

철강산업 용융로의 대기오염물질 배출계수 산정 연구

A Study on the Emission Factors of Air Pollutants for the Melting Furnaces of the Iron and Steel Industry

석광설* · 방선애 · 홍지형 · 이석조 · 김대곤 · 이대균 · 허정숙 · 이은정

국립환경연구원 대기연구부 대기공학과

(2003년 9월 30일 접수, 2004년 4월 30일 채택)

K.S. Seok*, S.A. Bang, J.H. Hong, S.J. Lee, D.G. Kim, D.G. Lee, J.S. Heo and E.J. Lee

Air Pollution Engineering Division, National Institute of Environmental Research

(Received 30 September 2003, accepted 30 April 2004)

Abstract

The purpose of this study is to estimate of emission factors of the air pollutants for the melting furnaces for the iron and steel industry.

The result of this study is able to obtaine the emission factor of particulate matters (PM), sulfur dioxide, nitrogen oxides for melting furnace. The emission factors of each pollutants were as follows :

- the emission factor varied between $6.13E-03 \sim 6.12E-01$ kg/ton for PM
- $1.59E-01 \sim 2.45E+00$ kg/ton for SO_2
- $6.82E-02 \sim 6.88E-01$ kg/ton for NO_x , respectively.

Analysis of the differences in the emission factors of ours and U.S. EPA's yielded the following results for the Wilcoxon method : $p > 0.05$. The statistical analysis showed no differences in the our emission factors and U.S. EPA's

Key words : Emission factor, Iron and steel industry, Melting furnaces, Particulate matters, Sulfur dioxide, Nitrogen oxides

1. 서 론

철강산업은 세계 산업사회에 필수적 기초소재인 철강을 제공하며 일찍부터 많은 인력과 거대한 장치를 요구하는 자본집약적인 기간산업으로써 경제발전

에 많은 기여를 했다. 또한 철강산업은 환경적 측면에서 심각한 영향을 줄 수 있는 중요한 산업공정중 하나이다. 2000년도 세계 철광석 생산량 8억5천만톤으로 20세기 이후 급속한 성장을 보이고 있으며 유럽연합국에서의 생산량은 1억6천만톤 이상 생산하고 있다 (Schultmann *et al.*, 2003).

1970년대 이후 본격적으로 철강산업에 참여한 우리나라는 그동안 국가 경제 발전에 기여한 바가 크다. 우리나라의 조강생산은 지난 20여 년간 급속한

* Corresponding author
Tel : +82- (0)32-560-7152, E-mail : ksseok@me.go.kr

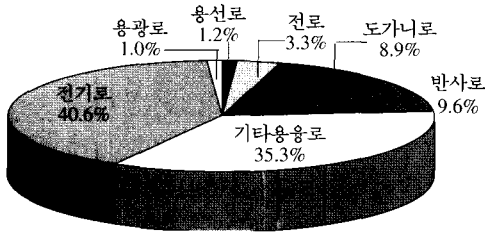


Fig. 1. The distribution of melting furnaces in SODAM (2001).

수요증가에 힘입어 연평균 16%의 고속성장을 하여 1995년 3,677만톤, 1999년에는 3,990만톤을 기록하였다(이창희, 1996).

조강생산에서 전기로 조업은 '63년 부산제철소의 연산 5만톤 규모의 전기로 설비 이래 지속적인 설비의 신증설로 2000년 약 1,900만톤을 생산하였다. 전기로에 의한 생산 비중은 '93년 31%에서 '99년 42%로 증가하였는데 이는 전기로에 의한 제강 공정이 전로제강법에 비하여 설비투자액이 적고 수요의 변동에 대하여 유연하게 설비의 가동을 제어할 수 있으며 다양한 종류의 강을 생산할 수 있기 때문이다(조정우, 2001).

