Check for updates

Journal of Climate Change Research 2020, Vol. 11, No. 6-2, pp. 679~682
DOI: http://dx.doi.org/10.15531/KSCCR.2020.11.6.679

생활폐기물 소각시설의 미세먼지 배출계수 개발

우지윤[*] · 김민욱[**] · 조승현[***] · 오세근[****] · 이화수[*****] · 전의찬[******†]

[*]세종대학교 기후환경융합학과 박사과정 학생, [**]국립농업과학원 기후변화생태과 농업연구사,
[***]세종대학교 기후변화협동과정 박사과정 학생, [****]세종대학교 기후변화협동과정 석사과정 학생,
[*****]동의과학대학교 화학공업과 교수, [******]세종대학교 대학원 기후환경융합학과 교수

Development of Particulate Matter Emission Factor in Municipal Solid Waste Incinerators

Woo, Jiyun[*] · Kim, Minwook[**] · Jo, Seunghyun[***] · Oh, Sekeun[****] · Lee, Hwa Soo[*****] and Jeon, Eui-Chan[******†]

[*]*Ph.D. student, Department of Climate and Environment, Sejong University, Seoul, Korea*
[**]*Researcher, Climate Change & Agroecology Division, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, Korea*
[***]*Ph.D. student, Cooperate Course for Climate Change, Sejong University, Seoul, Korea*
[****]*M.S. student, Cooperate Course for Climate Change, Sejong University, Seoul, Korea*
[*****]*Professor, Dept. of Chemical Industry, Dong-Eui Institute of Technology, Busan, Korea*
[******]*Professor, Dept. of Climate and Environment, Sejong University, Seoul, Korea*

ABSTRACT

In order to resolve the particulate matter problem, the first priority should be to identify the exact amount of particulate matter emissions from large-scale emission sources. Among the emission factors essential for calculating emissions from municipal solid waste incinerator, TSP and PM-10 are calculated using emission coefficients developed in the U.S. and Europe; in the case of PM-2.5, a particulate matter ratio of emissions is applied. It can be difficult to calculate accurate and reliable emissions that reflect domestic conditions.

This study developed emission coefficients that should reflect actual measurement of domestic municipal solid waste incinerators, and hence can be used to establishnational particulate matter control measures.

Key words: *Particulate Matter, Municipal Solid Waste Incinerator, Emission Factor, Inventory*

1. 서론

고농도 미세먼지는 국민의 삶과 건강에 악영향을 미침에 따라 이를 해결하기 위해 정부는「미세먼지 관리 종합대책(2017.9.26.)」,「비상·상시 미세먼지 관리 강화대책(2018.11.8.)」,「미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)(2019.11.1.)」을 발표한 바 있다. 정부 차원의 미세먼지 정책이 매년 강화되고 있음에도 불구하고 미세먼지 문제가 본질적인 해결이 되지 않는 이유 중 하나로 전문가들은 배출량 통계의 신뢰도가 낮은 점을 지적하고 있다(Ministry of environment, 2019).

배출량 산정에는 배출계수가 필수적인데, 우리나라 생활폐기물 소각시설의 총먼지(Total Suspended Particles, TSP)와 미세먼지(PM-10) 배출계수는 유럽 CORINAIR와 US EPA에서 개발된 값을 사용하고 있다(National institute of environmental research, 2015). 초미세먼지(PM-2.5)의

†**Corresponding author** : ecjeon@sejong.ac.kr (05006, 209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, Republic of Korea. Tel. +82-2-3408-4353)

ORCID 우지윤 0000-0002-9376-0206 오세근 0000-0002-8199-6545
김민욱 0000-0001-8262-5909 이화수 0000-0001-8042-031X
조승현 0000-0001-9004-9948 전의찬 0000-0003-2783-4550

Received: August 26, 2020 / Revised: September 28, 2020 / Accepted: November 20, 2020

경우에는 US EPA의 PM-10 배출계수에 국내 소각시설에서 실측한 PM-2.5 입경분율을 곱하여 산정하고 있다.

