

## 아궁이 사용에 의한 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구

### A Study on Estimation of Air Pollutants Emission from Traditional Fireplace in Korea

김동영 · 최민애\* · 한용희 · 박성규<sup>1)</sup>

경기개발연구원, <sup>1)</sup>(주)케이에프이앤이 코퍼스트 R&D센터

(2014년 8월 20일 접수, 2014년 10월 27일 수정, 2014년 11월 25일 채택)

Dong Young Kim, Min-Ae Choi\*, Yong-Hee Han and Sung-Kyu Park<sup>1)</sup>  
Gyeonggi Research Institute, <sup>1)</sup>KOFIRST R&D Center, KF E&E Co. Ltd.

(Received 20 August 2014, revised 27 October 2014, accepted 25 November 2014)

#### Abstract

A traditional fireplace has been used, but not much, for heating and cooking in rural area, Korea. Traditional fireplace as one type of biomass burnings is also emitting various air pollutants.

Air pollutants emission from traditional fireplace was estimated in this study. There are two types of traditional fireplace, one for combined heating and cooking, the other one for cooking only. Types of fuels mostly used in traditional fireplace were wood, agricultural residue, solid waste. Activity levels such as fuel types, amount of fuel loading, and temporal variation were investigated by field survey over Korea.

Estimated annual emissions from traditional fireplace were CO 6,335.0, NO<sub>x</sub> 555.0, SO<sub>x</sub> 9.6, VOC 1,771.7, TSP 181.4, PM<sub>10</sub> 119.9, PM<sub>2.5</sub> 96.2, NH<sub>3</sub> 1.4 ton/yr respectively. When emissions compared with the national emission inventory (CAPSS: Clean Air Policy Support System) of 2010 year, CO and PM<sub>10</sub> occupy 0.8% and 0.1% of total national emission, respectively.

**Key words** : Traditional fireplace, Emission inventory, Biomass burning

#### 1. 서 론

우리나라에서 난방과 취사를 위해 전통적으로 사용되어 오던 아궁이는 이제 대부분 석유나 가스로 연료가 바뀌었지만, 농촌지역에서는 일부분 여전히 사용되고 있다. 아궁이에 사용되는 연료로는 전통적인

장작도 있지만 전지한 과수나 고춧대 같은 농업잔재물, 생활폐기물 등도 있다. 이들 역시 생물성연소의 한 부분으로 대기오염을 가중시키는 요소가 된다. 이 같은 연소는 대부분 적절하게 관리되지 않기 때문에 불완전연소가 수반되면서 대기오염물질이 다량 배출되고, 다이옥신, 휘발성 유기물질 등과 같은 유해물질이 동시에 발생할 가능성도 높다. 특히 이와 같은 연소는 생활 주변 가까운 곳에서 배출되기 때문에 사람에게 직접적으로 위해를 끼치게 된다(Kim, 2011).

우리 생활 주변의 생물성연소로는 아궁이뿐만 아

\*Corresponding author.  
Tel : +82-(0)31-250-3544, E-mail : minae85@gri.kr

나라 농경지에서의 농업잔재물 소각, 화목난로, 고기 구이, 숯가마에서의 숯 굽기, 산불 등이 있다. 국내의 다른 선행연구에서 생물성연소에 의한 대기오염물질 배출량 기여가 상당할 것으로 보고하고 있다(Kim *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2009a, b; Oh *et al.*, 2009; Hwang *et al.*, 2008). 그러나 이들 연구는 대부분 직접적인 조사와 분석보다는 외국의 배출계수를 사용한 추정 연구에 머무른 한계가 있다.

