

# 생활폐기물 특성 분석 및 소각시설의 CO<sub>2</sub> 배출량 평가

## Property Analysis of Municipal Solid Waste and Estimation of CO<sub>2</sub> Emissions from Waste Incinerators

김병순 · 김신도\* · 김창환 · 이태정<sup>1)</sup>  
서울시립대학교 환경공학과, <sup>1)</sup>경희대학교 환경학 및 환경공학과  
(2010년 8월 6일 접수, 2010년 8월 26일 수정, 2010년 10월 25일 채택)

Byung-Soon Kim, Shin-Do Kim\*, Chang-Hwan Kim and Tae-Jung Lee<sup>1)</sup>  
*Department of Environmental Engineering, University of Seoul*  
<sup>1)</sup>*Environmental Science and Engineering, Kyung Hee University-Global Campus*  
(Received 6 August 2010, revised 26 August 2010, accepted 25 October 2010)

### Abstract

Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is known to be a major greenhouse gas partially emitted from waste combustion facilities. According to the greenhouse gas emission inventory in Korea, the quantity of the gas emitted from waste sector in 2005 represents approximately 2.5 percent of all domestic greenhouse gas emission. Currently, the emission rate of greenhouse gas from the waste sector is relatively constant partly because of both the reduced waste disposal in landfills and the increased amounts of waste materials for recycling. However, the greenhouse gas emission rate in waste sectors is anticipated to continually increase, mainly due to increased incineration of solid waste. The objective of this study was to analyze the property of Municipal Solid Waste (MSW) and estimate CO<sub>2</sub> emissions from domestic MSW incineration facilities. The CO<sub>2</sub> emission rates obtained from the facilities were surveyed, along with other two methods, including Tier 2a based on 2006 IPCC Guideline default emission factor and Tier 3 based on facility specific value. The CO<sub>2</sub> emission rates were calculated by using CO<sub>2</sub> concentrations and gas flows measured from the stacks. Other parameters such as waste composition, dry matter content, carbon content, oxidation coefficient of waste were included for the calculation. The CO<sub>2</sub> average emission rate by the Tier 2a was 34,545 ton/y, while Tier 3 was 31,066 ton/y. Based on this study, we conclude that Tier 2a was overestimated by 11.2 percent for the CO<sub>2</sub> emission observed by Tier 3. Further study is still needed to determine accurate CO<sub>2</sub> emission rates from municipal solid waste incineration facilities and other various combustion facilities by obtaining country-specific emission factor, rather than relying on IPCC default emission factor.

**Key words** : CO<sub>2</sub> emissions, Emission factor, Greenhouse gas, Incinerator

### 1. 서 론

\*Corresponding author.  
Tel : +82-(0)2-2210-2453, E-mail : sdkim@uos.ac.kr

1992년 6월 브라질 리우환경회의에서는 지구온난

화에 따른 기후변화 예방을 위하여 유엔기후변화협약(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)이 채택되었다. 특히 지난 1997년 12월 일본의 교토에서 개최된 기후변화협약 제3차 당사국총회에서는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF<sub>6</sub>) 등 6종의 온실가스 배출량에 대한 감축을 주요 내용으로 하는 교토의정서를 채택하였다(Song *et al.*, 2007; Kheshgi *et al.*, 2005). 의정서에 따르면 의무감축국가인 Annex I 국가는 2008~2012년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 5.2%를 감축하도록 하고 있다. 우리나라는 1차 의무감축국가에서는 제외되었으나 2013년부터는 온실가스 감축 의무이행국으로 선정될 가능성이 높다. 따라서 이러한 국제적 환경에 대처하기 위해서는 국가 온실가스 배출량 산정이 요구되며, 국가고유의 온실가스 배출계수의 개발이 필요하다(IPCC, 2007; Um *et al.*, 2007). 현재 국내 온실가스 배출량 산정 시 국가고유의 배출특성 값(country-specific data)이 구축되지 않고, 국제기구 및 선진국가의 배출량 산정지침 중 기본적인 방법 및 배출계수를 이용하여 산정하고 있다. 그러나 이러한 방법의 적용은 국내 온실가스 배출량에 대한 신뢰도를 저하시키며 국가적인 대응 전략 수립에 제한요인이 될 수 있다. 따라서 불확도가 적은 배출량 산정을 위해서는 시설과 기술별 배출현황, 공정별 운영방법, 저감기술의 개발 및 보급현황 등에 대한 정확한 정보의 반영이 요구된다(Jeon *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2007).

