

화목난로 · 보일러와 펠릿난로 · 보일러 사용에 의한 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구

A Study on Estimation of Air Pollutants Emission from Wood Stove and Boiler, Wood-pellet Stove and Boiler

김동영 · 한용희* · 최민애 · 박성규¹⁾ · 장영기²⁾

경기개발연구원, ¹⁾(주)케이에프이앤이 코퍼스트 R&D센터

²⁾수원대학교 환경에너지공학과

(2014년 3월 18일 접수, 2014년 5월 12일 수정, 2014년 5월 26일 채택)

Dong-Young Kim, Yong-Hee Han*, Min-Ae Choi,
Sung-Kyu Park¹⁾ and Young-kee Jang²⁾

Gyeonggi Research Institute, ¹⁾KOFIRST R&D Center, KF E&E Co. Ltd.

²⁾Department of Environmental and Energy Engineering, The University of Suwon

(Received 18 March 2014, revised 12 May 2014, accepted 26 May 2014)

Abstract

Biomass burning is one of the significant emission source of PM and CO, but a few studies are reported in Korea. Air pollutants emission from biomass burning such as wood stove and boiler, and wood-pellet stove and boiler were estimated in this study.

Activity levels related to biomass burning such as fuel types, amount of fuel loading, and location and temporal variation were investigated by field survey over Korea. Fuel loadings were 14.9 kg/day for wood stove, 31.3 kg/day for wood boiler, 12.8 kg/day for wood-pellet stove, 32.5 kg/day for wood-pellet boiler during the season of active use. These were mostly burned in winter season from october to april of next year.

Estimated annual emissions from wood stove & boiler were CO 76,677, NO_x 710, SO_x 70, VOC 20,941, TSP 6,605, PM10 2,921, PM2.5 1,851, and NH₃ 7 ton/yr, respectively. Emissions from wood-pellet stove and boiler were CO 32,798, NO_x 1,830, SO_x 25, VOCs 5,673, TSP 629, PM10 457, PM2.5 344, and NH₃ 2 ton/yr, respectively. When the emission estimates are compared with total emissions of the national emission inventory (CAPSS: Clean Air Policy Support System), Those occupy 12.5%, 2.8% of total national emission for CO and PM10, respectively. These results show wood and wood-pellet burning appliances were one of the major source of air pollution in Korea. In future, these types of heaters need to be regulated to reduce air pollution, especially in suburb area.

Key words : Biomass burning, Wood stove, Wood boiler, Wood-pellet stove, Wood-pellet boiler, Air pollutants emission

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)31-250-3230, E-mail : hiya03@gri.kr

1. 서 론

생물성연소(biomass burning)는 인위적이든 자연적이든 자연계에서 일어나는 생체(biomass) 연소를 포괄적으로 일컫는 말이다. 그렇지만 산불이나 농경지에서의 농업잔재물 연소 등 식생(vegetation)의 연소가 대부분을 차지한다. 전 지구적으로 약 90% 정도의 생물성연소가 인간의 활동이 직접적 원인인 것으로 알려져 있다(NASA Langley Research Center, 2001).

우리 일상생활 주변에서 대기오염을 가중시키는 중요한 생물성연소로는 농업잔재물이나 생활폐기물의 노천소각, 나무 등을 연료로 쓰는 아궁이나 화목난로, 고기구이, 숯가마에서의 숯 굽기 등이 있다. 국내의 여러 선행연구에서도 생물성연소에 의한 먼지 배출량 기여도가 상당할 것으로 보고하고 있다(Lee *et al.*, 2009a, b; Oh *et al.*, 2009; Hwang *et al.*, 2008). 이들 연구는 대부분 직접적인 조사와 분석보다는 외국의 배출계수를 사용한 추정연구에 머무른 한계가 있다.

생물성연소시 발생하는 매연은 건강에 특히 영향을 미치는 2.5 μm 이하의 입자인 초미세먼지가 많다. 먼지는 입자 크기가 작을수록 대기 중 체류시간이 길어지고 이동거리도 늘어나 영향권이 매우 넓어지는 특성이 있다. 최근 환경부에서 수행한 PM2.5 관련 연구에 의하면 지금까지 사업장, 자동차, 비산먼지 등에 대한 연구와 관리는 어느 정도 이루어지고 있는 반면, 생물성연소에 의한 배출원 관리는 거의 이루어지지 않고 있다(NIER, 2009).

겨울철 난방을 목적으로 사용되는 장치 중 장작, 농업잔재물 그리고 생활폐기물 등을 연료로 쓰는 아궁이나 화목난로가 있다. 이와 같은 장치는 대부분 적절한 관리가 이루어지지 않기 때문에 불완전연소가 수반되면서 대기오염물질이 다량 배출되고, 다이옥신, 휘발성 유기물질 등과 같은 유해물질이 동시에 발생할 가능성이 높다. 특히 생활 주변 가까운 곳에서 배출되기 때문에 사람에게 직접적으로 위해를 끼치게 된다(Kim, 2011).

