괴되지만 이 비율은 확실하지 않다는 것을 보여준다.

[7] Schwarz (2005)의 논문에 나온 이 용도에 대한 정보를 더 참고하여라.

식 8.23
즉각적 배출량

연도 t의 폐기 배출량 = (0.5 • 연도 t에 판매된 양) + (0.5 • 연도 t-1에 판매된 양)

이 식은 이 권의 7장에 표시된 즉각적인 ODS 대체제 용도(e.g., 에어로졸 및 용매)에 대한 식과 유사하다. 이 식은 판매 및 배출 둘 다가 1년 동안에 걸쳐 지속적으로 이루어진다고 가정하기 때문에 1년 이상을 다룬다. 즉, 연도 t-1의 중간에 판매된 화학물질은 연도 t의 중간까지 완전히 배출되지 않는다.

8.3.2.2 배출계수의 선택

국가의 SF_6 및 PFCs에 중요하게 기여하는 SF_6 및 PFCs의 '기타' 배출원 카테고리에 대해서 각 국가는 대표성 있는 배출원의 하위집단의 간헐적인 조사에 근거한 국가 고유의 배출계수를 개발하는 것이 권장된다. 이러한 배출계수를 명백하게 문서화하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 배출계수 기본값은 AWACS, 가속기, 즉각적인 배출을 지닌 용도 및 유리창을 포함한 단열 용도에 대해서 위에 제시되어 있다.

8.3.2.3 활동도 자료의 선택

이러한 하부 배출원 카테고리에 대한 활동도 자료는, 산정량이 완전하고 이중산정이 없다는 것을 확실시하기 위해 다른 배출원 카테고리(e.g., 전기 설비)로부터의 SF_6 배출량의 계산에 사용되어진 자료와 일관성을 유지하여야 한다. 의료 선형 가속기에 대해서, 이 설비의 생산자 및 분배자에 대한 소비자 서비스 조직은 설비 저장, 수입, 수출에 대한 정보, 설비를 충진하고 재충진하는 데 사용되는 SF6의 양에 대한 정보를 가지고 있을 것이다. 다른 배출원에 대한 활동도 자료의 가능한 공급원에 대한 지침은 각 배출원 카테고리에 대한 방법 이하에서 제시되었다.

8.3.2.4 완전성

국가의 SF_6 및 PFC 생산자와 분배자로부터의 수입, 수출 및 소비량에 대한 용도별 자료는 충분할 것이다. (i) 모든 SF_6 및 PFC 생산자 및 분배자가 확인된다, (ii) 가정 소비자는 국가 공급자로부터의 SF_6 및 PFCS만을 구입한다. (iii) 제품의 수입 및 수출(e.g., 스포츠 용품)이 무시된다는 것을 제시한다. 부가적인 배분자가 SF_6 및 PFCs를 포함하는 확인된 제품의 상당한 양이 수입되지 않는다는 점과 최종 소비자에 의해 직접적으로 수입되는 가스가 없다는 점을 확인하는 것을 정기적으로 체크하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

대안적으로, 화학물질 소비에 대한 하향식 자료가 존재하지 않는다면 국가는 각 배출원 카테고리에 대한 방법론에서 제공된 배출계수들을 적용시켜 국가 내에서 사용되는 가속기, awacs, 창문 등의 수에 대한 정보를 사용할 수 있다.

8.3.2.5 일관성 있는 시계열의 개발

기준 연도 산정을 위해서, 기준 연도 이전의 몇 년 동안의 자료가 필요할 수도 있다; 즉각적인 배

출에 대해서는 일년, 그리고 지연되는 배출 용도에 대해서는 수 년. 시계열에서 매 해에 대해 동일한 방법을 사용하여 배출량을 계산하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 시계열에서 모든 연도에 대해 더 정밀한 방법을 사용하기 위한 자료가 이용 불가능한 곳에서는, 1권의 5장에 제시된 지침에 따라 재계산하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

8.3.3 불확도 평가

국가 가스 생산자 및 분배자에 의한 용도 당 가정 판매의 조사가 완전하다면, 연별 소비량의 정확도가 높을 것이다. 또한 제품 사용이 모두 즉각적인 배출을 야기한다면 배출량 산정에 있어서의 불확도는 작아질 것이다. 지연되는 배출을 지닌 용도의 경우에, 불확도는 다음과 같다;

- 단열성을 이용한 적용의 지연시간 기본값; 3±1년
- 방음 창문에 대한 기본값; 50±10%의 충진 배출량 및 1±0.5%의 누출/누설 배출량.

만약 가스 소비 자료가 존재하지 않는다면, 가속기 및 AWACS 등의 숫자 및 사용에 관련된 불확도는 중요해진다.

- 가속기에 대해서, 총 SF_6 저장 및 누수율이 배출량과 관련 불확도를 결정한다.
- AWACS의 SF_6 사용에 대해서, 비행기 당 출격 횟수가 배출량과 불확도에 중요한 영향을 미친다.

8.3.4 품질보증/품질관리(QA/QC), 보고 및 문서화

8.3.4.1 품질보증/품질관리

1권 6장에 요약된 것처럼 품질관리 점검 및 배출량 산정값에 대한 전문가 검토를 시행하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 1권에 논의된 대로 부가적인 품질관리 점검과 품질 보장 과정은, 특히 본 배출원 카테고리로부터의 배출량을 산정하기 위해 더 높은 tier 방법을 사용했을 때 적용될 수 있다. 인벤토리 작성자는 1권 4장에서 확인된 대로 주 카테고리에 대해서 더 높은 tier QA/QC를 이용하는 것이 권장된다.

기타 SF6의 배출원에 대한 특수한 부가적인 절차는 아래에 요약되어 있다;

다른 접근법을 사용한 배출량 산정의 비교

인벤토리 작성자는 잠재적인 SF6 및 PFC의 국가 배출량(3.10, 4, 6 및 8.2장에 있는 배출원 카테고리에 할당한 양을 빼준다)을 다른 용도로부터 산정된 SF_6 및 PFC 배출량과 비교해 보아야만 한다. 이렇게 조정된 잠재적 국가 배출량은 배출량의 상한선으로써 사용될 수 있다.

활동도 자료의 점검

인벤토리 작성자는 회사 사이의 상대적인 크기 또는 용량을 조정 한 후, 다른 생산자 및 분배자에 의해 제출된 활동도 자료를 비교해야 하며, 중요한 특이치(outlier)를 확인해야 한다. 차이를 설명

할 수 있는지의 여부와 보고된 활동도에 오차가 있는지 여부를 결정하기 위해, 어떤 특이치(outlier)도 빠짐없이 조사되어야 한다.

다른 국가의 배출량과의 비교

인벤토리 작성자는 국가 인벤토리에 포함된 기타 SF_6 및 PFC 최종 사용으로부터의 배출량을 다른 유사한 국가에 의해 제출된 정보와 비교해 보아야 한다. 각 배출원에 대해서 인구당 또는 GDP당 배출량을 다른 국가의 상응하는 배출량과 비교해보아야 한다. 만약 국가 배출량이 상대적으로 매우 높거나 매우 낮게 나타난다면, 정당성을 증명하는 사유가 반드시 첨부되어야 한다.

8.3.4.2 보고 및 문서화

1권의 6.11절에 요약된 대로, 국가 배출량 인벤토리 산정량을 생산하기 위해 필요한 모든 정보를 문서화하고 저장하는 것은 *우수실행(good practice)*이다. 국가 인벤토리 보고서에 모든 문서를 포함시키는 것이 실제적이지는 않다. 하지만, 인벤토리는 보고된 배출량이 투명하고 계산 단계를 다시 추적할 수 있게 공급 자료에 대한 참고문헌과 사용된 방법의 요약본을 포함하여야 한다.

투명성을 위하여, 기타 SF_6 및 PFC 배출량으로부터 분리된 '기타 사용(other uses)'의 배출원 카테고리로부터의 실제 및 잠재적 배출량을 모두 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 뿐만 아니라, 이 배출원 카테고리에 포함된 특수한 용도에 대한 정보를 제공하는 것이 다른 국가, 지역 또는 전지구적 배출량과의 비교에 유용하다. 또한, 적용된 방법론과 참고문헌은 반드시 문서화되어야 한다. 지연되는 배출을 지닌 하위 배출원 카테고리에 대해서, 하부 배출원 카테고리 유형에 대한 연간 배출량, 지연 시간 및 배출계수를 반드시 보고해야 한다.

8.4 제품 사용으로부터의 N_2O

8.4.1 서론

아산화질소(N_2O)의 증발 배출량은 제품 사용의 다양한 유형으로부터 일어나며, 다음을 포함한다;

- 의료 용도 (마취제, 진통제, 가축에의 사용);
- 주로 식품 산업에 있어서 에어로졸 제품의 압축가스로써의 사용 (압력 포장된 생크림 등);
- 반도체 생산에 사용되는 산화제 및 부식액;
- 아세틸렌과 더불어 원자 흡수 광도계에 사용되는 산화제;
- 에어백을 부풀리는 데 사용되는 아지드화 나트륨의 생산;
- 자동차 경주에서의 연료 산화제; 그리고
- 보석에서 사용되는 소형 발염장치(blowtorch)에서의 산화제.

일반적으로 의료 용도와 에어로졸 제품의 압축가스로써의 사용이 다른 용도보다 더 큰 배출원이 될 확률이 크다. 이러한 배출원으로부터의 N_2O 배출량을 산정하고 보고하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 인벤토리 작성자는 자료가 존재한다면 기타 배출원으로부터의 N_2O 배출량을 산정하고 보고하는 것이 권장된다.

의료 용도

N_2O의 마취제 사용

마취제 사용에 대한 N_2O는 최소 98%의 N_2O를 포함하는 철 실린더에 공급된다. 두 가지 이유로 인해 마취 동안 N_2O가 사용된다; a) 마취제 및 진통제로써, b) isoflurane, sevoflurance 및 desflurance과 같은 휘발성의 불화 탄화수소 마취제에 대한 운송 가스로써. N_2O의 마취 효과는 불화 탄화수소제의 마취 효과에 부가된다.

모든 마취제가 N_2O 사용을 필요로 하는 것은 아니며, 일부 적은 숫자의 의료 상황에서는 N_2O 사용이 역 지시된다. N_2O를 피해야 하는 경우에는, 마취 동안의 운송 가스가 N_2O와 산소 또는 공기와 산소의 혼합 가스 중 하나일 수 있다.

가스가 환자에게 되돌아가기 전에 이산화탄소 흡수제 용기를 통하여 환자의 날숨을 재순환시키는 호흡 시스템에 대한 호흡 마취제의 사용이 증가하고 있다. 이 방법을 이용하여 환자의 흡입이 높은 마취제 사용의 첫 몇 분 후에, 효과적으로 운송 가스의 흐름을 감소시킬 수 있다. 이러한 기술은 낮은 흐름의 마취(Low Flow Anaestesia)로 알려져 있다. 낮은 흐름의 마취는 비용 감소뿐만 아니라 배출량 감소라는 장점도 가지고 있다.
일부 마취제는 마취약을 수술 과정을 통해 혈관에 지속적으로 주입하는 기술을 적용시켜 N2O와 불화 탄화수소제의 사용을 완벽하게 피할 수도 있다. 이러한 기술은 전체적 정맥주사 마취제(Total Intravenous Anaesthesia)로 알려져 있다.

N_2O의 진통제 사용

호흡된 N_2O는 특정 상황에서 고통 완화를 위해 사용된다. 예를 들어, 영국에서는 미리 혼합된 아산화질소와 산소 혼합물로써 N_2O 50%와 산소 50%를 미리 혼합하여 철 실린더에 포함시켜 공급한다. 미리 혼합된 아산화질소와 산소 혼합물은 출산시의 고통 완화와 단기간의 고통스런 조치 동안, e.g. 화상 환자에게 드레싱을 바꿔줄 때- 에 사용된다. 혼합물을 포함한 실린더가 섭씨 영하 6도 이하인 곳에서 보관되면 혼합물이 분리되어, 환자에게 산소 없이 순수한 아산화질소만을 공급할 수 있는 위험성에 노출될 수 있기 때문에, 매우 추운 기후를 가진 국가에서는 이 혼합물이 사용되지 않는다.

N_2O의 가축에의 사용(수의학)

N_2O는 동물 마취제로 사용되기도 한다. 사용법은 인간 마취에 사용되는 법과 유사하다.

일차적으로 식품 산업에서의 에어로졸 제품의 압축가스로서의 사용

N_2O는 일차적으로 식품 산업에서 에어로졸 제품 내 압축가스로서 사용되기도 한다. 전형적인 사용은 N_2O로 충진된 카트리지가 크림을 거품형태로 부풀리기 위해 사용되는 생크림(whipped cream)의 제조이다.

8.4.2 방법론적 이슈들

8.4.2.1 방법론의 선택

아래의 식 8.24에 따라서, N_2O 제품의 생산자 및 분배자로부터 얻어진 N_2O 공급량의 자료로부터 N_2O 배출량을 산정하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 생산, 운송 및 사용 사이에 시간 지연이 있지만, 병원은 높은 재고를 피하기 위해서 일반적으로 빈번한 배달을 받기 때문에 의료 용도의 경우에는 시간 지연이 적다. 그러므로 공급되는 N_2O 제품이 1년 내에 사용될 것으로 가정하는 것이 합리적이다. 에어로졸 제품의 압축가스로써 사용하는 경우에는 생산, 운송 및 사용 사이에 중요한 시간 지연이 있다는 것을 증명해주는 신뢰성 있는 자료가 존재하지 않는다. 이러한 경우에는 공급되는 N_2O 제품이 1년 내에 사용될 것으로 가정하는 것이 실제적이다. 공급과 사용 모두가 해당 연도에 걸쳐 지속적일 것으로 가정되기 때문에, 즉, 연도 t-1의 중간에 공급된 N_2O는 연도 t의 중간까지 완전히 사용되고 배출되지 않기 때문에, 식 8.24는 1년 이상을 포함한다.

여기에는 어떤 다른 신뢰성 있는 산정 방법이 존재하지 않기 때문에, 다른 tier는 이 배출원 카테고리에 대해 규정할 수 없다. 예를 들어, 의료 용도의 경우에 특정 마취제의 수, 수술 침대의 숫자, 또는 마취제 사용시간으로부터의 산정 방법들이 고려될 수 있지만, 이러한 방법들은 부정확할 가능성이 크다 (8.4.2.3절, 활동도 자료의 선택을 참조하여라).

식 8.24
기타 제품 사용으로부터의 N_2O 배출

$$E_{N_2O}(t) = \sum_i \{[0.5 \bullet A_i(t) + 0.5 \bullet A_i(t-1)] \bullet EF_i\}$$

여기서:

$E_{N2O}(t)$ = 연도 t의 N_2O 배출량, 톤

A_i (t) = 용도 유형 i에 대한 연도 t에 공급된 N_2O의 총량, 톤

A_i (t-1) = 용도 유형 i에 대한 연도 t-1에 공급된 N_2O의 총량, 톤

EF_i = 용도 유형 i에 대한 배출계수, 비율

8.4.2.2 배출계수의 선택

의료 용도

투여된 N_2O가 신체 내에서 화학적으로 변화하지 않고, 모두가 대기로 배출된다는 것을 가정한다. 배출계수 1.0을 가정하는 것이 합리적이다.

일차적으로 음식 산업에서 에어로졸 제품의 압축가스로서의 사용

압축된 가스와 에어로졸 식품에서 사용되는 N_2O에 대해서, 과정 동안 어떠한 N_2O도 반응하지 않고 모든 N_2O가 대기로 배출된다면, 결과적으로 이 배출원에 대한 배출계수는 1이다.