본 연구에서는 우리나라 현황을 직접 조사하여 아궁이 사용에 의한 대기오염물질 배출량을 산정하였다. 아궁이에 사용되는 연료의 종류, 연소 형태, 사용 시기 등 관련 활동도를 마을단위 설문 및 심층면담 조사를 통하여 조사하였다. 여기에 최근에 국내에서 직접 개발된 배출계수를 사용하여 배출량을 산출하고(Park *et al.*, 2013), 그 결과를 국가 대기오염물질 배출량 통계 자료(CAPSS)와 비교 검토하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 배출량 산정방법

아궁이는 일반적으로 농업지역의 재래식 가정에서 난방 및 취사를 위해 장작이나 전지목, 농업잔재물 등을 연료로 사용한다. 아궁이 사용에 의한 대기오염물질 배출량 산정방법은 U.S. EPA의 방법을 기본적으로 사용하였다(U.S. EPA, EIIP, 2001). 아궁이 사용에서 배출되는 대기오염물질 배출량은 다음 식과 같이 농업가구수, 아궁이 보유비율, 1대당 평균 연료 사용량과 대기오염물질 배출계수의 곱으로 산출된다.

$$\text{Emission} = (\text{AH} \times r \times \text{FL}_d \times D) \times \text{EF} \times 10^3$$

Emission: 배출량 (ton/yr)

AH: 농업가구수

r: 아궁이 보유비율

FL<sub>d</sub>: 1일 연료사용량(ton/day)

D: 연간 사용일수(day/yr)

EF: 대기오염물질 배출계수(g/kg)

활동도 조사 역시 미국 환경청에서 제안한 방법을 기본적으로 사용하였다. U. S. EPA는 난로 등에 사용된 연료 사용량을 추정하기 위한 방법으로 연료사용량을 직접 조사하는 방법(권장 방법)과 국가 에너지 통계 자료를 이용하는 방법(대안 방법)을 제안하고 있다. 직접 조사는 실제 연소 현장의 방문 면담 조사를 통해 활동도에 대한 결과를 도출하는 방법이다. 국가 에너지 통계 자료를 이용하는 방법은 국가 에너지 소비량 통계에서 사용된 연료를 추정하여 배출량을 산정하는 방법이다. 본 연구에서는 아궁이 사용의 지역적인 특성과 계절에 따른 연료 사용량, 사용 형태 등 우리나라 실정을 반영할 수 있는 직접 조사 방법을 사용하였다.

### 2.2 활동도 조사

아궁이 사용 관련 활동도를 조사하기 위하여 전국을 6개 권역(수도권, 강원권, 충청권, 영남권, 호남권, 제주권)으로 나누고, 총 가구 대비 농업가구 비율이 높은 지역을 조사대상으로 선정하였다. 일반적으로 도시지역에서는 아궁이를 사용하지 않기 때문이다. 표 1은 통계청의 2010년 기준 각 권역별 농업가구 분포 특성을 나타낸 결과이다.

전국 읍면동 단위의 농업가구를 기준으로 설문 대상 지역을 선정하였다. 설문 지역을 선정할 때 지역 편차를 줄이기 위해 각 권역별로 총 가구 대비 농업 가구 비율이 높은 시군을 선정하였으며, 100여 마을, 1,000건 이상의 조사목표를 설정하였다. 마을 단위,

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

Statistics Korea (2010)

가구단위로 심층 면담 조사를 실시한 결과 전국에 걸쳐 총 38개 시군, 88개 읍면동, 253개 부락을 직접 방문하여 전체 1,008개의 설문을 수행하였다. 또한 마을마다 그 지역의 특성을 잘 파악하고 있는 이장을 대상으로 전화 설문도 병행하여 보완하였다. 권역별 조사지역 및 조사건수는 표 2와 같다.

주요 설문 내용은 아궁이에 대해 기본사항과 배출량 산정에 필요한 활동도에 대해 조사하였다. 기본사

항은 응답자의 거주 지역, 주 업종, 가족 구성원, 조사 날짜, 성별, 나이 등이며, 배출량과 직접 관련된 활동도로 아궁이 수, 사용 용도, 연료 종류, 소각 횟수, 1일 연료량, 사용 시기, 마을에서의 보유 비율 등이다.

아궁이 부문 연료사용량에 대한 1,008개 표본의 통계분석 결과 다음 표 3과 같다. 난방 취사 겸용 아궁이 1대당 1일 평균 연료 사용량은 9.1 kg/day이며, 95% 신뢰수준에  $\pm 1.4\%$  오차범위로 나타났다. 취사전용 아궁이의 1대당 1일 평균 연료 사용량은 7.1 kg/day이며, 95% 신뢰수준에  $\pm 1.5\%$  오차범위로 나타났다.

