

아궁이 사용에 의한 대기오염물질의 배출 특성

박성규* · 유근정* · 최상진* · 김대근**† · 김동영*** · 장영기****

(주)케이에프, ** 서울과학기술대학교 환경공학과, *** 경기개발연구원 환경연구실, **** 수원대학교 환경에너지공학과

Emission of Airborne Pollutants from Traditional Korean Fireplace

Park, Sung Kyu*, Lyu, Kun Jung*, Choi, Sang Jin*, Kim, Dae keun**†, Kim, Dong Young***
and Jang, Young Kee****

*KOFIRST R&D Center, KF Co. Ltd.

**Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology

***Department of Environment, Gyeonggi Research Institute

****Department of Environment Energy Engineering, The University of Suwon

ABSTRACT

Emission from the traditional Korean fireplace, or the under-floor heating and cooking device, can contribute significantly to airborne pollutants inventories. This study has systematically measured emissions of airborne pollutants from the fireplace when used different fuels such as firewood, agricultural crop residuals, household wastes. The results show that emission factors of airborne pollutants through the primary combustion of firewood were 3.22 g/kg for TSP, 2.93 g/kg for PM₁₀, 2.65 g/kg for PM_{2.5}, 174.19 g/kg for CO, 7.77 g/kg for NO, 0.15 g/kg for SO₂, 40.53 g/kg for TVOC and 0.03 g/kg for NH₃; from burning of agricultural crop residues, 2.85 g/kg for TSP, 1.38 g/kg for PM₁₀, 1.14 g/kg for PM_{2.5}, 126.47 g/kg for CO, 12.60 g/kg for NO, 0.20 g/kg for SO₂, 33.73 g/kg for TVOC and 0.02 g/kg for NH₃; and for household wastes, 10.52 g/kg for TSP, 8.52 g/kg for PM₁₀, 6.23 g/kg for PM_{2.5}, 72.86 g/kg for CO, 11.73 g/kg for NO, 0.20 g/kg for SO₂, 47.10 g/kg for TVOC and 0.20 g/kg for NH₃.

Keyword : Fireplace, Air Pollutant, Black Carbon, Emission Factor

1. 서 론

생물성 연소(biomass burning)는 인간활동 또는 자연현상에 의하여 생체(biomass)가 연소하는 것을 의미하며, 농업 잔재물의 연소와 산불 등의 식생(vegetation)의 연소를 포함한다. 전 지구적으로 약 90%의 생물성 연소는 인간 활동에서 직접적인 원인을 찾을 수 있다. 일상생활 주변에서 흔히 확인할 수 있는 생물성 연소로는 농업잔재물 또는 생활폐기물 등의 노천소각, 나무 등을 연료로 쓰는 아궁이 또는 화목난로, 고기 직화구이, 숯 제조 등이 있다. 생물성 연소는 다양한 입자상, 가스상의 대기오염물질을 배출할 뿐만 아니라, 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 등 온실가스도 대량으로 배출하여 지구온난화의 중요한 원인이 된다. 일반적으로 생물성 연소는 적절한 관리가

이루어지지 않기 때문에 불완전 연소가 수반되면서 대기오염물질이 다량 배출되고, 다이옥신 등의 유해물질이 동시에 발생 가능성이 높다. 또한 생활주변에서 발생하는 경우가 많기 때문에 연소에 의해 발생된 대기오염물질은 인간에게 직접적으로 위해를 끼치게 된다.

아궁이는 주로 농업지역에서 사용하며, 용도에 따라 난방 취사 겸용 아궁이와 취사전용 아궁이로 분류된다. 난방취사 겸용 아궁이는 전통 재래식 형태의 가구에서 주로 사용하며, 취사 전용 아궁이는 가정에서 취사를 주 목적으로 사용한다. 아궁이에 쓰이는 연료로는 나무 장작을 주로 사용하며, 농업 잔재물이나 생활폐기물 등을 혼합하여 사용하기도 한다.