기타

제품 사용의 다른 유형에 대해서, 1의 배출계수를 가정하는 것이 적절하지 않을 수도 있다. 인벤토리 작성자가 의료 용도와 에어로졸 제품에서의 압축가스로서의 사용 외의 제품 사용으로부터의 N_2O 배출 증가를 추정하고 보고하는 경우에, 참고문헌 또는 측정값으로부터 해당 배출원에 대한 합리적인 배출량을 유도하는 것이 권장된다.

8.4.2.3 활동도 자료의 선택

의료 용도

용도 유형에 따라 공급되는 N_2O의 총량은 N_2O 제품의 생산자 및 분배자로부터 얻어져야 한다. 대안적으로, 의료 용도에 대해서는, 연간 구입된 아산화질소 실린더의 수와 용량에 관한 기록을 가지고 있는 개별적인 병원 내 약국으로부터 N_2O 사용량이 얻어질 수 있다.

외과 수술 후의 병원 입원 기간은 하루 미만부터 수 일 또는 수 주까지 매우 다양하다. 수술 침대 점유기록으로부터 계산하여 사용된 마취제 수의 산정치는 부정확할 가능성이 크다.

N_2O가 일부 마취제에만 사용되기 때문에 특정 마취제의 숫자로부터 N_2O의 사용을 정확하게 추정할 수는 없다.

마취 도구에 의해 운반된 N_2O의 유량(L/min)은 수술 과정 중에 마취 의사에 의해 0부터 6 L/min까지 다양할 수 있다. 이러한 큰 변동성으로 인해, 마취 시간에 근거한 소비량 산정은 부정확할 가능성이 높다.

국가 간, 그리고 특정 국가 내에서도 개별적 마취 의사 사이에 N_2O가 사용되는 마취제의 비율이 다르다. 최근에는 N_2O를 포함한 마취제의 비율이 일반적으로 감소하고 있는 것으로 나타났으나

자료가 간헐적이다.

일차적으로 음식 산업에서 에어로졸 제품의 압축가스로써의 사용

용도 유형에 따라 공급된 N_2O의 총량은 N_2O 제품의 사용자 및 분배자로부터 구해져야만 한다.

8.4.2.4 완전성

국가 N_2O 생산자 및 분배자로부터의 수입, 수출 및 소비에 관한 용도별 자료는 (i) 모든 N2O 생산자 및 분배자가 확인된다, (ii) 가정 소비자들은 국가 공급자로부터만 N_2O를 구입한다, 그리고 (iii) 제품(e.g., 스포츠 용품)의 수입 및 수출은 미미하다, 라는 것을 제공하면, 충분히 만족시킬 것이다. 부가적인 배분자가 N_2O를 포함하는 확인된 제품의 상당한 양이 수입되지 않는다는 점과 최종 소비자에 의해 직접적으로 수입되는 N_2O가 없다는 점을 확인하는 것을 정기적으로 체크하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

8.4.2.5 일관성 있는 시계열의 개발

시계열에서 매년 동일한 방법을 사용하여 N2O의 배출량을 계산하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 시계열에서 모든 연도에 대한 더 정밀한 방법을 뒷받침하기 위한 자료가 존재하지 않는 곳에서는, 1권 5장에 제시된 지침에 따라서 재계산하는 것이 *우수실행(good practice)*이다.

8.4.3 불확도 평가

8.4.3.1 배출계수의 불확도

출판된 참고문헌에 의하면, 마취 동안에 환자에 의해 흡입된 N_2O가 물질대사 되지 않는다고 넓게 가정할 수 있다. N_2O는 혈액에서 용해되면서 폐로부터 지속적으로 흡입된다. 흡입되지 않는 비율은 다음 숨에서 내쉬어진다. 환자에 의한 흡입은 초기에 높고, 시간에 따라 거의 지수적으로 감소된다. 투여된 모든 N_2O가 결과적으로 대기로 되돌아온다는 것을 가정하는 것이 합리적이며, 따라서 배출계수는 1이다. 신뢰성 있는 자료가 존재하지 않기 때문에, 이는 실용적인 가정이다. 배출계수에 오차가 존재한다고 할 지라도 존재하는 오차는 다른 불확도에 비해 매우 작을 것이다.

에어로졸 제품의 압축가스로 사용되는 경우에도 역시, N_2O가 과정 중에 반응할 확률이 거의 없다. 그러므로 배출계수가 1이고 배출계수에 존재하는 어떠한 오차도 다른 불확도에 비해 매우 적을 확률이 높다는 실용적인 가정이 가능하다.

인벤토리 작성자가 의료 용도 및 에어로졸 제품에서 압축가스로서의 사용을 제외한 다른 제품 사용으로부터의 N_2O 배출이 증가한다는 추정 및 보고를 하게 되는 경우에는, 배출계수의 불확도를 주의 깊게 고려해야 할 필요성이 있다.

8.4.3.2 활동도 자료의 불확도

N_2O 제품의 생산자 및 분배자로부터 얻은 용도 유형에 의한 N_2O의 공급량의 불확도는 국가 간에 매우 다양할 수 있다. 만약 생산자 및 분배자로부터 불확도 추정치를 얻을 수 있다면, 이를 이용해야 한다. 그렇지 않으면, 활동도 자료의 불확도는 전문가 판단에 의하여 추정되어야 한다.

8.4.4 품질보증/품질관리QA/QC), 보고 및 문서화

1권 6장에 요약된 것처럼 국가 배출량 인벤토리를 만들기 위해 필요한 모든 정보를 문서화하고 저장하는 것이 *우수실행(good practice)*이다. 국가 인벤토리 보고서에 모든 문서를 포함하는 것은 실용적이지 못하다. 하지만, 인벤토리는 보고된 배출량이 투명하고 계산 단계를 다시 추적할 수 있게 공급 자료에 대한 참고문헌과 사용된 방법의 요약본을 포함하여야 한다.

투명성을 위하여, 이 배출원 카테고리에 포함된 특수한 용도에 대한 정보를 제공하는 것이 다른 국가, 지역 또는 전지구적 배출량과의 비교에 유용하다. 뿐만 아니라, 적용된 방법들과 참고문헌은 반드시 문서화되어야 한다.

1권 6장에서 요약된 대로 품질보증 과정과 품질관리 점검을 수행하는 것이 *우수실행(good practice)* 이다. 인벤토리 작성자는 1권 4장에 확인된 대로 주 카테고리에 대해서 더 높은 tier QA/QC를 사용하는 것을 권장한다.

본 배출원 카테고리에 대한 특수한 부가적인 절차는 아래에 요약되어 있다;

활동도 자료의 점검

인벤토리 작성자는 회사 사이의 상대적인 크기 또는 용량을 조정 한 후, N_2O의 다른 생산자 및 분배자에 의해 제출된 활동도 자료를 비교해야 하며, 중요한 특이치(outlier)를 확인해야 한다. 차이를 설명할 수 있는지의 여부와 보고된 활동도에 오차가 있는지 여부를 결정하기 위해, 어떤 특이치(outlier)도 빠짐없이 조사되어야 한다.

다른 국가의 배출량과의 비교

인벤토리 작성자는 국가 인벤토리에 포함된 제품 사용의 유형으로부터의 N_2O 배출량을 다른 유사한 국가에 의해 제출된 정보와 비교해 보아야 한다. 각 배출원에 대해서 다른 국가의 인구당 또는 GDP당 배출량과 비교해보아야 한다. 만약 국가 배출량이 상대적으로 매우 높거나 매우 낮게 나타난다면, 정당성을 증명하는 사유가 반드시 첨부되어야 한다.

참고문헌

8.1 - 8.3절

Aoyama, T. (2004). Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA), "The Situation of Reduction in SF6 Emissions from Gas-insulated Electrical Equipment In Japan" Paper and presentation delivered to the Conference on SF6 and the Environment, Scottsdale, Arizona, December 1-3, 2004.

AREVA (2005). AREVA, World energy experts, Activity and Sustainable Development Report 2004. (Registered office: rue Le Peletier . 75009 Paris . France, http://www.areva.com/), published in July 2005.

Boeing (2005). "E-3 AWACS in Service Worldwide", March 2005. Boeing Integrated Defense Systems, P.O. Box 516, St. Louis, MO 63166, (Available from http://www.boeing.com/defense-space/ic/awacs/docs/E-3AWACS_overview.pdf)

Burton, C. S. (2006). "Uses and Air Emissions of Liquid PFC Heat Transfer Fluids from the Electronics Sector," Report prepared for Scott C. Bartos, U.S. Environmental Protection Agency.

Ecofys (2005). Reductions of SF6 Emissions from High and Medium Voltage Electrical Equipment in Europe, Final Report to CAPIEL, S, Wartmann and J. Harnisch, June 28, 2005

FEPC and JEMA (2004). Federation of Electric Power Companies (FEPC) and the Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA), "Japanese Emission Factors." (Personal communication from Mr. Kiyoshi Saitoh of Japan Electrical Manufacturers Association (JEMA) to Mr. Kiyoto Tanabe, IPCC Technical Support Unit, November, 2004.)

Harris, D., and Hildebrandt, J. (2003). "Spray Cooling Electrical and Electronic Equipment," COTS Journal, November 2003.

CIGRE (2005). International Council on Large Electric Systems (CIGRE) Publication No.276: Guide for the Preparation of customized "Practical SF6 Handling Instructions", Task Force B3.02.01, August 2005.

IEC (1996). International Electro-technical Commission (IEC) Standard 60694: "Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards," Second edition, 1996-05. Geneva, Switzerland.

Koch, E.C. (2004). "Special Materials in Pyrotechnics: III. Application of Lithium and its Compounds in Energetic Systems;" Propellants, Explosives, Pyrotechnics, Volume 29, Issue 2, Pages 67 - 80, 2004

May, G. (2006). F2 Chemicals Limited. Personal communication with Deborah Ottinger Schaefer, January 23, 2006.

Maruyama, S. and Meguro, M. (2000). "SF6 Gas Emission Reduction From Gas-Insulated Electrical Equipment in Japan.", Paper presented at the Conference on SF6 and the Environment: Emission Reduction Strategies in San Diego, USA (November 2000).

NIST (1997). Gases for Electrical Insulation and Arc Interruption: Possible Present and Future Alternatives to Pure SF6; by L. G. Christophorou, J. K. Olthoff, D. S. Green; NIST

Technical Note 1425, National Institute of Standards, November 1997.

Schwarz, W. and Leisewitz, A. (1996). Current and future emissions of fluorinated compounds with global warming effect in Germany (in German). Report UBA-FB 1060 1074/01, Umweltbundesamt, Berlin.

Schwarz, W. and Leisewitz, A. (1999). Emissions and reduction potentials of HFCs, PFCs, and SF6 in Germany. Report UBA-FB 298 41 256, Umweltbundesamt, Berlin.

Schwarz, W. (2005). Emissions, Activity Data, and Emission Factors of Fluorinated Greenhouse Gases (F-Gases) in Germany 1995-2002. Research Report 201 41 261/01, UBA-FB 000811/e, Umweltbundesamt, Berlin.

Schwarz, W. (2006). "The German Monitoring System for SF6 Emissions from Equipment for Electricity Transmission and Distribution."

Smythe, K. (2004). 'Trends in SF6 Sales and End-Use Applications: 1961-2003.' International Conference on SF6 and the Environment: Emission Reduction Technologies, December 1-3, 2004, Scottsdale, AZ.

U.S. EPA (2004). U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks, 1990-2002. U.S. Environmental Protection Agency, April, 2004.

Vlachogiannis, D., et al. (2005). Assessment of the impact of SF6 and PFCs reservoir tracers on global warming, the AEOLOS study, Non-CO2 Greenhouse Gases (NCGG-4), coordinated by A. van Amstel, Rotterdam, p. 389-396.

8.4 절

Austria [Umweltbundesamt] (2004), AUSTRIA'S NATIONAL INVENTORY REPORT 2004, Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change

Beatty PCW, Kay B and Healy TEJ (1984), Measurement of the rates of nitrous oxide uptake and nitrogen excretion in man. British Journal of Anaesthesia; 56: 223-232.

Environment Canada (2004), Canada's Greenhouse Gas Inventory 1990-2002

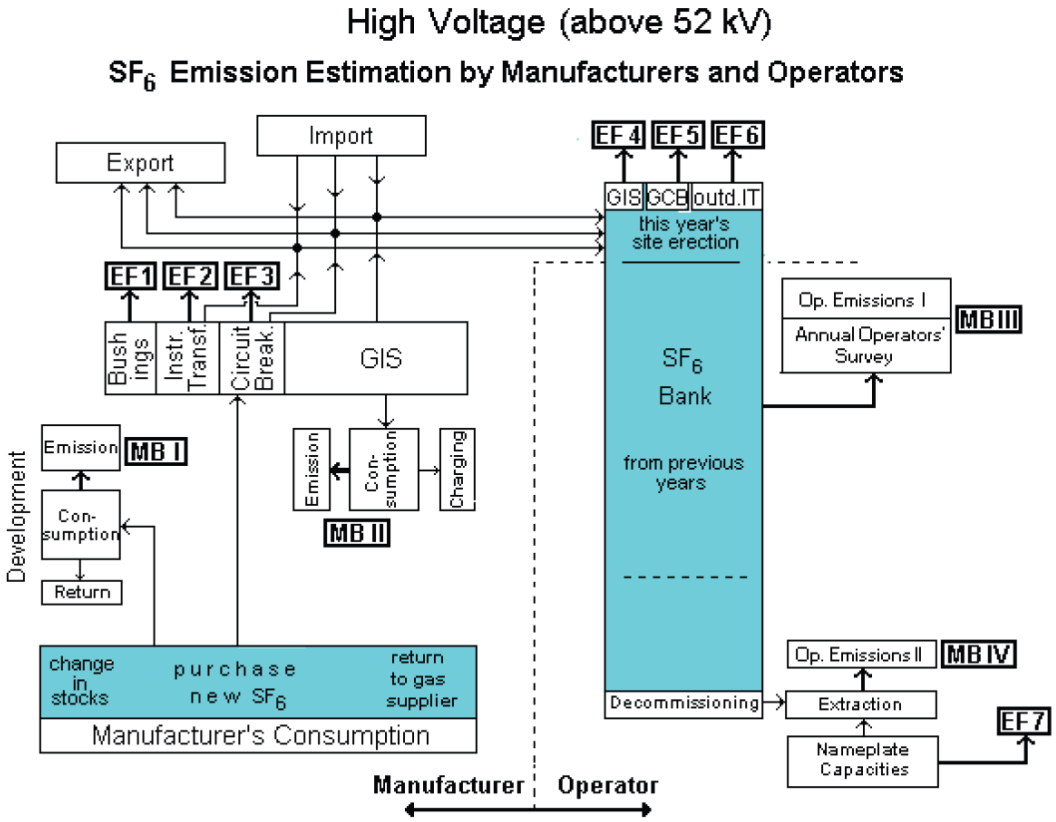
Jordan M. (1996), Pharmacology in the Practice of Anaesthesia p 43. Arold, London. Edited by Kaufman L and Tabener PV.

U.S. EPA (2004). U.S. Inventory of Greenhouse Gases and Sinks, 1990-2002. U.S. Environmental Protection Agency, April, 2004.