현재 우리나라는 대기오염물질 중 PM10에 대한 배출자료의 불확실성이 아직 높은 편이고, PM2.5에 대한 배출자료는 아직 작성되지 못하고 있는 실정

다(NIER, 2009).

본 연구에서는 화목난로와 화목보일러, 펠릿난로와 펠릿보일러 사용에 따른 대기오염물질 배출량을 산정하였다. 화목난로와 화목보일러는 주로 장작을 연료로 사용하고, 펠릿난로와 펠릿보일러는 목재를 가공하여 균질하게 만든 펠릿을 연료로 사용한다. 활동도를 파악하기 위해 마을단위 설문 및 심층면담 조사를 직접 실시하여 소각량과 소각행태 등을 상세하게 조사하였다. 또 배출량 산정결과는 2010년 국가 대기오염물질 배출량 자료(CAPSS)와 비교하여, 생물성연소 부문 배출량이 차지하는 기여도를 알아보았다.

2. 연구 방법

2.1 배출량 산정방법

생물성연소 부문 중 화목난로와 화목보일러, 펠릿난로와 펠릿보일러 사용에 의한 대기오염물질 배출 특성을 조사하였다. 화목난로와 화목보일러, 펠릿난로와 펠릿보일러는 일반적으로 가정에서 전기나 기름 연료 대신 장작이나 펠릿연료를 이용하여 난방용으로 사용한다. 가정용 이외에 비닐하우스나 화훼농원, 카페나 영업점에서도 난방을 목적으로 사용하기도 한다. 국내에는 활동도 조사 방법이 구축되어 있지 않기 때문에 미국 환경청에서 제시된 조사 방법을 사용하였다. 미국 환경청은 화목난로에 사용된 연료사용량을 추정하기 위한 방법으로 연료사용량을 직접 조사하는 방법(Preferred Method)과 국가 에너지 통계 자료를 이용하는 방법(Alternative Method)을 제시하고 있다(U.S. EPA, 2001). 직접 조사 방법은 실제 소각 현장을 방문하여 사용자와 1:1 심층면담 조사를 통해 활동도에 대한 다양한 결과를 도출하는 방법이다. 국가 에너지 통계 자료를 이용하는 방법은 국가 에너지 소비량을 추정하여 배출량을 산정하는 방법이다. 본 연구에서는 화목난로와 아궁이 사용의 지역적인 특성과 계절에 따라 연료 사용량과 사용 빈도 등 우리나라 실정을 반영할 수 있도록 직접 조사 방법을 사용하였다. 다음 식은 배출량 계산에 필요한 활동도, 연료사용량 조사 방법을 나타낸 것이다.

$$FL(\text{ton/yr}) = AH \times r \times FL_d \times D$$

FL : 읍, 면 단위 연간 연료사용량(ton/yr)

AH : 농업가구수

r : 난로 보유비율

FL_d : 1일 연료사용량(ton/day)

D : 연간 사용일수(day/yr)

가정용 화목난로와 화목보일러, 펠릿난로와 펠릿보일러 사용에 의한 대기오염물질 배출량 산정은 직접 조사 방법을 사용하였다. 화목난로와 화목보일러 사용시 배출되는 대기오염물질 배출량은 농업가구수, 난로·보일러 마을 보유비율, 1대당 평균 연료 사용량과 대기오염물질 배출계수의 곱으로 다음 식과 같이 산출하였다.

$$\text{Emission} = (AH \times r \times FL_d \times D) \times EF$$

Emission : 배출량(ton/yr)

AH : 농업가구수

r : 난로·보일러 보유비율(%)

FL_d : 1일 연료사용량(ton/day)

D : 연간 사용일수(day/yr)

EF : 대기오염물질 배출계수(g/kg)

2.2 활동도 조사

일반적으로 도시가스, 석유 등을 난방연료로 사용하는 도시지역보다는 농업지역에서 장작 또는 농업 잔재물 등을 난방에 많이 사용하고 있다. 화목난로와 화목보일러, 펠릿난로와 펠릿보일러의 사용 현황을 조사하기 위해 도시지역은 제외하고 농업지역을 대상으로 선정하였다. 조사 방법은 먼저 전국을 총 6개 권역(수도권, 강원권, 충청권, 영남권, 호남권, 제주권)으로 구분하였다. 총 가구 대비 농업가구 비율이 높은 지역을 대상으로 연소형태, 연소량, 연소시간 등 활동도에 대한 설문 및 면담조사를 읍면동 단위로 수행하였다. 표 1은 통계청의 2010년 각 권역별 마을의 수, 농업가구의 비율을 활용하여 나타낸 결과이다.

