

## 노천소각에서 배출되는 먼지 배출계수 산정에 관한 연구

### Estimation of Particulate Matter Emission Factors from Open Burning

정노을 · 조명란 · 허선화 · 김형천 · 박정민 · 이대균  
홍지형 · 이석조 · 이영재\*  
국립환경과학원 대기공학연구과

(2012년 4월 12일 접수, 2012년 5월 3일 수정, 2012년 5월 29일 채택)

No-El Jung, Myeong-Ran Jo, Sun-Hwa Heo, Hyung-Chun Kim, Jung-Min Park,  
Dae-Gyun Lee, Ji-Hyung Hong, Suk-Jo Lee and Yeong-Jae Lee\*  
*Air Pollution Engineering Division, National Institute of Environmental Research*

(Received 12 April 2012, revised 3 May 2012, accepted 29 May 2012)

#### Abstract

It is very important to investigate air pollutants and emissions emitted from open burning in order to control non-point sources effectively. In this study, we utilized incineration simulator proposed by U.S. EPA and investigated concentrations of TSP, PM10, PM2.5 from woods and household wastes burning to calculate emission factors and build emission inventories.

The results of experiment with 15 kg of woods and 3 kg of household wastes using the incineration simulator were as follows: in case of woods burning, TSP concentration was 66.4 mg/m<sup>3</sup>, PM10 concentration was 28.4 mg/m<sup>3</sup>, PM2.5 concentration was 17.9 mg/m<sup>3</sup>, respectively; in case of household wastes burning, TSP concentration was 118.4 mg/m<sup>3</sup>, PM10 concentration was 66.8 mg/m<sup>3</sup>, PM2.5 concentration was 55.2 mg/m<sup>3</sup>, respectively. Concentrations from household burning, as stated above, were higher than those from woods burning.

Emission factors (EFs) for woods and household wastes burning were calculated as 2.45 and 6.75 g/kg for TSP, 0.86 and 5.45 g/kg for PM10, 0.78 and 4.81 g/kg for PM2.5, respectively. EFs of TSP, PM10, PM2.5 calculated from household wastes burning were higher than those of woods burning.

When we added PM emissions from woods burning and household wastes burning to Korean National Emission Inventory named as Clean Air Policy Support System (CAPSS), CAPSS annual emissions of TSP, PM10, PM2.5 were increased by 0.08 ~ 0.26% (An increase rate for TSP, PM10, PM2.5 were 0.08 ~ 0.10%, 0.16 ~ 0.20% and 0.18 ~ 0.26%, respectively). Note that we assumed that the 1% of household wastes is emitted by open burning.

**Key words** : Emission factors, Open burning, TSP, PM10, PM2.5

---

\*Corresponding author.  
Tel : +82-(0)32-560-7295, E-mail : nier@korea.kr

## 1. 서 론

먼지는 인체 유해성뿐만 아니라 시정거리 감소, 스모그 현상을 유발하거나 기후변화 원인물질의 하나로 알려져 있다. 따라서 미세먼지에 대한 건강 위해성 연구(Jeon *et al.*, 2010)를 비롯하여 배출원에서의 배출특성 조사(Yoon *et al.*, 2010), 수용모델을 이용한 배출원별 기여율 산정(Lee *et al.*, 2005; Park *et al.*, 2005)과 배출원에서의 미세먼지 배출계수 산정(Jang *et al.*, 2011; Park and Kim *et al.*, 2011; Lim *et al.*, 2009) 등 그간 많은 연구들이 진행되어 왔다. 또한 대기 중으로 배출되는 비점 연소배출원이 주목을 받고 있어 이에 대한 연구결과도 발표되고 있다(Estellan and Iino, 2010; Lonnermark *et al.*, 2008; NIER 2008; Viana *et al.*, 2008). 비점 연소배출원으로는 산불이나 화재, 생활쓰레기나 농어촌 쓰레기, 농업 잔재물, 건설폐기물, 레저 및 야영장 등에서의 소각, 어촌에서 어업용 도구나 폐그물 소각, 화목난로, 고기구이 같은 생물성 연소 등이 있으며, 이들 배출원에서 대기오염물질은 방지시설을 거치지 않고 그대로 배출된다. 따라서 불완전연소의 가능성이 많고, 먼지, 중금속 등 인체에 유해한 물질이 다량 배출된다(Park *et al.*, 2011). 또한 비점 연소배출원은 단시간 내에 비정기적으로 이루어지기 때문에 통상적인 관리나 조사가 체계적으로 이루어지지 않고 있다. 특히, 농촌지역의 경우 적정쓰레기 수거를 위한 청소인원 및 장비, 예산이 부족하고 읍·면 소재지 이외에 자연부락 지역은 가축이 산발적으로 분포되어 있어 청소차량 순회로 쓰레기의 수거가 원활하지 않아 대부분 노천소각을 통해 처리하기 때문에 오염물질이 대기 중으로 직접 배출되고 있다(Lee *et al.*, 2006). 노천소각을 효과적으로 관리하기 위해서는 발생하는 물질과 발생량을 파악하는 것이 매우 중요하다. Kim *et al.* (2009, 2008)은 모의소각을 통하여 종이류, 목재류 및 생활쓰레기를 대상으로 TPM (Total Particulate Matter) 등에 대한 배출계수를 산정하였고, Gadde *et al.* (2009)은 India, Thailand, Philippines에서 국가별로 경작지 벗짚을 대상으로 노천소각 양과 배출계수를 각각 산정하였다. 또한 Hays *et al.* (2005)은 밀대와 벗짚을 소각시켜 PM2.5 등의 배출계수를 산정하였으며 Kim *et al.* (2011)은 경작지와 모의 소각장치에서 PM10, PM2.5,