첨부 8A Tier 3의 국가 SF_6 인벤토리 체계의 예

폐쇄된 압력(고전압) 및 봉인된 압력(중간전압) 설비에 대해 독일에서 현재 적용되고 있는 것으로, 그림 8A.1과 8A.2는 Tier 3 혼합 접근법을 설명하고 있다 (Schwarz, 2006). 도식에서, 'MB는 물질수지 접근법이 이용된 공정 또는 전과정 단계를 나타내는 반면, 'EF'는 배출계수가 사용되는 공정과 전과정 단계를 나타낸다. 예를 들어, 생산에 있어서, 가스-절연 개폐기의 충진으로부터의 배출량을 산정하기 위해서 물질수지 접근법이 사용되는 반면, 부싱, 기기 변압기 및 회로 차단기의 충진으로부터의 배출량을 산정하기 위해 배출계수가 사용된다. 독일에서는, 물질수지법을 사용하여 배출량을 측정하는 것이 어려운 1% 이하의 배출량을 후자에 의해 산정한다. 이 도식은 Tier 3 접근법을 적용할 때 국가가 국가 상황에 적절한 접근법과 배출계수의 선택을 권장하도록 하기 위해, 하나의 예로써만 만들어졌다는 것을 주의하여라.

그림 8A.1 Tier 3 접근법의 예: 독일, 고전압 설비

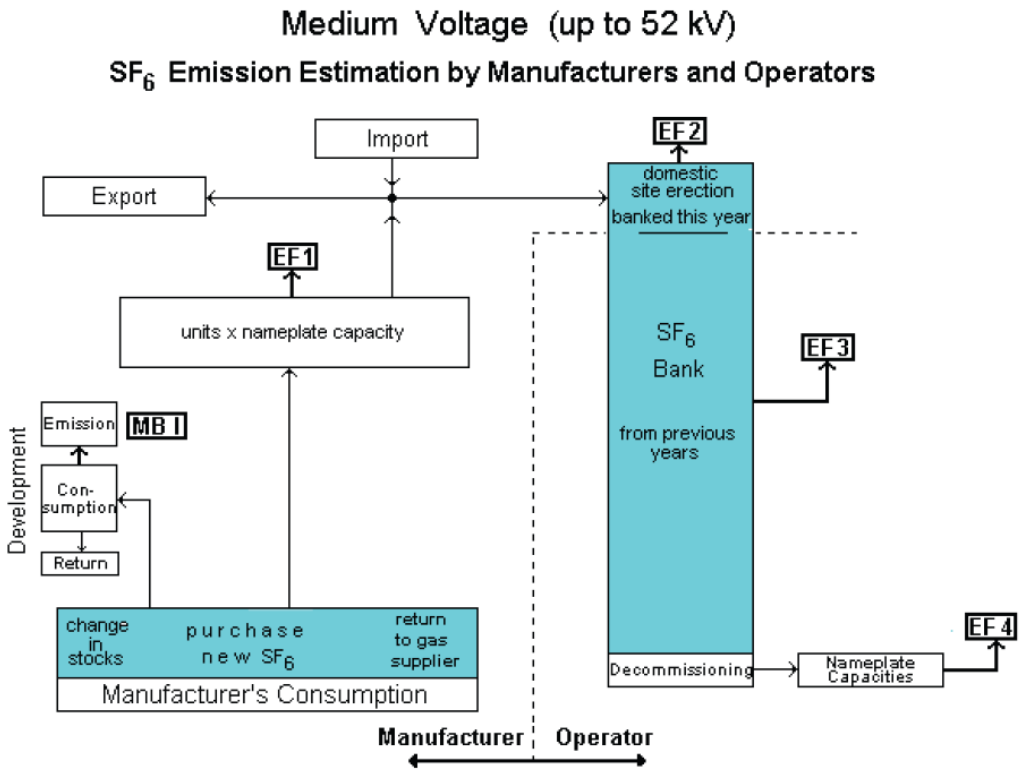


Legend for Emissions Estimation in HV		
Mass Balance Approach		
Symbol	Equation	
MB I	Development Emissions = Consumption for Developing minus Return from Development Department	
MB II	GIS Charging Emissions = Consumption for Charging minus Charge (nameplate capacities); also applicable to Gas insulated Lines (GIL's)	
MB III	Operating Emissions I = Annually surveyed topping up by equipment operators	
MB IV	Operating Emissions II = Nameplate capacity of decommissioned equipment minus gas recovered from this equipment	
Emission Factor (EF) Approach		
Symbol	**Kind of Emission Factor (EF)**	**Multiplied by**
EF 1	Factory Filling EF Bushings*	NC** of bushings filled in factory
EF 2	Factory Filling EF Outdoor Instrument Transformers (ITs)	NC of ITs filled in factory
EF 3	Factory Filling EF Gas Circuit Breakers (GCBs)	NC of GCBs filled in factory
EF 4	Site Erection EF GIS and GIL	NC of GIS and GIL filled on site
EF 5	Site Erection EF GCBs	NC of GCBs filled on site
EF 6	Site Erection EF Outdoor ITs	NC of Outdoor ITs filled on site
EF 7	Disposal EF	NC of decommissioned equipment

* Bushings are treated as integral parts of GIS as of Site erection.

**NC = Total nameplate capacity of equipment undergoing a given process

그림 8A.2 Tier 3 접근법의 예: 독일, 중간전압 설비



Legend for Emissions Estimation in MV		
Mass Balance Approach		
Symbol	Equation	
MB I	Development Emissions = Consumption for Developing minus Return from Development Department*	
Emission Factor (EF) Approach		
Symbol	**Kind of Emission Factor (EF)**	**Multiplied by**
EF 1	Factory Filling EF	NC** filled in factory
EF 2	Site Erection EF	NC*** filled on site
EF 3	Operating EF	NC of operating equipment (total bank from this and previous years)
EF 4	Disposal EF	NC decommissioned

* This mass balance approach also applies to manufacturing of Cast Resin Instrument Transformers (ITs).

**NC = Total nameplate capacity of equipment undergoing a given process.

*** In countries where MV equipment is already gas-filled in factories, site erection emissions are negligible.

첨부 2

잠재적 배출 (HFCs와 PFCs, SF_6의 소비에 대한 이전의 TIER 1)

저자

Paul Ashford (영국)와 Jochen Harnisch (독일)

목 차

Annex 2 잠재적 배출 (HFCS, PFCS, SF_6 소비에 대한 이전의 Tier 1) A2.4
A2.1 잠재적 배출을 계산하는 기본적인 방법..... A2.4
A2.2 이전의 Tier 1b를 따르는 잠재적 배출 측정에 대한 추가적인 계산 A2.7
참고문헌 A2.8

식

식 A2.1 ..... A2.4
식 A2.2 ..... A2.5
식 A2.3 ..... A2.6
식 A2.4..... A2.7
식 A2.5..... A2.7
식 A2.6 ..... A2.7
식 A2.7 ..... A2.8
식 A2.8 ..... A2.8

표

표 A2.1 이전의 Tier 1a를 따르는 잠재적 배출 계산 설계(scheme) A2.5

ANNEX 2 잠재적 배출 (HFCS와 PFCS, SF_6의 소비에 대한 이전의 TIER1)

A2.1 잠재적 배출을 계산하는 기본적인 방법

수소화염화불화탄소(HFCs)와 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF6)의 소비와 관계된 잠재적 배출(potential emissions)을 측정하는 이전의 Tier 1 접근법인 다음 접근법은 더 이상 HFCs와 PFCs, SF6 배출을 측정하는 방법으로 추천되지 않는다. 그 이유는 냉동 장비와 기포제, 전기 장비에서처럼 축적량(stock)이 급속히 증가하거나 배출이 수 십 년간 지연되는 경우, 배출을 심하게 과대평가하기 때문이다. 그러나 실제 배출(actual emissions)의 측정을 함께 고려해보면, 잠재적 배출 접근법은 다루어지는 자료 완전성의 타당성을 검사하는데 도움이 될 수 있고, 다양한 사용의 활동도 자료를 총 합한 것에 대해 잠재적 배출 접근법에서 측정한 총 국내 소비량을 비교함으로써 실시하는 QC 검사에 도움이 될 수 있다. 또한 bank된 온실 가스의 증가를 감시하는 데에 도움이 되고, 이를 통해 잠재적 미래 환경의 짐(environmental burden)의 정도를 나타낼 있다. 따라서 이 방법을 여기 참조의 목적으로 포함한다. 예를 들어, 일관성 있는 시계열 계발을 용이하게 하기 위한 것이다.

화학물질의 순 소비량(net consumption)이 생산에 수입에서 수출을 뺀 값을 더한 것과 같으므로, 기본 방법에 대한 공식의 계산 (이전의 Tier 1)은 다음과 같다.

식 A2.1

$$\textit{모든 사용으로부터 잠재적 } SF_6 \textit{ 배출} = \textit{생산} + (\textit{수입} - \textit{수출}) - \textit{파기}$$

생산은 새로운 화학물질의 생산을 나타낸다. 재생산된 유체의 재공정은 포함하지 말아야 한다. 수입과 수출은 대량 화학물질(bulk chemicals)을 포함하며 냉동장치, 냉방장치, 포장제, 거품 절연제, 방화제 등과 같은 제품에 포함되어있는 화학물질의 양은 포함될 수도 있고 되지 않을 수도 있다.

HFCs, PFCs, SF6의 파기가 현재 널리 실시되고 있지는 않고 몇몇 경우에는 기술적으로 어렵기도 하지만, 배출을 줄이는 것이 잠재적인 선택(option)으로 포함되어야 한다. HFCs, PFCs, SF6의 생산 중의 부산(by-product) 배출과 생산이나 배포와 관련된 탈루 배출(fugitive emissions)은 각각 계산되어야 한다.

제품의 HFCs, PFCs, SF_6를 고려하느냐에 따라 이전에 Tier 1 (a와 b)로 분류되었던 것에 대한 두 개의 방식(versions)이 있다. 이전의 Tier 1a에서는 제품에 포함되어 있는 화학물질을 고려하지 않는다. 이전의 Tier 1에서는 제품에 포함되었던 화학물질을 고려한다. 두 개의 방식이 생기는 이유는 많은 국가에서 제품 내의 HFCs, PFCs, SF6의 수입과 수출에 대한 자료의 이용 가능성에 대한 어려움이 있을 것으로 예상되기 때문이다. 적어도 단기간에는 그럴 것이다. 만약 적절한 자료를 사용할 수 있다면 이전의 Tier 1b 방법론을 선호한다. 대안으로, HFCs, PFCs, SF6를 담고 있는 제품의 교류와 관련된 소비(잠재적 배출)를 고려하기 위해 대안의 활동도 자료를 이용할 수 있다.

만약 국가에서 잠재적인 배출 측정을 개발하기로 한다면, 각각의 HFCs, PFCs, SF_6를 개별적으로 추적할 것이 권장된다. 그러나 그와 같은 추적(특히 수입과 수출에 대한)은 많은 공업용 HFC/PFC 냉동장치, 발포제(blowing agents), 용제 등이 두 개나 그 이상의 HFCs / PFCs의 화합물이라는 사실로 복잡해진다. 유사한 목적을 위한 유체의 구성이 다양한 화학 회사에서 개발한 개별 공식에 따라 달라질 수 있다는 점에도 주목해야 한다.

이전의 Tier 1a

국가로 수입되거나 그 국가로부터 수출된 다양한 제품에 포함되어 있는 HFCs, PFCs, SF6의 양을 측정하는 것은 아마 어려울 것이다. 이전의 Tier 1a에서는 오직 대량으로 수입되거나 수출되는 화학물질만을 잠재적 배출 계산에서 사용하였다. 그리고 그것이 몬트리올 의정서 하의 오존 파괴 물질 (ODS)을 보고하는데 현재에서도 사용되는 유사한 접근법이다. 다음 정의가 적용된다.

식 A2.2

수입 = 대량으로 수입된 HFC/PFC/SF_6

수출 = 대량으로 수출된 HFC/PFC/SF_6

이전의 Tier 1a 적용은, HFCs, PFCs, SF6 를 담고 있는 제품의 대다수를 수입하느냐 또는 수출하느냐에 따라 잠재적 배출을 과소평가하거나 과대평가하게 될 수 있다.

화학물질의 대량 생산과 수출에 대한 자료는 화학 회사로부터 이용할 수 있어야 한다. 화학물질의 대량 수입에 대한 정보를 관세청으로부터 이용할 수도 이을 것이다. 국가적인 환경 보호 기관에서 HFCs, PFCs, SF_6의 파기된 것에 대한 기록을, 만약 존재한다면, 보유할 것이다.

각각의 화학물질에 대한 잠재적 배출 자료를 표 A2.1의 계획에 따라 계산해야 한다.

표 A2.1
이전의 Tier 1a에 따른 잠재적 배출에 대한 계산

보고 년도:
화학 물질의 유형 (예, HFC-134a):
화학물질 생산
+ 대량으로 수입하는 화학물질
- 대량으로 수출하는 화학물질
- 화학물질의 파기
= 총 량 (화학물질의 잠재적 배출)

HFCs, PFCs, SF_6의 생산과 배분에 관련된 배출을 3.10절, 플루오르 화학물질 생산(Fluorochemical Production)에 기술된 대로 고려해야 한다.

이전의 Tier 1b

이전의 Tier 1b는 이전의 Tier 1a가 확장된 것이고, 수입되고 수출되는 다양한 제품에 담긴 HFCs, PFCs, SF_6를 포함한다. 다음 정의를 적용한다.

식 A2.3

수입 = 대량으로 수입된 화학물질
+ HFC/PFC/SF_6을 포함하는 제품으로 수입된 화학 물질의 총 량
수출 = 대량으로 수출된 화학물질
+ HFC/PFC/SF_6을 포함하는 제품으로 수출된 화학 물질의 총 량

HFCs, PFCs, SF_6의 대량 생산과 수출에 대한 자료를 화학 회사로부터 이용할 수 있다. 화학물질의 대량 수입에 대한 자료는, 이론상으로는, HFCs, PFCs, SF_6를 담고 있는 제품과 장비의 수입 수출로부터 얻을 수 있고, 뿐만 아니라 관세청으로부터 얻을 수도 있다. 그러나 실제상에 있어서 관세표는 HFCs, PFCs, SF_6를 포함하고 있는 제품/장비와 이를 포함하지 않는 것들을 구분하지 않는다. 따라서 포함된 HFCs, PFCs, SF_6에 대한 대안적인 활동도 측정을 사용하는 것이 아마도 유용할 것이다. 국가적인 환경 보호 단체는 파기되는 HFCs, PFCs, SF_6의 기록을 보유하고 있을 것이다.

이전의 Tier1b를 따라 잠재적 배출을 계산하기 위해서는, 표 A2.1의 계산 계획을 제품 내 화학 물질의 수입과 수출에 까지 확장시켜야 한다. A2.2 절은 냉동 장비, 기포제 제품, 방화 장비, 용제와 에어로졸에 근거한 가능한 조직 편제(set-up)를 나타낸다. 왜냐하면 수출/수입으로부터의 배출 계산과 그 결과를 계산된 배출에 표 A2.1을 사용하여 더해야 하기 때문이다. A2.2 절에서는 절차를 설명하기 위하여 HFC-xxx를 예시로 사용한다. 그리고 그 절차는 실제로 각각의 개별 HFCs, PFCs, SF_6에 대해 실행될 것이다.