본 연구에서는 아궁이에서 배출되는 대기오염물질의 배출 특성을 파악하고자 하였으며, 가장 보편적으로 사용하는 장작,

† Corresponding author : E-mail: kimd@seoultech.ac.kr

Received May 7, 2015 / Revised June 1, 2015 / Accepted June 15, 2015

농업잔재물(사과나무 가지), 생활폐기물이 연소될 때 특성을 각각 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1 현황 조사

아궁이는 주로 농업지역에서 사용하며, 용도에 따라 난방 취사 겸용 아궁이와 취사 전용 아궁이로 분류된다. 아궁이를 사용하는 농가에 대하여 설문한 결과, 난방 취사 겸용 아궁이의 1일 평균 연료 사용량은 4.9 kg/day(95% 신뢰수준에 ± 1.4% 오차범위)이며, 취사 전용 아궁이의 1일 평균 연료 사용량은 5.0 kg/day(95% 신뢰수준에 ± 1.5% 오차범위)로 나타났다. 아궁이 월별 사용 비율을 조사한 결과, 난방 취사 겸용 아궁이와 취사 전용 아궁이의 사용패턴이 다르게 나타났다. 난방 취사 겸용 아궁이의 사용패턴을 보면 겨울철 11월부터 2월까지 가장 많이 사용하며, 여름철인 6월부터 8월까지 사용 빈도가 현저히 줄어드는 것으로 조사되었다. 취사 전용 아궁이는 월별로 큰 변화가 없었으나 2월, 10월, 11월에 다소 높은 비율이 나타난 이유는 명절 음식 준비, 마을 단위 행사로 인해 아궁이 사용비율이 높아지는 요인으로 해석된다. 아궁이의 사용연료 조사 항목은 3종류로써 장작, 농업잔재물 혼합소각, 생활폐기물 혼합소각을 주로 사용하는 것으로 조사하였다. 생활 주변에서

손쉽게 구할 수 있는 장작 만을 사용하는 비율은 전체 아궁이 사용가구 중 64.3%를 차지하는 것으로 나타났다. 장작 이외에 농업잔재물(사과나무), 생활폐기물을 혼합하여 소각하는 비율은 각각 21.4%와 10.7%를 차지하는 것으로 나타났다.

2.2 측정항목 및 분석방법

아궁이에서 배출되는 대기오염물질의 배출특성을 파악하기 위하여 설문조사 결과를 반영하여 보편적으로 사용하는 장작, 농업잔재물(사과나무), 생활폐기물을 대상으로 분석하였다. 또한, 실험항목 중 아궁이에서 소각하는 생활폐기물은 우리 주변에서 흔히 불법소각할 수 있는 생활쓰레기를 대상으로 하였으며, 실험에 사용한 생활폐기물의 조성은 Table 3

Table 2. Experimental condition of fuel combustion in the test fireplace

Fuels	Burning duration (min)	Number of experimental runs	Fuel weight (kg)
Wood fuel	50	3	5
Apple branches	40	3	5
Household wastes	40	3	5

Table 1. Consumption of fuels in the traditional Korean fireplace

Month	Heating and cooking purpose			Cooking purpose		
	(kg/day)	(kg/month)	(%)	(kg/day)	(kg/month)	(%)
Jan.	9.1	280.9	15.4	7.1	218.7	11.8
Feb.	9.1	253.7	15.4	8.0	224.1	13.4
Mar.	7.4	230.9	12.7	7.1	219.8	11.9
Apr.	3.7	111.9	6.4	4.3	127.6	7.1
May.	2.4	73.6	4.0	3.0	92.5	5.0
Jun.	0.4	12.2	0.7	1.1	33.0	1.8
Jul.	0.4	12.6	0.7	1.9	57.7	3.1
Aug.	0.6	18.9	1.0	2.4	74.8	4.0
Sep.	2.7	80.8	4.6	3.9	117.5	6.6
Oct.	5.1	158.7	8.7	4.8	147.8	8.0
Nov.	8.7	260.9	14.8	8.7	260.0	14.5
Dec.	9.1	280.9	15.4	7.7	237.3	12.8
AVG.	4.9	148.0	100.0	5.0	150.9	100.0