TSP 등에 대해 배출계수를 산정하였다. Lemieux *et al.* (2004)은 그간 연구사례를 중심으로 배출계수를 정리하였으며, Alves *et al.* (2011)은 해송, 유칼립투스 등 다양한 나무를 대상으로 PM2.5 등에 대한 배출계수를 산정하여 발표하였다.

배출계수는 다양한 배출원으로부터 대기오염물질의 배출량 산정에 용이하지만 각각의 배출원으로부터 자료가 항상 조사될 수 있는 것은 아니며 실질적인 배출량의 변동성을 반영하지 않을 수도 있다. 그러나 배출계수가 이러한 제한적인 요소에도 불구하고 배출량을 산정하고 배출 규제정책을 개선시키고 오염물질 허용농도와 제어 계획을 결정하며 배출원의 영향을 확인하고 적절한 배출 감소방법을 산정하는데 중요한 역할을 한다.

따라서 본 연구의 목적은 우리나라의 생활쓰레기와 목재류를 대상으로 노천소각 시 발생하는 먼지 배출계수를 산정하고 인벤토리를 구축하는 데 있다. 이를 위해 노천소각을 재연할 수 있는 모의 소각장치에서 시료를 연소시켜 배출되는 TSP, PM10, PM2.5에 대한 배출계수를 산정하였으며, 연구결과를 토대로 활동도를 가정하여 배출량을 산정 후 국가 배출량 자료인 CAPSS (Clean Air Policy Support System) (Lee *et al.*, 2011) 자료와 비교 검토하였다.

## 2. 연구 및 방법

### 2.1 모의 소각장치 구성

본 연구에서는 미국 EPA에서 제안한(Lutes and Kariher, 1996) 장치를 참고하여 제작한 그림 1의 콘테이너형 모의 소각장치(가로×세로×높이, 2.4×1.5×1.2 m)를 사용하였다. 주요 부분은 연소부, 시료채취부, 팬 그리고 사이클론으로 구성되어 있다.

연소부 상부에는 온도센서를 부착하여 연소실의 온도를 측정하였다. 연소부 측면에는 Air nozzle을 장착하여 하부에서 외부공기가 유입되어 자연스런 연소가 이루어지도록 하였으며, 소각로의 상부에는 편향판을 설치하여 공기의 혼합을 유도하고 연소부 천장을 보호하도록 설계하였다. 연소부에서 소각된 배출가스는 시료채취구에서 시료채취가 이루어지고, 집진장치를 통과한 후 외부로 배출된다. 그림 2는 연소부, 측정부 및 글썩의 사진을 나타낸 것이다.

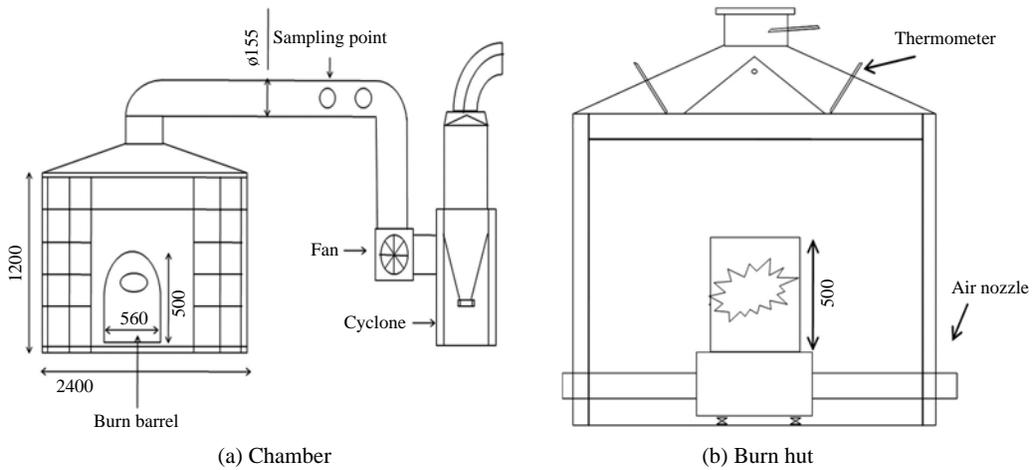


Fig. 1. Diagram of open burning simulation chamber.