조사 대상 마을의 선정은 지역적인 편차를 줄이기 위해 각 권역별로 총 가구 대비 농업가구 비율이 높은 시·군을 대상으로, 100개 이상 마을에 걸쳐 1,000개 이상의 설문조사를 목표로 설정하였다. 대상 집단을 정규분포로 가정하면 1,000개의 표본을 조사했을 때 95% 신뢰수준에서 표본오차는 ±3.1%가 된다

Table 1. Characteristics of survey region for the collection of data on emission activities.

Region	Number of cities and counties	Number of village	Agricultural/ Total households (%)
Capital	79	1,104	5.1
Gangwon	18	188	12.9
Chungcheong	35	442	35.8
Youngnam	75	1,066	37.2
Honam	42	629	43.9
Jeju	2	43	20.1
Total	251	3,472	6.7

Table 2. Statics of participants to the survey of emission activities.

Region	Village		Survey	
	Number	Ratio (%)	Number	Ratio (%)
Capital	34	13.4	317	31.4
Gangwon	38	15.0	315	31.3
Chungcheong	74	29.2	146	14.5
Youngnam	58	22.9	115	11.4
Honam	42	16.6	92	9.1
Jeju	7	2.8	23	2.3
Total	253	100	1,008	100

다(KSRC, 2008).

마을단위, 가구단위로 조사원이 직접 방문하여 심층면담 조사를 수행하였고, 또한 마을마다 그 지역의 특성을 가장 잘 파악하고 있는 지역대표(이장)를 대상으로 전화 설문도 병행하였다. 전국 총 38개 시군, 88개 읍면동, 253개 부락을 방문하여 전체 1,008개의 설문을 수행하였다. 또한 마을마다 그 지역의 특성을 잘 파악하고 있는 이장을 대상으로 전화 설문을 실시하였다. 권역별 마을 방문 비율과 조사 현황을 표 2, 그림 1에 나타내었다.

실제 설문조사를 위해 방문한 마을은 253개였으며, 방문 빈도가 가장 높은 권역은 충청권으로 29.2%였다. 현장 방문 결과 설문 대상 지역 설계 시 면 단위 이하의 도시에서 떨어진 농업가구에서 주로 난로와 보일러를 사용할 것이라 예상하였다. 그러나 도심지역에서도 카페나 화훼농원에서 난로와 보일러 사용이 다수 목격되었기 때문에 수도권 교외지역도 설문 대상 지역에 포함하였다.

주요 설문 내용은 설문 응답자의 일반적인 사항과 배출원별 활동도 조사 항목으로 구분하였다. 일반사



Fig. 1. Location of field survey on activity level.

항은 설문 응답자의 거주 지역, 종사 업종, 가족 구성원, 조사 날짜, 성별, 나이 등을 조사하였다. 화목난로와 화목보일러, 펠릿난로와 펠릿보일러에 대해 공통으로 난로와 보일러 보유대수와 크기, 연료 종류, 사용 횟수, 사용 시간, 사용 장소, 1일 연료량, 사용 시기, 마을단위 사용 비율 등을 조사하였다.

화목난로와 화목보일러, 펠릿난로와 펠릿보일러에 대한 설문 조사 결과는 다음 표 3과 같다. 화목난로와 화목보일러의 1대당 1일 평균 연료사용량에 대한 기술통계 분석 결과, 화목난로의 1일 평균 연료 사용량은 14.9 kg/day였다. 화목보일러의 1일 평균 연료 사용량은 31.3 kg/day였다.

화목난로와 화목보일러 1대당 연간 평균 연료사용량은 월별로 사용비율이 다르기 때문에 화목난로와 화목보일러의 1일 평균 연료사용량을 1월 기준이라고 가정하였고, 월별 사용비율과 각 달의 일수를 적용하여 연간 연료사용량을 산출하였다. 화목난로의 1

Table 3. Descriptive statistics of fuel loadings for Wood-stove and boiler. (Unit: kg/day · capita)

Classification	Wood-stove	Wood-boiler
Average	14.9	31.3
Standard deviation	8.7	11.4
Variance	75.5	129.2
Minimum value	4.0	8.5
Maximum value	50.0	50.0

Table 4. Monthly variation of fuel loading by wood-stove and boiler.