Table 3. Composition of household wastes used in burning test

Classification	Weight (kg)	Ratio (%)
Combustible	Food	4.3 / 7.7
	Plastic and vinyl	3.5/13.6 / 6.3/24.4
	Paper	24.6 / 44.1
	Textile	2.2 / 3.9
	Wood	1.3 / 2.3
	Leather and rubber	0.1 / 0.2
	Other	4.6 / 8.2
	Sub-total	54.2 / 97.1
	Incombustible	Metal
Glass and ceramic		0.5 / 0.9
Other		1.1 / 2.0
Sub-total		1.6 / 2.9
Total	55.8 / 100.0	

과 같다.

아궁이 사용 시 발생하는 배출가스의 입자상 및 가스상 오염물질을 측정하기 위하여 각각의 측정장비를 사용하였으며, “수집 → 계근 → 연소 → 측정 및 분석 → 항량 및 칭량 → 배출가스 분석”의 순으로 동일하게 수행하였다.

입자상 오염물질은 총 3개의 등속흡인 시료채취장치를 이용하여 연소가스 중에서 총 먼지(Total suspended particle, TSP), PM₁₀, PM_{2.5}를 각각 채취하였다. 시료채취장치에는 TSP 홀더, PM₁₀ Cyclone Kit, PM_{2.5} Cyclone Kit를 각각 장착하였다. 시료채취용 여지는 원통형 여지(ADVANTEC 88R)와 원형 여지(Whatman QMA 47mm)가 사용되었으며, 중량농도를 분

석하기 위해 마이크로 천칭(0.1×10⁻⁴ mg 단위)를 사용하였다. 먼지의 입경분포는 입도분석기(Grimm aerosol technik, German)를 사용하여 측정하였다.

가스상 오염물질 중 CO, NO, NO₂, SO₂는 실시간 가스분석기(ENERAC 500, USA)을 사용하여 연소가스에서 직접 측정되었다. 그리고 TVOC와 VOCs는 진공가스포집기를 사용하여 시료채취 주머니(Tedlar bag)에 포집시켜 실험실 이동 후 분석하였다. TVOC는 총탄화수소 분석기(Model-200, VIG Industries, USA)를 사용하여 분석하였으며, VOCs는 포집가스 중 3 L를 분취하여 고체흡착관(Tenax-TA, Supelco, USA)을 이용하여 전량 흡착시킨 후 열탈착장치(Thermal desorber)가 장착된 가스크로마토그래-질량분석기(Gas Chromatograph/Mass Spectrometer)를 사용하여 분석하였다. 암모니아 분석은 연소가스를 봉산(0.5w%) 흡수액에 흡수하여 인도페놀법으로 분석하였다.

발열량은 자동열량계(C2000 basic version, IKA, German)를 사용하여 분석되었으며, 원소조성은 자동원소 분석기(EA-1112, Thermo Fisher Scientific, USA)로 분석하였다.

오염물질 별 배출계수는 식 (1)의 방법으로 산정하였다. 오염물질 농도(mg/m³)는 실측에 의한 값이며, 배출가스량(m³)은 배출구 직경(m²), 유속(m/s), 측정시간(min)을 이용하여 계산하였고, 연료투입량은 실험 당시 사용된 사과나무, 생활폐기물, 장작 사용량이다.

$$\text{배출계수(g/kg)} = \frac{\text{대기오염물질 농도(mg/m}^3\text{)} \times \text{배출가스량(m}^3\text{)}}{\text{연료투입량(kg)}} \times 10^{-3} \text{ 식 (1)}$$

3. 연구 결과

Table 4. Sampling and analyzing method of airborne pollutants

Emission pollutant	Analysis equipment	
TSP	Stack sampler	
Particulate matters	Stack sampler with PM ₁₀ & PM _{2.5} cyclone kit	
Particle size distribution	Number concentration	
Gaseous air pollutants	Gas analyzer	
Hazardous air pollutants	TVOC	FID
	VOCs	GC-MS
Others	Caloric value, moisture, elementary composition	-