월별 아궁이 사용 비율을 조사한 결과 난방 취사 겸용 아궁이와 취사 전용 아궁이의 사용패턴은 다르게 나타났다. 난방 취사 겸용 아궁이는 겨울철 11월부터 2월까지 가장 많이 사용하며 여름철인 6월부터 8월까지 사용 빈도가 현저히 줄어 들었다. 취사 전용 아궁이는 월별변화가 상대적으로 적었으나 역시 겨울철에 사용비율이 높았다. 현장에서는 명절 음식 준비, 마을 단위 행사로 인해 사용 비율이 여름보다는 높은 것으로 조사되었다. 표 4는 연료의 월별 사용량 변화를 조사한 결과이다.

난방 취사 겸용 아궁이는 농업가구의 1.68%, 취사 전용 아궁이는 0.62%를 사용하는 것으로 조사되었다. 이를 지역별 농업가구수에 적용하면 전국 난방 취사 겸용 아궁이와 취사 전용 아궁이의 사용 수를 추정할 수 있다. 전국 난방 취사 겸용 아궁이와 취사 전용 아궁이의 사용 대수는 각각 19,765대와 7,331대로 추정된다. 아궁이 용도별 사용 대수는 다음 표 5와 같다.

**Table 2. Numbers of sample by region.**

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

**Table 3. Descriptive statistics of fuel loadings for traditional fireplace.** (Unit: kg/day · number)

Classification	Heating & Cooking	Only cooking
Average	9.1	7.1
Standard deviation	5.0	2.9
Variance	24.8	8.6
Minimum value	3	2
Maximum value	20	12

**Table 4. Monthly variation of fuel loadings for traditional fireplace.**

Month	Heating & Cooking		Only cooking	
	Ratio (%)	Fuel consumption (kg/yr)	Ratio (%)	Fuel consumption (kg/yr)
Jan	15.4	280.9	11.8	218.7
Feb	15.4	253.7	13.4	224.1
Mar	12.7	230.9	11.9	219.8
Apr	6.4	111.9	7.1	127.6
May	4	73.6	5	92.5
Jun	0.7	12.2	1.8	33
Jul	0.7	12.6	3.1	57.7
Aug	1	18.9	4	74.8
Sep	4.6	80.8	6.6	117.5
Oct	8.7	158.7	8	147.8
Nov	14.8	260.9	14.5	260
Dec	15.4	280.9	12.8	237.3
Total	100	1,776.1	100	1,810.7

**Table 5. Estimated number of traditional fireplaces by region.**

(Unit: Number)

Region	Heating & Cooking	Only cooking	Region	Heating & Cooking	Only cooking
Seoul	69	26	Gangwon	1,217	451
Busan	142	53	Chungbuk	1,342	498
Daegu	285	106	Chungnam	2,542	943
Incheon	232	86	Jeonbuk	1,837	681
Gwangju	220	81	Jeonnam	2,858	1,060
Daejeon	150	56	Gyeongbuk	3,385	1,256
Ulsan	204	75	Gyeongnam	2,374	881
Gyeonggi	2,272	843	Jeju	636	236
			Total	19,765	7,331

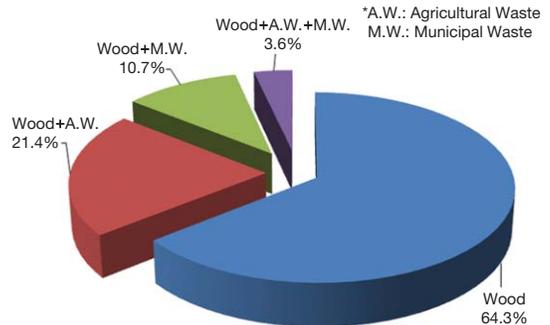
**Table 6. Emission factors of traditional fireplace.**