국립환경연구원의 대기배출원 및 배출량조사 프로그램(SODAM: Source data management program)에 따르면, 2001년을 기준으로 1~3종 대기배출원 대상 사업장에는 총 1,151개의 용융시설이 있으며 이중 전기로가 40.6%로 가장 많았으며, 반사로와 도가니로가 각각 8.9%와 9.6%로 나타났다(그림 1). 철강산업은 에너지 다소비산업이고, 특히 제조공정 중에 소음과 분진이 다량 발생하여 산업발전의 추구와 환경보전의 조화라는 어려운 상황에 직면하고 있다. 따라서 최근의 우리나라 철강업계 경영환경은 설비과잉 투자에 의한 수익성 감소, 환경라운드에 의한 대내외적 규제로 기업 활동에 큰 제약을 받고 있는 가장 어려운 시기에 처해 있다(한양대 공학기술연구소, 1998).

우리나라의 금속산업은 철강산업과 비철금속산업 그리고 금속주조업으로 이루어지며, 이중 강을 제조 가공하는 철강산업은 총 9개 업종으로 분류된다. 이들 업종들은 1차적으로 제철제강산업에서 생산된 철강제품이 하부 철강업종으로 보내지는 등 생산제품의 특성이 확실히 구분되어 있어, 업종분류가 타 산

업에 비해 분명하다는 특성을 가지고 있다. 철강산업의 오염물질 배출은 제조공정의 특성상 단위 생산공정의 이동이 개방형으로 이루어져 있어, 배출오염물질이 대기에 노출되는 빈도가 타 업종보다 높으며, 원료의 투입시 먼지발생 등 오염물질이 완전히 처리되지 못한 상태로 작업장내에 혹은 외부로 오염물질이 비산되는 경우가 많다. 또한 여러 가지 원료를 다루는 화학공장과는 달리 사용되는 원료가 단순하며 철을 원료로 취급하는 것이므로 대부분 업종의 제조공정이 비슷하다는 특성을 가지고 있다. 따라서 철강산업의 공정별 배출시설은 비교적 복잡하지 않으며, 주된 오염물질 배출시설은 용융시설과 공정 가열로 등으로 연료를 연소하여 철의 물성을 전환하는 과정에서 먼지, 황산화물, 질소산화물 등의 입자상 및 가스상 오염물질이 발생한다(환경부와 국립환경연구원, 2002).

이에 본 연구에서는 이미 국립환경연구원(2002)이 제시한 바 있는 새로운 대기분류체계에 따라 철강산업 중 용융공정이 제품생산과정의 주를 이루는 제철 및 제강업, 열간 압연 및 압출제조업, 합금철 제조업, 선철주물주조업, 강주물주조업의 5개 업종의 용융시설에서 오염물질 배출계수를 산정하였고, 이를 미국의 EPA에서 제안하고 있는 배출계수와 비교 평가하였다.

2. 방법 및 내용

2.1 업종별 조사 대상 사업장 선정

조사대상 사업장의 선정은 국립환경연구원의 대기배출원 및 배출량조사 프로그램(SODAM: source data management program)을 이용하였으며, 오염물질 배출량과 연료 및 원료 사용량, 제품생산량, 배출시설 및 방지시설 등의 업종 대표성 여부를 고려하여 선정하였다. 그 결과 철강 산업 중 용융시설을 이용하는 5개 업종에서 11개 사업장을 대상 사업장으로 선정할 수 있었다.

2.2 배출계수 산정

최종 선정된 조사대상 사업장은 대기 배출특성 조사 양식을 이용하여 각 사업장의 제품생산량 및 원료사용량, 생산제품에 대한 제조공정별 배출시설과

방지시설, 배출시설의 오염물질 배출량 등을 자료를 확보하고 이를 통해 제조공정별 배출특성을 전반적으로 확인하는 1차 분석을 수행하였다. 특히 공정별 배출시설에서의 오염물질배출량 자료는 오염물질배출 관리를 위하여 조사대상 사업장에서 행하고 있는 자가측정 결과자료를 이용하였다.

