

국내 비철금속 산업부문 온실가스 발생량 산정 방법에 관한 연구

정진도 · 한종민* · 김장우**

호서대학교 환경공학과, *STS-반도체통신(주), **호서대학교 디스플레이공학부
(2008년 8월 25일 접수; 2008년 11월 3일 수정; 2009년 1월 15일 채택)

A Study on the Calculation Method about Emissions of Greenhouse Gases of Nonferrous-metal Industry Part in Domestic Nonferrous-metal Industry

Jin-Do Chung, Jong-Min Han* and Jang-Woo Kim**

Department of Environment Engineering, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea

**STS Semiconductor & Telecommunications Co. Ltd, Chungnam 330-220, Korea*

***Department of Display Engineering, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea*

(Manuscript received 25 August, 2008; revised 3 November, 2008; accepted 15 January, 2009)

Abstract

The aim of this study is to calculate process emission of GHGs(greenhouse gases) in nonferrous-metal industry, such as Zn, Pb, Cu and Ni. In addition, variation and emission of GHGs generated from these company were defined. And then, GHGs algorithm and calculation formular which were considered as production process in each part of nonferrous-metal industry were developed to develop calculation program of GHGs emission. These algorithm and calculation formular would present fundamental direction about other nonferrous-metal industry in the future.

Key Words : Nonferrous metal, Greenhouse gases, Calculation formular, IPCC, Calculation guideline

1. 서 론

인류의 인위적인 활동에 따른 화석연료 사용의 증가는 온실가스 배출의 증가를 초래하였고 지구의 평균 기온을 상승시킴으로써 각종 기상이변과 인류에 막대한 피해를 가져다주는 결과를 낳았다.

이러한 피해를 최소화하고 억제하기 위해 온실가

스 감축을 목표로 1997년 교토의정서(Kyoto Protocol)가 채택되었다. 선진국(부속서 I 국가)들이 온실가스의 배출 감축의무를 할당받음으로써 구체화되었고, 러시아가 비준하여 2005년 2월 16일 발효되었다.

교토의정서의 발효는 상징적인 의미를 가지고 있다. 첫 번째는 지금까지 인류가 가장 많이 사용하던 화석연료가 미래에는 새롭고 청정한 연료로 대체될 것을 의미하며, 두 번째는 지구온난화 가스를 다루는 새로운 시장이 형성되게 될 것이고, 세 번째는 에너지 효율전쟁, 기술 전쟁의 시작이 되면서 유럽과 일본, 미국과 호주의 신기술 패권을 둘러싼 싸움

Corresponding Author : Jin-Do Chung, Department of Environmental Engineering, Hoseo University, Chungnam 336-795, Korea
Phone: +82-41-540-5743
E-mail: jdchung@hoseo.edu

이 시작되었다고 보아야 하며, 네 번째는 환경과 경제의 연계가 긴밀해지고 환경을 빌미로 한 비관세 장벽이 대두되는 소위 그린마운드(Green mound)가 본격적으로 작동하는 것을 의미한다¹⁾.

우리나라는 최근 2007년 12월 제13차 당사국총회에서 '발리 로드맵'이 채택됨으로써 향후 온실가스 감축의무가 확정적인 것으로 가시화된 상태에 있다. 이러한 국제적 동향에 대응하기 위해 국내에서도 산업별 온실가스 발생량에 대한 각종 연구개발 정책 사업을 추진하고 정확한 산정지침 수립을 준비하고 있다.

국내에서는 철강, 발전, 석유화학, 정유 등 에너지 다소비업종을 중심으로 한, 산업부문 온실가스 배출량 산정지침이 개발된 바 있으나, 비철금속 산업 부문에 대한 산정지침은 개발이 미흡한 실정이다²⁾.

따라서 본 연구는 비철금속 산업에서 발생하는 온실가스의 종류를 규명하고 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management(2000), IPCC Guidelines(1996 개정판), 세계자원연구소/세계지속가능발전기업협의회(World Resources Institute/World Business Council for Sustainable Development : WRI/WBCSD)의 Greenhouse Gas Protocol 등의 산정론을 참고하여 배출량 산정지침 수립을 위한 기초연구를 수행하였으며 특히, 비철금속 중 국내에서 생산되고 있는 아연(Zn), 납(Pb), 니켈(Ni) 그리고 구리(Cu)의 생산공정을 중심으로 연구하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 기업의 운영경계의 설정

운영경계는 사업장의 형태와 온실가스 배출량 귀속 주체 설정방법에 따라 달라질 수 있으며, 종류는 크게 직접배출원과 간접배출원으로 나뉜다³⁾.

