

목재 펠릿 난로와 보일러 사용에 의한 대기오염물질과 블랙카본의 배출 특성

박성규* · 유근정* · 김대근** · 김동영*** · 장영기**** · 전의찬*****

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

Emission Characteristics of Air Pollutants and Black Carbon from Wood-pellet Stove and Boiler

Park, Sung Kyu*, Lyu, Kun Jung*, Kim, Daekeun**, Kim, Dong Young***,
Jang, Young Kee**** and Jeon, Eui Chan*****†

*KOFIRST R&D Center, KF Co. Ltd., 437-120, Korea

**Dept. of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Jinju, Korea

***Dept. of Environment, Gyeonggi Research Institute, Suwon, Korea

****Dept. of Environment Energy Engineering, The University of Suwon, Suwon, Korea

*****Dept. of Earth and Environment Sciences, The University of Sejong, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study was carried out simulating domestic utilization conditions of a wood pellet stove and a wood pellet boiler in order to determine emission factors (EFs) of macro-pollutants, i.e., carbon monoxide, nitrogen oxides, sulfur oxides, ammonia, particulate matters (total suspended particulate, PM₁₀, PM_{2.5}, black carbon) and trace pollutants (i.e., ten different volatile organic compounds). The composite pollutant EFs for the pellet stove were: for TSP 4.58 g/kg, for PM₁₀ 3.35 g/kg, for PM_{2.5} 2.48 g/kg, CO 119.23 g/kg, NO 14.40 g/kg, SO₂ 0.17 g/kg, TVOC 37.73 g/kg, NH₃ 0.02 g/kg and emissions were similar to the pellet boiler appliance: for TSP 4.73 g/kg, for PM₁₀ 3.41 g/kg, for PM_{2.5} 2.63 g/kg, CO 161.51 g/kg, NO 13.67 g/kg, SO₂ 0.19 g/kg, TVOC 45.22 g/kg, NH₃ 0.02 g/kg.

Key words : Pellet Stove, Pellet Boiler, Biomass Burning, 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 등 노천소각, 나무 등을 연료로 쓰는 아궁이 또는 펠릿 난로, 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 된

다. 국내의 선행연구에서도 생물성 연소의 먼지 배출량에 대하여 심각성을 보고하고 있다. 일반적으로 생물성 연소는 적절한 관리가 이루어지지 않기 때문에 불완전 연소가 수반되면서 대기오염물질이 다량 배출되고, 다이옥신 등의 유해물질이 동시에 발생할 가능성이 높으며, 생활 주변에서 발생하는 경우가 많기 때문에 연소에 의해 발생된 대기오염물질은 인간에게 직접적으로 피해를 끼치게 된다.

펠릿 난로 및 보일러는 목재 펠릿을 주 연료로 사용하고 있으며, 겨울철 난방을 목적으로 사용된다. 국내의 목재펠릿은 국제유가 상승에 따른 대체 에너지 개발, 신재생에너지 보급 확대, 그리고 도시가스가 공급되지 않는 지역에 지역난방 대안으로 생산하기 시작하였다. 국립산림과학원(2013)은 목재펠릿의

† Corresponding author : mincheon@chol.com

Received December 30, 2014 / Revised February 16, 2015(1st), March 12, 2015(2nd) / Accepted March 24, 2015

규격 · 품질 기준에 대하여 ‘고체 바이오 연료 중 목재펠릿의 품질 향상 및 유통질서 확립을 위해 국내에서 생산되거나, 외국에서 수입되는 목재펠릿의 규격 및 품질기준을 정하는 것을 목적으로 한다.’라고 명시하고 있다.

본 연구에서는 펠릿 난로 및 보일러에서 배출되는 대기오염 물질의 배출특성을 파악하고자 하였으며, 이를 위하여 국내에서 가장 보편적으로 많이 활용하고 있는 펠릿 난로 및 보일러의 모형을 활용하였다.

2. 연구 방법

2.1 현황조사

펠릿 난로 및 보일러 사용대수는 연간 펠릿 사용량을 이용하여 추정할 결과, 전국 펠릿 난로 사용대수는 46,735대이며, 펠릿 보일러 사용대수는 11,116대로 나타났다. 또한 펠릿 난로 및 보일러 사용자를 대상으로 실시한 설문조사 결과, 펠릿 난로 1대당 1일 평균 연료 사용량은 12.8 kg/day(95% 신뢰수준에 ± 10.7% 오차범위)이며, 펠릿 보일러의 1일 평균 연료 사용량은 32.5 kg/day(95% 신뢰수준에 ±31.8% 오차범위)로 나타났다. 펠릿 난로 및 보일러의 1대당 연간 평균 연료 사용량은 월별로 사용비율이 다르기 때문에 월별 사용비율을 적용하여 산출하였으며, 각각 1,831.5 kg/yr, 4,505.6 kg/yr로 나타났다.