모든 사업장별 조사내용에 대한 1차 분석 후, 사업장별 조사 자료의 신뢰성 확인과 제조공정을 조사하기 위한 목적으로 사업장에 대한 현장조사를 수행하였다. 현장조사에서는 누락된 배출시설 및 방지시설 생산정보 등을 확보하여 각 사업장에서 수집된 자료에 대한 분석 및 검증에 과정을 거치고 난 후 제조공정별 배출계수를 산정하였다. 배출계수는 각 생산공정별 배출시설 및 방지시설의 오염물질 배출량을 알 수 있는 기본인자이므로 배출량 산정에 분모가 될 수 있는 원료투입량, 제품 생산량, 연료사용량을 공정별로 파악하고 이를 각 공정별 배출시설의 활동도로 고려하여 오염물질 배출계수를 산정하였다. 식 (1)은 배출계수 산정 식을 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} & \text{배출계수 (kg/ton)} \\ &= \left(\text{오염물질 농도 (mg/m}^3, \text{ppm)} \times \frac{\text{분자량}}{22.4} \right) \\ & \quad \times \frac{\text{건조배출가스 유량 (m}^3/\text{day)} \times 10^{-6}}{\text{제품 생산량 or 원료사용량 (ton/일)}} \end{aligned} \quad (1)$$

Table 1. The assignment of data quality rate.

등급	기준
A	<ul style="list-style-type: none"> 오염물질 측정이 국가표준 시험방법 (연속 또는 비연속)에 의해 이루어진 경우 검증에 필요한 자료의 측정횟수가 연간 20회 이상 확보된 경우
B	<ul style="list-style-type: none"> 오염물질 측정이 국가 표준 시험방법 (연속 또는 비연속)에 의해 이루어진 경우 검증에 필요한 자료의 측정횟수가 연간 10회 이상 확보된 경우
C	<ul style="list-style-type: none"> 오염물질 측정이 국가표준시험방법 (연속 또는 비연속)에 의해 이루어진 경우 검증에 필요한 자료의 측정횟수가 연간 10회 미만 확보된 경우
D	<ul style="list-style-type: none"> 시험이 증명되지 않았거나 새로운 방법에 의하여 이루어진 경우 대기배출시설에 대한 설계치 또는 계산치인 경우 검증에 필요한 자료의 측정횟수가 1회 미만 확보된 경우

산업공정별 배출계수자료는 산업시설에서 배출되는 오염물질의 배출량을 산정하고 이를 이용하여 대기오염 예측 및 오염 발생원을 효과적으로 관리하는데 다방면으로 사용할 수 있는 유용한 자료이다. 이와 같은 목적에서 산정된 계수를 폭 넓게 사용하기 위해서는 복잡다단한 산업공정의 배출시설을 표준화하여 배출특성으로 살릴 수 있도록 해야 한다. 그러나 계수의 범용적인 사용을 위하여 산업공정으로 일반화하면 각 공정별 배출원의 배출특성을 살리지 못하여 현실적인 배출량을 산정할 수 없으며, 각각의 개별 배출시설의 공정특성을 살려 세분화하면 계수가 특정한 배출시설에만 적용되어 일반적인 사용이 어렵다. 또한 현대산업기술의 급속적인 발달은 제조공정의 배출시설의 변화로 이어지므로 실질적인 배출량을 추정하기 위해서는 배출계수의 수정·보완 연구를 통한 질적 향상이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 이를 위하여 미국 EPA의 AP-42 (U.S.

Table 2. The assignment of emission factor quality rate.

등급	기준
A	<ul style="list-style-type: none"> 자료검증등급의 A, B등급으로부터 산정 조사대상사업장 (1~3종)의 수의 비율이 각 업종별 전체업체 수의 70% 이상을 차지할 때 조사대상사업장 수의 비율이 각 업종별 전체업체 수의 50~70% 일지라도 해당업종의 배출특성을 대표 대상사업장의 대기배출특성 (생산제품, 배출시설 혹은 방지시설)이 유일하거나 그 수가 소수로 충분히 특성화 되어있는 경우
B	<ul style="list-style-type: none"> 자료검증등급의 A, B등급으로부터 산정 조사대상사업장 (1~3종)의 수의 비율이 각 업종별 전체업체 수의 50% 이상을 차지할 때 조사대상사업장 수의 비율이 각 업종별 전체업체 수의 30~50% 일지라도 해당 업종의 배출특성을 대표
C	<ul style="list-style-type: none"> 자료검증등급의 A, B, C등급으로부터 산정 대기배출 대상사업장 (1~3종) 수의 비율이 각 업종별 전체업체 수의 30% 이상을 차지할 때 조사대상사업장의 수의 비율이 각 업종별 전체업체 수의 10~30% 일지라도 조사사업장이 해당업종의 배출 특성을 대표
D	<ul style="list-style-type: none"> 자료검증등급의 A, B, C등급으로부터 산정 대기배출 대상사업장 (1~3종) 수의 비율이 각 업종별 전체업체 수의 10% 이상을 차지할 때
E	<ul style="list-style-type: none"> 자료검증등급의 A, B, C등급으로부터 산정 대기배출 대상사업장 (1~3종) 수의 비율이 각 업종별 전체업체 수의 10% 미만을 차지할 때
F	<ul style="list-style-type: none"> 자료검증등급의 D등급