Fig. 2. Diagram of burn hut, sampling point and stack.

## 2. 2 시료의 선정

본 연구에 사용한 시료는 우리 주변에서 흔히 불법소각될 수 있는 목재와 생활쓰레기를 대상으로 선정되었다. 생활쓰레기는 표 1과 같이 참고문헌을 바탕으로 음식물류, 종이류, 비닐류, 플라스틱류 등 총 9개 성상으로 구분한 후 건조시켜, 평균값을 적용하여 약 3kg으로 배합하였으며 목재는 건설현장에서 비정기적으로 건축 폐자재를 불법소각 한다는 것을 고려하여 건조한 각목 및 판자를 시료로 선정하였다.

## 2. 3 시료 소각절차 및 시료채취 방법

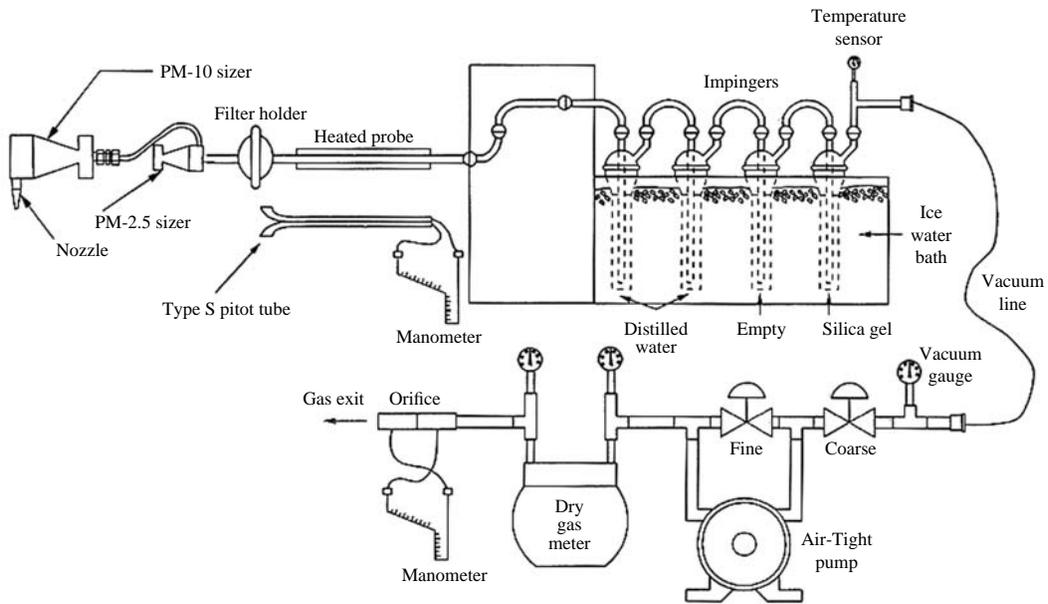
### 2. 3. 1 시료 소각절차

목재류와 생활쓰레기는 실험전에 완전히 건조시켜 소각하였다. 시료채취는 목재의 경우 약 15kg, 생활쓰레기는 약 3kg을 저울로 칭량하여 소각로에 담아 연소시킨 후, 모의 소각챔버 각 부분에 이상이 없고 측정장치가 정상작동할 때 하였다. 연소는 안정적으로 이루어지게 강제급기는 피하고 자연급기를 이용하였으며 배출가스 내의 산소농도가 20.5%가 넘고

**Table 1. Composition of household wastes.**

Compounds	Lee (2006)		NIER (2008)	Moon (2007)	Max (%)	Min (%)	Mean (%)
	Rural (A village)	Rural (B village)	Urban question	Rural question			
Foodwaste	1.2	3.6	0.0(S.C)	1.4	3.6	0.0	2.0
Paper	51.2	35.2	50.0	84.4	84.4	35.2	55.1
Vinyl	15.4	21.3	23.7	9.7	23.7	9.7	15.4
Plastic	20.7	17.1	0.0(S.C)	1.0	20.7	0.0	12.6
Leather	1.2	3.5	2.3	0.2	3.5	0.2	1.8
Wood	2.4	1.3	17.4	3.2	17.4	1.3	6.1
Fiber	1.7	10.9	0.0	0.0	10.9	0.0	3.1
Etc	5.9	1.5	6.6	0.2	6.6	0.2	3.4
Agricultural waste vinyl	0.5	5.5	0.0	0.0	5.5	0.0	1.5

S.C: Separate Collection



**Fig. 3. Flow-diagram of PM10 & PM2.5 sampling on open burning.**

잔불씨가 완전히 사라지면 연소가 종료된 것으로 판단하고 시료채취를 중단하였다. 초기점화 후 연소종료 시까지를 연소 지속 시간으로 판단하고 그 시간을 기록하였다.