3.1 연료의 발열량 및 원소조성

아궁이에 사용된 연료는 사과나무, 생활폐기물, 장작으로 각각에 대하여 연소실험을 실시하였다. 아궁이의 연소실 평균 출구 온도는 연료별로 장작 111.3℃, 사과나무 101.0℃, 생활폐기물 129.7℃로 나타났다. 연료 수분 함유량은 연료별로 장작 15.2%, 사과나무 14.5%, 생활폐기물 23.5%로 나타났으며, 발열량은 각각 4,341.0 kcal/kg, 4,270.3 kcal/kg, 4,669.3 kcal/kg으로 나타났다. 또한, 아궁이에 사용한 나무 장작의 원소조성은 탄소 47.80%, 수소 5.70%, 질소 0.06%, 황 0.00%, 산소 및 기타 46.46%로 나타났으며, 사과나무의 원소조성은 탄소 45.77%, 수소 5.79%, 질소 0.90%, 황 0.00%, 산소 및 기타 47.54%로 나타났다. 그리고 생활폐기물의 원소조성은 탄소 48.70%, 수소 6.99%, 질소 1.64%, 황 0.00%, 산소 및 기타 42.67%로 나타났다.

3.2 입자상 대기오염물질

아궁이에서의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 농도 및 배출계수 결과는 Table 6과 같다. 연료별로 살펴보면 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 농도는 장작이 각각 95.6 mg/m³, 87.2 mg/m³, 75.9 mg/m³로 나타났으며, 사과나무는 각각 75.5 mg/m³, 36.5 mg/m³, 30.3 mg/m³로 나타났다. 그리고 생활폐기물의 경우 각각 278.9 mg/m³, 221.7 mg/m³, 162.5 mg/m³로 나타나, 다른 연료에 비해 상당히 높은 수치를 나타냈다. 또한, 연료별 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 배출계수는 장작이 각각 3.2 g/kg, 2.9 g/kg, 2.6 g/kg으로 나타났으며, 사과나무는 각각 2.9 g/kg, 1.4 g/kg, 1.1 g/kg

Table 5. Characteristics of the test fuels

Fuel	Moisture content (w/w%)	Caloric value (kcal/kg)	Elementary composition (%)				
			C	H	N	S	Others
Wood fuel	15.2	4,341.0	47.80	5.70	0.06	0.00	46.46
Apple branches	14.5	4,270.3	45.77	5.79	0.90	0.00	47.54
Household wastes	28.5	4,669.3	48.70	6.99	1.64	0.00	42.67

Table 6. Particulate emissions from fireplace appliances

Fuel	Concentration (mg/m ³)			Emission factor (g/kg)		
	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Wood fuel	95.65	87.18	75.96	3.22	2.93	2.65
Apple branches	75.56	36.51	30.27	2.85	1.38	1.14
Household wastes	278.97	221.73	162.01	10.52	8.52	6.23

Table 7. Ratio of PM₁₀ and PM_{2.5} to TSP from fireplace appliances

Fuels	Particle size distribution (PM/TSP) ¹⁾		
	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Wood fuel	1.000	0.911	0.794
Apple branches	1.000	0.483	0.401
Household wastes	1.000	0.795	0.581

¹⁾ calculated based on the measurement of mass concentration.

으로 나타났다. 그리고 생활폐기물의 경우 각각 10.5 g/kg, 8.5 g/kg, 6.2 g/kg로 나타났다.

중량농도의 측정값을 토대로 산정된 입경 분율을 살펴보면, 화목난로의 경우 총 먼지 중 PM₁₀이 차지하는 비율은 장작, 사과나무, 생활폐기물이 각각 91.1%, 48.3%, 79.5%로 나타났다. 또한 총 먼지 중 PM_{2.5}가 차지하는 비율은 장작, 사과나무, 생활폐기물이 각각 79.4%, 40.1%, 58.1%로 나타났다.