본 연구에서는 정확하고 신뢰도 높은 배출량을 산정하고자 실측을 토대로 우리나라 폐기물 소각장의 미세먼지 배출특성을 밝히고, 배출계수를 산정하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구 대상시설 선정

우리나라 폐기물 소각시설은 소각량에 따라 대형(2,000 kg/hr 이상), 중형(200 ~ 2,000 kg/hr), 소형(200 kg/hr 이하) 사업장으로 구분하며, 소각방식에 따라서는 스토커방식, 유동상식, 회전로식 등으로 구분하고 있다. 또한, 일별 가동시간에 따라 연속식(24 hr/day), 준연속식(16 hr/day), 회분식(8 hr/day)으로 운영방식을 구분하며, 대형사업장으로 분류되는 소각시설에서는 대부분 연속연소방식을 사용하고 있다. 2017년 기준, 국내 폐기물 소각장 178개소 중 49%에 해당하는 87개소가 대형시설로 구분되며, 그 중 68%는 화격자 방식을 택하고 있다.

본 연구에서는 경기도 소재의 200 ton/day 규모의 대형 폐기물 소각시설을 대상으로 연구하였다. 대상시설은 24시간 가동하는 화격자 방식의 연속연소식 소각시설로 선택적 무촉매환원설비(Selective Non-Catalytic Reduction, SNCR), 반건식반응흡수탑(Semi-Dry Absorber, SDA), 활성탄주입설비(Activated Carbon Reactor, A/C) 그리고 여과집진기(Bag Filter)의 네 단계 방지시설로 이루어져 있다.

2.2 시료채취 및 분석방법

대상시설에서 발생하는 미세먼지의 농도는 중량농도법을 사용하여 측정하였으며, 국제표준시험기준인 ISO 23210을 근거로 작성된 KS(한국산업표준) I ISO 23210 : 2012 방법에 준하여 Cascade Impactor (PM-10, PM-2.5 Impactor, Johnas, Paul Gothe GmbH)로 총 10회에 걸쳐 여과지에 시료를 채취하였다.

먼지 유입을 최소화한 상태에서 시료채취용 여과지를 제작하고 항온항습장치에서 안정화시킨 후, 분석용 저울로 여과지의 무게를 3회 반복 측정하였다. 이 여과지를 굴뚝시료채취장치(Stack sampler, CAB)를 이용하여 배기가스 유속에 적합한 크기의 노즐을 Cascade Impactor에 연결한 뒤 배가스 속도와 등속으로 흡인하여 여과지에 미세먼지를 입경별로 분리포집하였다. 포집한 미세먼지는 실험실로 이송하여 항온항습장치에서 안정화시킨 후 무게를 측정하였고, 시료채취 전후의 여과지 무게 차이를 이용하여 대상시설에서 발생하는 미세먼지 농도를 파악하였다.

2.3 미세먼지(PM-10, PM-2.5) 배출계수 산정방법

생활폐기물 소각시설의 미세먼지(PM-10, PM-2.5) 배출계수는 식 (1)을 사용하여 산정하였다. 미세먼지 농도(mg/m^3)는 실측에 의한 값이며, 1일 적산유량(Sm^3/day)과 1일 소각량(ton-waste/day)은 대상시설의 TMS 자료를 제공받아 산정하였다.

$$EF_{PM} = \frac{C_{PM} \times Q_{day}}{W} \times 10^{-6} \quad (1)$$

여기서,

EF_{PM} : PM 배출계수(kg PM/ton-waste)

C_{PM} : PM 농도(mg/㎥)

Q_{day} : 1일 적산유량(Sm^3/day)

W : 1일 소각량(ton-waste/day)

3. 결과 및 고찰

3.1 생활폐기물 소각시설에서 발생되는 미세먼지 농도

대상시설에서 발생되는 미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 등속흡인 조건에서 총 10회 측정하였으며, TSP 및 미세먼지(PM-10, PM-2.5)의 농도 측정 결과를 Table 1에 나타내었다. 입경별 평균 농도는 TSP 6.483 (±0.965) mg/m^3, PM-10 5.488(±1.123) mg/m^3, PM-2.5 4.071 (±1.241) mg/m^3으로 분석되었다.

Table 1. Measured concentration of TSP, PM-10, and PM-2.5

(Unit: ㎎/㎥)

Classification	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
TSP	6.286	5.429	5.909	5.157	5.450	7.046
PM-10	4.986	4.419	4.638	3.924	4.563	6.409
PM-2.5	2.962	2.715	2.922	3.083	3.295	5.302
Classification	7th	8th	9th	10th	Mean	SD
TSP	7.135	7.047	7.944	7.423	6.483	0.965
PM-10	6.186	5.884	7.279	6.596	5.488	1.123
PM-2.5	4.544	4.297	6.063	5.530	4.071	1.241

3.2 생활폐기물 소각시설의 미세먼지 입경분율

일반적으로 미세먼지 배출계수는 굴뚝에 설치된 TMS의 TSP 농도에 입경분율을 곱하여 산정하고 있으므로 배출특성 및 배출계수 산정 시 중요한 자료로 이용된다.

