한국대기환경학회지 제 31 권 제 1 호
J. KOSAE Vol. 31, No. 1 (2015) pp. 83～91
Journal of Korean Society for Atmospheric Environment
DOI: http://dx.doi.org/10.5572/KOSAE.2015.31.1.083
p-ISSN 1598-7132, e-ISSN 2383-5346

기술자료

서울시 생물성 연소부문 온실가스-대기오염 통합 인벤토리 및 배출원단위분석

GHG-AP Integrated Emission Inventories and Per Unit Emission in Biomass Burning Sector of Seoul

정 재 형 · 권 오 열[1),*]
서울과학기술대학교 에너지환경공학과, [1)]서울과학기술대학교 환경공학과

(2014년 7월 21일 접수, 2014년 9월 19일 수정, 2015년 1월 21일 채택)

Jaehyung Jung and O-Yul Kwon[1),*]
Department of Environmental Energy Engineering, Seoul National University of Science and Technology
[1)]*Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science and Technology*

(Received 21 July 2014, revised 19 September 2014, accepted 21 January 2015)

Abstract

Biomass burning is known to be one of the main sectors emitting greenhouse gases as well as air pollutants. Unfortunately, the inventory of biomass burning sector has not been established well. We estimated greenhouse gas (GHG) and air pollution (AP) integrated emissions from biomass burning sector in Seoul during year 2010. The data of GHG and AP emissions from biomass burning, classified into open burning, residential fireplace and wood stove, meat cooking, fires, and cremation, were obtained from Statistics Korea and Seoul City. Estimation methodologies and emission factors were gathered from reports and published literatures. Estimated GHG and AP integrated emissions during year 2010 were 3,867 tonCO_{2eq}, and 2,320 tonAP, respectively. Major sources of GHG were forest fires (1,533 tonCO_{2eq}) and waste open burning (1,466 tonCO_{2eq}), while those of AP were meat cooking (1,240 tonAP) and fire incidence (907 tonAP). Total emissions by administrative district in Seoul, representing similar patterns in both GHG and AP, indicated that Seocho-gu and Gangseo-gu were the largest emitters whereas Jung-gu was the smallest emitter, ranged in 2～165 tonCO_{2eq} and 0.1～8.31 tonAP. GHG emissions per km^2 showed different results from total emissions in that Gwanak-gu, Jungnang-gu, Gangdong-gu and Seodaemun-gu were the largest emitters, while Seocho-gu and Gangseo-gu were near-averaged emission districts, ranged in 0.2～21 tonCO_{2eq}/km^2. However, AP emissions per km^2 revealed relatively minor differences among districts, ranged in 2.3～6.1 tonAP/km^2.

Key words : Biomass burning, Open burning of waste, Open burning of agriculture residue, Residential fireplace, Residential wood stoves

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)2-970-6616, E-mail : oykwon@seoultech.ac.kr

1. 서 론

지구온난화는 인간의 활동에 의해 대기 중으로 배출된 온실가스가 주된 요인이며 배출이 멈춘다고 하더라도 기후변화의 영향은 향후 수백년 동안 지속될 것으로 보고된다(IPCC, 2013). 또한 인간의 활동은 대기오염물질을 대량으로 방출시켜 대기의 질을 저하시키고 있으며, 주된 원인은 연소에 의한 것으로 화석연료에 의한 연소가 대부분을 차지하고 있다(Kim and Yeo, 2013).

생물성 연소(biomass burning)는 인간의 활동에 의한 인위적 또는 자연적으로 발화되는 바이오매스 연소를 의미하며, 생물성 연소 또한 연소하는 과정에서 많은 양의 오염물질이 발생하고 있다(GRI, 2011). 생물성 연소는 식물성 바이오매스(plant biomass) 연소와 동물성 바이오매스(animal biomass) 연소로 구분할 수 있으며, 연소되는 과정에서 불완전 연소를 수반하며 이때 대기오염물질 뿐만 아니라 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O) 등과 같은 온실가스도 배출되어 지구온난화의 중요한 원인이기도 하다(Lee, 2012). 특히, 생물성 연소 대부분은 산불과 같은 노천소각에서 상당부분 차지하고 있으며, 생물성 연소에 의한 배출량 평가 및 온실가스와 대기오염에 미치는 영향을 파악하는 것이 필요하다(Permadi and Oanh, 2013). 이에 따라 생물성 연소에 관한 연구가 진행 중에 있으며, 미국 환경보호청(Environment Protection Agency, EPA)과 캘리포니아 대기보전국(California Air Resources Board, CARB)을 중심으로 생물성 연소의 배출목록(emission inventory) 작성과 배출계수 개발이 활발히 진행 중에 있으나, 국내의 경우에는 생물성 연소에 따른 미세먼지의 발생특성에 연구가 집중되어 있으며, 연구의 대부분은 직접적인 조사와 분석보다는 외국의 배출계수를 사용한 추정연구에 머물고 있다(Kim *et al*., 2014).