2. 3. 2 시료채취 방법

시료채취는 목재류 6회, 생활쓰레기 9회 연소시켜 TSP, PM10, PM2.5를 각각 Stack Sampler (Clean Air Experiment, Method-5)와 원형여지 (Life Science,

Pallflex membrane filter, 직경 47 mm)를 이용하여 총 15회 등속흡인 (등속흡인계수: 97~104)하여 시료를 채취하였다. 샘플링은 목재류의 경우 70~80분, 생활쓰레기는 30~40분으로 연소가 끝날 때까지 진행하였다. TSP 시료채취는 대기오염공정시험기준 제2절 제1항 먼지측정 분석방법을 기준으로 하였으며, PM10과 PM2.5는 사이클론 채취기를 사용하여 미국 EPA 201A (Determining PM10 and PM2.5 Emissions from Stationary Sources) 방법으로 채취하였다. 그림

3에 TSP, PM10 및 PM2.5 측정트레인을 나타내었다. TSP를 채취할 때는 그림 3의 PM10과 PM2.5의 Sizer를 제거하고 채취하였다. 먼지 농도는 시료채취 전·후의 여지무게를 측정하여 계산하였다.

### 3. 결 과

#### 3.1 연소 특성

목재와 생활쓰레기 두 종류에 대하여 TSP, PM10, PM2.5를 분석하였다. 시료에 대한 연소 특성은 목재류를 예를 들어 그림 4에 나타내었다. 연소과정은 3단계로 구분할 수가 있다. 1단계는 점화가 시작되어 연소가 활발하게 일어나기까지의 단계이고, 2단계는 연소가 활발히 진행되고 있는 단계, 3단계는 잔 불꽃이 남아 완전하게 연소가 마무리되는 과정이다. 점화가 시작되면 1단계에서 온도가 점점 상승하면서 2단계에서 최고 약 600°C까지 상승한 후 온도는 점차

감소하였다.

그림 5는 목재류와 생활쓰레기의 시간 경과에 따른 O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub> 농도변화를 보여주고 있다. 연소가 시작되면 산소농도가 감소하면서 이산화탄소는 증가한다. 2단계까지 도달하면 연소가 진행되면서 산소와 이산화탄소의 농도는 바뀌게 된다. 3단계에서는 잔

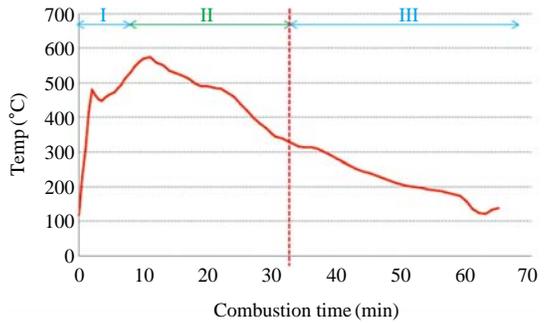


Fig. 4. Temperature variation in combustion time of wood.

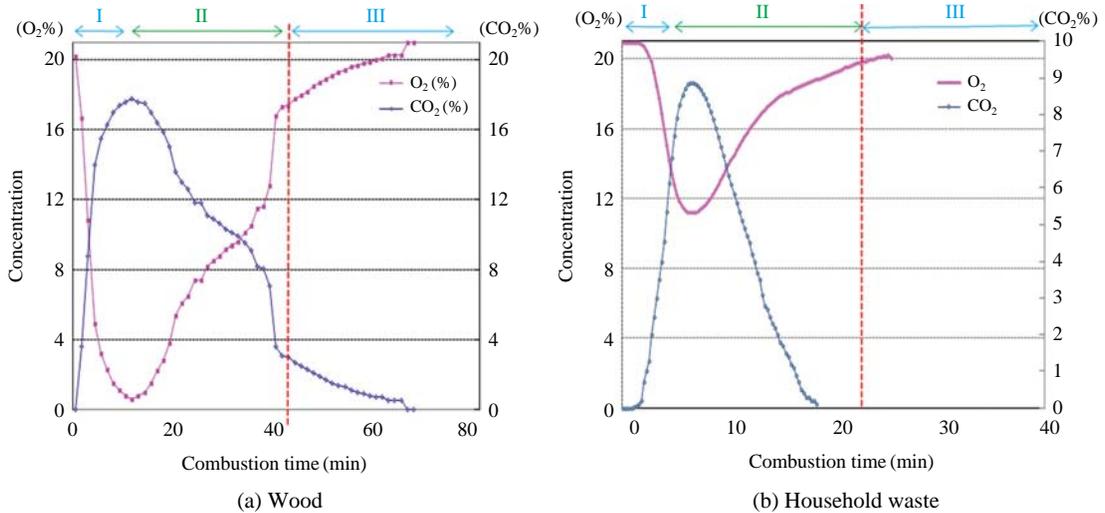


Fig. 5. Emission characteristics O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> in time of wood and household waste.