Month	Wood-stove		Wood-boiler	
	Ratio (%)	Fuel consumption (kg/yr)	Ratio (%)	Fuel consumption (kg/yr)
Jan	21.0	462.8	21.8	970.8
Feb	19.5	386.7	19.1	769.2
Mar	13.6	298.6	13.1	582.1
Apr	2.6	56.4	6.1	263.7
May	1.2	25.6	0.7	31.7
Jun	0.3	7.2	0.0	0.3
Jul	0.1	2.5	0.0	0.3
Aug	0.5	10.1	0.0	0.3
Sep	1.5	32.9	0.1	3.1
Oct	6.7	147.9	6.7	300.2
Nov	13.6	290.3	11.4	492.9
Dec	19.3	423.4	20.8	926.9
Total	100	2,144.2	100	4,341.5

대당 연간 평균 연료사용량은 2,144.2 kg/yr이며, 화목보일러의 1대당 연간 평균 연료사용량은 4,341.5 kg/yr이다. 다른 연구에 의하면 화목난로 1대당 에너지 소비량을 추정한 연구 결과 (Kim *et al.*, 2010)는 연간 약 3.2 ton/yr이고, 본 연구 결과보다 높게 나타나 다소 차이를 보였다. 연료사용량의 차이는 연료사용량과 난로 사용대수 추정방법이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 본 연구의 연료사용량과 난로 사용대수 추정방법은 직접 조사 방법으로 설문을 통해 얻은 결과의 통계 분석치이며, Kim *et al.* (2010)의 연구는 간접 조사 방법인 에너지통계자료를 사용하여 연료사용량을 추정하였다는 점에서 다르다.

화목난로와 화목보일러의 월별 사용 현황 조사 결과, 난로와 보일러 사용 패턴이 매우 유사하게 나타났다. 농업지역에서 난방용으로 사용하기 때문에 계절적인 패턴은 초가을이 시작되는 10월부터 그 다음

Table 5. Estimated number of wood-stove and boiler by region.

(Unit: number)

Region	Wood-stove	Wood-boiler	Region	Wood-stove	Wood-boiler
Seoul	563	202	Gangwon	7,947	2,848
Busan	1,034	370	Chungbuk	8,759	3,138
Daegu	2,085	747	Chungnam	16,328	5,851
Incheon	1,563	560	Jeonbuk	11,495	4,119
Gwangju	1,573	564	Jeonnam	16,391	5,873
Daejeon	1,143	410	Gyeongbuk	20,341	7,289
Ulsan	1,411	506	Gyeongnam	14,389	5,156
Gyeonggi	17,066	6,115	Jeju	4,743	1,699
			Total	126,830	45,447

Table 6. Descriptive statistics of fuel loadings for wood-pellet stove and wood-pellet boiler.

(Unit: kg/day · number)

	Wood-pellet stove	Wood-pellet boiler
Average	12.8	32.5
Standard deviation	6.7	3.5
Variance	44.9	12.5
Minimum value	4.0	30.0
Maximum value	20.0	35.0

년도 초봄인 4월까지 사용하는 것으로 나타났다. 주로 우리나라 계절상 가장 추운 시기인 12월, 1월, 2월의 연료 사용량이 가장 많았다. 표 4에 화목난로와 화목보일러의 연중 연료사용량 변화를 나타내었다.

화목난로와 화목보일러 보유 현황을 추정하기 위해 국가 통계지표인 농업총조사보고서의 “지역별 읍면동 단위 농업가구 현황” (Statistics Korea, 2013)을 활용하였다. 본 연구에서 설문을 통해 조사한 마을 단위 화목난로와 화목보일러 사용비율 결과를 지역별 농업가구 현황에 적용하여 화목난로와 화목보일러의 보유 현황을 추정한 결과, 전국 화목난로와 화목보일러의 사용 대수는 각각 126,830대와 45,447대 규모였다. 지역별 사용 대수 추정결과는 표 5와 같다.

펠릿난로와 펠릿보일러의 활동도 조사 결과 토대로 1대당 1일 평균 연료사용량에 대한 통계 분석 결과, 펠릿난로의 1일 평균 연료 사용량은 12.8 kg/day였고, 펠릿보일러의 1대당 1일 평균 연료사용량은 32.5 kg/day였다. 표 6에는 관련 통계값을 나타내었다.

펠릿난로와 펠릿보일러의 1대당 연간 평균 연료사용량은 펠릿난로와 펠릿보일러의 1일 평균 연료사용량을 1월 사용 기준으로 가정하고, 월별 사용비율과 각 달의 일수를 적용하여 연간 평균 연료사용량을

Table 7. Monthly variation of fuel loadings by wood-pellet stove and wood-pellet boiler.