2.2 측정항목 및 분석방법

펠릿 난로 및 보일러의 배출계수를 산정하기 위하여 시중에 유통되고 있는 펠릿연료를 사용하였으며, 시장조사를 통하여 가장 보편적인 제품을 선택하여 Table 2와 같이 실시하였다.

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

입자상 오염물질은 총 3개의 등속흡인 시료채취 장치(stack sampler)를 이용하여 연소가스 중에서 총 먼지(Total Suspended Particle; TSP), PM₁₀, PM_{2.5}를 각각 채취하였다. 시료채취 장치에는 TSP 홀더, PM₁₀ Cyclone Kit, PM_{2.5} Cyclone Kit를 각각 장착하였다. 시료채취용 여지는 원통형 여지(ADVANTEC 88R)와 원형 여지(Whatman QMA 47 mm)가 사용되었으며, 중량농도를 분석하기 위해 마이크로 천칭(1×10⁻⁵ mg 단위)를 사용하였다. 먼지의 입경분포는 입도분석기(Grimm aerosol technik, German)를 사용하여 측정하였다.

Table 1. Wood pellet consumption by stove and boiler appliances

Month	Pellet-stove			Pellet-boiler		
	(kg/day)	(kg/yr)	(%)	(kg/day)	(kg/yr)	(%)
Jan.	12.8	395.3	16.2	32.5	1,007.5	21.8
Feb.	11.8	330.3	16.2	28.5	798.3	19.1
Mar.	8.2	255.0	12.3	19.5	604.1	13.1
Apr.	1.6	48.1	6.0	9.1	273.7	6.1
May.	0.7	21.8	3.8	1.1	32.9	0.7
Jun.	0.2	6.1	1.0	0.0	0.3	0.0
Jul.	0.1	2.1	0.3	0.0	0.3	0.0
Aug.	0.3	8.6	0.8	0.0	0.3	0.0
Sep.	0.9	28.1	3.9	0.1	3.2	0.1
Oct.	4.1	126.3	9.5	10.0	311.5	6.7
Nov.	8.3	248.0	13.6	17.1	511.5	11.4
Dec.	11.7	361.7	16.2	31.0	961.9	20.8
Total	60.6	1,831.5	100.0	148.9	4,505.6	100.0

Table 2. Description of the tested appliances

Item	Burning duration	Number of experimental runs	Fuel input
Pellet stove	30 min	6	2 kg/run
Pellet boiler	30 min	6	2 kg/run



(a) Pellet stove



(b) Pellet boiler

Fig. 1. The tested commercial scale stove and boiler.

가스상 오염물질 중 CO, NO, NO₂, SO₂는 실시간 가스분석기(ENERAC 500, USA)를 사용하여 연소가스에서 직접 측정하였다. 그리고 TVOC 및 VOCs는 진공가스 포집기를 사용하여 시료채취 주머니(Tedlar bag)에 포집하여 실험실 이동 후 분석하였으며, TVOC는 FID-200을 이용하여 분석하였다. VOCs는 포집가스 중 3 L를 분취하여 고체흡착관(Tenax-TA, Supelco, USA)를 이용하여 전량 흡착시킨 후 열탈착장치(Thermal desorber)가 장착된 가스크로마토그래피(Gas Chromatograph; GC) 및 질량분석기(Mass Spectrometer; MS)를 사용하여 VOCs의 성분을 분석하였다. 암모니아 분석은 연소가스를 봉산(0.5 w%) 흡수액에 흡수하여 인도페놀법으로 분석하였다.

발열량은 자동열량계(C2000 basic version, IKA, Germany)를 사용하여 분석되었으며, 원소 조성은 자동원소 분석기(EA1112, Thermo Fisher Scientific, USA)를 사용하여 분석하였다.