폐기물 분야 중 폐기물 소각에 의해 발생하는 온실가스는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O로 알려져 있다. 그러나 CH<sub>4</sub>의 경우 현재와 같은 고온에서 일정한 소각시간을 유지(850°C 이상 고온에서 2초 이상 체류시간)하는 소각조건에서 발생량이 미미하며 이러한 소각과정에서는 CO<sub>2</sub> 배출이 CH<sub>4</sub>와 N<sub>2</sub>O보다 더 중요하게 다루지고 있다(Dalton *et al.*, 2008; Korea Environment Corporation, 2006). CO<sub>2</sub>는 폐기물의 성상인자에 따라서 바이오매스(생물계 폐기물)와 화석연료로부터 기인한 탄소(비생물계 폐기물)로 분류된다. 생물계 폐기물은 음식물쓰레기, 식품, 종이, 나무, 동식물성 잔재물, 동식물성 폐식용유, 슬러지 등으로 구성되고, 비생물계 폐기물은 플라스틱 등의 폐합성수지, 고무, 피혁, 섬유, 기타 가연분 등으로 구성된다. 생물계 폐

기물의 소각으로 인해 발생한 CO<sub>2</sub>는 자연계에서 순환과정을 통해 동화 재이용되는 것으로 간주하여 국가 온실가스 배출량에 포함되지 않고, 비생물계 폐기물의 소각으로 인해 발생한 CO<sub>2</sub>만 국가 온실가스 배출량에 포함한다(Jang *et al.*, 2007).

국내 분야별 온실가스 비중을 살펴보면, 2005년 국내 온실가스 총 배출량에서 폐기물 분야가 차지하는 비율은 약 2.5% 정도이다. 현재 폐기물 분야에서 배출되는 온실가스 양은 매립량 감소 및 재활용의 증가로 전체적으로 감소상태에 있으나, 향후 폐기물 소각처리 확대에 의한 이산화탄소 배출량 증가로 폐기물부문의 온실가스 배출비중은 증가할 것으로 예상된다. 특히, 소각에 의한 이산화탄소 배출량은 지속적으로 증가하여 폐기물 분야의 온실가스 배출량 중 이산화탄소의 배출비중이 2005년 42.8%에서 2020년 70.1%로 크게 높아질 전망이다(Korea Environment Corporation, 2008; Lim, 2007). 따라서 대형사업장 위주로 CO<sub>2</sub> 저감대책이 우선 추진된다는 측면과 저감 가능성이 높은 부문을 우선 대상으로 하기 때문에 대형 폐기물 소각장과 처리시설은 향후 CO<sub>2</sub>에 대한 국제협약의 강제이행 문제에 민감할 수 밖에 없다.

본 연구에서는 폐기물 소각시설의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정 시 요구되는 CO<sub>2</sub> 배출계수인 소각 폐기물 중 건조 함량 비율(%)과 건조한 물질 중 탄소 비율(%)을 국내 소각시설의 고유값으로 분석하였으며, 2006 IPCC 가이드라인의 Tier 2에 의한 배출량과 본 연구에서 개발한 고유 배출계수를 적용한 Tier 3를 이용하여 생활폐기물 소각시설의 온실가스 배출량을 비교분석하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 조사대상 소각시설 선정

본 연구는 경기도 파주시에 위치한 생활폐기물 소각장을 선정하였다. 본 대상시설은 일일 200톤(100톤 2기) 규모의 생활폐기물 소각시설로서 폐열보일러에 발생하는 스팀을 인근지역으로 판매함으로써 연간 약 15,000톤의 CO<sub>2</sub>를 절감하는 소각시설이다. 대상시설에 설치된 대기오염 방지시설은 산성가스(HCl, SO<sub>x</sub>)를 제거하기 위한 반건식 반응탑, 입자상 물질을 제거하기 위한 여과집진기 그리고 질소산화

물 제거를 위한 선택적 환원 촉매탑이 설치되어 있다(Ministry of Environment, 2009).

본 연구에서 배기가스 중의 CO<sub>2</sub> 농도 측정은 배출원(굴뚝)에서 150°C 이상 가열된 시료도관을 지나 제트 스트림(Jet Stream) 방식으로 시료가스 중의 수분을 이슬점 이하로 낮추어 응축수를 제거 후 시료 채취용 펌프를 통해 1 L/min로 운반하여 “대기오염 공정시험법(환경부, 2008)” 중 비분산적외선 측정방법(NDIR, Non-dispersive Infrared)을 이용하였다. NDIR은 적외선이 기준셀과 시료셀을 통과하여 검출기에 도달하는 과정에서 특정 파장이 시료중에 흡수된 후 검출되고, 그 차이로서 이산화탄소량을 측정한다. 본 연구에서 사용한 NDIR 방식의 CO<sub>2</sub> 연속측정 장비는 ULTRAMAT23(SIMENS 사, Germany)로 측정범위는 0~20 vol% CO<sub>2</sub>이다. 사용된 실측자료는 2006년부터 2009년까지 30분 간격으로 측정된 자료이다. 유량은 유속측정기(TVS05-T01-테크코리아, Korea)를 이용하였으며 측정범위는 유속 0~35 m/s, 온도 0~600°C다. 산소농도는 지르코니아식(ZR402G-YOKOGAWA, Japan)을 통하여 동시에 측정하였다.