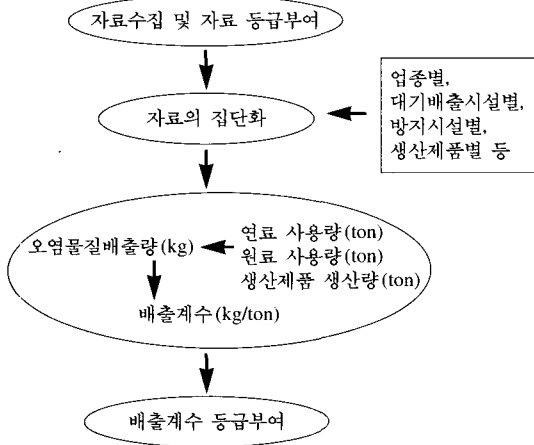


Fig. 2. The process of the determination for emission factors and emission rates.

EPA, 2000; U.S. EPA, 1997)에서 제시한 신뢰도 평가방법에 준하여 계수의 등급을 부여하였으며 등급 부여 기준은 표 1과 표 2에 자세히 기술하였다. 계수의 등급부여는 2단계로 나누어 수행하였는데, 먼저 계수 산정을 위하여 확보된 자료가 공인된 시험방법에 따른 수행 여부와 연간 측정횟수를 기준으로 A~D까지 자료의 등급을 부여하고 최종적으로 배출계수 등급은 업종별 전체 대상사업장(1~3종)에서 본 연구에서 선정된 표본조사 대상사업장이 차지하는 비율을 고려하여 A~F 등급으로 나타내었다. 그림 2는 본 연구에서 배출계수 등급부여의 과정을 나타낸 것이다.

2. 3 통계학적 검정

통계 프로그램인 SPSS 10K를 이용하여 외국의 배출 계수(U.S. EPA)와 본 연구의 산정결과로 나온 배출계수는 통계분석법 중 Wilkoxon 순위합 검정을 이용하여 비교 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 철강산업 용융시설에서의 대기오염물질별 배출계수

철강산업의 용융시설에서는 제철 및 제강업, 열간

Table 3. The emission factors of PM for the type of melting furnaces.

업종	배출시설	방지시설	배출계수 (kg/ton)	등급
제철 및 제강업	고로	세정집진	6.10E-02 ^a	A
	소결로	전기집진	3.62E-02 ^b	A
	코크스로	여과집진	6.21E-02 ^c	A
	석회소성로	세정집진	1.19E-01 ^d	A
열간압연압출제조	전기로	여과집진	1.13E-02 ^e	C
	전기로	여과집진	6.13E-03 ^e	D
합금철제조업	전기로	여과집진	2.32E-01 ^f	A
선철주물주조업	용선로	여과집진	5.12E-02 ^g	E
	전기유도로	여과집진	1.93E-02 ^g	E
	전기로	여과집진	2.59E-02 ^g	E
강주물주조업	전기도가니로	여과집진	1.55E-01 ^h	C
	반사로	여과집진	6.12E-01 ^h	C

a : kg/Hot Metal 생산량(ton), b : kg/소결광생산량(ton)
 c : kg/Cokes 생산량(ton), d : kg/석회생산량(ton)
 e : kg/고철사용량(ton), f : kg/Mn합금철 생산량(ton)
 g : kg/주철생산량(ton), h : kg/알루미늄사용량(ton)

압연 및 압출제조업, 합금철 제조업, 선철주물주조업, 강주물주조업의 5개 업종에서 대표적인 대기오염물질인 먼지, 질소산화물, 황산화물에 대한 총 22건의 배출계수를 산정할 수 있었으며 산정된 배출계수를 미국의 EPA의 방법에 따라 등급을 부여한 결과 A등급 13건, C등급 3건, D등급 1건과 E등급 5건으로 나타났다.