일반적으로 직접 배출원(Scope1)에는 고정연소(제품 제조에 필요한 에너지 생산을 위해 사용된 연료에서 배출되는 배출량), 이동연소(사업장 내 차량 이동, 제품출하 등), 공정배출(제품생산 공정 중 발생) 그리고 탈루배출(냉매장치, 파이프라인, 원료야적 등)로 나뉜다. 간접 배출원1(Scope2)는 기업에서 소비되는 전기 및 스팀을 구입하는 경우, 전기 및 스팀의 사용을 통해 온실가스가 발생하는 것은 아니나 생산자가 아닌 소비자가 온실가스의 발생량을

책임져야 하는 경우에 보고 의무 대상이 된다. 간접 배출원2(Scope3)는 중복산정의 가능성 및 모니터링이 어려운 관계로 산정대상에서 고려하지 않는 경우가 많다^{3,4)}.

2.2. 배출원 경계

배출원은 종류에 따라 크게 일반배출원(Cross sector emission source)과 공정배출원으로 구분되어진다. 일반배출원은 고정연소, 이동연소, 탈루배출, 구매전력(열)에 대한 배출량 산정이 업종 구분에 상관없이 공통적으로 적용되는 배출원을 말하고 공정배출원은 업종별 배출원(Sector specific emission source)중 해당 업종 군에서만 발생가능한 배출원을 의미한다.

본 연구에서는 타 업종과 동일하게 발생하는 일반배출원은 제외하고 비철금속 산업만이 보유하고 있는 업종고유의 공정배출원에 대해서 연구하였고 자세한 내용은 연구 결과에 기술하였다.

2.3. IPCC의 Tier 1과 Tier 2 방법⁵⁾

교토의정서에는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 과불화탄소(PFCs), 수소불화탄소(HFCs), 6불화황(SF₆)을 6가지 지구온난화 물질로 규제하고 있다. 온실가스 산정방법 중 Tier 1 방법은 사용된 연료의 형태와 그에 따른 배출계수를 사용하여 산정하는 방법이며, Tier 2 방법은 연료의 형태 및 연소의 형태에 의한 배출계수를 사용하여 산정하는 것이다.

일반적으로 IPCC의 Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories에 따르면 직접 배출원 중 공정배출원의 경우, 개별 공정에 따라 사용되는 장비의 형식이 매우 상이하므로 공정 데이터가 존재하는 경우는 Tier 2 방법을 이용하는 것을 추천하며, Tier 2 방법으로 산정하여도 불확실성이 너무 큰 경우에는 Tier 1 방법이 추천되기도 한다.

3. 연구 결과

3.1. 업종별 온실가스 종류 및 발생유무 규명⁶⁾

각 비철금속 산업의 생산공정 관련자료를 수집하여 일반배출원(Table 1)과 공정배출원(Table 2)의 경계를 구분하였고 배출원으로부터 발생하는 온실가

Table 1. GHGs generated from cross sector emission source

Type		GHGs					
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆
Cross sector emission source	Stationary combustion	○	○	○	×	×	×
	Mobile combustion	○	○	○	×	×	×
	Fugitive emissions	×	○	×	×	○	×
	Purchased electricity	○	×	×	×	×	×
	Purchased steam	○	×	×	×	×	×
	Electricity production	○	×	×	×	×	×
	Steam production	○	×	×	×	×	×

Table 2. GHGs generated from sector specific emission source

Scope		GHGs					
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆
Sector specific emission source	Process emissions	○	×	×	×	×	×

스의 종류와 발생유무를 규명하였다.

3.2. 비철금속별 공정 알고리즘 및 발생 온실가스 산정식

3.2.1. 아연(Zn)

아연생산에서는 황화아연정광(ZnS ; 섬아연석)을 산화아연(ZnO)으로 만드는 배소공정 중 초기보조연료(중유)의 연소에 기인한 CO₂ 배출과 배소공정의 다음 공정인 제련공정 중 건식제련(용광로 제련에 한함)에서 산화아연을 환원하기위해 사용되는 코크스(C)의 투입에 의한 CO₂의 배출과 원석에 포함된 황성분에 의해 배출되는 황산화물을 제거하기 위한 탈황공정이 CO₂의 생산공정 배출원에 해당된다⁸⁾. 습식제련의 경우는 공정배출원이 존재하지 않는다.

Fig. 1은 아연 생산공정에서 발생하는 온실가스를 산정하기 위한 알고리즘이며, 그림의 내용 중 1번~5번은 온실가스 발생원을 나타낸 것이다.