생물성 연소는 발생원이 불분명하며 연소 시 다양한 대기오염물질이 발생하는데, 발암물질인 다환방향족탄화수소류(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)와 같은 유해대기오염물질(Hazardous Air Pollutants, HAPs)은 인체에 해로운 영향을 미친다(Park *et al*., 2011). 특히, 도심 내에서 발생하는 생물성 연소의 경우 배출원의 확산이 어려운 구조적 조건으로 인하여 도시 거주자들에게 호흡기 질환 등의 직접적인 피해를 유발할 수 있다(Park *et al*., 2011). 하지만 생물성 연소는 대기지원정책시스템(CAPSS)에서도 누락되어 있어 배출원 관리가 거의 이루어지지 않고 있으며(Kim *et al*., 2013), 이에 생물성 연소에 대한 실태파악과 적절한 관리가 무엇보다 필요하다. 또한 현재 생물성 연소에 관한 연구는 대기오염물질 산정에 연구가 집중되어 있으며, 온실가스-대기오염 통합 관리를 위한 동시 산정이 미미한 실정이다. 따라서 생물성 연소에 의해 발생되는 온실가스-대기오염 통합 배출량 산정을 데이터베이스화하여, 생물성 연소에 의한 오염 기여도 평가 및 각 형태별 관리방안을 마련해야 한다.

따라서 본 연구는 2010년 서울시 생물성 연소에 의한 온실가스-대기오염 통합 배출량을 산정하고, 배출 정량화를 위한 배출원단위 분석을 수행하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 서울시이며, 시간적 범위는 생물성 연소부문 활동도 자료수집 및 구축에 있어 국가기관에서 제공하는 자료의 확보가 용이한 2010년으로 하였다. 연구의 대상은 노천소각(폐기물, 농업 잔재물), 아궁이, 화목난로, 고기구이(쇠고기, 돼지고기, 닭고기), 화재(산림, 건물) 그리고 동물성 연소인 화장(사람)으로 하였다. 활동도 자료는 국가통계연보를 이용하여 자료를 추출 및 구축하였으며(Statistics Korea, 2011; Seoul city, 2010-2011), 표 1에 구축된 생물성 연소부문 활동도를 나타내었다.

2.2 배출계수

본 연구에 이용된 배출계수는 EPA AP-42와 EEA (2013) EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013, 그리고 NIER (2013)에서 발행한 대기오염산정방법편람을 기반으로 하였으며, 선행연구에서 개발한 배출계수를 선정 및 추출하여 적용하였다(EEA, 2013; NIER, 2013; KEC, 2012; GRI, 2011; Bong *et al*., 2011; NIER, 2010; SJVAPCD, 2009; CARB, 2006; IPCC, 2006; EIIP, 2001; EPA, 1995). 표 2에 본 연구에 적용된 배출계수

Table 1. Status of biomass burning activities in Seoul, 2010.

Contents		Activity	Unit	Data
Open burning	Waste	Agricultural population	Person	13,602
		The amount of waste	Ton	1,175
	Agriculture	Cultivation area	Ha	455
Residential fireplace		No. of house	Number	35
		Fuel consumption	Kg	67,648
Residential wood stoves		No. of house	Number	156
		Fuel consumption	Kg	397,563
Meat cooking	Beef	Weight	Ton	33,974
	Pork			72,518
	Chicken			59,868
Fire	Forest	Area	m^2	4,318
	Incident	Case	Case	5,321
Cremation		Human bodies	Body	40,130

Table 2. GHG-AP integrated emission factors in biomass burning sector.