3. 1. 1 먼지의 배출계수

철강관련 업종의 용융시설인 고로, 소결로, 코크스로, 석회소성로, 전기로, 용선로, 전기유도로, 도가니로, 반사로 등 총 9종의 시설에서 12건의 먼지 배출계수를 산정할 수 있었다. 각 업종별 용융시설에서 산정된 먼지배출계수는 표 3과 같다.

용융시설의 먼지 배출계수 산정시 제철 및 제강업과 합금철제조업에서 5건의 A등급계수를 확보할 수 있었으며, 그 외에 C등급 3건, D등급 1건, E등급 3건을 산정하였다. 선철을 생산하는 제선공정의 용광로와 소결로는 전기집진시설과 세정집진시설이 설치되어 있었으며 그 외 대부분의 용융시설은 여과집진시설로 먼지를 제어하고 있었다.

9종의 용융시설에서 산정된 먼지 배출계수의 범위는 제품 생산량이나 원료사용량 1 ton을 기준으로 할 때 약 0.01~0.61 kg으로 분포 폭이 넓었다. 산정된

먼지 배출계수 중 가장 큰 것은 강주물주조업의 반사로로써 6.12E-01 kg/ton로 나타났으며, 동일조건에서 전기도가니로는 반사로의 약 1/4수준인 1.55E-01 kg/ton이었다. 제철 및 제강업의 제선공정의 용융시설인 석회소성로의 배출계수는 1.19E-01 kg/ton으로서 동일 공정의 고로와 코크스로 배출계수 6.10E-02 kg/ton, 6.21E-02 kg/ton의 약 2배, 소결로 배출계수 3.62E-02 kg/ton의 4배가 높은 것으로 나타나 제선공정에서 배출량이 큰 용융시설은 석회소성로임을 배출계수 산정결과 알 수 있었다.

또한, 선철주물주조업에서는 전기유도로, 전기로와 용선로에서 먼지배출계수를 산정할 수 있었는데 이중 용선로에서 산정된 배출계수가 전기유도로나 전기로에서 산정된 계수보다 약 2배 정도 높은 5.12E-02 kg/ton으로 산정되었다. 이처럼 용선로가 전기로나 전기유도로보다 배출 계수가 큰 것은 용선로의 주철생산시 고철과 함께 원료로 장입되는 코크스가 연소반응하여 발생하는 것으로 사료된다.

본 연구의 조사결과 전기로는 다양한 업종에서 용융시설로 쓰이고 있었으며 각 업종별 전기로의 배출특성과 배출계수를 산정할 수 있었다. 합금철제조업의 전기로에서 먼지 배출 계수는 2.23E-01 kg/ton으로서 선철주물주조업, 제철 및 제강업, 열간압연 및 압출 제조업의 배출계수보다 10배에서 20배가 높은 것으로 나타났는데 이는 합금철 제조업의 전기로는 시설용량이나 집진설비면에서는 제강공정의 전기로와 비슷하지만 일반적으로 고철을 용융하는 전기로와는 용융 방식이 다르며 원료로 망간, 규석 등의 원석과 코크스를 사용하므로 다량의 먼지가 배출되는 것으로 사료된다. 또한 같은 고철을 용융하는 전기로라 할지라도 선철주물주조업의 전기로에서 산정된 배출계수는 2.59E-02 kg/ton으로 가장 높았으며 제철 및 제강업에서는 1.13E-02 kg/ton, 열간압연 압출 제조업 6.13E-03 kg/ton순으로 나타났다. 선철 주물주조업의 시설에서 가장 높은 먼지 배출계수가 산정된 것은 주물주조업의 용융시설은 5톤 미만의 소규모 시설로써 집진시설의 영세성과 장입원료의 다양성 때문이라 판단된다. 그러나 제철 및 제강업과 열간압연 및 압출제조업의 전기로는 업종은 다르지만 동일한 제강공정에서 사용되는 용융시설임에도 두배의 차이를 보이는 것으로 나타났으며 두 업종 모두 배출계수는 C와 D등급으로 낮아 평가하기가 어려웠

Table 4. The emission factors of SOx for the type of melting furnaces.