3.3 가스상 대기오염물질

아궁이에서 배출되는 가스상 대기오염물질에서는 CO, NO, SO₂, VOCs, NH₃ 등이 검출되었다. 연료별 CO, NO, SO₂, TVOC, NH₃의 배출계수는 장작에서 각각 174.2 g/kg, 7.8 g/kg, 0.2 g/kg, 40.5 g/kg, 0.0 g/kg으로 산출되었으며, 사과나무에서 각각 126.5 g/kg, 12.6 g/kg, 0.2 g/kg, 33.7 g/kg, 0.0 g/kg으로 산출되었다. 또한 생활폐기물에서는 각각 72.9 g/kg, 11.7

Table 8. Emission factors of macro air pollutants

Fuels	Emission factor (g/kg)				
	CO	NO	SOx	TVOC	NH ₃
Wood fuel	174.19	7.77	0.18	40.53	0.03
Apple branches	126.47	12.60	0.20	33.73	0.02
Household wastes	72.86	11.73	0.20	47.10	0.20

g/kg, 0.2 g/kg, 47.1 g/kg, 0.2 g/kg으로, 다른 연료에 비하여 암모니아가 높은 것으로 나타났다.

3.4 블랙카본

블랙카본은 연료의 불완전 연소에 의하여 배출되며, 기후 변화를 유발하는 원인물질이다. 아궁이에서 배출되는 가스 중 블랙카본의 배출계수는 Table 9와 같다. PM₁₀을 기준으로 블랙카본의 배출계수는 장작, 사과나무, 생활폐기물에서 각각 0.9 g/kg, 0.9 g/kg, 1.8 g/kg으로 나타났으며, PM₁₀ 중 블랙카본의 비중이 장작, 사과나무, 생활폐기물에서 각각 33.5%, 68.3%, 20.5%를 차지하는 것으로 나타났다.

3.5 배출계수 비교

재래식 아궁이 부문의 오염물질별 배출계수는 본 연구결과

와 U.S. EPA(2001), AP-42의 Residential Fireplace 배출계수를 비교하였다. 비교 분석 결과, 입자상 오염물질의 경우 PM₁₀은 AP-42의 값이 본 연구결과의 배출계수보다 약 1.8~11배 높은 수치로 나타났다. 가스상 오염물질의 경우 NOx는 AP-42의 배출계수보다 본 연구결과 값이 약 6.5~10.5배 정도 높은 수치로 나타났으며, VOC는 본 연구결과보다 AP-42의 배출계수 값이 약 2~3배 정도 높은 것으로 나타났다.

화목 난로 및 보일러, 그리고 펠릿 난로 및 보일러에서의 배출계수와 비교하면 PM₁₀의 경우, 사과나무가 가장 낮은 값을 나타냈으며, 생활폐기물에서 가장 높은 값을 보였다. NOx의 경우, 모든 연료에서 펠릿난로 및 보일러와 비슷한 값을 보였으며, CO의 경우 생활폐기물에 의한 값이 가장 낮은 것으로 나타났다.

Table 9. Emission of black carbon from fireplace appliances

Fuel	OC	EC	TC	PM ₁₀	TC/PM
	(g/kg)				(%)
Wood	0.65	0.25	0.90	2.68	33.5
Apple branches	0.56	0.30	0.86	1.26	68.3
Household wastes	1.54	0.24	1.78	8.70	20.5

Table 10. Comparison of macropollutants emission factors

(unit : g/kg)

Item	PM ₁₀	NOx	SOx	CO	VOC	NH ₃
AP-42(Fireplace)*	15.7	1.2	0.2	114.7	104.0	-
Wood	2.9	7.8	0.2	174.2	40.5	0.03
This study Apple branches	1.4	12.6	0.2	126.5	33.7	0.02
Household wastes	8.5	11.7	0.2	72.9	47.1	0.11

* 자료 : U.S. EPA(2001), AP-42, Residential Fireplace.