(Unit: g/kg)

Source	CO	NOx	SOx	VOC	TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>
Fire-place								
Wood	126.5	12.6	0.2	33.7	2.9	1.4	1.1	0.02
Solid waste	72.9	11.7	0.2	47.1	10.5	8.5	6.2	0.11
Agricultural residue	174.2	7.8	0.2	40.5	3.2	2.9	2.6	0.03

Park (2013)

아궁이의 사용연료는 3종류로 장작, 농업잔재물 혼합소각, 생활폐기물 혼합소각이다. 아궁이에서 가장 많이 사용되는 연료는 장작이며, 장작을 사용하는 비율은 전체 아궁이 사용가구의 64.3%를 차지하였다. 장작 이외에 농업잔재물, 생활폐기물을 혼합하여 소각하는 비율은 각각 21.4%와 10.7%였다. 3종류 모두 혼합하여 사용하는 비율은 3.6%로 나타났다. 아궁이의 연료 사용 비율은 그림 1과 같다.



**Fig. 1. Type of fuel used in traditional fireplace.**

### 3. 대기오염물질 배출계수

아궁이 사용에 의한 대기오염물질 배출량 산정을 위해 대기오염물질 배출계수는 국내에서 실측된 기존 연구(Park, 2013) 결과를 적용하였다. 배출계수 실험은 연소챔버를 사용하여 직접 연소실험을 실시한 결과이다. 실제 농업지역에서 사용하고 있는 아궁이에서 연소 실험을 실시하였으며, 아궁이 후단에 측정장비를 설치하고 3회 반복 실험을 통해 배출량을 직접 측정하여 결과를 도출하였다.

배출계수 측정항목은 국가 대기오염물질 배출량 통계 자료와 같은 항목으로 입자상 오염물질은 TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, 가스상 오염물질은 CO, SOx, NOx, VOC, NH<sub>3</sub>에 대하여 3회 반복 실험하여 도출하였다. 이 배

출계수는 취사 난방 겸용 아궁이와 취사 전용 아궁이에 같이 적용된다. 연료종류별 배출계수는 표 6과 같다.

### 4. 대기오염물질 배출량 산정

아궁이는 2종류(난방취사 겸용, 취사 전용)로 구분하고, 연료는 3종류(장작, 사과나무, 생활폐기물)로 나누어 대기오염물질 배출량을 각각 산출하였다.

2010년 기준 아궁이 사용에 따른 대기오염물질 배출량을 산출한 결과 CO 6,335.0, NOx 555.0, SOx 9.6,

**Table 7. Estimated emissions of air pollutants from traditional fireplace.**

(Unit: ton/yr)