**2. 2 배출계수 산정방법**

폐기물 소각시설의 온실가스 배출량 산정을 위해 필요한 CO<sub>2</sub>의 배출계수는 실제측정을 통해 결정하기 보다는 소각폐기물 중 탄소함량을 이용하여 배출계수를 결정하고 있다. 폐기물 소각 시 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하기 위해 필요한 배출계수는 식(1)과 같다.

$$EF_i = dm_i \cdot CF_i \cdot FCF_i \cdot OF_i \cdot 44/12 \quad (1)$$

여기서, dm<sub>i</sub>는 소각 폐기물 중 건조 함량 비율(%), CF<sub>i</sub>는 건조한 물질 중 탄소 비율(%), FCF<sub>i</sub>는 총 탄소 중 화석연료 탄소 비율(%), OF<sub>i</sub>는 산화율(%), 44/12는 탄소에 대한 CO<sub>2</sub> 변환계수이다(IPCC, 2006).

본 폐기물 소각시설의 배출계수 산정을 위하여 대상 폐기물 소각장에서 처리되는 폐기물의 구성요소, 건조물질 함량, 탄소비율 등의 고유한 자료를 조사하였다. 폐기물 성상분석을 위한 폐기물 시료는 소각전 폐기물 저장조에 반입되어진 균질화된 당일 생활폐기물을 대상으로 하였다. 폐기물을 채취하기 위해 크레인으로 시료를 충분히 교반하여 완전히 혼합시킨 후에 채취하며, 채취시간은 대표성을 가지기 위해 당일 중 폐기물이 가장 많이 체류할 때로 실시하였고

분석실험은 “폐기물공정시험법”을 준용하였다. 실험 과정은 다음과 같다.

폐기물 저장 피트 내에 크레인으로 2,000 kg 이상의 폐기물을 채취한 후 종량제 비닐봉투는 완전히 파봉하였다. 파봉된 폐기물을 삽으로 충분히 혼합하였으며, 이때 대형폐기물(현웃, 천, 이불, 나무 등)은 별도로 분리하여 시료 축분 (1/2)만큼 추가로 취한 후 최종 시료에 더해 주었다. 그리고 우선 쌓여있는 폐기물의 겉보기 밀도를 측정하였다.

겉보기 밀도 측정 시 유의사항은 용기에 쓰레기를 눌러 담는 것이 아니라 삽으로 가볍게 담은 후 지상에서 20~30 cm 위에서 2~3회 바닥으로 쳐서 겉보기 비중을 측정하였으며, 같은 방법으로 3회 측정하여 평균을 구하였다. 겉보기 밀도 측정 후 충분히 시료를 혼합 후 원추 4분법에 의하여 시료를 축분하였다. 4분법에 의한 시료의 반은 샘플링하고 나머지 반은 총량을 측정 후 10성분에 의해 각 성분을 분류하고 각 성분의 무게를 측정 후 총량에 대한 비율(%)로 나타내었다. 10성분 분석 후 나머지 샘플링한 시료는 연구실로 가져와 수분, 회분, 가연분, 발열량, 원소분석 등의 실험을 통해 결과 값을 산출하였다.

수분은 폐기물의 소각에 상당부분 영향을 미치게 된다. 폐기물에 함유된 수분이 건조증발되어 고품질 표면의 수막이 없어져야 표면온도가 상승하여 가연분에 대한 연소반응을 시작하게 된다. 건조물질 함량 방법은 다음과 같다. 커다란 용기를 깨끗이 세척한 후 건조된 용기의 무게를 측정하고 기록하였다. 시료를 용기에 각각 담아 그 무게를 측정 후 건조기를 이용하여 90±5°C로 항량이 될 때까지 약 3~5일을 건조하였으며, 건조된 시료를 테시케이터에서 방냉한 후 각각의 시료의 무게를 측정하였다. 식(2)과 (3)은 건량기준 중량의 계산식이다.

$$\begin{aligned} & \text{평균함수율(전체수분함량)}(\%) \\ & = \frac{\text{전체수분중량}}{\text{전체습윤중량}} \times 100(\%) = \frac{\sum P_{wi} \times W_i}{\sum P_{wi}} \times 100(\%) \quad (2) \end{aligned}$$

여기서 P<sub>wi</sub>는 습량기준 중량비(%)이며, W<sub>i</sub>는 수분함량(%)이다.

$$\begin{aligned} & \text{건량기준 중량}(\%) = \text{습량기준 중량}(\%) \\ & \times [(100 - \text{각 조성함수율}) / (100 - \text{평균함수율})] \quad (3) \end{aligned}$$