Table 2. Analytical results of TSP, PM10, PM2.5.

(Unit: mg/m<sup>3</sup>)

Compounds	Wood			Household waste			
	Test 1	Test 2	Mean	Test 1	Test 2	Test 3	Mean
TSP	68.7	64.0	66.4	112.6	126.5	116.0	118.4
PM10	37.4	19.3	28.4	71.4	63.9	65.0	66.8
PM2.5	15.8	19.9	17.9	50.6	60.6	54.4	55.2

**Table 3. Emission factor equation of particle matters.**

Compounds	Equation	Parameter
TSP, PM10, PM2.5	$\text{Emission Factor (g/kg)} = \frac{Q_i \times (S/Q_c)}{M/T}$	Q <sub>i</sub> =Total gas volume (L/min) S=Sampling dust quantity (g) Q <sub>c</sub> =Sampling gas volume (L) M=Combustion matter weight (kg) T=Sampling time (min)

**Table 4. Emission factors of TSP, PM10 and PM2.5 in this study.**

(Unit: g/kg)

Compounds	Wood			Household waste			
	Test 1	Test 2	Mean	Test 1	Test 2	Test 3	Mean
TSP	2.27	2.63	2.45	6.66	6.51	7.09	6.75
PM10	0.96	0.76	0.86	5.47	5.86	5.01	5.45
PM2.5	0.59	0.96	0.78	4.55	4.64	5.23	4.81
PM10/TSP	0.42	3.46	0.35	0.82	0.90	0.71	0.81
PM2.5/TSP	0.26	0.37	0.32	0.68	0.71	0.74	0.71

불꽃이 남아 소화되는 과정으로 산소의 농도는 계속 증가하게 된다. 시료채취는 점화 후 약 2분이 지난 후부터 소화가 되는 전 구간(1단계~3단계)에 거쳐 진행하였다. 목재류의 경우 2단계가 약 40분으로 생활쓰레기 20분보다 다소 느리게 진행되었다. 이는 생활쓰레기의 시료량 3kg이 목재류 시료량 15kg보다 더 적고 생활쓰레기 성분조성을 맞추기 위해 잘게 잘라 비표면적이 넓어져 불에 타기 쉬운 조건으로 되었기 때문이다.

**3.2 먼지측정 결과**

먼지시료는 등속흡인 조건에서 TSP, PM10, PM2.5 각각 시료를 채취(총 15회)하여 분석하였으며 결과는 표 2와 같다. 목재류에서 평균농도는 TSP 66.4, PM10 28.4, PM2.5 17.9 mg/m<sup>3</sup>이었고, 생활쓰레기의 평균농도는 TSP 118.4, PM10 66.8, PM2.5 55.26 mg/m<sup>3</sup>으로 생활쓰레기가 목재류보다 높게 측정되었다. 이는 생활쓰레기의 성상이 종이류, 플라스틱류, 가죽류 등 9가지 성상으로 구성되어 있어 목재류보다 더 높게 나타난 것으로 사료된다.

**3.3 배출계수 산정결과**

본 연구에서 수행한 목재류와 생활쓰레기에 대한 각 항목별 배출계수는 표 3에 의해 계산하였다. 배출계수 산정결과를 표 4에 나타내었다. 목재류에

서 평균값은 TSP 2.45, PM10 0.86, PM2.5 0.78 g/kg, 생활쓰레기에서 평균값은 TSP 6.75, PM10 5.45, PM2.5 4.81 g/kg으로 산정되었다. 목재류에서 PM10/TSP, PM2.5/TSP의 평균 비율이 각각 0.35, 0.32이었고, 생활쓰레기에서는 0.81, 0.71로 조사되어 생활쓰레기가 목재류보다 PM10과 PM 2.5를 더 많이 배출하고 있음을 알 수 있었다.

표 5에 의하면 Lutes and Kariher(1996)와 Lemieux et al. (2004), Lee et al. (2010), Dennis et al. (2002), Gadde et al. (2009), Kim et al. (2011)은 볏짚 등에서 TSP 8.0~20.1, PM10 0.5~13.6, PM2.5 0.78~11.8 g/kg으로 보고되고 있어 성상이 다른 물질에서 배출되는 배출계수가 큰 차이를 보이고 있으며 PM2.5/PM10 비율이 65% 이상을 보이고 있어 연소 시 배출되는 PM2.5 비중이 높다는 것을 알 수 있었다. 또한 본 연구에서도 PM2.5/PM10 평균 비율이 목재류에서는 91%, 생활쓰레기에서는 88%로 PM2.5 배출비율이 높게 나타나 2015년 시행할 PM2.5 환경기준에 대비하여 관심을 가져야 할 오염원으로 사료된다. 국내 자료인 Kim et al. (2009, 2008)에서는 PM10과 PM2.5 자료가 없어 본 연구 자료와는 비교할 수 없었다.