대상시설에서 발생되는 미세먼지의 입경별 농도 측정 결과를 이용하여 PM-10/TSP, PM-2.5/TSP, PM-2.5/PM-10 세 종류의 입경분율을 살펴보았으며, 그 결과 평균 입경분율은 PM-10/TSP 84.1%, PM-2.5/TSP 61.8%, PM-2.5/PM-10 73.1%로 나타났다(Table 2 참조).

Table 2. Particle size fraction of TSP, PM-10, PM-2.5

Classification	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
PM-10/TSP	79.3%	81.4%	78.5%	76.1%	83.7%	91.0%
PM-2.5/TSP	47.1%	50.0%	49.5%	59.8%	60.5%	75.2%
PM-2.5/PM-10	59.4%	61.4%	63.0%	78.6%	72.2%	82.7%
Classification	7th	8th	9th	10th	Mean	SD
PM-10/TSP	86.7%	83.5%	91.6%	88.9%	84.1%	5.4%
PM-2.5/TSP	63.7%	61.0%	76.3%	74.5%	61.8%	10.9%
PM-2.5/PM-10	73.5%	73.0%	83.3%	83.8%	73.1%	9.2%

본 연구에서 산정한 입경분율을 기존 연구결과 및 CAPSS의 입경분율과 비교하여 Table 3에 제시하였다. 본 연구 결과, CAPSS의 입경분율보다 1.10배 높은 수준으로 나타났다. 또한, 본 연구와 동일한 방지시설이 설치된 소각시설을 대상으로 연구한 국립환경과학원(2013)의 Case 1과 비교하면, 본 연구의 입경분율이 PM-10/TSP은 1.33배, PM-2.5/TSP는 1.63배, PM-2.5/PM-10는 1.22배 크게 나타났다. 유사한 방지시설이 설치된 Case 2의 경우, 비교하면 본 연구의 입경분율이 PM-10/TSP은 2.21배, PM-2.5/TSP는 3.43배, PM-2.5/PM-10는 1.56배 크게 나타나며 그 차이가 Case 1보다 대체적으로 큰 경향을 보였다. 이와 같은 차이가 나타나는 이유는 소각되는 폐기물의 성상, 소각로 운전조건 등에 따라 차이를 보이는 것으로 사료된다.

Table 3. Comparison of particle size fraction from this study and past studies

Classification		Municipal solid waste incinerator			
		Prevention Facilities	PM ratio		
			PM-10/TSP	PM-2.5/TSP	PM-2.5/PM-10
This study		SNCR-SDA-A/C-BF	84.1%	61.8%	73.1%
CAPSS		-	-	-	66.2%
NIER (2013)	Case 1	SNCR-SDA-A/C-BF	63.0%	38.0%	60.0%
	Case 2	SNCR-SDA-BF	38.0%	18.0%	47.0%

3.3 생활폐기물 소각시설의 미세먼지 배출계수

생활폐기물 소각시설의 배출계수는 식 (1)을 이용하여 산정하였으며, 결과값은 Table 4에 나타내었다. PM-10 배출계수는 0.0266 kg/ton ~ 0.0648 kg/ton의 분포를 보였으며 평균값은 0.0441 kg/ton으로 나타났다. PM-2.5 배출계수는 0.0198 kg/ton ~ 0.0536 kg/ton의 분포를 보였으며 평균값은 0.0330 kg/ton으로 나타났다.

Table 4. Emission factors of PM-10, PM-2.5

(Unit: kg/ton)

Classification	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
PM-10	0.0380	0.0322	0.0358	0.0266	0.0304	0.0648
PM-2.5	0.0226	0.0198	0.0226	0.0209	0.0219	0.0536
Classification	7th	8th	9th	10th	Mean	SD
PM-10	0.0571	0.0436	0.0584	0.0546	0.0441	0.0136
PM-2.5	0.0419	0.0318	0.0486	0.0458	0.0330	0.0132

Table 5. Comparison of emission factors from this study and past studies

(Unit: kg/ton)

Classification		Municipal solid waste incinerator Emission factor		Prevention facilities
		PM-10	PM-2.5	
This study		0.0441	0.0330	SNCR-SDA-A/C-BF
CAPSS		0.0362	0.0240	-
NIER (2013)	Case 1	0.0035	0.0021	SNCR-SDA-A/C-BF
	Case 2	0.0470	0.0221	SNCR-SDA-BF