Month	Wood-pellet stove		Wood-pellet boiler	
	Ratio (%)	Fuel consumption (kg/yr)	Ratio (%)	Fuel consumption (kg/yr)
Jan	16.2	395.3	21.8	1,007.5
Feb	16.2	330.3	19.1	798.3
Mar	12.3	255.0	13.1	604.1
Apr	6.0	48.1	6.1	273.7
May	3.8	21.8	0.7	32.9
Jun	1.0	6.1	0.0	0.3
Jul	0.3	2.1	0.0	0.3
Aug	0.8	8.6	0.0	0.3
Sep	3.9	28.1	0.1	3.2
Oct	9.5	126.3	6.7	311.5
Nov	13.6	248.0	11.4	511.5
Dec	16.2	361.7	20.8	961.9
Total	100	1,831.5	100	4,505.6

산출하였다. 펠릿난로 1대당 연간 평균 연료사용량은 1,831.5 kg/yr였으며, 펠릿보일러 1대당 연간 평균 연료사용량은 4,505.6 kg/yr였다. 표 7은 월별 연료사용량의 변화를 조사한 결과이다.

펠릿난로와 펠릿보일러의 월별 사용 패턴은 화목난로, 화목보일러와 아주 유사하게 나타났다. 농업지역에서 난방용으로 사용하기 때문에 계절적인 패턴은 초가을이 시작되는 10월부터 그다음 해 초봄인 4월까지 사용하는 것으로 나타났다. 주로 우리나라 계절상 가장 추운 12월, 1월, 2월 연료 사용량이 가장 많은 것으로 조사되었다.

펠릿난로의 사용 대수 추정은 연간 펠릿 사용량을 이용하여 전국 펠릿난로 사용 대수를 추정하였다. 펠릿난로 사용 대수를 지역마다 배분하기 위해 “지역

Table 8. Estimated number of wood-pellet stove and wood-pellet boiler by region.

(Unit: number)

Region	Wood-pellet stove	Wood-pellet boiler	Region	Wood-pellet stove	Wood-pellet boiler
Seoul	8	0	Gangwon	5,745	805
Busan	119	5	Chungbuk	6,176	2,259
Daegu	5	20	Chungnam	5,404	1,292
Incheon	1,071	271	Jeonbuk	2,974	1,061
Gwangju	0	0	Jeonnam	9,071	2,388
Daejeon	93	4	Gyeongbuk	5,576	1,296
Ulsan	7	30	Gyeongnam	3,897	819
Gyeonggi	6,317	836	Jeju	271	44
			Total	46,734	11,130

Table 9. The scale of market sales of wood-stove and boiler, and wood-pellet stove and boiler.





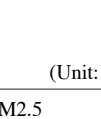
Types	Sales numbers (number)	Heating area (m ²)	Sales percentage (%)	Representative product
Wood-stove	100,600	< 60	10.3	
		60 ~ 100	57.4	
		100 ~ 135	23.2	
		> 135	9.1	
Wood-pellet stove	20,000	< 60	30.0	
		60 ~ 100	45.0	
		100 ~ 135	17.0	
Wood-boiler	12,000	> 135	8.0	
		< 60	7.1	
		60 ~ 100	39.4	
Wood-pellet boiler	14,000	100 ~ 135	31.5	
		> 135	22.0	
		< 60	12.0	
		60 ~ 100	28.6	
Wood-pellet boiler	14,000	100 ~ 135	42.9	
		> 135	14.3	
		< 60	12.0	

Table 10. Emission factors by source category.

(Unit: g/kg)

Source	CO	NO _x	SO _x	VOC	TSP	PM10	PM2.5	NH ₃
Wood-stove	175.5	1.6	0.2	48.0	15.4	6.5	4.2	0.0
Wood-boiler	146.7	1.4	0.2	40.0	12.2	5.8	3.6	0.0
Wood-pellet stove	119.2	14.4	0.2	37.7	4.6	3.3	2.5	0.0
Wood-pellet boiler	450.7	11.9	0.2	48.8	4.7	3.4	2.6	0.0

별 목재펠릿 보급 비율”(Statistics Korea, 2010)을 적용하였다. 펠릿보일러의 사용 대수는 목재펠릿 통계 자료 중 펠릿보일러 보급현황 자료(Korea Forest Service, 2013)를 사용하였다. 펠릿난로와 펠릿보일러의 사용 대수를 추정한 결과 전국 펠릿난로 사용 대수는 46,734대이며, 펠릿보일러 사용 대수는 11,130대로 나타났다. 표 8에 지역별 추정결과를 나타내었다.

3. 대기오염물질 배출계수

화목난로와 화목보일러, 펠릿난로와 펠릿보일러 사용에 의한 대기오염물질 배출량 산정을 위해 기존 연구결과인 화목난로와 보일러(Park, 2013a), 펠릿난로와 보일러(Park, 2013b)의 대기오염물질 배출계수를 사용하였다.