Contents			GHG (Green house Gas)			AP (Air Pollution)					
			CO_2	CH_4	N_2O	CO	NO_x	SO_x	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOC
Unit			kg/TJ			lb/ton					
Open burning of waste			100,000	300	4	85	6	1	38	34.8	8.556
Open burning of Agri. residue	Pruning	Fruit	–	–	–	42	5.2	0.1	3.9	3.7	2.3
	Field crop	Mixed cereal	–	–	–	70.9	3.3	0.4	11.4	10.9	6.6
		Beans	–	–	–	148	5.2	0.1	13.7	13	14.2
		Others	–	–	–	113.95	4.49	0.61	15.9	15.18	10.73
Wood combustion	Fireplace		112,000	300	4	252.6	2.6	0.4	34.6	32.9	229
	Wood stoves		112,000	300	4	140.8	2.0	0.4	14.6	13.9	12.0
Meat cooking	Underfired	Steak (Beef)	–	–	–	–	–	–	34.4	33.6	7.88
		Pork	–	–	–	–	–	–	21	19.8	3.64
		Poultry	–	–	–	–	–	–	21	19.8	3.64
	Griddles	Steak (Beef)	–	–	–	–	–	–	10	7.6	0.14
		Pork/Poultry	–	–	–	–	–	–	70	7.6	0.14
Fire	Unit		g/kg			kg/ha					
		Forest fires	–	4.7	0.26	1,410	40	–	109	–	242
		Fire incidents	–	–	–	148.7	3.5	–	6.1	–	12.3
Cremation	Unit		–	–	–	kg/body	kg/body	kg/body	g/body	g/body	kg/body
	Cremation of human bodies		–	–	–	0.14	0.825	0.113	34.7	34.7	0.013

를 제시하였으며, 온실가스 배출량은 CO_2, CH_4, N_2O를 개별적 산정 후 온난화지수(global warming potential, GWP)를 이용하여 CO_{2eq}로 하여 배출량을 산정하였다.

2. 3 배출량 산정방법

2. 3. 1 노천소각

2. 3. 1. 1 폐기물 노천소각

폐기물 노천소각은 농업부문에 한하여 운영경계를

설정하였으며, 대기오염 배출량은 서울시 농업인구에서 발생되는 1인당 폐기물 발생량과 노천소각의 곱으로 산정된다. 폐기물 노천소각에 의한 대기오염 배출량 산정 식은 (1)과 같다.

$$E=(P\times R)\times W\times B\times EF \quad (1)$$

여기서, P는 인구수(person), R은 농촌비율(%), W는 1인당 연간 폐기물 발생량(ton/person · yr), B는 노천소각비율(%), EF는 배출계수(lb/ton)이다. 폐기물 노천소각 산정식의 가정조건은 다음과 같다. 첫째, 폐기물 노천소각은 농가에서 배출한다. 둘째, 농가 평균 1인당 폐기물 발생량은 0.36 ton/person · yr이 배출된다. 셋째, 농가의 폐기물 중 노천 소각하는 비율은 24%로 가정한다(NIER, 2009b).

폐기물 노천소각에 의한 온실가스 배출량은 소각되어지는 폐기물의 양과 배출계수의 곱으로 산정되며, 산정 식은 (2)와 같다.

$$E=W\times EF \quad (2)$$

여기서, W는 소각되어 지는 폐기물의 양(ton/yr), EF는 배출계수(kg/TJ)이다(NIER, 2013; NIER, 2010; IPCC, 2006).

2. 3. 1. 2 농업 잔재물 노천소각

농업 잔재물 노천소각으로 발생되는 대기오염 배출량은 가지치기(pruning)와 밭작물(field crops)로 구분하였으며, 산정 식은 (3)과 같다.

$$E=A\times Fuel\ loading\times EF \quad (3)$$

여기서, A는 경작지 면적(m^2), fuel loading은 작물단위면적당 소각량(g/m^2), EF는 배출계수(lb/ton)이다(CARB, 2006).

2. 3. 2 아궁이

아궁이에서 배출되는 온실가스-대기오염 통합 배출량은 연료의 사용량과 배출계수 곱으로 산정된다(EIIP, 2001). 초미세먼지($PM_{2.5}$) 배출계수는 미세먼지(PM_{10})의 비율 0.95를 적용하였다(NIER, 2009a). 아궁이에 의한 온실가스와 대기오염 발생량 산정 식은 (4)와 같다.

$$E=W\times EF \quad (4)$$

여기서, F는 연료사용량(목재의 양, kg), EF는 배출계수이며, 온실가스는 kg/TJ, 대기오염은 lb/ton의 단위를 갖는다(NIER, 2013; NIER, 2010; IPCC, 2006).

2. 3. 3 화목난로

화목난로 사용에 따른 온실가스-대기오염 통합 배출량 산정은 연료 사용량의 곱으로 계산되며(EIIP, 2001), 아궁이와 동일하게 초미세먼지($PM_{2.5}$) 배출계수는 제시되어 있지 않아, 미세먼지(PM_{10}) 비율인 0.95를 적용하였다(NIER, 2009a). 온실가스-대기오염 통합 배출량 산정 식은 아궁이와 동일하게 적용하였다.