A2.2 이전의 Tier 1b를 따르는 잠재적 배출 측정에 대한 추가적인 계산

냉동

식 A2.4

$$G_{HFC\text{-}xxx} = G(Unit\ i) \cdot n(Unit\ i) \cdot F_{HFC\text{-}xxx}(Unit\ i) + \cdots + G(Unit\ m \cdot\ n(Unit\ m) \cdot F_{HFC\text{-}xxx}(Unit\ m)$$

여기에서

$G_{HFC\text{-}xxx}$ = 사전 충전된 냉동 단위[1] 내 HFC-xxx의 총 수입(수출)

$G(Unit\ I)$ = i유형 냉동 단위 내 냉매 충전량 (i=i→m)

$n(Unit\ I)$ = 수입된(수출된) i유형 냉동 단위의 수

$F_{HFC\text{-}xxx}(Unit\ I)$ = I유형 단위의 냉매 (화합물) 내 구성요소 HFC-xxx[2]의 fraction

기포제 제품[3]

식 A2.5

$$G_{HFC\text{-}xxx} = V(Foam\ i) \cdot J_{HFC\text{-}xxx}(Foam\ i) + \cdots + V(Foam\ m) \cdot J_{HFC\text{-}xxx}(Foam\ m)$$

여기에서

$G_{HFC\text{-}xxx}$ = 기포제(foams) (연질 그리고 경질) 내 HFC-xxx의 총 수입(수출)

$V(Foam\ I)$ = 수입된(수출된) i유형 기포제의 부피(volume)

$J_{HFC\text{-}xxx}(Foam\ I)$ = i유형 기포제의 부피 단위 당 blowing agent HFC-xxx의 남은 량

방화제 (사전-충전된)

식 A2.6

$$G_{HFC\text{-}xxx} = G(Unit\ i) \cdot n(Unit\ I) \cdot F_{HFC\text{-}xxx}(Unit\ i) + \cdots + G(Unit\ m) \cdot n(Unit\ m) \cdot F_{HFC\text{-}xxx}(Unit\ m)$$

여기에서

$G_{HFC\text{-}xxx}$ = 사전 충전된 방화제 내 HFC-xxx의 총 수입(수출)

$G(Unit\ I)$ = i유형 방화제 단위 내 방화 agent 의 충전 (i = i → m)

$n(Unit\ I)$ = 수입된(수출된) i유형 방화제 단위의 수

$F_{HFC\text{-}xxx}(Unit\ I)$ = i유형 방화제 단위 내 구성요서 HFC-xxx[4]의 fraction

---

[1] '냉동 단위(Refrigeration units)은 냉장고, 제빙기, AC window units, split units, 냉각장치(chillers) 등일 것이다.

[2] 많은 냉동 단위는 HFC/PFC 화합물을 포함할 것이다. 각 화학물질(HFC-xxx)의 비율을 고려해야 한다.

[3] 냉동장치, 절연 패널(panels), 조립식 파이프 부문, PU formulated systems 등과 같은 다양한 제품에서 절연 그리고 비절연 기포제(foam)를 포함한다.

[4] 다수의 방화제 단위가 HFC/PFC 화합물을 포함할 것이다. 각각의 화학물질(HFC-xxx)의 비율을 고려해야 한다.

용제(Solvents)

식 A2.7

$$G_{HFC\text{-}xxx} = G(Solvent\ i) \cdot F_{HFC\text{-}xxx}(Solvent\ i) + \cdots + G(Solvent\ m) \cdot F_{HFC\text{-}xxx}(Solvent\ m)$$

여기에서

$G_{HFC\text{-}xxx}$ = 용제 내 HFC-xxx의 총 수입(수출)

G(Solvent I) = 수입된(수출된) 유형 *i* 용제의 양

$F_{HFC\text{-}xxx}$(Solvent i) = 유형 I 용제내의 HFC-xxx의 구성요소의 fraciton

(원문: fraction of component HFC-xxx[5] in solvent of type I)

에어로졸(Aerosols)

식 A2.8

$$G_{HFC\text{-}xx} = G(Can\ i) \cdot n(Can\ i) + \cdots + G(Can\ m) \cdot n(Can\ m)$$

여기에서

$G_{HFC\text{-}xx}$ = 에어로졸 캔 내 HFC-xxx의 총 수입(수출)

G(Can i)= i유형 에어로졸 캔 내 HFC-xxx 추진제의 충전량

n(Can i)= 수입된(수출된) I유형 에어로졸 캔의 수

참고문헌

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

[5] 용제는 종종 순수한 HFCs 또는 PFCs가 아니다. 용제 구성 (HFC-xxx)내 HFC/PFC fraction을 고려해야 한다.

첨부 3

1996년 이후의 개선

저자

Jochen Harnisch (독일)와 William Kojo Agyenman-Bonsu (가나)

Paul Ashford (영국)와 Scott Bartos (미국), Lisa Hanle (미국), Charles Jubb (호주), Jerry Marks (미국), Archie McCulloch (영국), Robert Lanza (미국), Jos G. J. Olivier (네덜란드), Deborah Ottinger Schaefer (미국), Timothy Simmons (영국)

목 차

Annex 3 1996년 이후의 개선 A3.4
A3.1 광물 산업 배출 A3.4
A3.2 화학 산업 배출 A3.4
A3.3 금속 산업 배출 A3.5
A3.4 연료와 용매 사용으로부터의 비에너지 제품 A3.6
A3.5 전자산업 배출 A3.6
A3.6 오존층 파괴물질의 불소화 대체물질의 배출 A3.7
A3.7 다른 제품 제조 및 사용 A3.7
A3.8 연료의 비에너지 사용으로부터의 완전성과 CO_2의 할당 A3.8

ANNEX 3 1996년 이후의 개선

이 권은 개정된 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (1996 IPCC Guidelines)에서의 '산업 공정(Industrial Processes)'과 '용제와 다른 제품 사용' 부문(section)에 대한 주요 변화와 개선점을 포함하고 있다. 첫째로, 이 가이드라인(*2006 IPCC Guidelines*)은 에너지 분야(sector)와 산업 공정 분야에서 연료의 연소로부터 방출되는 이산화탄소(CO_2)의 할당에 대한 실제적인 지침을 소개하고 있으며, 이 점은 *1996 IPCC 가이드라인*에서 분명하지 않았던 것이다. 둘째로 이 가이드라인은 배출은 그것이 일어나는 산업에서 보고되어야 한다는 원칙에 근거하고 있다. 따라서 배출이 보고되는 카테고리에 변화가 있었다. 특히 석회암(limestone)과 백운암(dolomite), 기타 탄산염(carbonates)의 사용에 있어서 그러하다.

아래 나열되어 있는 다른 주요 변화와(또는) 개선은 이 권의 각 장과 관계되어 있다.

A3.1 광물 산업 배출

이전의 지침 문서와 비교해볼 때, *2006 IPCC 가이드라인*의 광물 장에는 세 가지 주요한 변화가 있다. 첫째로, 양(quantity)과 유형, 생산 공정의 탄산염 투입구성 (composition of carbonate input)에 근거하여 배출을 측정하는 모든 배출원(source) 카테고리에 대해 새로운 입력-근거 방법(input-based method)이 도입되었다. 예를 들어, 시멘트 생산 중 clinker 산출물(output)에 근거한 Tier 2 방법에 추가하여, kilin에 대한 탄산염 입력으로부터 배출을 측정하는 것에 기초한 대안적인 방법이 정교화 되어 있다.

둘째로, 석회암과 백운암, 기타 탄산염의 사용으로부터의 배출을 어디에 보고해야 하는가를 명시하는 분명한 지침이 개발되었다. 위에서 주목하였듯이, 이 가이드라인은 배출이 일어나는 산업에 배출이 보고되어야 한다는 원칙에 입각하고 있다. 예를 들어, 석회암이 철과 강철의 용매제(flux)로 사용된다면, 석회암의 사용으로부터의 배출은 철과 철강 산업 하에 보고되어야 한다. 광물 산업에서 사용되는 석회암과 백운암으로부터의 배출만 광물 산업 장(Chapter)에 보고되어야 한다. 인벤토리 작성자는 이와 같은 변화가 어떻게 영향을 주는지, 특히 광물 산업, 화학 산업, 금속 생산에 대한 배출 측정에 어떻게 영향을 주는지 신중하게 평가하도록 장려된다.

이전의 지침이 오직 석회암과 백운암 사용만을 강조했던 반면에, 이 지침은 마그네시아(magnesia)와 탄산나트륨(sodium carbonate)을 포함하는 기타 탄산염의 사용으로부터의 배출을 측정하는 방법도 개괄하고 있다. 이 가이드라인은 또한 유리 생산으로부터의 배출을 측정하는 세 개의 접근법을 확립한다. 특정 배출 방법을 제공하지는 않았지만, 탄산염을 포함하고 있는 광물의 산화(예를 들어, phospate ores)로 인한 산 유도(acid-induced) CO_2의 방출도 고려하고 있다.

A3.2 화학 산업 배출

배출의 새로운 배출원이 소개되었다 : 카프로락탐과 글리옥살, 글리옥살 산의 생산으로부터의 아산화질소(N_2O) 배출과 이산화티타늄 생산으로부터의 CO_2 배출. 소다회 생산은 광물 산업에서 화학 산업으로 재배치되었다. 소다회 생산 부문에 종합적 (솔베이) 소다회 생산 공정이 소개되었는데, 이것은 *1996 IPCC 가이드라인*과 *IPCC 국가 온실가스 인벤토리에 대한 우수실행지침 및 불확도 관리*(GPG 2000)에는 없던 것이다.

CO_2 배출계수가 석유 화학 제품 생산 공정에 추가되었으며, 메탄올과 에틸렌, 2염화에틸렌/염화비닐, 산화에틸렌, 아크릴로니트릴, 카본블랙 생산에 대한 배출계수를 포함하고 있다. 메탄 배출계수는 이 석유 화학 제품 생산 공정에 대해 최신화되었다.(업데이트 되었다.) 스티렌 생산은 더 이상 지침 문서에 포함되어있지 않다. 모든 배출원 카테고리에 대한 Tier 1, 2, 3 방법론의 체계적인 설명이 본문에 제시되어 있다.

배출-관련된 공정의 설명이 확대되어 해당 화학과 기술면에 대한 정보를 더 많이 제공하고 있다.

좀 더 체계적인 지침이 제시되어 공급 원료나 환원제로 사용되는 연료 제품을 중복 계산하지 않도록 하고 있다(에너지 부문과의 교차 문제(cross-cutting issue)). 이 문제는 암모니아 생산과 탄화물 생산, 이산화티타늄, 석유 화학 제품 생산에 관하여 논의되고 있다. (3.2, 3.6, 3.7, 3.9절)

요소(Urea) 생산에서 CO_2 사용에 대한 논의가 암모니아 생산 부문에 포함되어 있다. 암모니아 공장에서 생산되는 요소(urea) 산출량을 적절히 고려하기 위하여 이전에는 산업 공정 부분에서 설명하였던 요소 사용으로부터의 배출이 요소가 사용되는 부문에 따라 재분배 되었다. (에너지 부문과 농업, 산림과 다른 토지 이용 (AFOLU) 부분) 암모니아 생산 과정에서 재생된 CO_2를 사용하여 제작한 다른 화학제품은, 이전처럼, 암모니아 생산으로부터의 배출에서 함께 설명된다.

HCFC-22 생산으로부터의 HFC-23 배출 계산에 대한 방법론은 그 산업 내에서 사용되는 주요 방법을 통합했으며, Tier 3에서의 지속적이고 직접적인, proxy, 공정 내 측정과 Tier 2 내의 효율에 근거한 물질 수지 방법(material balance method)을 포함한다. 게다가, 분명한 지침이 수소화염화불화탄소(HFCs)와 육불화황(SF_6), 헥사플루오르(UF_6)를 포함하는 다른 플루오르화된 혼합물 제품으로부터의 누출(fugitive) 배출과 부산(by-product) 배출에 더해졌다.

A3.3 금속 산업 배출

*2006 IPCC 가이드라인*의 금속 산업 부문은 다양한 변화를 통합한다. 광물을 담고 있는 탄소염을 포함하는 탄소와 탄소를 포함하는 물질이 금속 산업 공정에서 에너지의 직접적인 생산 외 다른 목적으로 사용되는 경우, CO_2 배출을 금속 지침 내에서 고려한다. 예를 들어, 알루미늄 생산에 대한 탄소-기반 전극(carbon-based electrode)로부터의 CO_2 배출은 현재 알루미늄 지침에 포함되어 있고, 철과 강철 생산에 사용되는 석회암과 백운암의 사용으로부터의 CO_2 배출은 철과 강철 생산에 대한 지침에 포함되어 있다.

금속 산업 부문은 현재 야금(metallurgical) (석탄) 코크스 생산으로부터의 CO_2와 CH_4 배출 측정에 대한 지침을 포함하고 있다. 그러나 야금 코크스 생산으로부터의 CO_2와 CH_4 배출은 산업공정 및 제품 이용(IPPU) 부문 보다는 에너지 부문에서 보고되어야 한다. 철광석과 다른 철을 포함한 원료로부터의 직접환원철(Direct Reduced Iron, DRI)과 펠렛(pellets), 신터 생산에 대한 배출계수가 현재 철과 강철 생산 하에 포함되어 있다. 개별 CO_2 배출계수가 용광로 철 제작과 전로(Basic Oxygen Furnace)와 전기로(Electric Arc Furnace), 평로(Open Hearth Furnace) 공정을 이용한 강철 제작에 대해 제공되고 있다.

백운암과 고토석(마그네사이트) 원료에 근거한 주요 마그네슘 생산으로부터의 CO_2 배출은 이 절

에 포함되어 있다. 게다가 아연과 납의 생산으로부터 야기되는 CO_2 배출을 계산하기 위한 새로운 지침이 개발되었고 이용할 수 있다. 주요 그리고 2차적인 납과 아연 생산 공정에 대한 개별적인 CO_2 배출계수가 제공되고 있다. 합금철 생산 공정에 대한 좀 더 포괄적인 지침이 또한 포함되어 있다. 커버가스(cover gas)로서의 육불화황을 대신하고자 하는 노력을 반영하는 새로운 가스에 대한 개정된 지침은 마그네슘에 대한 *2006 IPCC 가이드라인*에서 제공된다. 마지막으로 계산 계수가 측정된 배출계수에 대한 최근 경험, 계산에 영향을 주는 전형적인 과정 물질의 조합을 반영하기 위해 업데이트 되었으며, 몇 몇 예시로 새로운 식이 포함되어 있다.

A3.4 연료와 용제 사용으로부터의 비에너지 제품

5장에 기술된 거의 모든 배출원 카테고리는 IPPU 부문 내에서는 새로운 것이다. *1996 IPCC 가이드라인*은 아스팔트와 도로포장으로부터의 배출을 다루었지만 그렇게 상세하게 다루지는 않았다. 여기에서 다루어지는 제품은 윤활제와 파라핀 왁스, 역청/아스팔트, 용제로 구성된다.

이전의 윤활제로부터의 배출은 윤활제 사용으로부터 일어나는 배출과 열 상승(heat raising)을 위해 사용되는 폐기 윤활제로부터의 배출을 구분하지 않고 연료 연소 하에서 다루어졌다. 파라핀 왁스의 경우에도 동일하다. 아스팔트 배출은 도로 포장과 아스팔트 루핑(roofing), 다른 용도를 위한 아스팔트의 생산과 사용을 일컫는다. 아스팔트 배출은 또한 아스팔트 발포(blowing)로부터의 배출을 포함한다. '2D3 용제사용' 하위용도는 *1996 IPCC 가이드라인*의 3A와 3B 하위용도를 일컫는다. 아스팔트와 용제가 직접적인 온실가스 배출의 중요한 배출원은 아니지만 오존 전구물질(precursors) (비메탄 휘발성 유기 화합물 (NMVOC)과 아스팔트의 경우에는 또한 일산화탄소(CO)) 의 배출원이기 때문에 그것들에 대한 기술을 제공하기 위해 본 장에 포함한다. 특히, 용제 사용은 매우 NMVOC의 실질적인 배출원이다.