배출계수는 모형챔버를 제작하여 연소실험을 실시하여 얻은 결과이다. 실험 대상인 모형 장치(화목난로, 화목보일러, 펠릿난로, 펠릿보일러)는 시장 조사를 통해 선정하였다. 다양한 종류의 형태를 가진 상품들 중 많이 사용하는 평형대별 기종과 대표적인 모형을 사용하였다. 표 9는 장치 종류별 대표적인 규격과 보급 비율이다.

배출계수 개발 항목은 입자상 오염물질 TSP, PM10, PM2.5와 가스상 오염물질 CO, NO_x, SO_x, VOC, NH₃

이다. 표 10은 실험결과로 본 연구에 적용된 배출계수이다.

4. 대기오염물질 배출량 산정

2010년을 기준으로 화목난로와 화목보일러 사용에 따른 대기오염물질 배출량 산출 결과 연간 CO 76,677, NO_x 710, SO_x 70, VOC 20,941, TSP 6,605, PM10 2,921,

Table 11. Estimated emissions of air pollutants from wood-stove and wood-boiler. (Unit: ton/yr)

Region	CO	NO _x	SO _x	VOC	TSP	PM10	PM2.5	NH ₃
Seoul	341	3	0	93	29	13	8	0
Busan	625	6	1	171	54	24	15	0
Daegu	1,261	12	1	344	109	48	30	0
Incheon	945	9	1	258	81	36	23	0
Gwangju	951	9	1	260	82	36	23	0
Daejeon	691	6	1	189	60	26	17	0
Ulsan	853	8	1	233	74	33	21	0
Gyeonggi	10,317	96	10	2,818	889	393	249	1
Gangwon	4,805	45	4	1,312	414	183	116	0
Chungbuk	5,295	49	5	1,446	456	202	128	1
Chungnam	9,871	91	9	2,696	850	376	238	1
Jeonbuk	6,950	64	6	1,898	599	265	168	1
Jeonnam	9,909	92	9	2,706	854	377	239	1
Gyeongbuk	12,297	114	11	3,358	1,059	468	297	1
Gyeongnam	8,699	81	8	2,376	749	331	210	1
Jeju	2,867	27	3	783	247	109	69	0
Total	76,677	710	70	20,941	6,605	2,921	1,851	7

Table 12. Estimated emissions of air pollutants from wood-pellet stove and boiler. (Unit: ton/yr)

Region	CO	NO _x	SO _x	VOC	TSP	PM10	PM2.5	NH ₃
Seoul	0	0	0	0	0	0	0	0
Busan	15	1	0	3	0	0	0	0
Daegu	59	3	0	10	1	1	1	0
Incheon	799	45	1	138	15	11	8	0
Gwangju	0	0	0	0	0	0	0	0
Daejeon	12	1	0	2	0	0	0	0
Ulsan	88	5	0	15	2	1	1	0
Gyeonggi	2,465	138	2	426	47	34	26	0
Gangwon	2,373	132	2	411	46	33	25	0
Chungbuk	6,648	371	5	1,150	128	93	70	0
Chungnam	3,806	212	3	658	73	53	40	0
Jeonbuk	3,128	175	2	541	60	44	33	0
Jeonnam	7,040	393	5	1,218	135	98	74	0
Gyeongbuk	3,821	213	3	661	73	53	40	0
Gyeongnam	2,415	135	2	418	46	34	25	0
Jeju	130	7	0	22	3	2	1	0
Total	32,798	1,830	25	5,673	629	457	344	2