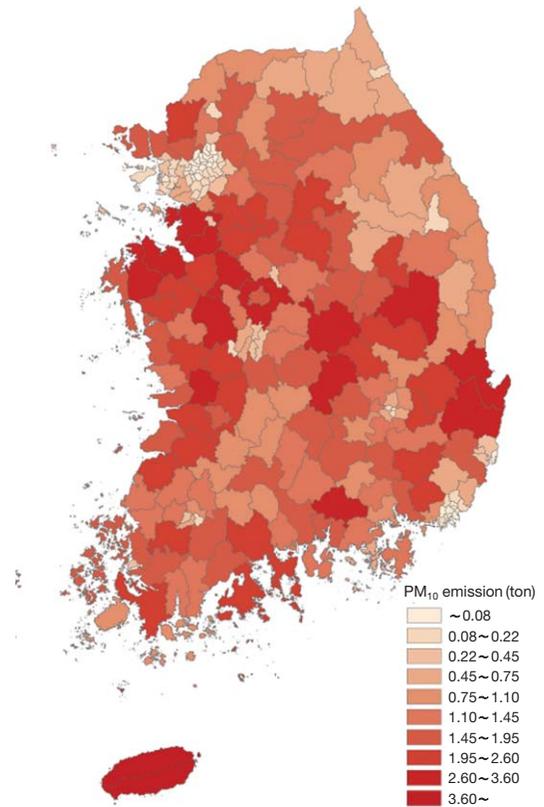
Region	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	TSP	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NH <sub>3</sub>
Seoul	22.2	1.9	0.0	6.2	0.6	0.4	0.3	0.0
Busan	45.5	4.0	0.1	12.7	1.3	0.9	0.7	0.0
Daegu	91.3	8.0	0.1	25.5	2.6	1.7	1.4	0.0
Incheon	74.4	6.5	0.1	20.8	2.1	1.4	1.1	0.0
Gwangju	70.4	6.2	0.1	19.7	2.0	1.3	1.1	0.0
Daejeon	48.0	4.2	0.1	13.4	1.4	0.9	0.7	0.0
Ulsan	65.2	5.7	0.1	18.2	1.9	1.2	1.0	0.0
Gyeonggi	728.2	63.8	1.1	203.7	20.9	13.8	11.1	0.2
Gangwon	390.0	34.2	0.6	109.1	11.2	7.4	5.9	0.1
Chungbuk	430.3	37.7	0.7	120.3	12.3	8.1	6.5	0.1
Chungnam	814.8	71.4	1.2	227.9	23.3	15.4	12.4	0.2
Jeonbuk	588.8	51.6	0.9	164.7	16.9	11.1	8.9	0.1
Jeonnam	915.9	80.2	1.4	256.1	26.2	17.3	13.9	0.2
Gyeongbuk	1,085.1	95.1	1.6	303.5	31.1	20.5	16.5	0.2
Gyeongnam	761.0	66.7	1.2	212.8	21.8	14.4	11.6	0.2
Jeju	203.9	17.9	0.3	57.0	5.8	3.9	3.1	0.0
Total	6,335.0	555.0	9.6	1,771.7	181.4	119.9	96.2	1.4

VOC 1,771.7, TSP 181.4, PM<sub>10</sub> 119.9, PM<sub>2.5</sub> 96.2, NH<sub>3</sub> 1.4 ton으로 나타났다. PM<sub>10</sub> 배출량은 경북(20.5 ton/yr), 전남(17.3 ton/yr), 충남(15.4 ton/yr) 순서로 배출이 많은 것으로 나타났다. 표 7에 지역별 배출량을 나타내었으며, 그림 2에는 시·군·구별로 전국 배출량을 나타내었다.

아궁이에 의해 많이 배출되는 대기오염물질은 CO, VOC, PM<sub>10</sub>이었으며, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> 등은 크게 중요하지 않은 것으로 나타났다. 연료의 성분에 의한 것 보다는 불완전연소에서 오염물질 배출특성이 결정되기 때문인 것으로 보인다.

지역적으로는 경북, 전남, 충남지역의 배출량이 특히 큰 것으로 나타나는데 이는 농촌지역의 인구와 밀접한 관련이 있다. 계절적으로는 난방취사겸용 아궁이는 겨울철에 높은 배출량을 보였으나, 취사전용아궁이는 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 이 역시 일상생활에서 아궁이의 사용 행태와 밀접한 연관이 있다.

2010년 국가 대기오염물질 배출량 통계 자료와 본 연구에서 산정한 배출량을 비교한 결과는 표 8과 같다. 2010년 CAPSS에서 CO 배출량은 총 766,269 ton 인데, 본 연구에서 대상으로 한 아궁이의 배출량은 6,335 ton으로 0.8%에 해당하는 것으로 나타났다. 2010년 CAPSS의 NO<sub>x</sub> 배출량은 1,061,210 ton이었으며, 본 연구의 아궁이 배출량은 555 ton으로 0.1%에



**Fig. 2. Distribution of PM<sub>10</sub> emission from traditional fireplace.**

**Table 8. Comparison emission estimates of this study with CAPSS data.**

Source	CO	NOx	SOx	PM <sub>10</sub>	VOC
	ton/yr (%)				
CAPSS	766,269 (99.2)	1,061,210 (99.9)	401,742 (100)	116,808 (99.9)	866,358 (99.8)
Traditional fireplace	6,335 (0.8)	555 (0.1)	10 (0.0)	120 (0.1)	1,772 (0.2)
Total	772,604 (100)	1,061,765 (100)	401,752 (100)	116,928 (100)	868,130 (100)