A3.5 전자 산업 배출

*1996 IPCC 가이드라인*와 *GPG2000*은 일곱 개의 탄소 화합물에 대한 반도체 제조로부터의 배출을 측정하는 방법을 기술했다 : CF_4, C_2F_6, CHF_3, C_3F_8, c-C_4F_8, NF_3, SF_6. *2006 IPCC 가이드라인*은 추가적인 제조 부문과 더 많은 가스를 포함하는 것으로 범위를 확장하고, Tier 1 방법론과 배출계수를 업데이트하며 배출계수와 활동도 자료에 대한 불확실성에 대한 분명한 측정을 제공한다. *2006 IPCC 가이드라인*은 LCD(liquid crystal display) 제조와 광기전성 (PV) 셀 제작, 반도체 제조에서 열전도유체(heat transfer fluids)의 사용으로부터의 배출을 통합한다. 게다가 *2006 IPCC 가이드라인*의 온실가스의 수가 difluoromethane (CH_2F_2)과 octofluorocyclopentene (C_5F_8), hexafluorbutadiene (C_4F_6), octafluorotetrahydrofuran (C_4F_8O) 를 포함하는 것을 확대되었다; F_2와 COF_2는 온실가스가 아니지만, 그것들을 사용하는 도중에 CF_4가 형성되기 때문에 추가되었다. 모든 부문에 대한 새로운 기본 배출계수와 활동도 자료를 포함하는 새로운 Tier 1 방법론을 채택한다.

A3.6 오존층 파괴물질의 불소화 대체물질의 배출

본 장에서 다루는 다수의 배출원 카테고리(용도)에서의 배출이 *1996 IPCC 가이드라인*에 쓰인 이후 상당한 연구의 주제이었다. 특히 이는 지연되는 배출 (예를 들어, 냉동, 기포제(foam)와 화재예방) 부문의 경우에 있어서 그렇다. 그리고 지연되는 배출에 대해서는 Gamlen에 의해 제안된 이

전의 배출계수 측정과 다른 것들이 다양한 하위용도로부터의 다양한 배출량을 반영하기 위해 개발되어 왔다. 많은 것들이 GPG2000에 포함되었다.

이처럼 개선된 이해의 결과 중 하나는 *1996 IPCC 가이드라인*에서 Tier 1으로 사용되는 잠재적 배출 접근법이 더 이상 적절하지 않다는 자각이다. 잠재적 배출 접근법은 여전히 이 권의 Annex 1에 배출원의 완전성에 대한 확인도구로, 그리고 화합물(compound) 당 활동도 자료의 총합, 이것은 잠재적 배출 접근법에서 계산한 분명한 국내 소비량의 총합과 동일해야 하는데, 이에 대한 QC 검사의 확인 도구로 기술되어 있다. 그러므로 이 가이드라인에서 제안하고 있는 Tier 1 접근법은 실제적인 배출(actual emissions) 측정 방법이다. 그렇지만 종종 배출계수에 근거하기도 하며 더 나은 정보를 이용할 수 없다면 세계적/지역적 활동도 자료를 사용할 잠재성이 있다. 이 권의 7장은 이와 같은 새로운 Tier 1 접근법의 예와 어떻게 그것을 이용하는 가에 대한 지침을 포함하고 있다. 단순화된 물질수지 접근법은 또한 적절한 부문, 전형적으로 압력이 걸린(pressurized) 장비가 사용되고 보수되는(serviced) 경우에 (냉동과 화재 예방) 유지되고 있다. 에어로졸에 포함된 용제를 다루는 것에도 주위를 기울였다. 지금 제품에 기반 한 모든 에어로졸로부터의 배출은, 그것들의 목적에 관계없이, 에어로졸 용도 내에서 보고될 것이다.

활동도 정보는 ODS 대체물 영역에서 지속적으로 가장 큰 도전이었으며, 특히 두 가지 이유로 국가수준에서 그렇다. 첫 번째 이유는 HFCs와(또는) PFCs를 담고 있는 제품 교역을 쉽게 모니터할 수 없다는 것이고 두 번째 이유는 특정 화학 물질에 대한 활동도 자료의 기밀 문제가 보호되어야 할 필요가 있다는 것이다. 그러므로 평판이 좋은 배출원으로부터의 세계적인/지역적인 활동도 자료는 몇몇 보고 국가에 상당한 도움을 줄 것이다. 그리고 IPCC 배출계수 데이터베이스 (EFDB)가 그와 같은 자료에 대한 중심 역할을 할 수 있다는 것이 제안되었다. 그러나 EFDB를 포함함으로써 적당한 과정을 따랐다는 확실성의 수준이 제공되는 한편, 인벤토리 작성자는 그들의 목적에 맞는 자료의 적절성을 평가해야 하는 책임을 지게 될 것이다.

A3.7 기타 제품 제조와 사용

*1996 IPCC 가이드라인*은 전기 장비로부터 SF_6의 배출 측정에 대한 두 개의 방법만을 포함하였다: (1) 배출과 화학적 소비가 동일한 잠재적 접근법과 (2) 국가-특유 또는 전 세계적 배출계수를 작동 장비와 퇴각되는(retiring) 장비 각각의 SF_6 양에 적용시킨 단순 배출계수에 근거한 접근법. GPG 2000은 세 개의 Tier 3 물질수지 방법을 소개하였고, 각각의 전과정(life cycle) 단계에 대한 배출계수를 제공하는 Tier 2 배출-계수에 근거한 접근법을 좀 더 상세히 소개 하였다. 게다가 GPG 2000은 후자에 대한 지역적인 기본 배출계수를 제공 하였다.

*2006 IPCC 가이드라인*은 GPG2000을 다음 4개의 방법으로 단순화 한다: (1) 두 개의 Tier 3 물질수지 방법을 물질수지와 배출-계수-근거 구성요소를 둘 다 포함하는 유연한 Tier 3 방법으로 대체함, (2) 국가-수준 물질수지 방법을 QA/QC 부문으로 이동, (3) 잠재적 배출을 측정하는 방법을 방법론적 선택 논의에서 QA/QC에 그것이 사용될 수 있는 개별적인 부문으로 이동, (4) 잠재적 배출 접근법을 기본 배출-계수-근거 접근법으로 대체함, 그리고 그것은 Tier 2에서 Tier 1로 옮겨짐. 이와 같은 변화는 하나의 Tier 3 방법과 하나의 Tier 2 방법, 하나의 Tier 1 방법을 남긴다. 이 가이드라인은 또한 GPG 2000에 제시되어 있는 지역적인 배출계수를 업데이트하고, 추가적인 유형의 장비와 추가적인 지역에 대한 값을 제공한다. 마지막으로 이 가이드라인은 선호하는 자료를 모

든 설비에 대해 사용할 수 없을 때에 대안이 되는 활동도 자료를 선택하고 사용하는 것에 대한 새로운 지침을 통합한다. 이와 같은 업데이트는 과거 몇 년간의 보고에서 얻어진 경험을 통합한 것이다.

연구와 산업 가속기(accelerators)로부터의 배출 측정과 레이더 정찰 비행기(radar reconnaissance planes) (예를 들어, AWACS)로부터의 배출 측정에 대한 특정 방법이 'SF_6와 PFCs의 다른 제품에서의 사용' 부문에 추가되었다. 인벤토리 준비자를 안내하기 위해 SF_6와 PFCs의 잠재적 추가 배출원을 표시하는 목록(indicative list)을 추가하였다. 또한 의학 용도와 같은 제품 사용으로부터의 N_2O 배출에 대한 지침을 개선하였다.

A3.8 연료의 비에너지 사용으로부터의 완전성과 CO_2의 할당

두 개의 품질관리(QC) 접근법-CO_2 완전성 검사와 원료 균형 검사(feedstock balance check)-이 화석 연료의 원료(feedstock)/환원제 사용으로부터의 CO_2 배출을 설명하는 완전성 검사로 소개되었다. 이 과업의 조직과 완성을 용이하게 하기 위한 지침을 제공하고 있다: (a) 다양한 하위 수준에서 보고된 비에너지 사용 배출원(원료(feedstock)와 환원제로서의 사용을 포함)으로부터의 상향식으로 계산된 CO_2 배출 총 량이 완전하고 일관적인지 검사하는 것과 (b) 인벤토리에 포함된 공정의 원료(feedstock)/환원제 요건이 국가적인 에너지 통계에 기록된 비에너지 사용/원료(feedstock) 공급과 균형을 이루고 있는 지 검사하는 것. 게다가 이와 같은 배출이 어떻게 인벤토리에 할당되고 어떻게 완전성이 검사되는가를 문서화하는 것과 보고서 작성하는 것에 대한 지침을 제공한다. (1.4 절)

1.3 절에서는 화석연료의 비에너지 사용으로부터의 CO_2 배출을 측정하고 보고하는 것을 안내하는 원칙에 대한 설명을 제시하고 측정 방법과 관련된 자료 문제를 기술한다.

첨부 4

산업 공정 및 제품 사용 부문 용어집

첨부 4 산업 공정 및 제품 사용 부문에 대한 용어

이번 별첨은 산업공정 및 제품사용(Industrial Processes and Product Use; IPPU) 부문에 대한 이번 책자에서 사용되는 용어의 약자와 정의를 제공한다. 이 첨부는 이 권 뿐만 아니라 다른 권에서 쓰이는 용어들의 정의를 제공하는 제 1권의 전체 '용어집'과 연계하여 사용되어야 한다.

용어집

아세틸렌 블랙 공정 ACETYLENE BLACK PROCESS

아세틸렌으로부터 카본블랙을 생성하는 열 분해 과정.

아디프산 ADIPIC ACID (헥사디오익산(Hexanedioic acid)

화학산업에서 주로 쓰이는 카르복시산으로, 나일론 6.6의 생성에 중간적 역할을 한다. 산화과정을 통해 시클로헥산으로부터 상업적인 목적으로 생산된다. 아디프산을 만들어내는 과정의 부산물로 아산화질소(N_2O) 가 나온다.

암옥시화반응 AMMOXIDATION

암모니아와 산소가 존재하는 가운데, 올레핀, 파라핀 등을 니트릴로 전환하는 과정. 전형적인 예로는 아크릴로니트릴을 만들기 위해 프로필렌(C_3H_6), 암모니아, 산소가 반응하는 것이다.

아스팔트 ASPHALT

아스팔트는 역청(bitumen)과 골재(거친것이나 모래처럼 고운 것)가 혼합된 제품으로, 도로와 인도 포장에 사용하며, 아스팔트 루핑과 산업용으로 쓰일때는 매커덤(macadam)으로도 알려져있다. 주된 아스팔트 유형은 다음과 같다 : 가열혼합식아스팔트(Hot Mix Asphalt; HMA), 액화아스팔트, 컷백(cutback) 아스팔트, 느린-경화(slow-cure) 아스팔트(도로유(road oil)와 동의어), 유화아스팔트, 매스틱(mastic) 아스팔트 등이 있다. 컷백과 유화 아스팔트는 보통 프라임코트와 택코트용으로 쓰인다; 매스틱 아스팔트는 루핑에 쓰인다. 도로 포장시, 골재화합물(굵은것이나 모래처럼 잔 것)과 뜨거운 역청은 압축된 후 식혀지면서, 우리가 아는 아스팔트가 된다. 골재는 아스팔트 화합물의 약 90-96%를 이룬다(아스팔트 결합재가 나머지 4-10%를 이룸). '아스팔트'라는 용어는 미국에서는 보통 석유정제과정의 찌꺼기인 역청(가공되지 않은 아스팔트; crude asphalt)과 역청으로부터 생성된 '아스팔트 결합재', 그리고 도로포장이나 기타 용도로 쓰이는 '아스팔트 콘크리트'를 가르킨다.

아스팔트 결합재(바인더) ASPHALT BINDER

가열혼합식 아스팔트 콘크리트(Hot Mix Asphaltic Concrete)와 기타 포장 용도에서 결합재로 쓰이는 역청(가공되지 않은 아스팔트). 미국에서는 비공식적으로 이를 '아스팔트 시멘트'로 부르기도 한다.

아스팔트 콘크리트 ASPHALT CONCRETE

아스팔트 콘크리트는 아스팔트 결합재(역청, 아스팔트 시멘트)와 광물질골재(mineral aggregate)를 혼합하여, 층층으로 깔고 다진 것이다. 가열혼합식아스팔트콘크리트(가열아스팔트화합물이라고도

부름)는 혼합(mixing) 이전에 미리 가열된 아스팔트 결합재와 함께 결합된(bound) 약 95%의 광물질골재 화합물(combination)을 말한다. 미국에서는 비공식적으로 이를 '아스팔트'나 '아스팔트 콘크리트'로 부른다.

뱅크 (7장 및 8장에 대해) BANK

뱅크란 현재 쓰이는 기기, 화학적 비축물(stockpiles), 발포제(foam), 그리고 대기 중으로 아직 방출되지 않는 기타 생산물들이 포함된 물질들의 총합이다. 이 용어는 전통적으로 오존층 파괴물질 및 기타 불소화 화합물들의 대용품(substitutes)에 대해 사용된다.

전로 BASIC OXYGEN FURNACE (BOF)

선철(pig iron)과 고철(scrap steel)을 사용하는 제강의 주된 수단. 주조된 투입량(molten charge)에 산소를 불어넣고, 철 안에 있는 탄소(약4%)를 산화시켜, 이를 강철의 조건에 요구되는 수준(약 0.5%)으로 환원시킨다. 생성된 이산화탄소와 일산화탄소는 가스와 집진장치로 휩쓸려간다. 산화과정은 주조된 투입량을 가열하고 첨가된 고철이 녹도록 돕는다. 전로는 오스트리아에서 'Linz-Donawitz' 강철제조과정이 처음 개발된 후로 'LD-전로'(Linz-Donawitz converter)로도 불린다.

역청 BITUMEN

역청은 콜로이드 구조를 가진 고체, 준고체(semi-solid), 또는 점성이 있는 탄화수소로써, 색깔은 갈색에서 검정색을 띄며 자연적으로 생성되거나 원유 증류의 잔여물로써 얻어지는데, 상압증류(atmospheric distillation)로부터 나온 오일 잔여물을 진공 증류함으로써 얻어진다. 이는 아스팔트 콘크리트의 한 성분으로(보통 그 화합물의 4~10%) 골재(다른 부분을 구성하는 광물질)를 묶어두는 역할을 하고, 일반적으로 도로건설이나 루핑재료, 스프레이 씰(spray seal) 용도로 쓰인다. 보통(80-90%) 도로 포장에 쓰인다. 역청은 액체형태로 유지하기 위해 보통 약 150˚C에서 저장된다. 미국에서는 역청을 일반적으로 '아스팔트'나 '아스팔트 결합재'로 부른다.

고로 BLAST FURNACE

철강산업에서 쓰이는 고로(高爐)로, 공기 분사(a blast of air)로 인해 이 안에서의 연소가 더욱 강화된다. 특히 광석(ore), 코크스, 용제(flux)등의 가열혼합물(hot mixture)들로 공기를 불어넣으면서 철을 제련하기 위해 쓰인다.

블론 아스팔트 BLOWN ASPHALT

산화된 역청과 동의어이다. 최종생산물을 산업적으로 이용하는데 필요한 물리적 성질(physical properties)을 생산하기 위해 가열된 공기를 불어넣은 아스팔트를 말한다. 산화아스팔트는 보통 루핑작업, 파이프 도료, 수경용도로 쓰인다. '공기-주입 아스팔트(air-blown asphalt)' 또는 '공기-정련 아스팔트(air-refined asphalt)'로 알려져 있다.

애관(碍管) / 부싱 BUSHING

하나 혹은 여러 전기 도체가 벽이나 탱크와 같은 구획(partition)을 뚫고 지나가도록 돕는 장치로, 이로부터 도체를 절연시킨다. 구획에 부착하는 수단(예, flange)이 부싱의 일부분을 이룬다.

소성 CALCINATION

시멘트나 석회(lime) 제조에 있어서의 화학과정. 원자재(주로 탄산염)가 가마에서 가열되며 금속산화물과 이산화탄소를 만들어낸다 ; 예. $CaCO_3$ + Heat = CaO +CO_2. 보다 일반적으로, 소성은 물을 제외한, 구조적으로 결합된 휘발성물질을 열처리로 추출해가는 과정(a process of heat-induced driving off of structurally-bound volatiles)이다.