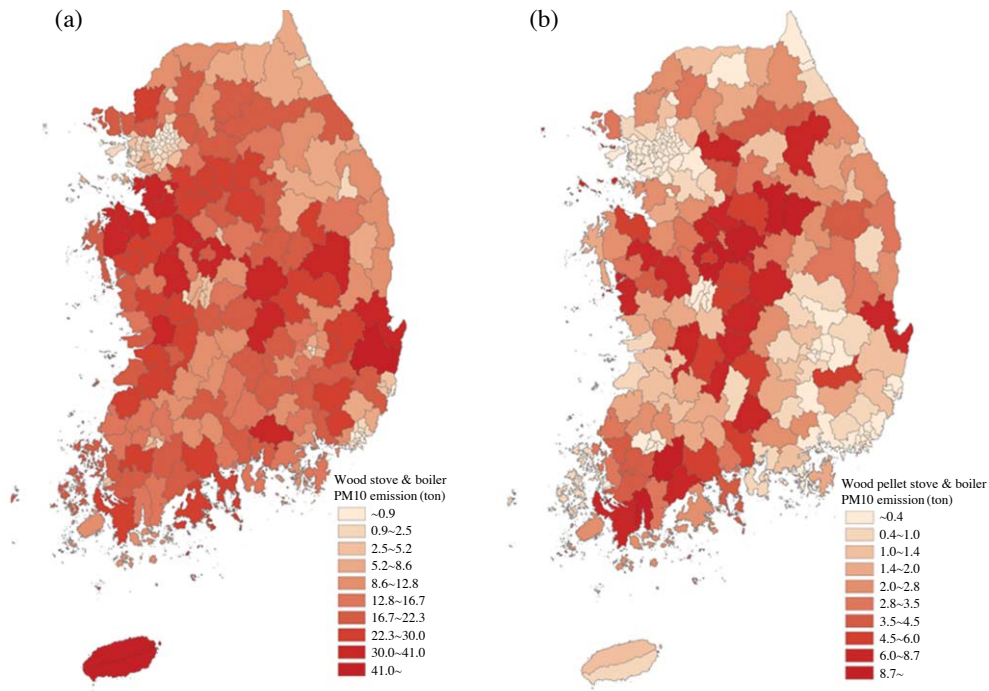


Fig. 2. Distribution of PM10 emission by source types. (a) wood-stove and wood-boiler, (b) wood-pellet stove and wood-pellet boiler.

Table 13. Comparison of CAPSS data with emission estimates of this study.

Source	CO	NO _x	SO _x	PM10	VOC
	ton/yr (%)				
CAPSS	766,269 (87.5)	1,061,210 (99.7)	401,742 (99.97)	116,808 (97.2)	866,358 (97.1)
Wood-stove & boiler	76,677 (8.8)	710 (0.1)	70 (0.02)	2,921 (2.4)	20,941 (2.3)
Wood-pellet stove & boiler	32,798 (3.7)	1,830 (0.2)	25 (0.01)	457 (0.4)	5,673 (0.6)
Total	875,744 (100)	1,063,750 (100)	401,837 (100)	120,185 (100)	892,972 (100)

NIER (2010)

PM2.5 1,851, NH₃ 7 ton으로 산출되었다. PM10 배출량을 지역별로 살펴보면 경북(468 ton/yr), 경기(393 ton/yr), 전남(377 ton/yr) 순서로 배출이 많은 것으로 나타났다.

2010년 펠릿난로와 펠릿보일러 사용에 따른 대기 오염물질 배출량은 연간 CO 32,798, NO_x 1,830, SO_x 25, VOC 5,673, TSP 629, PM10 457, PM2.5 344, NH₃ 2 ton으로 산출되었다. PM10 배출량을 지역별로 살펴보면 전남(98 ton/yr), 충북(93 ton/yr), 경북(53 ton/yr) 순서로 배출이 많은 것으로 나타났다. 표 11과 표 12

는 지역별 배출량을 나타내었으며, 그림 2는 보다 상세하게 시·군·구별로 나타내었다.

2010년 국가 대기오염물질 배출량 자료(CAPSS)와 본 연구에서 산정한 배출량을 비교한 결과는 표 13과 같다. 2010년 CAPSS의 CO 배출량은 총 766,269 ton인데, 본 연구에서 대상으로 화목난로와 화목보일러의 배출량은 76,677 ton으로 8.8%에 해당되며, 펠릿난로와 펠릿보일러의 배출량은 32,798 ton/yr으로 3.7%에 해당되어 상대적으로 기여도가 큰 것으로 나타났다. 2010년 CAPSS의 NO_x 배출량은 1,061,210 ton

이며, 본 연구의 화목난로와 화목보일러의 배출량은 710 ton으로 0.1%에 해당되고, 펠릿난로와 펠릿보일러의 배출량은 1,830톤으로 0.2%에 해당되어 그 비중은 미미한 것으로 나타났다. 2010년 CAPSS의 SO_x 배출량은 401,742 ton이며, 본 연구의 화목난로와 화목보일러의 배출량은 70 ton으로 0.02%에 해당되고, 펠릿난로와 펠릿보일러의 배출량은 25 ton으로 0.01%에 해당되어 그 비중은 미미한 것으로 나타났다. 2010년 CAPSS의 PM10 배출량은 116,808 ton이며, 본 연구의 화목난로와 화목보일러의 배출량은 2,921 ton으로 2.4%에 해당하며, 펠릿난로와 펠릿보일러 배출량은 457 ton으로 0.4%에 해당되었다. 화목난로와 화목보일러에 의한 PM10 배출 기여도는 상당히 큰 것으로 나타났다. 2010년 CAPSS의 VOC 배출량이 866,358 ton이며, 본 연구의 화목난로와 화목보일러 배출량은 20,941 ton으로 2.3%에 해당되며, 펠릿난로와 펠릿보일러 배출량은 5,673 ton으로 0.6%에 해당되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 생물성연소 부문 중 화목난로와 화목보일러, 펠릿난로와 펠릿보일러 사용에 따른 대기오염물질 배출량을 산정하기 위해 배출량 산정방법을 정립하고, 배출원별 현황과 특성을 파악하여 단위활동도 도출을 위해 지역마다 심층 설문 조사를 실시하였다. 또한 대표성 있는 연소장치를 파악한 후 실제 현장의 모습을 모사하여 대기오염물질 배출계수를 개발하였다. 이를 토대로 화목난로와 화목보일러, 펠릿난로와 펠릿보일러 부문 대기오염물질 배출량을 산정하였다.