NIER (2010)

해당되는 것으로 나타났다. 2010년 CAPSS의 SOx 배출량은 401,742 ton이며, 본 연구의 아궁이의 배출량은 10 ton으로 비중은 미미한 것으로 나타났다. 2010년 CAPSS의 PM<sub>10</sub> 배출량은 116,808 ton이며, 본 연구의 아궁이 배출량은 120 ton으로 0.1%에 해당되었다. 2010년 CAPSS의 VOC 배출량이 866,358 ton이며, 본 연구의 아궁이 배출량은 1,772 ton으로 0.2%에 해당되었다.

오염관리 활용할 수 있도록 제시한 것에는 나름 의의가 있다고 판단된다.

### 감사의 글

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

### 5. 결 론

본 연구에서는 생물성연소 중 아궁이(사과나무, 생 활폐기물, 장작) 사용에 따른 대기오염물질 배출량을 산정하였다. 이를 위해 배출량 산정방법을 검토하고, 배출원별 활동도를 도출하기 위해 지역마다 심층 설문 조사를 실시하였다. 또한 국내에서 직접 실험을 통해 개발된 대기오염물질 배출계수를 사용하여 대기 오염물질 배출량을 산정하였다. 산출된 배출량은 국가 대기오염물질 배출량 통계 자료와 비교하였다.

2010년 기준 아궁이 사용에 따른 대기오염물질 배출량은 CO 6,335.0, NOx 555.0, SOx 9.6, VOC 1,771.7, TSP 181.4, PM<sub>10</sub> 119.9, PM<sub>2.5</sub> 96.2, NH<sub>3</sub> 1.4 ton으로 산출되었다. PM<sub>10</sub> 배출량은 경북(20.5 ton/yr), 전남(17.3 ton/yr), 충남(15.4 ton/yr) 순으로 많이 배출되는 것으로 나타났다. 2010년 국가 대기오염물질 배출량 통계와 비교한 결과, CO 0.8%, PM<sub>10</sub> 0.1%를 차지하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 산정한 아궁이 부문의 배출량은 전체 대기오염물질 배출량에 견주어 볼 때, 그 기여도는 미미한 것으로 나타났다. 그러나 지금까지 국내에서 확인하지 못하고 있던 배출원에 대해 관련된 활동도를 조사하고, 그에 따른 배출량을 도출하여 향후 대기

### References

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 Atmos. Environ.*, 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, D.Y., Y.H. Han, M.A. Choi, S.K. Park, and Y.K. Jang (2014) A Study on Estimation of Air Pollutants Emission from Wood Stove and Boiler, Wood-pellet Stove and Boiler, *Journal of Korean Society for Atmos. Environ.*, 30(3), 251-260. (in Korean with English abstract)

Lee, H.W., T.J. Lee, and D.S. Kim (2009a) Identifying ambient PM<sub>2.5</sub> 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 Atmos. Environ.*, 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 PM<sub>10</sub> source contributions on three

- cities in the metropolitan area by using PMF model, Journal of Korean Society for Atmos. Environ., 25(4), 275-288. (in Korean with English abstract)
- NIER, National Institute of Environment Research (2010) CAPSS (Clean Air Policy Support System).
- 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 Atmos. Environ., 25(2), 108-122. (in Korean with English abstract)
- Park, S.K., S.J. Choi, G.J. Ryu, J.Y. Kim, D.Y. Kim, and Y.K. Jang (2013) Development of Emission Factors on Black Carbon from Fireplace, Proceeding of the 2<sup>nd</sup> meeting of The Korean Society of Climate Change Research, 312 p.
- Statistics Korea (2010) Agricultural Census Report.
- U.S. EPA (2001) Emission Inventory Improvement Program Volume III : Chapter 2-Residential wood combustion.
- U.S. EPA (2000) Method 5G-Determination of particulate matter emissions from wood heaters (Dilution tunnel sampling location).