3.2.1. 아연의 생산공정에서 발생하는 온실가스 산정식

아연의 생산공정에서 발생하는 온실가스의 산정식은 다음과 같다.

3.2.1.1. 보조연료 사용 시 연소에 의한 CO₂ 배출량 산정(Fig. 1의 1번에 해당)

산화아연을 만드는 배소공정 중 착화 시 초기보조연료사용에 의한 온실가스 산정식은 식(1)과 같다.

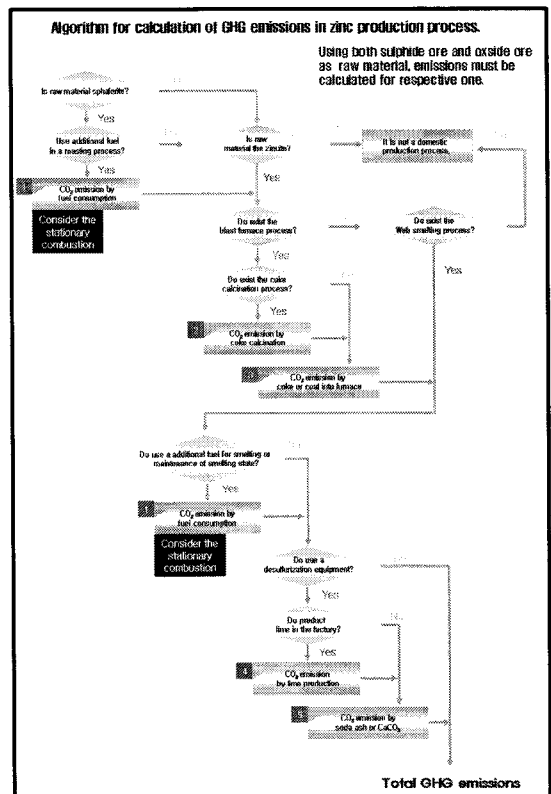


Fig. 1. Algorithm of Zn manufacturing process²⁾.

$$\text{배출량(t CO}_2\text{e/yr)} = \text{연료소비량(t/yr)} \times \text{저위발열량 (TJ/kg)} \times \text{연소율} \times \text{CO}_2 \text{ 배출계수(kg/TJ)} \dots \dots \dots \text{Eq(1)}$$

연간 톤단위로 산정하는 이산화탄소의 배출량 (Ton CO₂ Emission)은 저위발열량(연료가 연소한 후 연소가스의 온도를 최초 온도까지 내릴 때 분리하는 열량인 고위발열량에서 연소가스 중에 함유된 수증기의 증발열을 뺀 발열량)의 경우 연료를 구매한 업체로부터 해당업체가 제시하는 고유의 값을 사용하고, 배출계수는 별도의 인증과정을 거친 자사고유의 계수를 사용하거나, 영국환경식품농업부(DEFRA)의 배출계수를 등을 이용할 수 있다.

3.2.1.2. 작업장 내 코크스 소성에 의한 CO₂ 배출량 산정(Fig. 1의 2번에 해당)

용광로제련법에서 환원제로 쓰이는 코크스를 작업장 내에서 직접 생산할 경우에 추가적으로 산정하는 산정식은 식(2)와 같다.

$$\text{배출량(t CO}_2\text{/yr)} = [\text{Green coke 공급량(t/yr)} \times (100 - \text{Green coke의 습도(wt\%)} - \text{Green coke의 휘발성분(wt\%)} - \text{Green coke의 황 함유율(wt\%)})/100 + (\text{소성 coke 생산량(t/yr)} + \text{소성 중인 coke의 양(ton)} + \text{Coke dust 배출량(t/yr)}) \times (100 - \text{소성 coke 중 황 함유율(wt\%)})/100] \times 44/12 + \text{Green coke 공급량(t/yr)} \times 0.035 \times 44/12 \dots\dots\dots \text{Eq(2)}$$

각 항의 계수는 WRI/WBCSD에서 제시한 각 계수의 값을 이용한다.

- Green coke의 습도(wt %) : 10
- Green coke의 휘발성분(wt %) : 10
- Green coke의 황함유율(wt %) : 3
- 소성 coke 중 황함유율(wt %) : 2.5
- 소성 coke의 생산량(t) : 0.8 × Green coke의 공급량(t)
- 소성 중인 coke의 량(t) : 0
- Coke dust 배출량(t) : 0.075 × Green coke의 공급량(t)

3.2.1.3. 용광로 제련 시 코크스 투입에 의한 CO₂ 배출량 산정(Fig. 1의 3번에 해당)