2. 3. 4 고기구이

고기구이에 의한 대기오염 배출량은 소비되는 쇠고기, 돼지고기, 닭고기의 구이형태별 소비량과 배출계수의 곱으로 산정되며, 산정 식은 (5)와 같다.

$$E=M\times EF \quad (5)$$

여기서, M은 연간 소비되는 고기의 소비량(ton/yr), EF는 배출계수(lb/ton)이다(SJVAPCD, 2009).

2. 3. 5 화재

2. 3. 5. 1 산림화재

산림화재에 의한 대기오염 배출량은 산림의 화재면적과 배출계수의 곱으로 산정되며, 산정 식은 (6)과 같다.

$$E=A\times EF \quad (6)$$

여기서, A는 산림화재 면적(ha), EF는 배출계수(kg/ha)이다(NIER, 2013; NIER, 2010).

산림화재에 의한 온실가스 배출량은 비이산화탄소(non-CO_2)로 메탄(CH_4)과 아산화질소(N_2O)를 대상물질로 선정하였으며, 산정 식은 (7)과 같다.

$$L_{fire}=A\times M_B\times C_f\times G_{ef}\times 10^{-3} \quad (7)$$

여기서, L_{fire}는 연소에 의한 온실가스 배출량(ton), A는 연소된 면적(ha), M_B는 연소 가능한 연료의 질량(ton/ha), C_f는 연소계수, G_{ef}는 연소에 의한 온실가스 배출계수(g/kg)이다(KEC, 2012; IPCC, 2006). 본 연구에서 국내 연소 가능한 연료의 질량 및 연소계수는 $M_B\times C_f$으로 19.8 ton/ha를 적용하였다(KEC, 2012).

2. 3. 5. 2 건물화재

건물화재에 의한 대기오염 배출량은 건물화재 건수

와 배출계수의 곱으로 산정되며, 산정 식은 (8)과 같다.

$$E = C \times EF \quad (8)$$

여기서, C는 건물화재 건수(case), EF는 배출계수(kg/fire case)이다(NIER, 2013; NIER, 2010).

2. 3. 6 화장

사람의 화장에 의한 대기오염 발생량은 구별 사망자수와 배출계수의 곱으로 산정되며, 산정 식은 (9)와 같다.

$$E = B \times EF \quad (9)$$

여기서, B는 사망자수(body), EF는 배출계수(kg/body)이며(EEA, 2013), 서울시 화장에 의한 대기오염 발생량 산정은 구별 사망자수를 활동도 자료로 하는 간접배출원(scope 2)으로 산정하였다.

3. 결 과

3. 1 생물성 연소부문별 온실가스-대기오염 통합 배출량

생물성 연소부문 온실가스-대기오염 통합 배출량 산정결과를 표 3에 나타내었으며, 연간 온실가스와 대기오염 배출량은 각각 3,867 tonCO_{2eq}, 2,320 tonAP로 나타났다. 본 연구에서 tonAP는 대기오염 배출량(Air Pollution, AP)으로 정의하였으며, 대기오염 먼지 배출량 산정 시 $PM_{2.5}$의 입경크기는 PM_{10}에 포함되기 때문에 PM_{10} 배출량을 적용하였다.

배출원별 연간 온실가스는 산림화재가 1,533 ton CO_{2eq}로 가장 많은 배출량을 보였으며, 다음으로 폐기물 노천소각이 1,466 tonCO_{2eq}로 산림화재와 폐기물 노천소각이 전체의 77.5%를 차지하였다. 그리고 연간 대기오염은 고기구이(meat cooking)에 의한 배출량이 1,240 tonAP로 가장 많았으며, 다음으로 건물화재가 907 tonAP로 나타났다. 미세먼지 배출량을 제외하면, 불완전 연소로 인해 발생되는 일산화탄소(CO)가 880 ton으로 가장 많은 배출량을 보였다.

발생부문별로 살펴보면, 폐기물 노천소각에 의한 연간 온실가스와 대기오염 배출량은 각각 1,466 ton CO_{2eq}, 74 tonAP로 나타났다. 물질별로는 일산화탄소(CO)가 45 ton으로 60%의 가장 높은 비율을 차지하였다.