탄소비율의 확인은 물리적 조성(건량기준) 측정 시

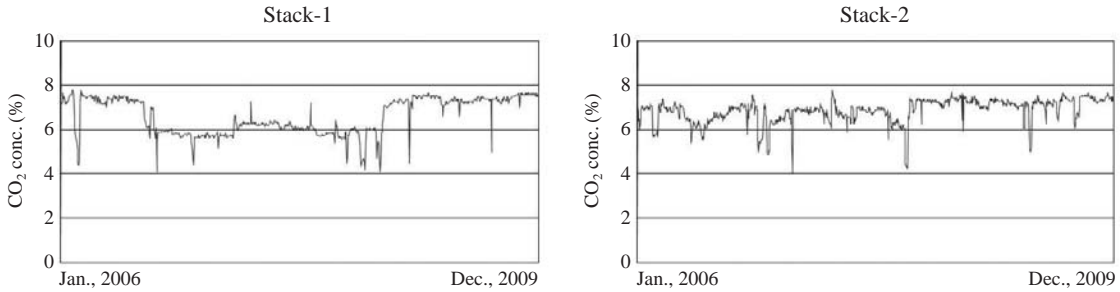


Fig. 1. Trend of CO<sub>2</sub> concentration measured in the object municipal waste incineration.

건조된 시료 중 가연성물질(6종류)을 가위 등으로 먼저 잘게 자른 후 분쇄기를 이용해 2 mm 이하로 분쇄하였다. 분쇄한 시료를 다시 건조기에 90±5°C에서 2시간 건조한 후 방냉하여 원소분석기(Model CHNS-932, 미국 LECO사)로 탄소성분을 측정하였다.

### 2.3 배출량 산정방법

이산화탄소 배출량분석은 IPCC 가이드라인(IPCC, 2006)에서 제시하고 있는 배출계수를 적용한 Tier 2a에 의한 배출량과 본 연구에서 개발한 고유 배출계수를 적용한 Tier 3 배출량을 비교하였다. 배출량 산정방법은 가이드라인에서 제시한 산정식을 적용하였으며 구체적인 배출량 산정식은 다음과 같다(Gan et al., 2006; IPCC, 2006).

2006 IPCC 가이드라인에서는 도시 고형폐기물과 소각에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량 산정의 경우에는 폐기물 성상별로 구할 수 있도록 산정식을 세분하여 제시하였다. CO<sub>2</sub> 배출량 산정방법은 연소된 폐기물 중 화석탄소 함량에 산화계수를 곱하고, 산화된 화석탄소의 양에 CO<sub>2</sub>로 변환시켜 계산한다. 활동도 자료는 소각로에 투입된 폐기물의 조성, 폐기물 양, 건조물질 함량, 총 탄소함량, 화석탄소 분율, 산화계수를 필요로 한다. CO<sub>2</sub> 배출량 산정은 식(4)와 같다(IPCC, 2006).

$$CO_2 \text{ emission (Gg/yr)} = MSW \cdot \sum_i (SW_i \cdot dm_i \cdot CF_i \cdot FCF_i \cdot OF_i) \cdot 44/12 \quad (4)$$

여기서, MSW는 소각된 도시 고형폐기물의 총량(Gg/yr)이며, SW<sub>i</sub>는 도시 고형폐기물의 유형별 비율(%)이다. 본 연구에서는 Tier 2a와 Tier 3를 비교하기 위하여 MSW와 SW<sub>i</sub>는 해당 소각 시설의 고유값을

사용하였다. 폐기물 중 건조 함량 비율(%) dm<sub>i</sub>과 건조한 물질 중 탄소비율(%) CF<sub>i</sub>은 Tier 2a에서는 IPCC 고유값을 사용하였으며, Tier 3에서는 본 연구에서 개발한 값을 적용하였다. 총 탄소 중 화석연료 탄소 비율(%) FCF<sub>i</sub>는 두 방법 모두 IPCC 가이드라인의 고유값을 사용하였다. 산화율(%) OF<sub>i</sub>는 일반적으로 공학적으로 잘 설계된 소각로의 경우는 100%에 가까운 산화율을 보이므로 본 연구에서도 100% 산화율을 적용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 실측에 의한 CO<sub>2</sub> 배출농도 및 배출량

CO<sub>2</sub> 농도 실측은 2006년부터 2009년까지 대상 폐기물 소각시설의 2개의 연돌에서 매일 30분 간격으로 CO<sub>2</sub> 평균농도와 평균유량을 측정하였다. 일반적으로 생활폐기물 소각시설의 CO<sub>2</sub> 배출농도는 소각조건의 변화가 거의 없이 일정하므로 실측농도의 변화가 거의 없이 일정한 농도범위를 가지는 것으로 확인할 수 있었다. 그림 1은 소각장 1, 2호기 연돌에서 배출되는 CO<sub>2</sub> 실측농도를 1일 평균 자료를 나타내었다. 그림에서 일반적인 경향에서 벗어나는 자료는 소각로의 정비 등 가동이 중지되었다가 다시 재가동 시기에 일시적으로 불규칙한 농도가 나타나는 것으로 조사되었다. 그림 2는 1, 2호기 연돌에서 측정된 CO<sub>2</sub> 실측농도와 배출유량을 나타낸 것으로 1호기에 비해 2호기의 운전 시 안정적으로 소각이 이루어졌으며 배출 유량도 조금 큰 것으로 조사되었다.