오염물질 별 배출계수는 식 (1)의 방법으로 산정하였다. 오염물질 농도(mg/m³)는 실측에 의한 값이며, 총 유량(m³)은 배출구 직경(m²), 유속(m/s), 측정시간(min)을 이용하여 계산하였고, 연료 투입량은 실험 당시 펠릿 사용량이다.

$$\text{배출계수(g/kg)} = \frac{\text{오염물질 농도(mg/m}^3\text{)} \times \text{총 유량(m}^3\text{)}}{\text{연료 투입량(kg)}} \times 10^{-3} \quad (1)$$

3. 연구 결과

3.1 연료의 발열량 및 원소조성

펠릿 난로 및 보일러에 사용된 연료는 2종류의 펠릿으로 각각 3회씩 측정하였다. 펠릿 난로의 연소실 평균 출구 온도는 363.2℃, 펠릿 보일러의 연소실 평균 출구 온도는 110.8℃로 나타났다. 펠릿 난로 및 보일러의 연료 수분 함유량은 각각 10.5%, 13.2%로 나타났으며, 발열량은 4,580.7 kcal/kg으로 나타났다. 또한, 펠릿 난로 및 보일러에 사용한 연료(펠릿)의 원소 조성은 탄소가 52.48%, 수소 5.82%, 질소 0.06%, 황 0.00%, 산소 및 기타 41.65%로 나타났다.

3.2 입자상 대기오염물질 배출계수

펠릿 난로 및 보일러의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 농도 및 배출계수 결과는 Table 5와 같다. 펠릿 난로의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 농도는 각각 451.96 mg/m³, 315.67 mg/m³, 233.97 mg/m³로 나타났으며, 펠릿 보일러의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 농도는 각각 33.47 mg/m³, 24.45 mg/m³, 18.65 mg/m³로 나타났다. 또한, 펠릿 난로의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 배출계수는 각각 4.58 g/kg, 3.35 g/kg, 2.48 g/kg으로 나타났으며, 펠릿 보일러의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 배출계수는 각각 4.73 g/kg, 3.41 g/kg, 2.63 g/kg으로 나타났다.

Fig. 2는 측정된 개수 농도 데이터를 질량농도로 환산하였으

Table 3. Analytical methods for stove and boiler appliances

	Emission pollutant	Analysis equipment
Particulate matters	TSP	Stack sampler
	PM ₁₀ , PM _{2.5}	Stack sampler with PM ₁₀ & PM _{2.5} cyclone kit
	Particle size distribution	Number concentration
Gaseous air pollutants	SO _x , NO _x , CO, CO ₂ , O ₂	Gas analyzer
Hazardous air pollutants	TVOC	FID
	VOCs	GC-MS
Others	Caloric value, moisture, elementary composition	

Table 4. Characteristics of the tested wood pellet

Sample	Moisture content (w/w%)	Caloric value (kcal/kg)	Elementary composition(%)				
			C	H	N	S	Others
Pellet stove	10.5	4,580.7	52.48	5.82	0.06	ND	41.65
Pellet boiler	13.2						

Table 5. Particulate emissions from stove and boiler appliances

Sample	Concentration (mg/m ³)			Emission factor (g/kg)		
	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Pellet stove	451.96	315.67	233.97	4.58	3.35	2.48
Pellet boiler	33.47	24.45	18.65	4.73	3.41	2.63