카프로락탐 CAPROLACTAM

카프로락탐($NH(CH_2)_5CO$)은 나이론-6 섬유와 플라스틱의 단위체로, 카펫제조에서 쓰이는 섬유의 상당한 부분을 차지한다. 카프로락탐 제조의 상업 과정은 톨루엔(메틸벤젠)이나 벤젠을 기초로 한다.

카본블랙 원료 CARBON BLACK FEEDSTOCK

중방향유(heavy aromatic oil). 석유정제과정이나 야금(석탄)코크스 생산과정중의 부산물.

탄소 물질수지계산 CARBON MASS BALANCE CALCULATION (3.9절에 대해)

공정으로 투입되고 공정에서 산출되는 각 공정 흐름(process flow)의 질량유량(mass flow)과 탄소함량을 확인함으로써 화학 공정으로부터 총 탄소 배출량을 산정하는 방법. 염두에 두어야 할 공정 흐름(process stream)으로는 원자재(예, 원료(feedstock)), 보조 연료, 주 생산품, 보조 생산품, 고형 및 액상폐기물, 배기가스 유량(즉, 정화가스(purge gas), 배출가스(off-gas))등이 있다.

탄산염 CARBONATES

라디칼 CO_3^{-2}를 포함하는 화합물. 소성에 따라(Upon calcination), 탄산염 라디칼이 분해하여 이산화탄소를 방출한다. 광물산업에서 쓰이는 흔한 탄산염으로는 탄산칼슘($CaCO_3$) 또는 방해석(calcite); 탄산마그네슘($MgCO_3$) 또는 마그네사이트 ; 탄산칼슘-마그네슘 ($CaMg(CO_3)_2$) 또는 돌로마이트가 있다.

촉매 CATALYST

화학 반응 속도를 가속화시키는 물질. 원자재로서 소비되지 않으며, 그 반응으로 인한 화학 산물이 아니다.

촉매 선택성 CATALYST SELECTIVITY

특정 공정의 주요 생산물로 전환되는, 촉매 반응 공정에 대한 주 정제원료(feedstock)의 백분율

촉매 소각 CATALYTIC INCINERATION

이산화탄소와 수소에 대한 유기화합물의 산화. 저온반응에서 금속촉매를 사용한다. 촉매소각은 열소각보다 낮은 온도에서 일어난다.

촉매산화 CATALYTIC OXIDATION

촉매를 사용하여 원료(feedstock)(예: 천연가스)가 이산화탄소와 수소로 산화되는 것을 일컫는다.

시멘트 킬른 분진 CEMENT KILIN DUST(CKD)

비소성(non-calcined)로부터 완전 소성된 킬른으로 화로나 건식정련(pyroprocessing) 라인에서 생성됨. CKD는 킬른으로 부분적으로나 완전히 재활용될 수 있다.

센터라인 공정 CENTERLINE PROCESS

상품화를 위한(commercially-ready) 제조 장비의 명세된 성능(performance specifications)을 관장하는, 공정상 변수들의 명목상 가치(nominal values)를 의미한다. 기체 유동(gas flows), 챔버 압력(chamber pressure), 플라즈마 파워등에 대한 명목상의 가치들을 말한다. 반도체기기제조업체에서는 특정요구사항을 위해 최적화될 수 있도록 이같은 조건을 수정하는 일이 자주있다.

누전 차단기 CIRCUIT BREAKER

기계적 전환 방식. 보통 회로 조건에서 전류를 만들고, 흐르게 하고 차단할 수 있다. 또한 특정시간에 전류를 생성하고 흐르게 할 수 있으며, 합선(short circuit)된 경우처럼 비정상적인 회로조건은 차단할 수도 있다.

클링커 CLINKER

킬른에서 시멘트 제조 중 고온에서 생성된 중간생성물. 화로에서 탄산칼슘은 소성하여 석회(CaO)와 이산화탄소가 된다. 석회(CaO)는 이산화규소(SiO2) 및 기타 산화물과 반응하여 클링커라 부르는 반유리화단괴(노듈)에서 수압반응적광물(hydraulically reactive minerals, 주로 규산칼슘)을 형성한다. 클링커는 곱게 다져져서 (보통 석고 소량과 함께) 시멘트를 형성한다. 클링커 제조에서 나오는 이산화탄소(소성과 킬른연료 연소로부터 생긴)는 보통 폐기물로 대기중으로 방출되며 지구 이산화탄소배출의 주된 원인이 된다.

폐쇄식 압력 시스템 CLOSED-PRESSURE SYSTEM

총 사용기간(life time) 동안 주기적으로 가스 리필을 요하는 전력 기기. 이런 기기에는 보통 기능단위당 500~700 kg이 들어간다. 일반적으로 변속기가 이 범주에 속한다. 최신 IEC 기준에 따르면, 신형 폐쇄식 압력 시스템은 각 부분의 상대적 누출율(leak rate)에 의해 고유화된다(specified); SF_6에 대한 기준가는 연 0.5%와 1%다. 그러나 이 분야에서 구형 폐쇄식 압력 시스템은 상당히 높은 누출율을 보일 수도 있다.

콜타르 COAL TAR

코크스를 만들기 위해 역청탄(흑탄)을 증류하는 과정에서 생성된 액상 타입의 부산물. 수많은 유기화합물을 포함하는 점성이 있는 검은 액체이다. 콜타르를 더 증류하면 여러 가지 방향족화합물(aromatic compounds)(증류액 distillates)과 콜타르 피치(carbon pitch)가 나올 수 있다. 콜타르 생산품은 아스팔트 루핑, 방수가공, 단열재, 그리고 수많은 염료, 약재, 페이트의 원자재로 쓰인다.

코크스로 가스 COKE OVEN GAS

가스공장과 도시 가스 플랜트(municipal gas plants)와 관련 없는, 코크스 가스발생기(producer)와 강철공장에 의해 얻어지는 고체연료탄화와 가스화작용의 부산물

혼합 개질 COMBINED REFORMING
재래/전통 개질공정과 촉매산화반응이 합쳐져 메탄올을 만드는 것

재래/전통 개질 CONVENTIONAL REFORMING
합성가스를 만드는 수증기개질반응과 메탄올을 만드는 메탄올-합성 가스반응을 혼합한 것

소멸 DESTRUCTION
불소화 온실가스의 경우 '소멸'이란, 거의 모든 화합물이 불소화 온실가스가 아닌 하나 이상의 안정적인 물질로 영구히 변화되거나 분해되는 과정을 의미함.

소멸 또는 제거 효율 DESTRUCTION OR REMOVAL EFFICIENTY (DRE)
소멸 또는 제거 효율이란, (탄소나 이산화탄소 등가 원칙 하에서) 관련된 오염물질을 모두 제거하거나 소멸시키는 제어장치의 소수(decimal fraction)로 표현되는 효율(efficiency)을 의미한다. DRE = 1 - (배출 제어장치로 유입되는 오염물질 양에 대해 배출 제어장치를 빠져나가는 오염물질의 양의 비율). 관련된 오염물질이란 이 가이드라인(제 1권, 8장 참조)에서 다루는 일체의 온실가스를 의미하며 소멸 과정중에 생성되는 것도 포함한다.

직접 염소화 DIRECT CHLORINATION
대체된 염소화합물을 생성하기 위한 화합물의 직접적인 반응. 예) 염소와 함께 에틸렌(C_2H_4)을 통해 2염화에틸렌(ethylene dichloride)을 생성하는 것.

직접환원철 DIRECT REDUCED IRON
'해면철'(sponge iron)이라고도 불린다; 철의 융해점 아래에서 순도 높은 철광석 펠릿(pellet)의 직접적인 환원에 의해 얻어지는 금속철을 의미한다. 철은 고로 안에서처럼 액체 상태로 전환되지 않고 고체 상태로 환원된다.

처리 배출 DISPOSAL EMISSIONS (8장에 대해)
장비의 처리나 폐로(廢爐)(decommissioning) 시 일어나는 불소화 온실가스의 배출. Tier 2 방법(식 8.2)에 대해서, 처리 배출은 가스의 회수, 가스의 재활용, 재활용되지 않는 가스의 폐기와 관련된 배출로 정의된다. Tier 3 방법(식 8.7A, 8.7B)에서, 처리 배출은 가스의 회수와 관련된 배출을 포함하는 것으로 정의된다. (재활용 및 폐기와 관련된 배출은 별도의 Tier 3 식에서 설명된다). 양쪽 Tier에서 정의된 처리 배출은 수명이 다한 기기의 투입량(charge)이 회수되는 비율(회수 빈도)과 회수가 이루어질 때 회수되는 잔량(remaining charge)의 비율(회수율)에 민감하다.

전기로 ELECTRIC ARC FURNACES (EAF)
철의 전기적 생산을 위한 주요 회분로(batch furnace)의 일종. EAF의 주된 쓰임은 고철을 재용해하는 것이다. 그러나 EAF에는 한정된 용량의 고철, 선철(pig iron), 직접환원철을 채울 수 있다. 흑연전극(graphite electrodes)부터 금속욕(metal bath)에 이르도록, 아크를 일으키는 전기로부터 열이 제공된다. 전극은 보통 흑연이나 Soderberg(탄소) 페이스트(paste)에서 만들어진다. EAF는 또한 합금철이나 유사물질(탄화규소)의 생산 등 기타 야금의 용도로도 쓰인다.

전기 설비 ELECTRICAL EQUIPMENT

기계, 변압기(transformer), 기구(apparatus), 측정도구, 보호 장치, 배선방식(wiring systems)과 같이 전기에너지의 생성, 전환, 전송, 배분, 사용 목적으로 쓰이는 일체의 아이템을 일컫는다. 전기설비에 쓰이는 육불화황(SF_6) 대부분이 가스절연개폐장치와 가스절연변전소(GIS), 가스 차단기 등에서 쓰인다. 일부 SF_6는 고전압 가스절연송전선(GIL), 외부가스절연도구변압기, 기타 도구등에 쓰이기도 한다. 또한 과불화탄소(PFCs)는 일부지역에서는 전력용 변압기에서 사용되기도 한다.

전기설비 고장 ELECTRICAL EQUIPMENT FAILURE

(가스 보관을 제외한 그 어떤 다른 기능에서) 가스구획(gas compartment)에서 하나 이상의 구멍에 금이 가거나 타면서 그 구획에서 가스량이 새어나가게 되는 전기설비의 주요 고장

배출률 EMISSION RATE

작업과정(process), 수명주기단계(lifecycle stage), 또는 정해진 기간(보통 1년) 동안의 배출량을 말한다. 제조 중 화학물질의 총소비량이나 사용중인 설비의 정격용량(Nameplate Capacity)과 같이, 그 과정이나 수명주기단계에 상응하는 활동데이터에 의해 분류된다. 선호되는 단위는 연간 퍼센트이다.

설비 총계 EQUIPMENT COUNT

누출 탐지 프로그램을 실행하는데 쓰이는 개개 설비 도구들(밸브, 플랜지 등)의 인벤토리

에탄 ETHANE

자연적으로 발생하는 포화된 탄화수소(C_2H_6)로 천연가스와 정제가스 스트림으로부터 추출된다. 증기분해로 에틸렌을 만드는데 주로 쓰인다.

발열반응 EXOTHERMIN

제품의 에너지 함유량이 반응체의 에너지함유량보다 적을때 일어나는 화학반응이다; 이 반응으로부터 열이 발산된다.

공장 투입 배출 FACTORY FILLING EMIOSSIONS

공장에서 일어나는 최초 투입 배출(Initial Charging Emissions)

합금철 FERROALLOY

철의 농축된 합금과 실리콘, 망간, 크롬, 몰리브덴, 바나듐, 텅스텐과 같은 하나 이상의 금속들을 지칭하는 용어. 실리콘금속생산은 보통 합금철그룹에 속하는데 실리콘금속 생산과정이 규소철과정과 유사하기 때문이다. 이런 합금들은 환원작용과 철의 재료 물성을 변화시키는데 사용된다.

최종사용배출 FINAL USE EMISSIONS

기기의 마지막 보충(refill)과 처리(disposal) 사이에서 일어나는 배출. 총 배출에서 상당한 부분을 차지할 수 있는데, 기기의 기밀(leak rate)이 낮고 보충(refill)이 드물게 이루어질 때 특히 그러하다.

플레어 FLARE
에너지 회수없이 배기가스 스트림에서 휘발성 유기화합물을 연소하는(combust) 기기

불소화 화합물 FLUORINATED COMPOUNDS (FCs)
6장 '전자산업배출(Electronics Industry Emissions)'에서 쓰이는 용어로 전자제품 제조 중 사용되는 다양한 범위의 고-, 저(또는 제로)- GWP 불소화 가스와 액체를 설명한다. FCs로는 육불화황(SF_6) 뿐만 아니라 과불화탄소(PFCs), 수소화불화탄소(HFCs)가 있다. CH_2F_2, COF_2 및 F_2와 같은 저(제로)-GWP 생산물들도 CF_4와 같은 고-GWP 생산물 형성에 쓰일 경우 이에 포함된다.

노(furnace) 블랙 FURNACE BLACK
그 생산품 내에 다양한 특질을 낳는 조절 가능한 (adjustable and controllable) 과정에서 불완전연소에 의해 로(furnace)에서 산업적으로 생산되는 탄소의 일종 (IUPAC)

노(furnace) 블랙 공정 FURNACE BLACK PROCESS
카본 블랙 공급 원료와 천연가스로부터 카본블랙을 생성하는 열분해과정

가스절연선 GAS-INSULATED LINES
송전과 배전에 쓰이는 금속폐쇄형선. 전기적 접지(electrically grounded)용 외부 인클로저(encloser)와 함께, 대기압상에서의 공기가 아닌, 절연가스에 의해 절연이 이루어진다.

열강 성형환원철 HOT BRIQUETTED RION
성형탄(briquette)으로 전환된 직접환원철로, 보통 이 재료의 운송을 촉진하는데 쓰인다.

혼합 전과정 접근법 HYBRID LIFE-CYCLE APPROACH
설비기기로부터 배출을 측정하는 Tier 3 방식. 이 방식은 적절한 주어진 데이터의 효용성과 국가-, 공정-특성적 환경으로써, 적절한 배출계수법(emission-factor approach), 물질수지법, 혹은 이 둘을 모두 사용하여 생애주기 단계에 의해 배출을 측정한다.

불완전 연소 INCOMPLETE COMBUSTION
유기화합물이 CO_2와 H_2O로 100% 전환되지 못하는 연소. 이는 부족한 산소 또는 저온이 완전연소 반응을 저해해서 일어나는 것일 수 있다. 불완전 연소로 인한 부산물로 일산화탄소가 생성된다.

최초투여배출 INITIAL CHARGING OR FILLING EMISSIONS
설비가 사용되는 공장이나 부지에서 설비에 최초 투입 시 일어나는 배출

설치 배출 INSTALLATION EMISSIONS
설비 작동전에 설비가 사용되는 부지에서 일어나는 최초투여배출

계기용 변성기 INSTRUMENT TRANSFORMER
측정도구, 계측기기, 계전기, 기타 유사기구를 제공하는 변성기로, 전압과 전류의 원 시스템 값을 데이터처리에 적합한 복사품으로 전환시킨다.

누출 LEAKAGE
정상작동 조건하에서 작동 중 기기로부터의 배출을 뜻함. 유지, 공급, 전기기기고장으로 인한 배출은 포함시키지 않음.