간식제련 중 레도트트 증류제련은 해당되지 않으며, 용광로 제련 시 코크스 투입에 의한 CO₂ 배출량 산정식은 식(3)과 같다. 코크스 중 가연탄소성분이 산소와 반응하여 CO₂가 되는 산화물 및 CO₂가 다시 환원되어 CO가 되는 환원율은 이용되는 장비의 특성 등을 고려하여 계수화하여야 한다.

$$\text{배출량(t CO}_2\text{/yr)} = \text{코크스 투입량(t/yr)} \times \text{코크스 중 가연탄소성분의 산화율(\%)} / 100 \times 44/12 \times (100 - \text{CO}_2\text{의 환원율(\%)})/100 \dots\dots\dots \text{Eq(3)}$$

$$\text{환원율(\%)} / 100 \dots\dots\dots \text{Eq(3)}$$

3.2.1.4. 작업장 내 석회생산 시 발생하는 CO₂ 배출량 산정(Fig. 1의 4번에 해당)

탈황제로 쓰이는 석회를 작업장 내에서 직접 생산하는 경우에만 해당하며 산정식은 식(4)와 같다. 석회의 순도는 WRI/WBCSD에서 제시하는 계수를 참고하여 산정할 수 있다.

$$\text{배출량(t CO}_2\text{/yr)} = \text{생석회의 양(t/yr)} \times 44/56 \times \text{생석회의 순도(\%)} / 100 + \text{소석회의 양(t/yr)} \times 44/74 \times \text{소석회의 순도(\%)} / 100 \dots\dots\dots \text{Eq(4)}$$

생석회의 순도 : 0.95

소석회의 순도 : 0.95

3.2.1.5. 탈황공정시 발생하는 CO₂ 배출량 산정(Fig. 1의 5번에 해당)

원석에 포함되어 있는 황성분 또는 생산공정에서 발생하는 황산화물을 제거 시 투입되는 Na₂CO₃ 또는 CaCO₃에 의해 발생하는 CO₂는 식(5)와 같이 산정한다.

$$\text{배출량(t CO}_2\text{/yr)} = \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ 또는 CaCO}_3 \text{의 소모량(t/yr)} \times \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ 또는 CaCO}_3 \text{에 대한 CO}_2 \text{의 분자량비} \times \text{소모된 Na}_2\text{CO}_3 \text{ 또는 CaCO}_3 \text{순도} \dots\dots\dots \text{Eq(5)}$$

3.3. 납의 생산공정에서 발생하는 온실가스

납생산을 위한 제련법은 고로제련법과 직접제련법(QSL공법)이 있고, 사용되는 제련법에 따라 공정배출원이 다르게 나타난다. 먼저 고로제련법을 이용할 때의 공정배출원은 황화납(PbS ; 방연석)을 산화납(PbO)으로 만드는 배소공정이 해당되고, 직접제련법(QSL공법)을 이용할 경우는 산화배소 시 황의 함량에 따라 초기점화용 연료 또는 보조연료(중유)의 사용에 기인한 CO₂ 배출과 제련공정 중 산화납을 환원하기 위해 사용되는 코크스(C) 또는 석탄가루(Coal)의 투입에 의한 CO₂ 배출을 공정배출원이라고 할 수 있다 또한 원석에 포함된 황성분이 황산화물로 배출되는데 이를 제거하기 위한 탈황공정에서의 CO₂ 배출도 공정배출원에 해당된다⁹⁾.

3.3.1. 납의 생산공정에서 발생하는 온실가스 산정식

납의 생산공정에서 발생하는 온실가스의 산정식은 다음과 같다.

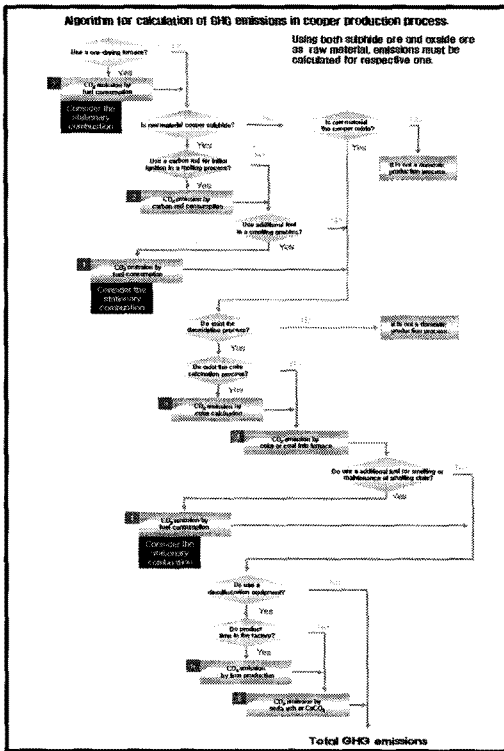


Fig. 4. Algorithm of Cu manufacturing process²⁾.