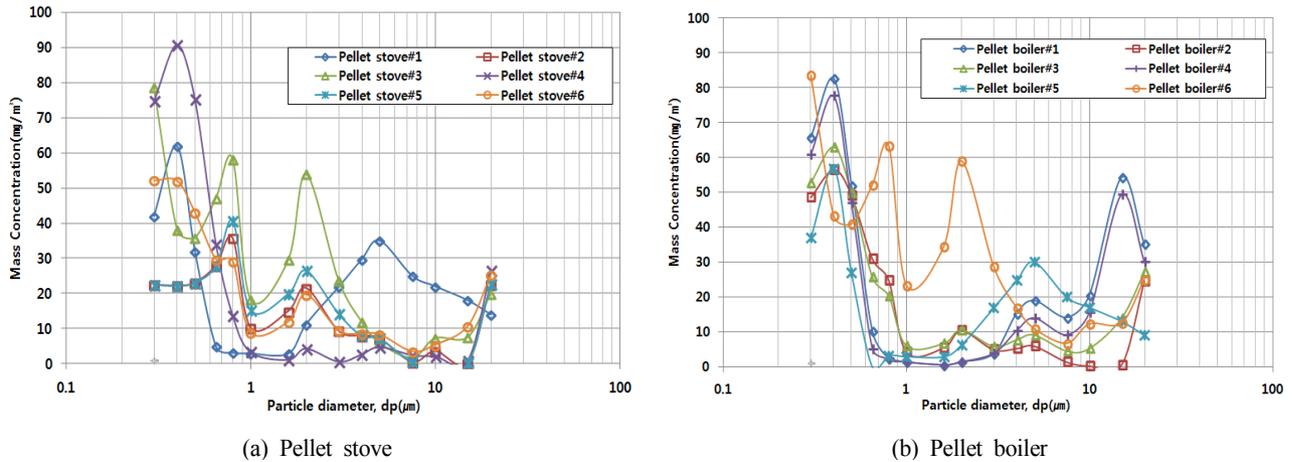


Fig. 2. Particle size distribution of emission.

며, 연소가스 내 입자상 물질의 입경분포 특성을 보여준다. 입자상 물질의 입자 분포는 1 μm 이하의 입자에 의해 좌우되는 것을 확인할 수 있다. 또한, Table 6에 제시된 중량농도의 측정값을 토대로 산정된 입경 분율을 살펴보면, 펠릿 난로의 경우 총 먼지 중 PM₁₀이 차지하는 비율은 69.8%로 나타났으며, PM_{2.5}의 경우 51.8%로 나타났다. 펠릿 보일러의 경우, 총 먼지 중 PM₁₀이 차지하는 비율은 73.1%로 나타났으며, PM_{2.5}의 경우 55.7%로 나타났다.

3.3 가스상 대기오염물질 배출계수

펠릿 난로 및 보일러 사용에서 배출되는 가스상 대기오염물질

Table 6. Ratios of PM₁₀ and PM_{2.5} to TSP from stove and boiler appliances

Sample	Particle size distribution (PM/TSP) ¹⁾		
	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Pellet stove	1.000±0.00	0.698±0.06	0.518±0.02
Pellet boiler	1.000±0.00	0.731±0.09	0.557±0.04

¹⁾ Calculated based on the measurement of mass concentration.

Table 7. Emission factors of gaseous pollutants from stove and boiler appliances

Sample	Emission factor (g/kg)				
	CO	NO	SO _x	TVOC	NH ₃
Pellet stove	119.23	14.40	0.17	37.73	0.02
Pellet boiler	161.51	13.67	1.19	45.22	0.02

질에서는 CO, NO, SO₂, VOCs, NH₃ 등이 검출되었다. 펠릿 난로의 CO, NO, SO₂, TVOC, NH₃의 배출계수는 각각 119.23 g/kg, 14.40 g/kg, 0.17 g/kg, 37.73 g/kg, 0.02 g/kg으로 산출되었으며, 펠릿 보일러는 각각 161.51 g/kg, 13.67 g/kg, 0.19 g/kg, 45.22 g/kg, 0.02 g/kg으로 산출되었다. 연소는 착화(ignition), 불꽃연소(flaming), 훈소(smoldering) 과정으로 구분된다. 훈소는 연소조건이 취약한 마지막 연소단계로서 연소온도가 낮고, 연소공기와 바이오매스와의 혼합이 불충분하고, 연소가스의 체류시간이 짧은 특징이 있다. 따라서 훈소과정에서 불완전 연소물인 CO, 암모니아, 비메탄계 탄화수소 등이 발생할 가능성이 매우 높다.

펠릿 난로 및 보일러(장작)의 배출가스 중 VOCs 배출계수는 Table 8과 같다.

Table 8. Emission factors of volatile organic compounds from stove and boiler appliances

Item	Emission factor (g/kg)									
	Benzene	Toluene	Chloro-benzene	Ethyl-benzene	<i>p</i> -Xylene	<i>m,o</i> -Xylene	Styrene	1,3-Dichloro-benzene	1,4-Dichloro-benzene	1,2-Dichloro-benzene
Pellet stove	1.86	1.72	1.62	1.46	1.38	1.44	2.12	2.66	3.36	3.72
Pellet boiler	3.11	1.16	0.77	0.84	0.43	0.34	0.28	0.41	0.33	0.41

3.4 블랙카본 배출계수

블랙카본은 연료의 불완전 연소에 의하여 배출되며, 기후변화를 유발하는 원인물질이다. 펠릿 난로 및 보일러 사용에 의한 배출가스 중 블랙카본의 배출계수는 Table 9와 같다. PM₁₀을 기준으로 블랙카본의 배출계수는 펠릿 난로, 펠릿 보일러에서 각각 0.63 g/kg, 0.78 g/kg으로 나타났다. 이는 PM₁₀ 중 블랙카본의 비중이 펠릿 난로의 경우 18.4%로 나타났으며, 펠릿 보일러의 경우 20.1%를 차지하는 것으로 나타났다.