누출탐지 프로그램 LEAK DETECTION PROGRAM
밸브, 플랜지 등과 같은 탈루성 배출원(fugitive emissions sources)으로부터 직접 배출을 측정하는 프로그램. 개개 설비기기로부터의 배출을 측정한다.

누출률 LEAK RATE
주어진 기간(보통 일년)에 걸친 기기로부터의 누출. 기기의 정격용량에 의해 분류된다. 보통 연간 퍼센트를 단위로 한다.

석회 킬른 분진 LIME KILN DUST(LKD)
석회 킬른 라인에서 생성된 비소성(non-calcined) 분진으로부터의 완전(fully) 소성분진. 시멘트 킬른 분진(CKD)와 유사하나, LKD는 석회 킬른에서 거의 재활용되지 않는다. LKD는 시멘트 킬른에서 원자재로 사용될 수 있다.

손실률 LOSS RATE
배출률 (emission rate)

제조 배출 MANUFACTURING EMISSIONS
부지내에서 설비 제조자의 책임하에 일어나는 배출. 연구, 개발, 테스트, 설비의 작동 유지 투입량 충전으로부터의 배출을 포함함.

물질 수지법 MASS-BALANCE APPROACH
사용중인 설비의 불소화온실가스 방출을 측정하는 방법으로 개별단위와 집합단위(예: 국가별, 용도별, 설비별)에 쓰일 수 있다. 이 방법에서 연간 배출량이란 연간소비된 가스량과, 기기용적 내 순증가를 채우기 위해 사용되거나 혹은 소멸된 가스를 대체하는데 쓰이는 가스량의 차이이다.

야금용 코크스 METALLURGICAL COKE
코크스로 코크스(coke-oven coke)와 동의어. 코크스란 특정 등급의 역청탄을 고온 탈휘발화(devolatilixation, 탄화 carbonisation)시켜 만든 고탄소연료이며 (혹은) 환원제(reductant)이다. 불순물이 거의 없으며 고탄소를 함유한 다공성 (porous) 연료이다. 고로에서 철을 만들고, 합금철, 납, 아연등을 제조하는 야금과정에서 주로 사용된다. 저온에서 석탄 탄화로 얻어지는 고체물질인 반성코크(semi-coke)는 코크스로 코크스(coke-oven coke)에 포함되며, 주로 국내 연료로 쓰인다. 석유코크스와 혼동되어서는 안된다.

계량 흡입기 METERED DOSE INHALERS (MDIs) (의료 에어로졸; MEDICAL AEROSOLS)
폐로 흡입되는(inhaled pulmonary) 약물 투여의 방법

메탄올 METHANOL
메틸알콜로도 알려져 있다. 용매, 부동액, 변성재로 쓰이며, 기타 화학물의 합성에도 쓰인다. 천연가스로부터 생성된 메탄올은 정제 원료(feedstock)와 함께 포함되어야 한다.

미네랄 피치 MINERAL PITCH
석유증류의 찌꺼기. '아스팔트'를 보라.

정격용량 NAMEPLATE CAPACITY
설비에 지정된 성과를 달성하기 위해 설비 제조업자에 의해 명시된 액체/가스의 완전하며 적정한 투입량. 정격용량은 보통 기기의 이름판에 표시되어 있다. 꼭 실제 투입량 보다는 누출이나 기타 배출 등의 영향을 받을 수 있다. 이 권의 1, 6, 7, 8장과 연관이 있다.

질산 NITRIC ACID
화학비료생산과 아디프산생산에 공급 원료로써 주로 쓰이는 강산이다. 질산 생산 중 의도치 않은 부산물로 이산화질소가 생성된다.

올레핀 OLEFINS
알켄과 동의어. 하나 이상의 이중결합을 가진 열린사슬(open chain) 탄화수소의 부류. 이 그룹의 탄화수소는 C_nH_{2n}의 일반공식을 갖는다. 올레핀의 이름은 대응하는 파라핀을 따른 것으로, 어간(stem)에 'ene'나 ' ylene' 을 더한 것이다(예, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌). 가장 단순한 올레핀은 에틸렌 C_2H_4 이다.

평로 OPEN HEARTH FURNACE
반사로(reverberatory furnace) 로도 알려진 평로는 지붕이 낮고, 넓적하며 받침접시 모양의 내화성 노(爐)이다. 선철, 석회암, 고철 등을 노 안에 넣고 미리 데워진 공기를 이용한 고가(overhead) 버너를 통해 가열한다. 이 후 노 안에 주조한 선철을 넣고 이는 가열되어 강철이 생성된다. 버너는 보통 가스식이다.

사용중 산화 계수 OXIDISED DURING USE FACTOR (ODU FACTOR)
화석연료의 비에너지제품 사용 중 산화된 화석연료 탄소의 비율을 나타내는 계수

염화산소화 OXYCHLORINATION
에틸렌(C_2H_4)과 염산(HCl), 산소의 반응으로 에틸렌 2염화물과 물을 생성한다.

전로가스 OXYGEN STEEL FURNACE GAS
전로에서 강철생성의 부산물로 얻어지는 가스. 로(furnace)를 빠져나가면서 다시 회수된다. 전로가스(converter gas) 혹은 LD 가스로도 알려져 있다. 데이터는 전기 생산에 쓰이는 가스의 양이나, 혹은 폐열이 가스로부터 회수되고 제삼자에게 팔리는 양과 일치해야 한다. 가스량은 고로가스(Blast Furnace Gas)와 함께 포함되어야 한다.

오존층 파괴물질 OZONE-DEPLETING SUBSTANCES (ODS)

성층권의 오존을 파괴시키는 것으로 알려진 물질들. 몬트리올의정서 및 개정안 하에 통제되는 ODSs는 염화불화탄소화합물(CFCs), 2수소화염화물화탄소(HCFCs), 할론(halons), 메틸브롬(CH_3Br), 사염화탄소(CCl_4), 메틸클로로폼(CH_3CCI_3), 수소브롬불화탄소(HBFCs), 브롬염화메탄(bromochloromethane) 등이 있다.

파라핀 PARAFFINS

알칸(alkane)과 동의어. 파라핀이란 이름은 보통 길고 곧은 사슬을 가진 알칸 분자(isomers 이성질체)를 의미한다. '파라핀 왁스' 참조.

파라핀 왁스 PARAFFIN WAXES

알칸과 파라핀의 동의어. 파라핀이란 이름은 보통 길고 곧은 사슬을 가진 알칸 분자(isomers 이성질체)를 의미한다. 포화된 지방족(aliphatic) 탄화수소이다. 이 왁스는 윤활유의 밀랍 제거시 추출된 찌꺼기들이다. 등급에 따라 대체로 고운 결정구조를 지닌다. 주요 특징은 다음과 같다; 무색, 무취, 투명하며 녹는점은 45° 이상이다.

석유 코크스 PETROLEUM COKE (PETCOKE)

로(furnace)에서의 석유분해와 탄화 중 응축과정에서 생기는 최종산물인 검게 빛나는 고체 찌꺼기. 탄소가 주성분이며 (90~95%) 보통 재를 남기지 않고 탄다. 보통 야금과정에 쓰이며 시멘트 제조의 연료로도 쓰인다. 이 용어는 석탄의 탄화로부터 얻어진 고체 잔류물(야금 코크스)은 배제한다. 때때로 시장용 코크스(marketable coke)와 촉매용 코크스(catalyst coke)로 나뉘기도 한다. 시장용 코크스는 지연된 또는 유동(fluid) 코커(coker)에서 생성되는 석유등급으로, 상대적으로 순수한 탄소로 전환될 수 있다. 이런 '환경친화적(green)' 코크는 현재처럼 팔리거나 후에 소성(calcining)으로 더 정제될 수 있다. 촉매용 코크스(Catalyst coke)는 여러 촉매작용에서 생성되는데 (예. 촉매 크래킹; catalytic cracking), 여기에서 탄소가 촉매제에 침전되며(deposited) 촉매제를 비활성화시킨다. 촉매제는 탄소를 태우며 활성화되고, 이는 정제과정에서 연료로 쓰인다. 이 탄소나 코크스는 응축된 형태로 회수되지 않는다.

피치 PITCH

찌꺼기로 얻어지는 다양한 종류의 검은 빛깔을 띄며 비중이 큰 점성질의 물질. 콜타르 피치(coal tar pitch)는 코크스 제조가마에서 야금용 코크스를 생산하는데서 비롯된 콜타르의 한 요소다. 미네랄 피치는 석유증류의 찌꺼기에서 얻어졌다. '피치'라는 용어는 가끔 역청이나 아스팔트로 쓰이는데 이는 잘못 된 것이다. '콜타르'에 관해서 보면, '콜타르'와 '콜타르 피치'는 동의어가 아님을 유념하라.

http://www.koppers.com/htm/PandS_Proc_Main.html 참조

플라즈마화학기상증착법 PLSMA ENHANCED CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (PECVD)

PECVD란 화학기상증착법으로, 라디오 주파수 플라즈마가 저압가스반응혼합체와 연결되어 반응챔버(reaction chamber)에 놓인 기질(substrate) 위에 희망 침전물(박막; thin film) 형성을 촉진하는 것이다. 막의 형성은 플라즈마 대(versus) 무(without) 플라즈마로 저압에서 일어난다. PECVD는

이산화규소(silicon dioxide), 질화규소(silicon nitride), 실리콘질산화(silicon oxynitride) 막을 증착하는데(deposit) 쓰인다. 16 Mbit DRAM device의 구성 중, PECVD는 20개 이상의 층을 증착하는데 쓰인다. 반응실을 통과하는 가스의 흐름에 의해 제거되는 휘발성 부산물의 형성 이외에도, 막의 증착은 반응 챔버 벽에서 생기는데, 지속적으로 청소(cleaning)되지 않으면 과정형성이 감소될 것이다. 챔버의 청소는 *in-situ*나 *원격(remote)* 플라즈마 청소 단계를 사용하여 FCs와 동반된다. 클리닝은 불소 원자(플라즈마 유도 FC의 분해를 통해 생성된)와 동반되며, 부적당하게 증착된 실리콘과 반응하여 SiF_4 가스를 형성하는데 이는 그 챔버로부터 주입된다. 청소는 SiF_4가 더 이상 챔버 배출물로 존재하지 않을 때 완료된다.

참고: *IC(집적회로) 등의 제조공정에서 기판 위에 규소 등의 박막을 만드는 공업적 수법으로 약칭은 CVD이다. 화학물질을 포함하는 가스에 열이나 빛으로 에너지를 가하거나, 고주파로 플라스마화시키면 원료물질이 라디칼화되어 반응성이 크게 높아져 기판 위에 흡착되어 증착하는데, 온도를 높여서 증착시키는 것을 '열 CVD', 화학반응이나 열분해를 촉진시키기 위해 빛을 소사하는 것을 '빛 CVD', 가스를 플라스마상태로 여기시키는 것을 '플라스마 CVD'라고 한다.*

플라스마 에칭 PLASMA ETCHING

플라즈마 에칭은 매우 (또는 대단히) 큰 규모의 통합된 회로의 제작 중 조심스럽게 제어되는 (등방성의 또는 비등방성의) 물질의 제거를 (전형적으로 실리콘과 알루미늄) 일컫는다. 가스 분자를 이온화하고(플라즈마 형성) 좀더 반응성 있는 구성물질로 분해시키기 위하여, 라디오(radio) 또는 마이크로웨이브 주파수(frequency) 방사(radiation)가 저 압력 가스 혼합물과 결합한다. 가스-혼합물은 대체로 불소(F)나 염소(Cl), 브롬(Br), 요오드(I)와 같은 할로겐(halogens)을 포함한다. 포토리소그라피(photolithography)와 적절한 플라즈마 화학작용으로 플라즈마로 형성된(plasma-formed) 부식액은 직접적으로 그리고 선택적으로 복잡한 패턴을 하위 층(substrate)으로 전송한다. 등방성(isotropic) 에칭은 알루미늄의 층을 평면화하는데 사용된다. 메모리 셀 내에 트랜치 커패시터(trench capacitor) 구조를 형성하는 것은 20개 이상의 다양한 에칭 단계를 필요로 한다. 16개의 MBit DRAM 장치를 형성하는 400이나 그 정도의 과정 단계 중 50개 이상이 플라즈마 에칭 단계이다. (물론 모든 것이 FC를 사용하지는 않을 것이다.)

플룸 PLUME

공정 굴뚝으로부터의 오염물질의 흐름 또는 대기로 배출되는 오염물질의 흐름.

전력 변압기 POWER TRANSFORMER

전자기 유도(electromagnetic induction)에 의해 교류전압 및 전류의 시스템을 변성하여 또 다른 전압 및 전류 시스템에 동일 주파수의 전력을 공급하는, 두 개 이상의 권선捲線(windings)을 지닌 장치의 고정된 부분.

포졸란 POZZOLANS

그 자체가 시멘트질(cementitous)은 아니지만 자유 석회(free lime) (CaO)와 물과 반응할 때 친수성의(hydraulic) 시멘트 성질을 발전시키는 규산(siliceous) 물질. 포졸란의 일반적인 예는 자연적인 포졸란(예를 들어, 어떤 화산 재나 응회암, 어떤 규조토의 토양, 구운 점토, 혈암(shale))과 합성 포졸란(예를 들어, 실리카 증기, 비산재(fly ash))을 포함한다.

정화 가스 PURGE GAS
공정으로부터 불순물을 제거하는 화학적인 공정 흐름과 분리된 가스 흐름. 휘발성 유기 화합물, 일산화탄소, 수소 또는 다른 화합물을 포함. 제거용 가스는 아마도 에너지 회수를 위해 연소되거나 타오를 것이다. 또는 부산물이 제거용 가스로부터 회수될 수도 있다.

재폐로 차단기 RECLOSERS
교류(alternatin current) 회로를 자동적으로 방해하고 종결하기 위한 자기 제어 장치. 리셋(reset), 닫힌 상태, 또는 갇힌 상태 작동이 뒤따르는 열리거나 닫히는 사전에 결정된 연쇄를 갖춘다.

회수 RECOVERY
설비와 용기로부터의 불소화 온실 가스의 수집과 저장

회수 및 파기 효율 RECOVERY AND DESTRUCTION EFFICIENCY (RDE)
이 용어는 주로 발포제(foams)의 맥락에서, 재생 공정 시작 직전에 발포제나 다른 제품에 존재했던 불소화 가스의 백분율로서, 불소화 가스의 전반적인 회수와 폐기의 효율을 정의하는 방법으로 사용된다. 따라서 이 측정은 파기 공정뿐 아니라 회수 공정과 관계된 모든 손실을 고려한다. 그래서 그것은 오직 파기 장치의 활동에만 한정되는 파기 효율(Destruction Efficiency : DE), 파기 및 제거 효율(Destruction & Removal Efficiency : DRE)과 구분된다. 그 용어에 대한 더 많은 정보는 UNEP Task Force Report on Foam End-of-Life issues(2005)에 포함되어 있다.

회수 효율 RECOVERY EFFICIENCY
설비로부터 회수된 불소화 온실 가스의 양을 보수나 폐로(end-of-life) 시 설비에 남아있는 불소화 온실 가스의 양으로 나눈 값

회수 빈도 RECOVERY FREQUENCY
장비가 보수(service)를 위해 열리기 전에 또는 최종 사용시 노출되기 전에 충전량(charge)이 회수된 장비의 비율

환원제 REDUCTANT
가이드라인 내에서 이 용어는, 로(furnace)나 전기분해 과정에서, 금속에 대한, 예를 들어 철과 알루미늄에 대한 금속 산화물(metal oxide)의 환원을 위한 환원제로써의 탄소의 사용과 관계있다. 그리고 특정 무기(inorganic) 생산물, 예를 들어, 탄화물과 소다재의 생산에서의 탄소의 사용과 관계있다.