소, 작업장 내 코크스 소성, 작업장 내 석회생산, 탈황 그리고 직접환원법 이용 시 코크스 투입 시 발생하는 온실가스에 대한 산정식은 식(1), 식(2), 식(4), 식(5), 식(6)과 동일하다.

3.5. 구리의 생산공정에서 발생하는 온실가스

구리는 원석인 구리광석(1~2% Cu)으로부터 분쇄 및 선광과정을 거쳐 만들며, 이 공정은 원석의 수입처인 국외에서 이루어진다. 구리정광은 황화구리광이 주종을 이루며 구리의 함유량은 약 20~30% 정도이고, 나머지 성분은 철, 황, 이산화규소 등으로 이루어지며, 극소량의 탄소를 함유하고 있으나 건조과정 중 C-slag의 형태로 회수되어 냉매로 사용된다. 구리의 생산공정에서 온실가스의 발생원이 거의 없으나, 원석에 포함된 황성분이 황산화물로 배출되므로 탈황공정이 필요하다. 이로 인해 온실가스인 CO₂가 발생한다¹⁰⁾.

3.5.1. 구리의 생산공정에서 발생하는 온실가스 산정식

국내에서 구리의 생산공정은 온실가스를 거의 배출하지 않지만 탈황공정에 의해 CO₂가 배출된다. 탈황공정에 필요한 석회의 생산 및 투입에 의해 발생되어지는 온실가스에 대한 산정식은 식(4), 식(5)와 동일하다.

4. 결론 및 고찰

본 연구는 비철금속 중 국내에서 생산되고 있는 아연(Zn), 납(Pb), 니켈(Ni) 그리고 구리(Cu)의 생산공정에서 발생하는 온실가스의 종류와 배출량 산정 지침 수립을 위한 연구를 수행하였고 결과는 다음과 같다.

4.1. 온실가스 종류

국내에서 생산되고 있는 비철금속 4개 업종의 생산공정에서 발생하는 온실가스의 종류는 모두 CO₂로 나타났다. 구리의 생산공정과 같이 비록 핵심 공정에서 온실가스가 발생하지 않더라도 원석에 포함되어 있는 황성분을 제거하기 위한 탈황시설에서 소석회나 생석회의 환원 반응에 의해 발생하는 온실가스가 존재함을 알 수 있었다.

4.2. 온실가스 배출

원석에서 제품생산에 요구되는 화학구조로 변환시키는 배소공정 등 보조연료의 사용에 의한 온실가스 배출이 있음을 알 수 있었다. 또한, 비철금속 생산 시 4개 업종 모두 제련과정을 필수적으로 거치며 이때 제련에 필요한 코크스를 소성하는 과정이나 코크스자체를 투입함으로써 발생하는 온실가스의 배출을 알 수 있었다.

참고 문헌

- 1) Kim J. I., 2005, The Second National Climate Change Workshop : Possibility of Greenhouse Gas Reduction from Korean Industry, and It's Response Strategy, Journal of the Korean Meteorological Society, 41(2-1), 315-323.
- 2) Han J. M., 2006, A study on the Estimation of

- Calculation Guideline about Emissions of GHGs in Nonferrous Metal Industries, MS Dissertation, Department of Environmental Engineering, Hoseo University, Asan.
- 3) WRI/WBCSD, GHG Protocol, A Corporate Accounting and Reporting Standard(Chap. 10. Verification of GHG Emission), World Business Council for Sustainable Development, 68-73.
 - 4) Environmental Management Corporation, Eco-frontier, 2005, A Study on Construction of Emission trading treatment facilities, Ministry of Environment.
 - 5) Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, IGES, 1.3-1.4.
 - 6) Chung J. D., Kim J. W., Kim J. T., Han J. M., 2006, Development of Estimation, Reporting, and Verification System for Greenhouse Emission from Industrial and Environmental Sectors, KIEST, 847-859.
 - 7) Chung J. D., Kim J. W., Kim J. T., Han J. M., 2006, Estimation of GHG generated in Industrial Process of Pb, Climate Change Announcement, 2-5.
 - 8) Park K. H., Son J. S., 2004, Application and Apprehend of Ni, Korea metal journal, 48-52.
 - 9) Kang T., Kim K. W., Lee C. K., Son H. J., 2005, Recycle of Zn and Pb, Korea metal journal, 72-84.
 - 10) Cho M. H., Lee J. H., 1995, Non-ferrous metal refining engineering, Hanyang University, 2-88.