화목난로와 화목보일러, 펠릿난로와 펠릿보일러 사용에 따른 대기오염물질 배출량을 CAPSS 배출량 산정 시스템과 같은 방법으로 시군구 단위의 통계지표를 활용하여 산정하였다. 또한 2010년 CAPSS 배출량 자료와 비교를 통해 생물성연소 부문이 차지하는 비중을 알아보았다.

화목난로와 화목보일러 사용에 따른 대기오염물질 배출량 산출 결과 CO 76,677, NO_x 710, SO_x 70, VOC 20,941, TSP 6,605, PM10 2,921, PM2.5 1,851, NH₃ 7 ton/yr으로 산출되었다. PM10은 지역별로 경북 (468 ton/yr), 경기 (393 ton/yr), 전남 (377 ton/yr) 순서로 배

출량이 큰 것으로 나타났다.

펠릿난로와 펠릿보일러 사용에 따른 대기오염물질 배출량 산출 결과 CO 32,798, NO_x 1,830, SO_x 25, VOC 5,673, TSP 629, PM10 457, PM2.5 344, NH₃ 2 ton/yr이었다. PM10은 지역별로 전남 (98 ton/yr), 충북 (93 ton/yr), 경북 (53 ton/yr) 순서로 배출량이 큰 것으로 나타났다.

2010년 국가배출목록자료 (CAPSS) 배출량과 본 연구에서 산정한 배출량을 비교한 결과, CO는 화목난로와 화목보일러가 8.8%, 펠릿난로와 펠릿보일러가 3.7%를 차지하였으며 PM10은 화목난로와 화목보일러가 2.4%, 펠릿난로와 펠릿보일러가 0.4%에 각각 해당하는 것으로 나타났다. 향후 CO, PM10 관리에서 이들 배출원에 대한 관리가 중요해 질 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 2011년 차세대 에코이노베이션 기술개발사업 (411-113-011)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- CARB (2005) Emission Inventory Methodology-San Joaquin Valley Unified Air Pollution Control District : Agricultural Burning.
- Hwang, I.J., Y.H. Cho, W.G. Choi, H.M. Lee, and T.O. Kim (2008) Quantitative estimation of PM-10 source contribution in Gumi city by the positive matrix factorization model, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 24(1), 100-107. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.Y. (2011) Analysis of Air Pollutants Emissions from Biomass Burning in Seoul Metropolitan Area, Gyeonggi Research Institute.
- Kim, P.S., Y.K. Jang, J. Kim, Y.I. Shin, J.S. Kim, and J.Y. An (2010) A study on estimation of air pollutants emission from residential wood stove, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 26(3), 276-285. (in Korean with English abstract)
- Korea Forest Service (2013) Statistic of wood-pellet.
- Korea Social Research Center (2008) Excel Statistical Analysis.

- Lee, H.W., T.J. Lee, and D.S. Kim (2009a) Identifying ambient PM_{2.5} sources and estimating their contributions by using PMF: Separation of gasoline and diesel automobile sources by analyzing ECs and OCs, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 25(1), 75-89. (in Korean with English abstract)
- Lee, T.J., J.B. Huh, S.M. Yi, S.D. Kim, and D.S. Kim (2009b) Estimation of PM₁₀ source contributions on three cities in the metropolitan area by using PMF model, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 25(4), 275-288. (in Korean with English abstract)
- NASA Langley Research Center (2001) Biomass burning: A hot issue in global change, FS-2001-02-56-LaRC.
- NIER, National Institute of Environment Research (2010) CAPSS (Clean Air Policy Support System).
- NIER, National Institute of Environment Research (2009) A study on the estimation of emission and contribution rate for PM_{2.5}.
- Oh, M.S., T.J. Lee, and D.S. Kim (2009) Source identification of ambient size-by-size particulate using the positive matrix factorization model on the border of yongin and suwon, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 25(2), 108-122. (in Korean with English abstract)
- Park, S.K., S.J. Choi, G.J. Ryu, Y.S. Hong, D.Y. Kim, and Y.K. Jang (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*, 308p.
- Park, S.K., S.J. Choi, G.J. Ryu, K.J. Park, D.Y. Kim, and Y.K. Jang (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*, 309p.
- 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 (2001) Emission Inventory Improvement Program Volume III : Chapter 2-Residential wood combustion.