냉매 REFRIGERANT (REFRIGERATION)
냉장 장치, 냉동장치, 냉방 장치와 같은 장비에서 사용되는 열 전도 물질. 일반적으로 액체

전력개폐기기 RING MAIN UNIT
중간 전압 시스템에서 2차 분배 목적을 위한 (고압용) 개폐기의 표준 부품을 묘사하는 용어. 전력개폐기기는 대체로 스위치 파워 케이블 고리(rings)를 위한 스위치/부하개폐기(load break switch)와 배전 변압기의 보호(protection of distribution transformers)를 위한 퓨즈와 연결된(직렬 연결된

;in series) 스위치/부하개폐기(load break switch) 구성되어 있다. (중간 전압에서 낮은 전압으로의 변압)

도로유 ROAD OIL

도로나 고속도로에서 분진 억제제(dust suppressant)로 또는 표면 처리에 사용되는 잔여 천연 아스팔트 오일을 포함하는 중유(heavy petroleum oil). 일반적으로 가장 유체성 있는(liquid) 0단계에서 가장 점액질 있는 5단계까지 6단계로 생산된다. 도로유는 수년 동안 자갈 도로(gravel roads)에서 분진 억제제로 사용되었다. 비포장도로의 비율이 높고 중고 오일 시장(연소와 재-정제)이 멀리 떨어지지 않은 농촌에서 가장 흔히 사용된다. 도로유의 분진 억제제로써의 사용은 최근에 감소하였는데, 그 이유는 비포장도로의 비율이 줄어들었고 오일에서 사용되는 고도의 독성을 지닌 오염물질이 있고, 기타 중고오일 최종 사용(재-정제)과의 경쟁이 있고 새로운 환경적인 규제가 있기 때문이다. 느린 경화 액상 아스팔트(slow-cure liquid asphalt)와 동의어이다.

최종까지 밀폐되는 설비 SEALED-FOR-LIFE EQUIPMENT

밀폐된 압력 시스템(Sealed-Pressure Systems).

밀폐된 압력 시스템 SEALED-PRESSURE SYSTEM

사용 도중에 재충전(가득 채우는 것)을 필요로 하지 않고, 일반적으로 기능 단위 당 5kg 미만의 가스를 포함하고 있는 전기 장비. 배분 장비(Distribution equipment)는 보통 이 카테고리에 속한다. 거의 40년 정도 되는 사용 기간 동안 재충전이 필요하지 않은 것을 확실히 하기 위하여, 밀폐된 압력 시스템의 누출률은 보통 연간 0.1 퍼센트 미만이다.

이차 제품 SECONDARY PRODUCT

화학 공정으로 생산된 판매 가능한 제품으로 그 공정에서 생산하는 주요제품에 추가하여 생산되는 것. 예를 들어, 에틸렌 생산 과정에 대한 증기 크래킹(steam cracking)은 에틸렌을 주요 제품으로 생산하지만 또한 판매 가능한 프로필렌과 부타디엔, 그 외 다른 이차 제품을 생산한다.

변속 반응 SHIFT REACTION

이산화탄소(CO_2)와 수소(H_2)를 생산하기 위한 일산화탄소(CO)와 수증기(H_2O)의 반응

현장 설치 배출 SITE ERECTION EMISSIONS

설치 배출(Installation Emissions)

슬래그 SLAG

금석 제련(smelting)의 규산염 부산물 또는 공동산물; 슬래그의 가장 큰 배출원은 철과 강철 산업이다. 슬래그는 슬래깅(slagging)(그리고/또는 액체화; fluxing) 물질(보통 실리카(규토)에 석회석, (또는) 백운암과(또는) 석회를 더함)과 금속 광석의 상호작용을 통해 형성된다.

슬래깅 물질 SLAGGING AGENT

금속 광석의 제련 중, 슬래그의 형성을 통해 불순물을 광석으로부터 제거하는 역할을 하는 석회석

과 백운석, 석회, 실리카 모래 같은 물질. 슬래깅 물질은 보통 용매제(flux)로서 이중 기능을 수행한다.

소석회 SLAKED LIME

고칼슘이나 백운 석회의 수화 작용(hydration)으로 얻어지는 수산화칼슘(CaOH)의 일반명(common name)

소다회 SODA ASH (SODIUM CARBONATE, Na_2CO_3)

유리제조, 비누와 세제, 펄프와 종이 제조, 수처리를 포함하는 다수의 산업에서 원료로 사용되는 백색의 투명한 고체. 소다회를 생산하는데 네 개의 다른 공정이 상업적으로 사용될 수 있다. 이 중 세 개의 공정인, 모노수화(monohydrate), 세스퀴탄산나트륨(sodium sesquicarbonate(trona))와 직접 탄화(direct carbonation)는 자연적인 공정으로 본다. 네 번째 솔베이(Solvay) 공정은 합성 공정으로 분류된다.

용매 SOLVENT

많은 양으로 존재하는 용액의 구성성분. 하나 이상의 물질 - 용질(solute)라고 불리워지는 -이 여기에 녹아서 균질적 혼합물을 형성시키는 물질이다. 고체가 액체 내로 용해되는 예로는 소금이나 설탕이 물에 용해되는 것이 있다: 뿐만 아니라 가스가 액체 내로 용해되는 예, 즉 이산화탄소나 산소가 물에서 녹는 것, 또한 가스가 가스에, 그리고 액체가 액체에 녹는 것도 포함한다. 용매로 사용되는 화석 연료는 용제(white spirit)와 등유(파라핀 오일)이다. 용제(white spirit)는 추출 용제, 클리닝 용제, 유지 제거(decreasing) 용매, 그리고 에어로솔, 페인트, 목재 방부재, 래커, 니스, 아스팔트 제품에서의 용매로 사용된다. 용제(white spirit)는 페인트와 래커, 니스에서 사용된다.; 용제(white spirit)는 페인트 산업에서 가장 널리 사용되는 용매이다.

최신식 취급 장비 STATE-OF THE ART HANDLING EQUIPMENT

SF_6의 배출을 최소화하는 방식으로 장비의 라이프 사이클의 어떤 단계에서 SF_6를 다루는 장비. 그런 장비는 대체로 컴프레서, 진공 펌프, 필터링 단위(filtering units), 저장 용기(storage container), 증발기, 호스 및 연결 부품(hoses and connections), 파이프 및 접합부(piping and junctions), 제어 도구와 (자동폐쇄식) 안전 밸브를 포함한다. 회수 배출(recovery emissions)과 관련한 가장 중요한 점은 진동 펌프의 기술적인 능력이고, 그것은 배출을 위해 1 mbar로 낮게 설계되어야 한다. 이것이 적절히 사용되면, 취급 손실을 장비 정격용량의 2퍼센트 이하로 유지할 수 있을 것이다.

증기 크래킹 STEAM CRACKING

불포화 탄화수소(예를 들어, 에틸렌)를 생산하기 위한 로(furnace)에서의 포화 탄화수소와(예; 에탄) 증기(H_2O)의 반응

수증기 개질 공법 STEAM REFORMING

생산물로 수소를 형성하기 위한, 탄화수소 또는 천연 가스나 메탄올과 같은 알콜 연료와 수증기의 반응 공정. 이것은 흔히 대량 수소 생산에서 선호하는 방법이다. 고온에서(700 · 1100˚C), 메탄(CH_4)과 수증기가 반응하여 합성 가스(일산화탄소(CO)와 수소(H_2))를 산출한다.

화학 양론적 비율 STOICHIOMETRIC RATIO
화학양론은 화학 반응에서 반응물질과 생산물 사이의 양적인 관계를 일컫는다. 광물 산업에서 화학 양론적 비율은 탄산염 투입량의 단위 당 이산화탄소(CO_2)의 양을 결정하는 데 사용되며, 탄산염의 분자량으로 CO_2의 분자량을 나눈 것으로 표현될 수 있다(예; 44.01 g CO_2/100.09 g $CaCO_3$).

보조 연료 SUPPLEMENTAL FUEL
공정에 추가적인 열을 제공하기 위하여 공정의 주요 공급 원료에 더해져 화학 공정에 공급되는 연료

스위치 SWITCH
공칭 부하전류(nominal load current)를 전달하는 일반 회로 조건 하에서 전류를 만들고 운반하고 차단하는 기계적인 스위치 장비. 스위치는 또한 회로 차단기(circuit breaker)와 구분하기 위하여 부하개폐기(load break switch)로 불리기도 한다. 대체로 스위치나 부하개폐기는 이차 배분을 목적으로 하는 전력개폐기기(ring main units)와 같은 종합 기기(composite unit) 시리즈의 하나 이상의 전극(poles)에서 퓨즈와 결합하여 사용되기도 한다.

개폐기 SWITCHGEAR
스위치 장비와 관련 제어, 측정, 보호, 조절 장비와의 결합, 관련된 상호연결 장비, 악세사리, 인클로져(enclosure), 보조 구조를 갖춘 장치와 장비의 조립(assemblies)을 포괄하는 일반적인 용어, 원칙적으로는 전기 에너지의 생성과 전달, 배분, 전환과 관련된 사용을 위해 의도된 것임

합성 가스 SYNTHESIS GAS
메탄올과 다른 화학물질을 생성하는데 사용된 수소와 일산화 탄소의 화합물

배기가스 TAIL GAS
화학 공정으로부터의 배기가스(exhaust gas)

타르 TAR
유기 물질의 파기적인 증류(distillation)나 열분해(pyrolysis)로부터 유도된 점액질의 검은 액체. 대부분의 타르는 코크스 제조 가마에서 야금의 코크스 생산의 부산물로 석탄으로부터 생산된다. 그러나 오일, 토탄, 또는 목재로부터도 생산될 수 있다. '석탄 타르'를 참조.

서멀 블랙 공정 THERMAL BLACK PROCESS
카본 블랙 공급 원료와 천연 가스로부터 카본 블랙을 생산하는 열분해 공정

열 처리 THERMAL TREATMENT
고온 반응에서 불꽃(flame)을 이용한 CO_2와 H_2O에 대한 유기 화합물의 연소. 열처리는 에너지 회수와 함께 또는 에너지 회수 없이 일어날 수 있다.

박막 트랜지스터THIN-FILM TRANSISTOR (TFT)
TFT는 평면 패널 화면의 빈번한 재생(refreshing)을 가능하게 하고 가장 흔한 유형의 활동적인 매

트릭스 디스플레이로 각각의 픽셀(또는 picture element)을 제어하는 회로 요소이다. TFTs는 유리나 플라스틱, 얇은 금속 판에 무정형(amorphous) 실리콘 기술을 사용하고 유리나 플라스틱 또는 얇은 금속판에 온도가 낮은 폴리실리콘(low-temperature polysilicon; LTPS) 기술을 사용하여 제조될 수 있는데, LCD에서 사용되고 유기발광소자(organic light emitting diode; OLED)와 고분자 유기발광소자(polymer organic light emitting diode; POLED) 디스플레이에서도 점차적으로 사용이 증가하고 있다.

이산화티타늄 TITANIUM DIOXIDE (TiO_2)

이산화티타늄은 가장 중요한 백색 안료이다. 주된 사용은 종이, 플라스틱, 고무, 도자기, 천, 바닦재, 인쇄 잉크, 다른 잡다한 사용에 이어 페인트 제조에서 사용된다.

사용 배출 USE EMISSIONS (8장에 대해)

어떤 부품이나 유형의 장비로부터의 설치와 처분 사이, 또는 설치와 마지막 리필 사이의 배출로, 상황에 좌우된다. 사용 배출은 장비 고장으로 인한 배출뿐만 아니라 장비의 작동, 유지, 보수 중의 배출도 포함한다. 사용 배출은 누출을 포함하며 일반적으로 누출보다 훨씬 더 크다. 특히 최신식 취급 장비가 사용되지 않을 때 그렇다. 이 지침에서는, 배출계수 접근법과 관계있는 사용 배출(Tiers 1, 2와 Tier 3의 배출-계수 변이)은 최종 사용 배출을 포함한다. 반면 물질수지 접근법(Tier 3의 질량-수지 변이)과 관계있는 사용배출은 최종 사용 배출을 배제한다.

사용 배출량 USE EMISSIONS RATE (8장에 대해)

장비의 정격용량(Nameplate Capacity)으로 나눈, 주어진 시간, 보통 1년 동안의 사용 배출량. 사용 배출량은 장비의 고장과 관계있는 배출뿐만 아니라 장비의 동작, 유지, 보수 중의 배출도 포함한다. 일반적으로 사용 배출량은 누출량보다 훨씬 더 높다. 이 지침에서 배출 계수 접근법과 관계있는 사용 배출량(Tiers 1, 2와 Tier 3의 배출 계수 변이)은 최종 사용 배출을 포함한다.

VENTING

천연 가스와 폐가스/폐증기의 통제된 배출

용제 WHITE SPIRIT

135°C에서 200°C 사이의 범위의 나프타/등유(케로신)에서 증류로 생겨난, 정제된 중간생성물. 반대로 산업유(industrial spirits)(특정 끓는 점, specific boiling point; SBP)는 30°C에서 200°C 사이에서 증류되는 경유이다. 산업유에는 증류 범위 내 중단 시점(position of the cut)에 따라 7개나 8개의 등급이 있다. 등급은 5퍼센트 부피와 90퍼센트 부피 증류 지점 사이의 온도 차이에 따라 정의된다(60°C 이상은 되지 않는다.) 용제는 30°C 이상의 인화점을 지닌 산업유이다.

약어(Abbreviation)

AGO	Australian Greenhouse Gas Office
APME	Association of Plastics Manufacturers Europe
AWACS	Airborne Warning and Control System
BAT	Best Available Techniques
BFC	Blast Furnace Gas
BOF	Basic Oxygen Furnace (steelmaking)
BREF	Best Available Techniques Reference Documents (under European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau.) http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm
C4 +	By-product hydrocarbons containing more four or more carbon atoms (e.g., butanes, pentanes, hexanes, heptanes)
$CaCO_3$	Calcium carbonate
CaO	High calcium lime
$Ca(OH)_2$	Slaked high-calcium lime
$Ca(OH)_2$	$Mg(OH)_2$ Slaked dolomitic lime
CaO MgO	Dolomitic lime
CKD	Cement Kiln Dust
CIGRE	International Council on Large Electric Systems
COG	Coke Oven Gas
DOE	United States Department of Energy
DRE	Destruction or Removal Efficiency
DRI	Direct Reduced Iron
EAF	Electric Arc Furnace (steelmaking)
EDC	Ethylene Dichloride
EG	Ethylene Glycol
EO	Ethylene Oxide
FEPC	The (Japanese) Federation of Electric Power Companies
FGD	Flue Gas Desulphurisation
FgH-ISI	Fraunhofer-Institut f□r Systemtechnik und Innovationsforschung
GCB	Gas Circuit Breakers
GIL	Gas Insulated Lines
GIS	Gas Insulated Switchgear and Substations
GIT	Gas Insulated power Transformers
HBI	Hot Briquetted Iron
HMA	Hot Mix Asphalt
HV(Switchgear)	High Voltage (Switchgear) for rated operating voltages above 52 000 Volts
IEC	International Electro-technical Commission
ITs	Instrument Transformers
JEMA	The Japan Electrical Manufacturer's Association
LKD	Lime Kiln Dust

LVOC	Large Volume Organic Chemical
LVIC	Large Volume Inorganic Chemical
$MgCO_3$	Magnesium carbonate
MV(Switchgear)	Medium Voltage (Switchgear) for rated operating voltages above 1 000 Volts and up to 52 000 Volts
OHF	Open Hearth Furnace (steelmaking)
PC	Portland cement
PECVD	Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition
RDE	Recovery and Destruction Efficiency
TFT	Thin-Film Transistor
VCM	Vinyl Chloride Monomer

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.