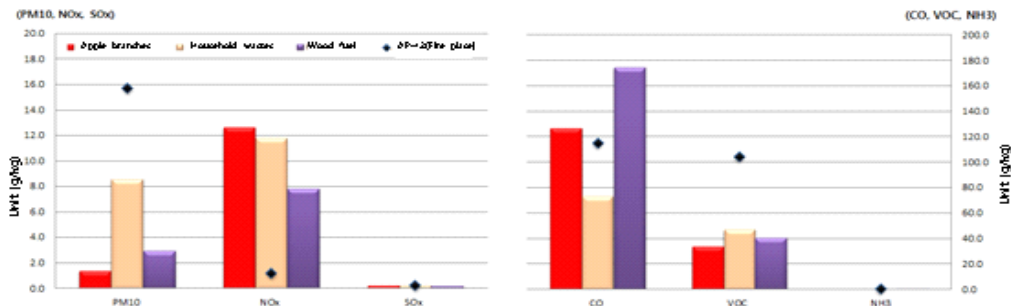


Fig. 1. Comparison of macropollutants emission factors.

Table 11. Comparison of air pollutants emissions from burning appliances

(unit : g/kg)

	Item	PM ₁₀	NO _x	SO _x	CO	VOC	NH ₃
Stove	Wood ¹⁾	6.5	1.6	0.2	175.5	48.0	0.02
	Pellet ²⁾	3.3	14.4	0.2	119.2	37.7	0.02
Boiler	Wood ¹⁾	5.8	1.4	0.2	146.7	40.0	0.01
	Pellet ²⁾	3.4	11.9	0.2	450.7	48.8	0.02
This study	Wood	2.9	7.8	0.2	174.2	40.5	0.03
	Apple branches	1.4	12.6	0.2	126.5	33.7	0.02
	Household wastes	8.5	11.7	0.2	72.9	47.1	0.11

* 자료 : ¹⁾ Park *et al.* (2015a), ²⁾ Park *et al.* (2015b).

4. 결 론

본 연구에서는 주로 동절기 실내 난방 및 취사를 목적으로 사용하는 아궁이에서 배출되는 대기오염물질의 배출특성을 파악하고자 하였으며, 이를 위하여 국내에서 가장 보편적으로 많이 활용하고 있는 연료(장작, 사과나무, 생활폐기물)를 대상으로 실시하였다. 아궁이에서 발생하는 배출가스의 입자상 및 가스상 오염물질을 측정하기 위하여 각각의 측정장비를 사용하였으며, 재현성 확보를 위하여 “수집 → 계근 → 연소 → 측정 및 분석 → 향량 및 칭량 → 배출가스 분석”의 순으로 동일하게 수행하였다.

1. 아궁이에 사용된 연료는 사과나무, 생활폐기물, 장작으로 각각에 대하여 연소실험을 실시하였으며, 아궁이의 연소실 평균 출구 온도는 연료별로 장작 111.3℃, 사과나무 101.0℃, 생활폐기물 129.7℃로 나타났다. 연료 수분 함유량은 연료별로 장작 15.2%, 사과나무 14.5%, 생활폐기물 23.5%로 나타났으며, 발열량은 각각 4,341.0 kcal/kg, 4,270.3 kcal/kg, 4,669.3 kcal/kg으로 나타났다. 또한, 아궁이에 사용한 나무 장작의 원소조성은 탄소가 47.80%, 수소 5.70%, 질소 0.06%, 황 0.00%, 산소 및 기타 46.46%로 나타났으며, 사과나무의 원소조성은 탄소가 45.77%, 수소 5.79%, 질소 0.90%, 황 0.00%, 산소 및 기타 47.54%로 나타났다. 그리고 생활폐기물의 원소조성은 탄소가 48.70%, 수소 6.99%, 질소 1.64%, 황 0.00%, 산소 및 기타 42.67%로 나타났다.
2. 아궁이에서의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 농도 및 배출계수 결과는 연료별로 장작이 각각 3.2 g/kg, 2.9 g/kg, 2.5 g/kg으로 나타났으며, 사과나무는 각각 2.9 g/kg, 1.4 g/kg, 1.1 g/kg으로 나타났다. 그리고 생활폐기물의 경우 각각 10.5 g/kg, 8.5 g/kg, 6.2 g/kg으로 나타났다.