본 연구에서 산정한 PM-10과 PM-2.5 배출계수를 기존 연구자료와 비교하여 Table 5에 제시하였다. 본 연구결과는 CAPSS에서 사용중인 배출계수와 비교 시 0.0362 kg/ton(PM-10), 0.0240 kg/ton(PM-2.5)보다 각각 1.22배, 1.37

배 크게 산정되었다. 국립환경과학원(2013)의 Case 1과 비교하면 본 연구가 PM-10은 12.60배, PM-2.5 15.71배 크게 나타났으며, Case 2와 비교하면 PM-10은 0.94배 작고 PM-2.5는 1.49배 크게 산정되었다. 이와 같은 차이는 앞서 분율의 차이가 나는 이유와 유사하게 소각되는 폐기물의 성상, 소각로 운전조건 등에 따라 차이를 보이는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 처리용량 200 t/day 규모의 생활폐기물 소각시설을 대상으로, 중량농도법을 사용하여 대상시설에서 발생하는 미세먼지의 입경별 농도와 입경분율을 조사하고, 실측에 의한 입경별 배출계수를 산정하였다.

연구 결과, 대상시설에서 발생하는 미세먼지의 입경별 평균 농도는 TSP 6.483 mg/m^3, PM-10 5.488 mg/m^3, PM-2.5 4.071 mg/m^{3}으로 분석되었고, 먼지 입경분율은 PM-10/TSP 84.1%, PM-2.5/TSP 61.8%, PM-2.5/PM-10 73.1%로 나타났다. 미세먼지 배출계수는 PM-10 0.0441 kg/ton, PM-2.5 0.0330 kg/ton으로 산정되었으며, 국가배출계수(CAPSS)보다 각각 1.22배, 1.37배 큰 값으로 나타났다.

본 연구는 생활폐기물 소각시설에서 발생되는 미세먼지 관련 정책의 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 운영중인 소각시설의 실측값을 바탕으로 입경분율 및 배출계수를 산정하였으므로 미세먼지 배출량 신뢰성 개선 측면에서 유의미한 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 생활폐기물 특성상 지역 및 계절에 따라 특성이 변하며 소각시설에 따라 처리 공정과 방지시설이 다르므로, 우리나라 고유의 배출계수 개발과 소각시설의 신뢰성 확보를 위해서는 보다 다양한 조건에서의 유사 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

사사

- 본 연구는 안산녹색환경지원센터의 2019년도 연구개발사업비 지원(19-07-02-40-41)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

- 본 연구는 환경부 “기후변화특성화대학원사업”의 지원으로 수행되었습니다.

Reference

KECO(Korea Environment Corporation). 2018. Country waste generation and treatment status. Incheon, Korea: Korea environment corporation.

Kim HR. 2015. A Study on Emission Characteristics and Chemical Composition of Dust of Large Stationary Emission Sources Using EPA 201A Method[dissertation]. Inha University.

MOE(Ministry of environment). 2018. 2018 White Paper of Environment. Sejong-si, Korea: Ministry of environment.

NIER(National institute of environmental research). 2009. A study to establish PM2.5 air quality standards. Incheon, Korea: National institute of environmental research. Policy report.

NIER(National institute of environmental research). 2009. A Study for Establishing the Speciate of the Air Pollutants from Anthropogenicc Sources in Korea(Ⅰ). Incheon, Korea: National institute of environmental research. Policy report.

NIER(National institute of environmental research). 2009. A Study for Establishing the Speciate of the Air Pollutants from Anthropogenicc Sources in Korea(Ⅱ). Incheon, Korea: National institute of environmental research. Policy report.

NIER(National institute of environmental research). 2009. A Study for Establishing the Speciate of the Air Pollutants from Anthropogenicc Sources in Korea(Ⅲ). Incheon, Korea: National institute of environmental research. Policy report.

NIER(National institute of environmental research). 2013. A Study on the Speciation and the Control Measures of PM2.5 from Large Stationary Emission Sources(Ⅰ). Incheon, Korea: National institute of environmental research. Policy report.

NIER(National institute of environmental research). 2009. A Study on Emission Characteristics for the Particulate Matter Management Plan of Air Emission Facility. Incheon, Korea: National institute of environmental research. Policy report.

Park HS. 2019. Emission characteristics of fine dust (PM10 and PM2.5) in air pollution facilities[disseartation]. Kunsan National University.