**3.4 먼지 기여율 평가**

본 연구에서 산정한 배출계수를 적용하여 산정한 배출량과 환경부 통계자료 (Department of Environ-

**Table 5. Emission factors of TSP, PM10, PM2.5 in reference.** (Unit: g/kg)

Source	TSP	PM10	PM2.5	PM2.5/PM10 ratio (%)	Reference
Wood	2.45	0.86	0.78	91	This study
Household waste	6.75	5.45	4.81	88	This study
Paper	0.1	-	-	-	Kim (2008)
Wood	0.2	-	-	-	Kim (2008)
Municipal solid wastes	0.5	-	-	-	Kim (2008)
Paper	0.8	-	-	-	Kim (2009)
Plastic	2.1	-	-	-	Kim (2009)
Wood	1.3	-	-	-	Kim (2009)
Municipal solid wastes	1.5	-	-	-	Kim (2009)
Municipal solid wastes	-	1.20	0.78	65	Lee (2010)
Field crops	11.0	-	-	-	Lutes (1996)
Household waste	8.0	-	-	-	Lutes (1996)
Land clearing	10.3	-	-	-	Lemieux (2004)
Yard waste	19.0	-	-	-	Lemieux (2004)
Litter, Wood	9.2	6.4	5.4	84	Dennis (2002)
Duff	17.8	13.6	11.8	87	Dennis (2002)
Agricultural debris	13.0	-	3.9	-	Gadde (2009)
Rice straw	20.1	9.4	8.3	88	Kim (2011)

**Table 6. Household waste emissions in case of assumption at open burning 1%.** (Unit: ton)

Comp.	Emission factor (g/kg)	2009 data (2010)			CAPSS data (2008)	Increase ratio (%) (A/B × 100)
		Emission	1% Open burning	Emission (A)	Emission (B)	
TSP	6.51 ~ 7.09	5,199,315	51,993	339 ~ 369	662,579	0.05 ~ 0.06
PM10	5.00 ~ 5.86	"	"	260 ~ 305	225,665	0.12 ~ 0.14
PM2.5	4.55 ~ 5.23	"	"	237 ~ 272	168,966	0.14 ~ 0.16

**Table 7. Amount of wood emissions in combustion.** (Unit: ton)

Comp.	Emission factor (g/kg)	2009 data (2010)			CAPSS data (2008)	Increase ratio (%) (A/B × 100)
		Emission	Combustion	Emission (A)	Emission (B)	
TSP	1.68 ~ 2.63	410,479	123,881	208 ~ 325	662,579	0.03 ~ 0.05
PM10	0.76 ~ 1.16	"	"	94 ~ 144	225,665	0.04 ~ 0.06
PM2.5	0.59 ~ 1.30	"	"	73 ~ 161	168,966	0.04 ~ 0.10

ment, 2010)와 CAPSS 자료와 비교 검토하여 보았다. 노천소각에 대한 활동도 추정치를 산출하는 데 어려움이 있어, 표 6과 같이 생활쓰레기 중 1%를 노천소각한다고 가정된 경우를 예를 들어 산출하였다. 전국 생활쓰레기 2009년 배출량 5,199,315톤(비산먼지 포함) 중 1%인 51,993톤을 소각한 경우 TSP 배출계수 6.51 ~ 7.09 g/kg을 적용하여 산출할 경우 배출량은

339 ~ 369톤이었다. 이를 전국 2008년 CAPSS 배출량에 적용할 경우 0.05 ~ 0.06%에 해당하는 배출량이다. 현재 CAPSS 배출량에는 노천소각으로 인한 배출량이 누락된 것을 감안하면 PM10 0.12 ~ 0.14%, PM2.5 0.14 ~ 0.16% 각각 증가하게 된다.

또한, 표 7은 목재류에 의한 먼지 배출 증가분을 나타내었다. 2009년 목재류 발생량은 총 410,479톤

**Table 8. Increase ratios of household waste and wood emissions.** (Unit: ton)

Comp.	Household waste (A)	Wood (B)	CAPSS data (C) (2008)	Increase ratio (%) ((A+B)/C) × 100
TSP	339~369	208~325	662,579	0.08~0.10
PM10	260~305	94~144	225,665	0.16~0.20
PM2.5	237~272	73~161	168,966	0.18~0.26

이었다. 이 중 123,881톤을 소각하였다. 본 연구에서 산정한 TSP 배출계수 1.68~2.63 g/kg을 적용하여 배출량을 산출한 결과 208~325톤이 증가하게 된다. 이는 총 TSP 배출량에 비해 0.03~0.05% 증가하게 된다. 또한 PM10 0.04~0.06%, PM2.5 0.04~0.10%, 각각 증가하게 된다.