3. 아궁이에서 배출되는 가스상 대기오염물질에서는 연료별로 살펴보면 CO, NO, SO₂, TVOC, NH₃의 배출계수는 장작에서 각각 174.2 g/kg, 7.8 g/kg, 0.2 g/kg, 40.5 g/kg, 0.0 g/kg으로 산출되었으며, 사과나무에서 각각 126.5 g/kg, 12.6 g/kg, 0.2 g/kg, 33.7 g/kg, 0.0 g/kg으로 산출되었다. 또한 생활폐기물에서는 각각 72.8 g/kg, 11.7 g/kg, 0.2 g/kg, 47.1 g/kg, 0.2 g/kg으로, 다른 연료에 비하여 암모니아가 높은 것으로 나타났다.
4. 블랙카본은 연료의 불완전 연소에 의하여 배출되며, 기후변화를 유발하는 원인물질이다. PM₁₀을 기준으로 블랙카본의 배출계수는 장작, 사과나무, 생활폐기물에서 각각 0.9 g/kg, 0.9 g/kg, 1.8 g/kg으로 나타났으며, PM₁₀ 중 블랙카본의 비중이 장작, 사과나무, 생활폐기물에서 각각 33.5%, 68.3%, 20.5%를 차지하는 것으로 나타났다.
5. 재래식 아궁이 부문의 오염물질별 배출계수는 본 연구결과와 U.S. EPA(2001), AP-42의 Residential Fireplace 배출계수를 비교하였다. 비교 분석 결과, 입자상 오염물질의 경우 PM₁₀은 AP-42의 값이 본 연구결과의 배출계수보다 약 1.8~11배 높은 수치로 나타났다. 가스상 오염물질의 경우 NO_x는 AP-42의 배출계수보다 본 연구결과 값이 약 6.5~10.5배 정도 높은 수치로 나타났으며, VOC는 본 연구결과보다 AP-42의 배출계수 값이 약 2~3배 정도 높은 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 환경부의 2012년 차세대 에코이노베이션기술개발사업(411-113-011)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- CARB. 2005. Emission inventory methodology-San Joaquin Valley unified air pollution control district : Agricultural burning.
- Kim DY. 2011. Analysis of air pollutants emissions from biomass burning in Seoul Metropolitan area. Gyeonggi Research Institute.
- Kim PS, Jang YK, Kim J, Shin YI, Kim Js, An JY. 2010. A study on estimation of air pollutants estimation from residential wood stove. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 26(3):276-285.
- NASA Langley Research Center. 2001. Biomass burning: A hot issue in global change. FS-2001-02-56-LaRC.
- NIER, National Institute of Environment Research. 2009. CAPSS(Clean Air Policy Support System).
- NIER, National Institute of Environment Research. 2009. A study on the estimation and contribution rate for PM_{2.5}.
- Park SK, Choi SJ, Kim DG, Kim DY, Jang YK, Jeon EC. 2015a. Emission characteristics of air pollutants and black carbon from wood stove and boiler. *Journal of Climate Change Research* 6(1):49-54.
- Park SK, Ryu GJ, Kim DG, Kim DY, Jang YK, Jeon EC. 2015b. Emission characteristics of air pollutants and black carbon from wood-pellet stove and boiler. *Journal of Climate Change Research* 6(1):41-47.
- Park SK, Choi SJ, Park GJ, Kim JY, Bong CG, Park SJ, Kim JH, Hwang UH. 2011. Collection characteristics of particulate matters from biomass burning by control devices : Mainly commercial meat cooking. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 27(6):641-649.
- U.S. EPA. 2007. TTN EMC method 5G-PM wood heaters from a dilution tunnel.
- U.S. EPA. 2007. Emission inventory improvement program VolumeIII : Chapter 2-Residential wood combustion.
- Han YH, Kim DY, Choi MA, Park SK, Jang YK. 2014. A study on estimation of air pollutants estimation from wood stove and boiler, wood-pellet stove and boiler. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment* 30(3):251-260.