대상 생활폐기물 소각장의 시설은 1, 2호기로 측정 기간 동안의 각각의 연돌에서 배출되는 CO<sub>2</sub> 농도는

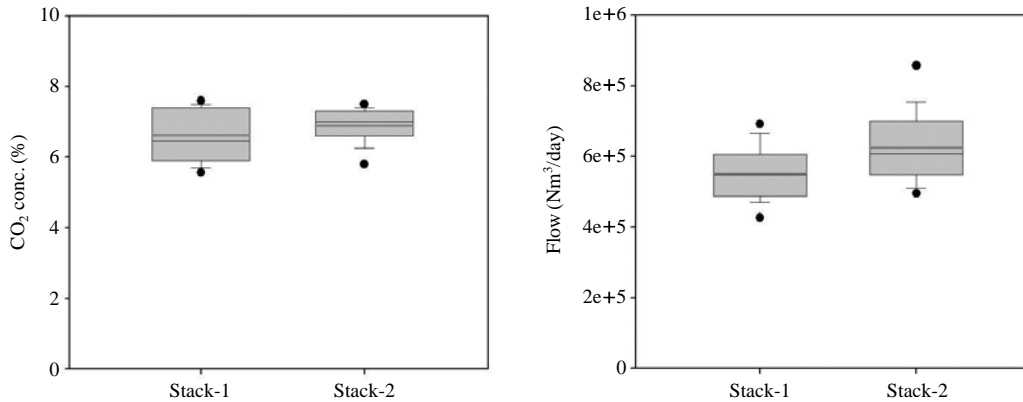


Fig. 2. CO<sub>2</sub> emission concentration and flow.

Table 1. Actual emissions concentration and flow rate by each stack in the field.

	Stack	Year			
		2006	2007	2008	2009
CO <sub>2</sub> concentration (%)	1	7.3	7.1	5.9	6.9
	2	6.6	6.7	7.2	7.2
Flow (m <sup>3</sup> /hr)	1	142	11,740	19,269	17,975
	2	25,005	20,314	16,634	16,658
Operating time (hr/year)	1	5	3,866	7,288	7,109
	2	7,259	6,203	6,184	6,389
Emission (ton/year)	1	178	14,343	19,562	21,341
	2	28,237	23,419	20,608	20,638
Total emission (ton/year)		28,415	37,762	40,170	41,979

5.9~7.3% (표준상태)로 일정한 농도범위를 보였다. 연도별 CO<sub>2</sub> 배출량의 차이는 처리폐기물 소각량에 따른 배출유량의 변화로 차이를 보였다. 본 연구의 실측에 의한 연도별 평균 CO<sub>2</sub> 배출농도(%)와 배출 가스량은 표 1과 같다.

### 3.2 생활폐기물의 건조함량 비율 및 탄소비율

국가 온실가스 배출량의 정확하고 신뢰성 있는 산정이 가능하기 위해서는 단위 소각장별 특성을 반영한 배출계수 및 활동자료의 적용이 필요하다. 소각시설별 세부적이고 구체적인 배출계수를 적용하면 IPCC 가이드라인에서 권고하고 있는 Tier 3 수준의 정확한 배출량 산정이 가능하게 된다. 본 연구에서는 폐기물 소각장의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정에 필요한 폐기물의 조성, 건조물질 함량, 탄소비율을 분석하였다.

본 연구의 대상 생활폐기물 소각장에서 처리되는 폐기물 조성비율과 2006년 IPCC 가이드라인의 아시아 지역별 생활폐기물 조성비율에 대한 자료는 그림 3과 표 2와 같다. 본 자료는 습윤 폐기물 중량에 근거한 자료이다. 본 연구대상 소각장에서 처리되는 생활폐기물의 조성비율은 종이와 2006년 38.4%, 2007년 40.9%, 2008년 40.5%, 2009년 40.3%로 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 다음으로 플라스틱이 2006년 37.8%, 2007년 36.8%, 2008년 38.0%, 2009년 37.7%로 높았다. 2006년부터 2009년까지 본 소각장에서 처리되는 생활폐기물의 조성비율은 크게 변하지 않을 것을 알 수 있다. 아시아지역의 생활폐기물 조성비율과 비교해 보면 음식쓰레기비율이 26.2~43.5%로 높은 것에 반해 본 연구대상 소각장에서 처리되는 음식쓰레기의 조성비율은 2006년 3.6%,