농업 잔재물 노천소각에 의한 대기오염 배출량은 작물별 재배면적을 이용하여 산정하였으며, 산정결과 연간 대기오염 배출량은 5 tonAP로 나타났고, 물질별로는 일산화탄소(CO)는 4.2 ton, 질소산화물(NO_x)은 0.33 ton, 황산화물(SO_x)은 0.01 ton, 미세먼지(PM_{10})는 0.47 ton, 초미세먼지($PM_{2.5}$)는 0.45 ton, 휘발성유기화합물(VOC)은 0.32 ton으로 나타났다.

아궁이에 의한 배출량은 농업인구 비율을 이용하여 산정하였으며, 아궁이 연료는 목재로 가정하여 목재연소에 의한 산정방법을 적용하여 산정하였다. 산정결과 연간 온실가스와 대기오염 배출량은 각각 126 tonCO_{2eq}, 16 tonAP로 나타났으며, 물질별로는 일산화탄소(CO)는 7.75 ton, 질소산화물(NO_x)은 0.08 ton, 황

Table 3. GHG-AP integrated emissions from biomass burning in Seoul, 2010. (unit: ton)

Contents		GHG	AP						
		CO_{2eq}	AP	CO	NO_x	SO_x	PM_{10}	$PM_{2.5}$	VOC
Total		3,867	2,320	880	56	6	1,215	1,034	163
Open burning	Waste	1,466	74	45	3	1	20	19	5
	Agriculture	–	5	4.2	0.33	0.01	0.47	0.45	0.32
Fireplace		126	16	8	0.08	0.01	1	1	7
Wood stoves		741	30	25	0.36	0.07	3	3	2
Meat cooking		–	1,240	–	–	–	1,157	1,010	83
Fires	Forest	1,533	1	0.61	0.02	–	0.05	–	0.1
	Incident	–	907	791	19	–	32	–	65
Cremation		–	46	6	33	5	1	1	1

a) blank - in case of no emission factors (EFs) or no activities reported.

산화물(SO_x)은 0.01 ton, 미세먼지(PM_{10})는 1.06 ton, 초미세먼지($PM_{2.5}$)는 1.01 ton, 휘발성유기화합물(VOC)은 7.03 ton으로 나타났다.

화목난로에 의한 배출량도 아궁이와 동일한 산정방식을 적용하여 산정하였으며, 산정결과 연간 온실가스와 대기오염 배출량은 각각 741 tonCO_{2eq}, 30 tonAP로 나타났으며, 물질별로는 일산화탄소(CO)는 25 ton, 질소산화물(NO_x)은 0.36 ton, 황산화물(SO_x)은 0.07 ton, 미세먼지(PM_{10})는 3 ton, 초미세먼지($PM_{2.5}$)는 3 ton, 휘발성유기화합물(VOC)은 2 ton으로 나타나, 일산화탄소(CO)가 75.75%로 가장 높은 비율을 차지하였다.

고기구이에 의한 대기오염 배출량은 2010년 기준 고기구이의 경우 1인당 소비되는 쇠고기(12.9 kg/yr), 돼지고기(31.3 kg/yr), 닭고기(15 kg/yr)의 인구비율과 고기를 소비하는 사업체의 비율로 할당하여 산정하였다(KMTA, 2012). 또한 고기구이에 의한 대기오염 배출량 산정은 연소에 의해 발생(고기구이에 의한 배출계수가 부재함)되는 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x), 황산화물(SO_x)은 제외하고, 미세먼지(PM_{10}), 초미세먼지($PM_{2.5}$), 휘발성유기화합물 (VOC)에 대해서 산정하였다. 산정결과 연간 대기오염 배출량은 1,240 tonAP로 나타났으며, 물질별로는 미세먼지 (PM_{10})는 1,157 ton, 초미세먼지 ($PM_{2.5}$)는 1,010 ton, 휘발성유기화합물(VOC)은 83 ton으로 나타났다.

산림화재에 의한 연간 온실가스와 대기오염 배출량은 각각 1,533 tonCO_{2eq}, 1 tonAP로 나타났으며, 물질별로는 일산화탄소(CO)가 0.61 ton으로 61%의 비율을 차지하였으며, 다음으로 휘발성유기화합물(VOC)이 0.104 ton으로 나타났다. 건물화재에 의한 연간 대기오염 배출량은 907 ton으로 나타났으며, 물질별로는 일산화탄소(CO)가 791 ton으로 87%의 비율을 차지하였다.