업종	배출시설	방지시설	배출계수 (kg/ton)	등급
제철 및 제강업	고로	방지시설미설치	1.59E-01 ^a	A
	소결로	방지시설미설치	8.23E-01 ^b	A
	석회소성로	방지시설미설치	1.73E-01 ^c	A
합금철제조업	전기로	방지시설미설치	2.45E+00 ^d	A
선철주물주조업	용선로	방지시설미설치	5.47E-01 ^c	E

a : kg / Hot Metal 생산량(ton), b : kg / 소결광생산량(ton)
 c : kg / 석회생산량(ton), d : kg / Mn합금철 생산량(ton)
 e : kg / 주철생산량(ton)

다. 이처럼 업종별로 전기로에서 배출계수가 넓게 분포하는 것은 업종별 배출 특성이 다르기 때문이라 판단되며 차후 연구를 더 진행하여 되어야 할 것이라 생각된다.

3. 1. 2 황산화물의 배출계수

황산화물의 배출계수는 제철 및 제강업의 제선공정과 합금철 제조업과 선철주물주조업의 제련공정에서 총 5건을 산정할 수 있었으며, 이를 신뢰등급별로 보면 A등급이 4건, E등급 1건이었다. 산정된 배출계수는 모두 황산화물에 대한 방지시설은 설치되지 않은 용융시설에서 산정된 것이다. 황산화물의 배출계수가 가장 큰 것은 합금철 제조업의 전기로에서 산정된 것으로 1톤의 망간 합금철을 생산할 때 약 0.25 kg의 먼지가 발생하는 것으로 나타났다. 제철 및 제강업의 제선공정에서 산정된 황산화물 배출 계수는 소결로 8.23E-01 kg/ton으로 석회소성로 1.730E-01 kg/ton, 고로 1.59E-01 kg/ton보다 약 4배 정도 높은 것으로 나타나 제선공정 중 황산화물 발생이 가장 큰 용융로는 소결로임을 알 수 있었다(표 4). 이처럼 합금철제조업의 전기로와 제철 및 제강업의 소결로의 배출계수가 비교적 높게 나타난 것은 두가지 용융시설에서 원료로 투입되는 철광석과 망간, 규석, 코크스등의 원료에 황을 다량 함유하고 되어 때문이라 사료된다.

3. 1. 3 질소산화물

용융시설에서 질소산화물의 배출계수는 제철 및 제강업의 제선공정과 선철주물주조업의 제련공정에서 총 5건을 산정할 수 있었으며, 질소산화물에 대한 방지 시설은 설치되어 있지 않았다. 산정된 5건의 계

수를 신뢰등급별로 보면 A등급 4건과 E등급 1건이다.

각 용융시설에서 산정된 질소산화물의 배출계수는 용융시설과 공정상의 특성을 고려하여 활동도를 다르게 적용하므로 배출계수간의 절대적인 비교는 어렵지만, 질소산화물의 배출계수가 가장 큰 것은 제철 및 제강업의 코크스로에서 산정된 것으로 6.88E-01 kg/ton이었다. 또한 제철 및 제강업의 제선공정에서 산정된 질소산화물 배출계수는 소결로 4.73E-01 kg/ton, 석회소성로 3.40E-01 kg/ton, 고로 6.82E-02 kg/ton 순으로 제선공정 중 배출량이 가장 큰 코크스로와 가장 작은 고로 간에는 약 10배 큰 차이가 있는 것으로 계수 산정결과 알 수 있었다. 이처럼 코크스로에서 배출계수가 가장 높은 것은 고온의 로에서 코크스의 탄화연소반응때문이라 생각된다. 선철주물주조업의 용선로의 질소산화물 배출계수는 제선공정의 소결로와 비슷한 수준인 5.47E-01 kg/ton으로 나타났다(표 5).

Table 5. The emission factors of NOx for the type of melting furnaces.