표 8은 생활쓰레기와 목재류의 배출량을 CAPSS 배출량에 추가해 보면 TSP는 0.08~0.10%, PM10 0.16~0.20%, PM2.5 0.18~0.26% 각각 증가하게 된다. 따라서 이들 생활쓰레기와 목재류뿐만 아니라 불법으로 이루어지는 소각에 대한 활동도를 추정하여 CAPSS 자료를 보완할 필요가 있을 것으로 사료된다. 그러나 이들 불법소각은 근절대책이 원천적이지만 불법으로 전국 각지에서 이루어지고 있다는 것이 활동도 추정에 어려움이 있는 것이 사실이다.

**4. 결 론**

노천소각의 효과적인 관리를 위해서는 발생하는 오염물질과 발생량을 파악하는 것이 매우 중요하다. 따라서 목재류와 생활쓰레기를 대상으로 노천소각 시 배출되는 먼지 배출계수를 산정하였다. 실험장치는 EPA에서 제안한 컨테이너형 모의 소각장치를 자체 제작하여 사용하였다. 목재류와 생활쓰레기를 총 15회 연소시켜 배출되는 TSP, PM10, PM2.5 배출계수를 산정한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 연소 시 배출되는 오염물질은 목재류는 점화 후 약 40분, 생활쓰레기는 점화 후 20분의 초기연소 과정에서 많은 오염물질을 배출하였고, 그 후에는 배출농도가 점점 감소하였다.

(2) 먼지 측정결과, 목재류는 평균 TSP 66.4, PM10 28.4, PM2.5 17.9 mg/m<sup>3</sup>이었고, 생활쓰레기는 평균

TSP 118.4, PM10 66.8, PM2.5 55.2 mg/m<sup>3</sup>으로 생활쓰레기의 배출농도가 목재류보다 높게 측정되었다.

(3) 배출계수를 산정한 결과, 목재류 및 생활쓰레기에서 평균값은 각각 TSP 2.45, 6.75 g/kg PM10 0.86, 5.45 g/kg, PM2.5 0.78, 4.81 g/kg으로 산정되었다.

(4) 본 연구결과로 산정된 배출계수를 적용하여, 목재류 소각 시 배출된 먼지 배출량과 생활쓰레기 중 1%가 노천소각이 된다고 가정할 경우 먼지 배출량을 CAPSS 자료의 먼지 배출량과 비교해 본 결과, TSP 0.08~0.10%, PM10 0.16~0.20%, PM2.5 0.18~0.26% 각각 증가하였다.

연구 결과에서 알 수 있듯이 노천에서 쓰레기를 소각할 경우 다량의 먼지가 대기 중으로 배출되며, 밭에서 이루어지는 농업잔재물의 소각, 산불, 고기구이 등은 대기 중 먼지 농도를 증가시키는 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 노천소각에 대한 관리만 잘해도 먼지를 저감할 수 있어 노천소각에 대한 지속적인 관리가 필요하다. 본 연구는 노천소각을 재현할 수 있도록 컨테이너형 모의 소각장치에서 실험하여 배출계수를 산정하였다는 점에 의의가 있으며, 향후 추가적인 관련연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

**참 고 문 헌**

Alves, C., C. Goncalves, A.-P. Fernandes, L. Tarelho, and C. Pio (2011) Fireplace and woodstove fine particle emission from combustion of western Mediterranean wood types, *Atmospheric Research*, 101(3), 692-700.

Dennis, A., M. Fraser, S. Anderson, and D. Allen (2002) Air pollutant emissions associated with forest, grassland, and agricultural burning in Texas, *Atmospheric Environment*, 36(23), 3779-3792.

Department of Environment (2010) 2009 Wastes production and treatment in Korea.

Estrellan, C.-R. and F. Iino (2010) Toxic emission from open burning, *Chemosphere*, 80(3), 193-207.

Gadde, B., S. Bonnet, C. Menke, and S. Garivait (2009) Air pollutant emissions from rice straw open field burning in India, Thailand and the Philippines, *Environmental Pollution*, 157(5), 1554-1558.