화장에 의한 연간 대기오염 배출량은 46 tonAP으로 나타났으며, 물질별로는 일산화탄소(CO)는 6 ton, 질소산화물(NO_x)은 33 ton, 이산화황(SO_2)은 5 ton, 미세먼지(PM_{10})는 1 ton, 초미세먼지($PM_{2.5}$)는 1 ton, 비메탄휘발성유기화합물(NMVOC)은 1 ton으로 나타났다. 단일물질로는 질소산화물(NO_x)이 72%의 가장 높은 비율을 차지하였으며, 화장은 동물성 연소로 황산화물(SO_x) 발생량이 이외의 생물성 연소 대비 많은 것으로 나타났다.

3. 2 행정구역별 부문별 온실가스-대기오염 통합 배출량 및 원단위분석

그림 1에 행정구역별 부문별 연간 온실가스-대기오염 통합 배출량 산정결과를 나타내었다. 폐기물 노천소각에 의한 연간 온실가스 배출량은 2～165 tonCO_{2eq}의 범위로 나타났으며, 서초구가 165 tonCO_{2eq}로 가장 많은 배출량을 보였으며, 다음으로 강서구가 158 tonCO_{2eq}로 나타났다. 반면 가장 적게 배출된 행정구역은 중구로 조사되었다. 그리고 연간 대기오염 배출량은 0.1～8.31 tonAP의 범위를 보였으며, 발생되는 경향성은 온실가스와 동일하였다. 농업 잔재물에 의한 연간 대기오염 배출량은 0.01～0.47 tonAP의 범위를 보였으며, 서초구가 가장 많은 배출량을 보였으며, 다음으로 강서구로 나타났다. 아궁이에 의한 연간 온실가스 배출량은 4～15 tonCO_{2eq}의 범위를 보였으며, 강서구, 서초구, 강동구가 15 tonCO_{2eq}으로 가장 많은 배출량을 보였으며, 다음으로 강남구와 송파구가 11 tonCO_{2eq}로 나타났다. 그리고 연간 대기오염 배출량은 0.47～1.87 tonAP의 범위로 발생되는 경향성은 온실가스와 동일하였다. 화목난로에 의한 연간 온실가스 배출량은 5～86 tonCO_{2eq}의 범위를 보였으며, 서초구가 가장 많은 배출량을 보였으며, 다음으로 강서구가 81 tonCO_{2eq}의 배출량을 보였다. 그리고 연간 대기오염 배출량은 0.2～3.34 tonAP의 범위를 보였으며, 배출되는 경향성은 온실가스와 동일하였다. 고기구이에 의한 연간 대기오염 배출량은 17～81 tonAP의 범위를 보였으며, 송파구가 가장 많은 발생량을 보였다. 산림화재는 연도별 또는 지역별 상당한 차이를 보이며 2010년 서울시에서 발생한 산림화재에 의한 연간 온실가스와 대기오염 배출량은 관악구가 각각 568 tonCO_{2eq}, 0.29 tonAP로 가장 많은 배출량을 보였으며, 다음으로 서대문구가 188 tonCO_{2eq}, 0.1 tonAP의 배출량을 보였다. 건물화재에 의한 연간 대기오염 배출량은 20～64 tonAP의 범위로 나타났으며, 강남구가 64 tonAP로 가장 많은 배출량을 보였으며, 다음은 강서구로 44 tonAP의 배출량을 보였다. 화장에 의한 연간 대기오염 배출량은 0.75～2.62 tonAP의 범위를 보였으며, 노원구가 가장 많은 배출량을 보였다.

원단위분석 결과로서, 행정구역별 및 식생부문별 온실가스-대기오염 통합 배출량을 합산 후 면적과 인구수를 이용하여 산정하였다. 분석결과 면적당 연간