업종	배출시설	방지시설	배출계수 (kg/ton)	등급
제철 및 제강업	고로	방지시설미설치	6.82E-02 ^a	A
	소결로	방지시설미설치	4.73E-01 ^b	A
	코크스로	방지시설미설치	6.88E-01 ^c	A
	석회소성로	방지시설미설치	3.40E-01 ^d	A
선철주물주조업	용선로	방지시설미설치	4.71E-01 ^e	E

a : kg / Hot Metal 생산량(ton), b : kg / 소결광생산량(ton)
 c : kg / Cokes 생산량(ton), d : kg / 석회생산량(ton)
 e : kg / 주철생산량(ton)

3. 2 외국 배출계수와의 비교

본 연구에서 산정된 배출계수와 각각의 용융 시설과 그에 해당하는 방지시설이 동일한 경우의 미국의 EPA의 배출계수를 비교한 결과 코크스로와 전기로, 용선로 등의 용융시설에서 총 7건의 찾을 수 있었다.

코크스로와 합금철제조업의 전기로, 용선로에서 산정된 먼지 배출계수는 6.21E-02 kg/ton, 2.32E-01 kg/ton, 5.12E-02 kg/ton으로 동일 시설에 대한 EPA의 배출계수 4.95E-02 kg/ton, 2.25E-01 kg/ton, 5.27E-02 kg/ton으로 비슷한 수준으로 나타났다. 특히 합금철 제조업의 전기로는 방지시설이 여과집진 시설과 고압력 세정집진시설로 달랐음에도 그 배출계수가 비슷한 수준임을 알 수 있었다. 본 연구에서는 각 업종별 배출 특성을 알아보기 위하여 동일한 공정의 같은 배출시설일지라도 업종을 나누어 배출계수를 산정했다. 이에 따라 제강공정의 전기로의 배출계수를 제철 및 제강업과 열간압연 및 압출제조업으로 나누어 산정하였으며 각 업종에 해당하는 먼지 배출계수는 1.13E-02 kg/ton과 6.13E-03 kg/ton으로 EPA에서 제시한 전기로 제강의 먼지 배출 계수인 6.93E-02 kg/ton보다 5~10배가 작은 것으로 나타나 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다.

선철주물주조업의 용선로에서는 먼지뿐만 아니라 황산화물과 질소산화물의 배출계수를EPA의 배출계수와 비교할 수 있었는데 그 결과 5.47E-01 kg/ton (SOx)과 4.71E-01 kg/ton (NOx)로 EPA의 5.63E-01 kg/ton (SOx)과 4.50E-01 kg/ton (NOx)으로 거의 비슷한 수준으로 나타났다.

연구결과에서 산정된 배출계수와 EPA 배출계수를

Table 6. The comparison of emission factors determined by our research and EPA.

업종	배출시설	오염물질	방지시설	배출계수 (kg/ton)		
				연구결과	EPA	p-value
제철 및 제강업	코크스로	먼지	여과집진	6.21E-02	4.95E-02	0.346
	전기로	먼지	여과집진	1.13E-02	6.93E-02	
열간 압연 및 압출 제조업	전기로	먼지	여과집진	6.13E-03	6.93E-02	
합금철 제조업	전기로	먼지	여과집진	2.32E-01	2.25E-01*	
선철주물주조업	용선로	먼지	여과집진	5.12E-02	5.27E-02	
		SOx	방지시설미설치	5.47E-01	5.63E-01	
		NOx	방지시설미설치	4.71E-01	4.50E-01	

* 고압세정집진시설

통계분석법 중 Wilcoxon 순위합검정방법을 이용하여 비교 평가한 결과 $p > 0.05$ 로 두 집단의 배출계수는 유의한 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다(표 6).

본 연구에서 산정된 계수와 미국 EPA 배출계수를 대상업종의 배출시설에 적용하여 배출량을 산정하는 것이 연구결과 평가에 필요하나, 두 계수집단에서 동일시설에 확보된 배출계수가 많지 않아 현재로서는 비교 적용이 어려웠며 차후 연구에서 이 부분에 대한 수정 보완이 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 우리나라 금속관련 제조업의 철강 산업에 속하는 제조업종 중 제철 및 제강업, 열간압연 및 압출제조업, 합금철 제조업, 선철주물주조업, 강주물주조업의 5개 업종에서 쓰이고 있는 용융시설의 오염물질 배출특성을 파악하였고, 배출계수를 산정하였으며, 이를 이미 제시된 미국 EPA의 배출 계수와 비교 평가하였다.