Hays, M.-D., P.-M. Fine, C.-D. Geron, M.-J. Kleeman, and B.-K. Gullett (2005) Open burning of agricultural

- biomass: Physical and chemical properties of particle-phase emissions, *Atmospheric Environment*, 39(36), 6747-6764.
- Jang, K.-W., H.-C. Kim, Y.-M. Lee, D.-J. Song, N. Jung, S.-K. Kim, J.-H. Hong, S.-J. Lee, and J.-S. Han (2011) Estimating PM emission factor from coal-fired power plants in Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 27(5), 485-493.
- Jeon, J.-M., B.-W. Kang, H.-S. Lee, and C.-M. Lee (2010) Health risk assessment of heavy metals in PM<sub>2.5</sub> in industrial areas, *J. Env. Hlth. Sci.*, 36(4), 294-305.
- Kim, K.-H., D.-G. Kim, J.-H. Hong, and Y.-M. Jo (2009) Evaluation of emission factor of air pollutants emitted from open burning of municipal solid waste, *Korea Society of Waste Management*, 26(2) 161-167.
- Kim, K.-H., Y.-M. Jo, D.-G. Kim, and J.-H. Hong (2008) Emission Factors from Open Burning, *Proceeding of the 46th Meeting of Korean Society for Atmospheric Environment*, 496-497.
- Kim Oanh, N.-T., T.-L. Bich, D. Tipayarom, B.-R. Manandhar, P. Prapat, C.-D. Simpson, and L.-J. Liu (2011) Characterization of particulate matter emission from open burning of rice straw, *Atmospheric Environment*, 45(2), 493-502.
- Korea Standard Methods for Examination of Air, ES 01301.1.
- Lee, D.-G., Y.-M. Lee, K.-W. Jang, C. Yoo, K.-H. Kang, J.-H. Lee, S.-W. Jung, J.-M. Park, S.-B. Lee, J.-S. Han, J.-H. Hong, and S.-J. Lee (2011) Korean national emissions inventory system and 2007 air pollutant emissions, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 5(4), 278-291.
- Lee, D.-K., J.-S. Choi, Y.-M. JO, and J.-C. Kim (2010) Emission of harmful air pollutants from waste open burning, *Korea Society of Waste Management*, 27(2), 151-158.
- Lee, H.-J., H.-G. Choi, S.-B. Kim, M.-S. Cho, S.-M. Kim, S.-J. Park, I.-R. Chung, and G.-J. OH (2006) Study on the waste treatment status and characteristics in the small villages, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 14(1), 112-130.
- Lee, H.-S., C.-M. Kang, B.-W. Kang, and S.-K. Lee (2005) A study on the PM<sub>2.5</sub> source characteristics affecting the Seoul area using a chemical mass balance receptor model, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 21(3), 329-341.
- Lemieux, P.-M., C.-C. Lutes, and D.-A. Santoianni (2004) Emissions of organic air toxics from open burning: a comprehensive review, *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 1-32.
- Lim, J.-H., S.-W. Jung, T.-W. Lee, J.-C. Kim, C.-Y. Seo, J.-H. Ryu, J.-W. Hwang, S.-M. Kim, and D.-S. Eom (2009) A study on calculation of air pollutants emission factors for construction equipment, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 25(3), 188-195.
- Lonnermark, A., P. Blomqvist, and S. Marklund (2008) Emissions from simulated deep-seated fired fires in domestic waste, *Chemosphere*, 70(4), 626-639.
- Lutes, C.-C. and P.-H. Kariher (1996) Evaluation of Emission from the Open Burning of Land-clearing debris Final Report, EPA-600/SR-96-128.
- Moon, D.-H. (2007) A Study for Estimation of Emissions and Profile Characteristics of Dioxins, dioxin-like PCBs and PAHs by Open burning, The Graduate School Pukyong National University.
- NIER (2008) A Study of Reduction methods and Open Burning Present Condition for Agricultural Wastes.
- Park, J.-S. and S.-D. Kim (2005) The characteristics of secondary carbonaceous species within PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Seoul and Incheon area, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 20(1), 131-140.
- Park, S.-K., S.-J. Choi, J.-Y. Kim, H.-J. Lee, Y.-K. Jang, C.-K. Bong, J.-H. Kim, and U.-H. Hwang (2011) A study on the development of particulate matters emission factors from biomass burning: mainly commercial meat cooking, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 27(4), 426-435.
- Viana, M., J.-M. Lopez, X. Querol, A. Alastuey, D. Garcia-Gacio, G. Blanco-Heras, P. Lopez-Mahia, M. Pinheiro-Iglesias, M.J. Sanz, F. Sanz, X. Chi, and W. Maenhaut (2008) Tracers and impact of open burning of rice straw residues on PM in Eastern Spain, *Atmospheric Environment*, 42(8), 1941-1957.
- Yoon, Y.-S., J.-H. Kim, D. Pudasainee, S.-U. Son, G.-K. Park, K.-I. Park, and Y.-C. Seo (2010) Emission characteristics of PM and PM<sub>2.5</sub> from bituminous coal combustion power plants, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 26(2), 151-160.