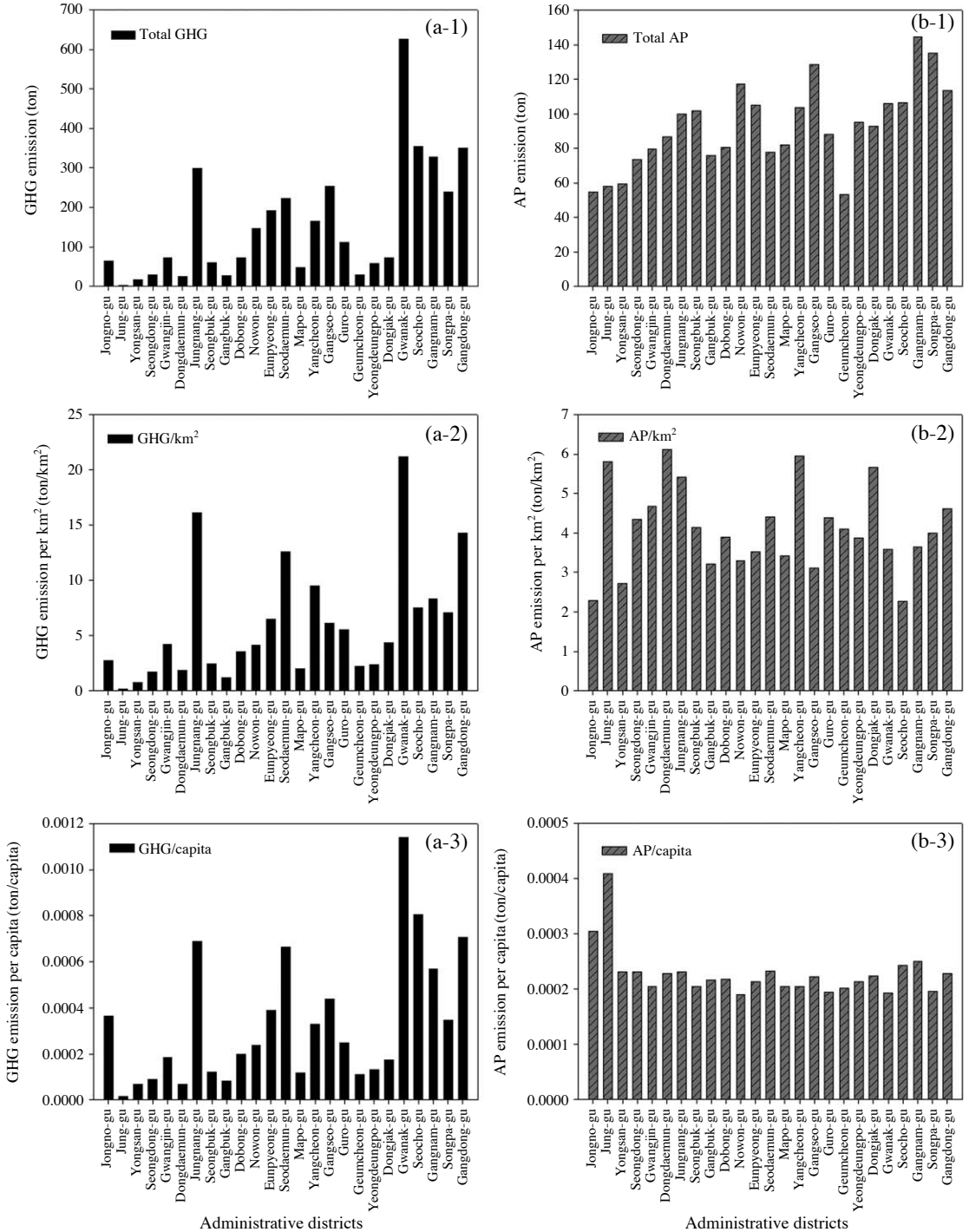

Fig. 1. GHG-AP emissions per km^2 and capita in biomass burning by administrative districts; (a-1) total GHG emissions, (a-2) GHG emissions per km^2, (a-3) GHG emissions per capita, (b-1) total AP, (b-2) AP emissions per km^2, (b-3) AP emissions per capita.

온실가스 배출량은 0.2～21 $tonCO_{2eq}/km^2$의 범위로 나타났으며, 대기오염 배출량은 2.3～6.1 $tonAP/km^2$의 범위로 나타났다. 또한 인구 1명당 연간 온실가스와 대기오염 배출량은 각각 0.01～1.14 $kgCO_{2eq}$/capita, 0.19～0.41 kgAP/capita로 조사되었다. 생물성 연소에 의한 배출원단위 분석은 온실가스가 대기오염 대비 단위면적과 인구 당 발생되는 평균 배출원단위가 높게 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 2010년 서울시를 대상으로 생물성 연소에 의한 온실가스-대기오염 통합 배출량 산정과 배출원단위를 분석하여, 다음과 같은 결론을 얻었다. 생물성 연소에 의한 연간 온실가스와 대기오염 배출량은 각각 3,867 $tonCO_{2eq}$, 2,320 tonAP로 산정되었으며, 배출원별로는 산림화재에서 온실가스 배출량이 가장 많았고, 고기구이부문에서 대기오염 배출량이 가장 많은 것으로 나타났다. 생물성 연소부문 배출원단위 분석결과 면적당 연간 온실가스 배출량은 0.2～21 $tonCO_{2eq}/km^2$의 범위로 나타났으며, 연간 대기오염 배출량은 2.3～6.1 $tonAP/km^2$의 범위로 나타났다. 또한 인구 1명당 연간 온실가스와 대기오염 배출량은 각각 0.01～1.14 $kgCO_{2eq}$/capita, 0.19～0.41 kgAP/capita로 조사되었다.