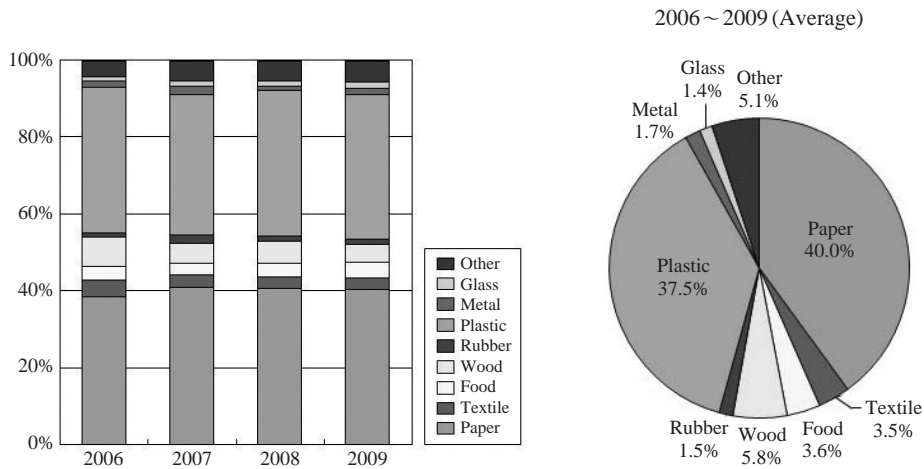


Fig. 3. MSW composition data by percent (%) in this study incinerator (2006~2009).

Table 2. MSW composition data by percent (%) in this study incinerator and Asia regional defaults.

Waste composition	This study				IPCC guideline (2006)* (Vishwanathan and Trakler 2003a, b; Hoornweg, 1999)			
	2006	2007	2008	2009	Eastern Asia	South-Central Asia	South-Eastern Asia	Western Asia & Middle East
Paper	38.4	40.9	40.5	40.3	18.8	11.3	12.9	18.0
Textile	4.1	3.0	3.1	3.1	3.5	2.5	2.7	2.9
Food	3.6	2.9	3.6	4.1	26.3	40.3	43.5	41.1
Wood	7.9	5.8	5.8	4.5	3.4	7.9	9.9	9.8
Rubber	1.2	2.0	1.2	1.6	1.0	0.8	0.9	0.6
Plastic	37.8	36.8	38.0	37.7	14.3	6.4	7.2	6.3
Metal	1.6	2.1	1.3	1.6	2.7	3.8	3.3	1.3
Glass	1.1	1.4	1.5	1.5	3.1	3.5	4.0	2.2
Other	4.3	5.1	5.0	5.6	7.4	21.9	16.3	5.4

\* Source: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. VOL5-2, Ch 2

2007년 2.9%, 2008년 3.6%, 2009년 4.1%로 낮은 비율을 보였다. 이는 국내 음식물쓰레기는 대부분 재활용되어 생활폐기물 소각장에서 처리되는 비율이 매우 낮은 것으로 알 수 있다.

일반적으로 폐기물의 수분함량이 높으므로 폐기물의 건조함량을 결정하는 것이 중요하다. 소각처리 생활폐기물 중 음식, 종이, 목재, 섬유는 대부분의 생물계로 분해 가능한 유기탄소(Degradable organic carbon: DOC)를 포함하며, 섬유, 플라스틱, 고무 폐기물은 비생물계로 대부분 생활폐기물 중 화석연료에 의한 탄소를 포함한다. 생활폐기물의 총 탄소함량은 비생물계와 생물계의 모두 합한 것이다. 소각에 의한

CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하기 위해서는 소각폐기물의 화석연료와 연관된 비생물계 탄소함량과 생물계 탄소함량을 구분할 필요가 있다. 본 연구 대상시설에서 분석된 건조 함량비(%)와 건조폐기물 중 총 탄소비율(%)은 표 3과 그림 4와 같다.

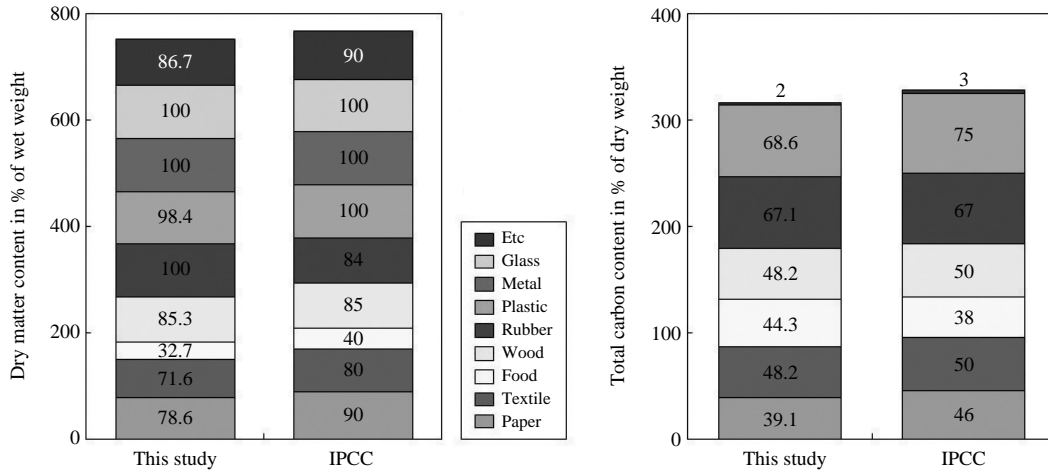
본 연구결과에서 건조함량비는 고무, 금속, 유리가 각각 100%, 종이 78.6%, 섬유 71.6%, 나무 85.3%, 플라스틱 98.4%를 보였으며, 음식물이 32.7%로 가장 낮았다. 2006 IPCC 가이드라인의 종이와 음식물 건조함량비는 각각 90%, 40%로 본 연구결과에 비해 비교적 높은 값을 보였다. 본 연구의 건조 폐기물의 총 탄소함량은 플라스틱과 고무가 각각 68.6%와 67.1%로