- 조사대상 시설에 대한 먼지 배출계수를 산정한 결과, 가장 큰 값을 보인 것은 반사로였으며 가장 적은 것은 제철 및 제강업과 열간압연 및 압출제조업의 전기로였다. 전기로를 보유하고 있는 업종 중 합금철제조업의 먼지배출 계수가 가장 크게 나타났는데 이는 다양한 원광석의 사용과 업종별 전기로의 조업방식의 차이 때문인 것으로 보인다.

- 황산화물의 배출계수가 가장 큰 것은 합금철 제조업의 전기로에서 산정된 것으로 1톤의 제품을 생산할 때 약 0.25 kg의 황산화물이 발생하는 것으로 나타났고, 제조공정 중 연소반응으로 인한 황산화물 배출이 많은 제철 및 제강업의 제선공정에서는 소결로에서 산정된 계수가 가장 컸다.

- 용융시설에서의 질소산화물 배출계수는 제품의 단위생산량당 질소산화물의 배출량 범위는 0.068 ~ 0.688 kg/ton으로 고온에서 원료를 탄화연소시키는 코크스로가 가장 많이 배출하는 것으로 나타났다.

- 본 연구에서 산정된 배출 계수와 미국의 EPA의 배출계수를 비교한 결과, 유의확률 0.346로 두 계수 집단은 유의한 차이가 없는 것으로 평가되었다($p > 0.05$).

감사의 글

본 연구는 차세대 핵심환경기술개발사업 중 “대기 inventory 작성과 배출계수 개발 및 오염배출량 산정 연구”의 일환으로 수행되었습니다. 연구비를 지원하여 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

User Guide

SODAM : Source Data Management의 약자로 대기 배출시설을 가지고 있는 배출 사업장에 대하여 대기 환경보전법 제8조 2의 제2항 규정에 의해 시·도지사, 환경관리청장 및 지방환경관리청장이 매년 실시하고 이 자료를 환경부 국립환경연구원에서 취합하여 대기오염배출량의 현황과 추세 파악, 과학적이고 합리적인 배출원 관리 및 대기관리정책의 수립 및 평가의 기초자료로 이용하고 있다.

SPSS : Sttistical Package for social Science의 약자로써 여러 학문분야 얻어지는 복잡한 자료를 편리하고 쉽게 처리 분석할 수 있도록 만들어진 통계분석 전용 소프트웨어로써, 변수기술통계량, 교차분석, 상관분석, 회귀분석, 분산분석, 판별분석, 요인분석 등 복잡한 다변량을 분석을 할 수 있다(범문사, 2002).

참 고 문 헌

- 국립환경연구원 (2002) 대기 Inventory 작성과 배출계수 개발 및 오염배출량 산정 연구.
- 이창희 (1996) 21세기 철강산업의 발전전망, 대한철강학회회보, 9(5), 463-482.
- 조정우 (2001) 전기로를 이용한 고철 용해기술 개발 동향, 재료마당, 14(3), 68-72.
- 한양대 공학기술연구소 (1998) 전기로 먼지 배출허용기준 적정화에 관한 연구.
- 환경부와 국립환경연구원 (2002) 산업공정과 대기오염물질 배출계수(1).
- 범문사 (2002) 통계분석론, 3-5
- Frank Schultmann, Bernd Engels, Otto Rentz (2003) Flow-sheeting-based simulation of concepts in the metal industry, *Journal of Cleaner Production.*, in press. 1-15.

578 석광설 · 방선애 · 홍지형 · 이석조 · 김대곤 · 이대균 · 허정숙 · 이은정

U.S. EPA (1997) Procedures for preparing emission factor documents. 4-25

Volume 1. Stationary Point and Area Sources, Fifth Edition.

U.S. EPA (2000) Compilation Air Pollutant Emission Factors,