본 연구를 바탕으로 연구의 한계점과 시사점을 제시하면 첫째, 폐기물과 농업 잔재물 노천소각에 의한 온실가스와 대기오염 배출량을 제어하기 위해서는 발생량이 많은 행정구역을 우선적으로 관리해야 하며, 폐기물 노천소각은 농업에 종사하는 인구수에 비례하므로 농업에 종사하는 사람들에게 행정구역별 교육지원과 배출되는 폐기물 노천소각의 수집 및 처리하는 등의 지원이 필요한 것으로 사료된다. 둘째, 고기구이에 의한 배출량 산정은 대부분이 미세먼지이며, 고기구이를 위해 사용되는 연료 즉, 가스(천연가스, 부탄가스 등), 연탄, 숯 등으로 순수한 고기구이에 의해 발생되는 오염물질을 산정하기에는 어려움이 있으며, 또한 조리형태(구이, 튀김, 볶음 등)와 부위별 등 세부적 산정이 이루어져야 고기구이별 발생되는 오염물질의 정량/정성적인 산정이 가능할 것이라고 사료된다. 셋째, 건물화재에 의한 온실가스-대기오염 통합 오염물질 배출은 고기구이를 제외하면 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, 이는 서울시의 경우 고밀도로 집적된 인구와 건물로 인하여 건물화재에 대한 취약성이 있음을 의미한다. 따라서 집적된 건물화재에 의한 화재의 확장성이 크며 대형건물인 경우 대규모 잠재 오염물질 발생원이 되기 때문에 소방시설 확충 등과 같은 관리대책이 필요하다고 사료된다.

References

Bong, C.-K., S.-J. Park, S.-K. Park, J.-H. Kim, and Y.-H. Hwang (2011) The study on the emission characteristics of particulate matters from meat cooking, J. Kor. Soc. Environ. Eng., 33(3), 196-201. (in Korean with English abstract)

CARB (California Air Resources Board) (2006) Areawide emissions inventory methodologies-agricultural burning.

EEA (European Environment Agency) (2013) EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013.

EIIP (Emission Inventory Improvement Program) (2001) Volume III : chapter 2, residential wood combustion.

EPA (Environment Protection Agency) (1995) AP-42.

GRI (Gyeonggi Research Institute) (2011) Analysis of air pollutants emissions from biomass burning in Seoul metropolitan area.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2006) 2006 IPCC guideline for national greenhouse gas inventories.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013) Climate change 2013.

KEC (Korea Environment Corporation) (2012) Guidelines for local government greenhouse gas inventories (Ver. 3.0).

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, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 30(3), 251-260. (in Korean with English abstract)

Kim, D.-Y., Y.-H. Han, M.-A. Choi, S.-K. Park, S.-J. Choi, and Y.-K. Jang (2013) A study on the estimation of air pollutants emission by residential wood stove and boiler, The Annual Meeting of KOSEA: 30 Year Celebration, 2E1, 53.

Kim, Y.-P. and M.-J. Yeo (2013) The trend of the concentra-

tion of the criteria pollutants, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 29(4), 369-377. (in Korean with English abstract)

KMTA (Korea Meat Trade Association) (2012) Annual handbook of meat 2012.

Lee, K.-H. (2012) Impact of northeast Asian biomass burning activities on regional atmospheric environment, J. KAGIS, 15(1), 184-196. (in Korean with English abstract)

NIER (National Institute of Environment Research) (2009a) A study for setting of $PM_{2.5}$ atmospheric environmental standards.

NIER (National Institute of Environment Research) (2009b) A study on effects of air quality by non-managed combustion at the urban fringe.

NIER (National Institute of Environment Research) (2010) Assessment manual of national air pollutant emission inventory (II).

NIER (National Institute of Environment Research) (2013) Assessment manual of national air pollutant emission inventory (III).

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, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 27 (4), 426-435. (in Korean with English abstract)

Permadi, D. and N. Oanh (2013) Assessment of biomass open burning in Indonesia and potential climate forcing impact, Atmos. Environ., 78, 250-258.

Seoul City (2010, 2011) Seoul statistical yearbook.

SJVAPCD (San Joaquin Valley Air Pollution Control District) (2009) 2006 Area source emissions inventory methodology 690-commercial cooking operations.

Statistics Korea (2011) 2011 agricultural, forestry and fishery survey.