3.5 배출계수 비교

펠릿 난로와 펠릿 보일러 부분의 오염물질별 배출계수는 본 연구결과와 U.S. EPA(2001), EIIP의 Residential Wood Combustion 배출계수를 비교하였다. 비교 분석 결과, 입자상 오염물질

Table 9. Emission of black carbon from stove and boiler appliances

Item	OC	EC	TC	PM ₁₀	TC/PM
	g/kg			%	
Pellet stove	0.41	0.22	0.63	3.41	18.4
Pellet boiler	0.47	0.31	0.78	3.91	20.1

Table 10. Summary of emission factors of macropollutants (unit : g/kg)

Item	PM ₁₀	NOx	SOx	CO	VOC	NH ₃
EIIP (pellet stove)*	1.9	6.3	0.2	17.9	-	-
Pellet stove	3.3	14.4	0.2	119.2	37.7	0.02
Pellet boiler	3.4	11.9	0.2	450.7	48.8	0.02

* Reference : U.S. EPA(2001), EIIP, Residential Wood Combustion.

의 경우, PM₁₀은 EIIP의 배출계수보다 본 연구결과 값이 약 1.7 배 높게 나타났다. 가스상 오염물질의 경우, NOx는 AP-42의 배출계수보다 본 연구결과 값이 펠릿 난로(1.8배), 펠릿 보일러(2.3배) 정도 높은 수치로 나타났다. CO는 AP-42의 배출계수보다 본 연구결과 값이 펠릿 난로(6.7배), 펠릿 보일러(25배) 정도 높은 수치로 나타났다. 이는 펠릿 난로의 구조 및 형태, 연료 특성, 연소 환경, 연소효율 등에 차이인 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 주로 동절기 실내 난방을 목적으로 사용하는

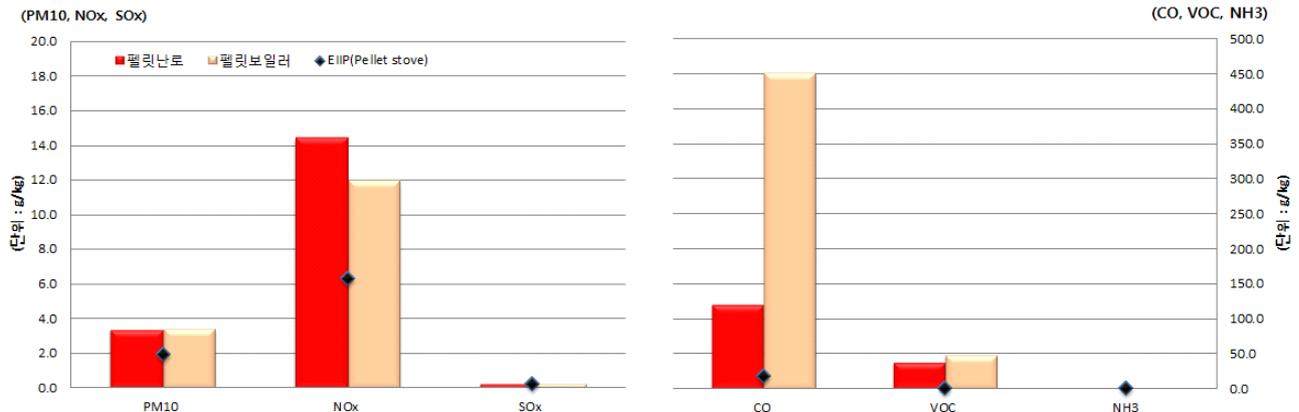


Fig. 3. Summary of emission factors of macropollutants.

펠릿 난로 및 보일러에서 배출되는 대기오염물질의 배출특성을 파악하고자 하였으며, 이를 위하여 국내에서 가장 보편적으로 많이 사용되고 있는 펠릿 난로 및 보일러의 모형을 활용하였다. 펠릿 난로 및 보일러 사용시 발생하는 배출가스의 입자상 및 가스상 오염물질을 측정하기 위하여 각각의 측정장비를 사용하였으며, 재현성 확보를 위하여 “수집 → 계근 → 연소 → 측정 및 분석 → 항량 및 칭량 → 배출가스 분석”의 순으로 동일하게 수행하였다.