**Table 3. Dry matter contents, total carbon content and fossil carbon fraction of different MSW components.**

Waste composition	This study		IPCC guideline (2006)*	
	Dry matter content in % of wet weight	Total carbon content in % of dry weight	Dry matter content in % of wet weight	Total carbon content in % of dry weight
Paper	78.6	39.1	90	46
Textile	71.6	48.2	80	50
Food	32.7	44.3	40	38
Wood	85.3	48.2	85	50
Rubber	100.0	67.1	84	67
Plastic	98.4	68.6	100	75
Metal	100.0	-	100	NA
Glass	100.0	-	100	NA
Etc	86.7	2	90	3

\* Source: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. VOL5-2, Ch 2



**Fig. 4. Comparison of waste composition for this study and 2006 IPCC G/L.**

큰 값을 보였다. 나무와 섬유 48.2%, 음식물 44.3%, 종이 39.1%로 조사되었다. 2006 IPCC 가이드라인과 비교하였을 때 고무(67%)는 유사한 값을 보였으나 플라스틱(75%)은 다소 낮은 탄소함량을 보였다.

### 3.3 온실가스 배출량 비교

본 연구에서는 도시폐기물 소각장의 CO<sub>2</sub> 배출량을 분석하기 IPCC 가이드라인에서 제공하는 배출계수를 적용하여 산정한 온실가스 배출량(Tier 2a)과 본 대상시설에서 측정된 배출계수를 적용하여 산정한 배출량(Tier 3)을 비교분석하였다.

표 4는 2006 IPCC 산정지침에 따른 도시폐기물 소각부문의 Tier 2a와 Tier 3 방법의 배출량을 나타낸

것이다. Tier 2a와 Tier 3 방법의 각각의 배출계수는 표 3의 2006 IPCC 가이드라인에서 제시한 건조물질 함량과 탄소비율 기본값과 시설 고유값(plant-specific)을 적용하였고, 각 성상별 총 탄소량 중 화석탄소 비율은 2006 IPCC 가이드라인의 기본값인 종이 1%, 섬유 20%, 음식물과 목재는 0%, 고무 20%, 플라스틱은 100%를 이용하였다(IPCC, 2006). 산화계수는 100%로 적용하여 폐기물 조성별로 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하였다.

대상폐기물 소각장의 폐기물 소각량은 2006년 25,461 ton, 2007년 32,282 ton, 2008년 36,492 ton, 2009년 36,078 ton으로 점차 증가하는 추세를 보였다. 대상 폐기물 소각장의 Tier 2a 방법에 CO<sub>2</sub> 배출량

**Table 4. Theoretical CO<sub>2</sub> emissions (ton/year) of IPCC calculated activity data in the field by Tier 2a and Tier 3.**

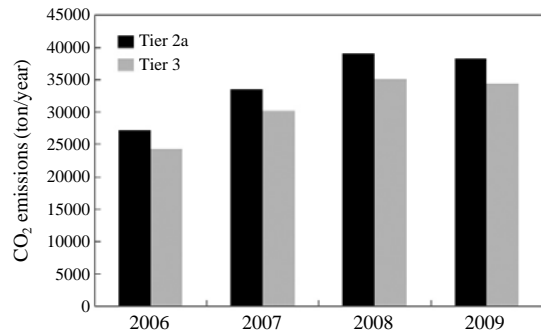
Waste composition	Tier 2a				Tier 3			
	2006	2007	2008	2009	2006	2007	2008	2009
Paper	148	200	224	221	110	149	167	164
Textile	306	284	332	328	264	245	286	283
Food	-	-	-	-	-	-	-	-
Wood	-	-	-	-	-	-	-	-
Rubber	126	266	181	238	150	318	215	284
Plastic	26,467	32,669	38,134	37,404	23,821	29,403	34,322	33,665
Metal	-	-	-	-	-	-	-	-
Glass	-	-	-	-	-	-	-	-
Etc	108	163	181	200	70	105	116	128
Total	27,156	33,583	39,052	38,391	24,415	30,220	35,106	34,524

**Table 5. Comparison of CO<sub>2</sub> emissions by theoretical estimation from 2006 IPCC guideline Tier 2a and Tier 3.**