- 1) 펠릿 난로의 연소실 평균 출구 온도는 363.2°C, 펠릿 보일러의 연소실 평균 출구 온도는 110.8°C로 나타났다. 펠릿 난로 및 보일러의 연료 수분 함유량은 각각 10.5%, 13.2%로 나타났으며, 발열량은 4,580.7 kcal/kg으로 나타났다. 또한, 펠릿 난로 및 보일러에 사용한 연료(펠릿)의 원소 조성은 탄소가 52.48%, 수소 5.82%, 질소 0.06%, 황 0.00%, 산소 및 기타 41.65%로 나타났다.
- 2) 펠릿 난로의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 농도는 각각 451.96 mg/m³, 315.67 mg/m³, 233.97 mg/m³로 나타났으며, 펠릿 보일러의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 농도는 각각 33.47 mg/m³, 24.45 mg/m³, 18.65 mg/m³로 나타났다. 또한, 펠릿 난로의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 배출계수는 각각 4.58 g/kg, 3.35 g/kg, 2.48 g/kg으로 나타났으며, 펠릿 보일러의 TSP, PM₁₀, PM_{2.5}의 배출계수는 각각 4.73 g/kg, 3.41 g/kg, 2.63 g/kg으로 나타났다.
- 3) 펠릿 난로 및 보일러 사용에서 배출되는 가스상 대기오염물질에서는 CO, NO, SO₂, VOCs, NH₃ 등이 검출되었다. 펠릿 난로의 CO, NO, SO₂, TVOC, NH₃의 배출계수는 각각 119.23 g/kg, 14.40 g/kg, 0.17 g/kg, 37.73 g/kg, 0.02 g/kg으로 산출되었으며, 펠릿 보일러는 각각 161.51 g/kg, 13.67 g/kg, 0.19 g/kg, 45.22 g/kg, 0.02 g/kg으로 산출되었다.
- 4) 펠릿 난로 및 보일러 사용에 의한 배출가스 중 블랙카본의 배출계수는 PM₁₀을 기준으로 블랙카본의 배출계수는 각각 0.63 g/kg, 0.78 g/kg으로 나타났다. 이는 PM₁₀ 중 블랙카본의 비중이 펠릿 난로의 경우 18.4%로 나타났으며, 펠릿 보일러의 경우 20.1%를 차지하는 것으로 나타났다.
- 5) 펠릿 난로와 펠릿 보일러 부문의 오염물질별 배출계수는 본 연구결과와 U.S. EPA(2001), EIIP의 Residential Wood Combustion 배출계수를 비교하였다. 비교 분석 결과, 입자상 오염물질의 경우 PM₁₀은 EIIP의 배출계수보다 본 연구결과 값이 약 1.7배 높게 나타났다. 가스상 오염물질의 경우, NO_x는 AP-42의 배출계수보다 본 연구결과 값이 펠릿 난로(1.8배), 펠릿 보일러(2.3배) 정도 높은 수치로 나타났다. CO는 AP-42의 배출계수보다 본 연구결과 값이 펠릿 난로(6.7배), 펠릿 보일러(25배) 정도 높은 수치로 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.
- National Institute of Environment Research (NIER). 2009. CAPSS(Clean Air Policy Support System).
- National Institute of Environment Research (NIER). 2009. A study on the estimation and contribution rate for PM_{2.5}.
- Park SK, Choi SJ, Ryu GJ, Hong YS, Kim DY, Jang YK. 2013a. Development of emission factors on black carbon from wood-stove and boiler. Proceeding of the 2nd meeting of The Korean Society of Climate Change Research, p 308.
- Park SK, Choi SJ, Ryu GJ, Hong YS, Kim DY, Jang YK. 2013b. Development of emission factors on black carbon from wood-pellet stove and boiler. Proceeding of the 2nd meeting of The Korean Society of Climate Change Research, p 309.
- 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.
- Statistics Korea. 2013. Agricultural Census Report.
- Statistics Korea. 2013. Statistic of wood-pellet.
- U.S. EPA. 2007. TTN EMC Method 5G-PM Wood Heaters from a Dilution Tunnel.
- U.S. EPA. 2007. Emission Inventory Improvement Program

- Volume III : 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.