Method		2006	2007	2008	2009
Tier 2a	CO <sub>2</sub> emission (ton/year)	27,156	33,583	39,052	38,391
	CO <sub>2</sub> emission/MSW generation (ton-CO <sub>2</sub> /ton-waste)	1.07	1.04	1.07	1.06
Tier 3	CO <sub>2</sub> emission (ton/year)	24,415	30,220	35,106	34,524
	CO <sub>2</sub> emission/MSW generation (ton-CO <sub>2</sub> /ton-waste)	0.96	0.94	0.96	0.96

은 2006년 27,156 ton/y, 2007년 33,583 ton/y, 2008년 39,052 ton/y, 2009년 38,391 ton/y을 기록하였으며, Tier 3 방법에 CO<sub>2</sub> 배출량은 2006년 24,415 ton/y, 2007년 30,220 ton/y, 2008년 35,106 ton/y, 2009년 34,524 ton/y로 분석되었다. 2006 IPCC 가이드라인의 기본값을 사용한 Tier 2a 방법이 시설 고유값을 사용한 Tier 3 방법보다 큰 값으로 산정되었다. 2006 IPCC 가이드라인의 기본값과 비교하여 건조물질 함량과 탄소함량과의 차이가 큰 종이부문의 CO<sub>2</sub> 배출량이 34.8%로 큰 차이를 보였다.

대상 폐기물 소각장의 Tier 2a 및 Tier 3 방법에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량을 쓰레기 처리량으로 나누어준 원단위를 비교하여 표 5와 그림 5에 제시하였다. Tier 2a 방법에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 27,156~38,391 ton/y 범위를 보였으며, Tier 3 방법에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 24,415~34,524 ton/y 범위를 나타내었다. 2006 IPCC Tier 2a에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 평균 34,545 ton/y, 평균 원단위는 1.06 ton/폐기물처리량(톤)이며 Tier 3에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 평균 31,066 ton/y, 평균 원단위는 0.95 ton/폐기물처리량(톤)으로 Tier 2a가 Tier 3보다

**Fig. 5. Comparison of CO<sub>2</sub> emissions for measured concentration and IPCC methodology.**

11.2% 과대평가되는 결과를 얻었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 국내 도시폐기물 특성을 반영한 생활폐기물 소각시설의 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하기 위하여



소각 폐기물 중 건조 함량 비율(%)과 건조한 물질 중 탄소 비율(%)를 분석하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 생활폐기물 소각장의 CO<sub>2</sub> 배출량을 2006 IPCC 가이드라인 방법을 적용하여 배출계수를 IPCC 가이드라인에서 제공하는 기본값을 이용한 Tier 2a 방법과 시설 고유값을 이용하는 Tier 3 방법을 적용하여 비교분석하였다. 시설고유 배출계수를 얻기 위하여 소각장에 반입되는 폐기물의 조성비율(%), 건조물질 함량, 탄소비율, 산화계수 등의 고유한 자료를 분석하여 적용하였다. 본 연구결과 Tier 2a 방법에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량은 평균 34,545 ton/y, 생활폐기물 소각 시설의 CO<sub>2</sub> 배출계수를 개발하고 온실가스 배출특성 Tier 3 방법에 배출량은 평균 31,066 ton/y로 Tier 2a 가 Tier 3보다 11.2% 과대평가되는 결과를 얻었다. 따라서, 우리나라 생활폐기물 소각장에서 발생하는 CO<sub>2</sub> 배출량의 보다 정확한 통계를 확보하기 위해서는 IPCC 산정지침에서 제공하는 기본값이 아닌 국내 도시폐기물 특성을 반영한 국가고유 배출계수의 개발이 필요하다. 본 연구는 단일 도시폐기물 소각시설의 폐기물 특성값을 활용한 결과로서 추후 국가고유배출계수의 개발을 위하여 다양한 소각시설에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

Dalton, M., B. O'Neill, A. Prskawetz, L. Jiang, and J. Pitkin (2008) Population aging and future carbon emission in the United States, *Energy Economics*, 30, 642-675.

Gan, S.Y., Y.J. Han, M.C. Ahn, and J.H. Jung (2006) Estimation of Greenhouse Gas Emission from Waste Incinerators, *Proceeding of 43rd Meeting of KOSAE*, 591-592.

Hoornweg, D.T.L. (1999) *What A Waste: Solid Waste Management in Asia*, The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank, p. 42.

IPCC (2006) *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Vol. 5)*.

IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*.

Jang, Y.G., D.Y. Kim, G. Kim, H.J. Kim, and J. Kim (2007) Analysis of Change of CO<sub>2</sub> Emission factor and Emissions from Waste Incineration (2004), The

2007 Environmental Societies Joint Conference, 1668-1670.

Jeon, E.C., S.J. Myeong, J.H. Jeong, S.H. Lee, J.W. Sa, G.H. Roh, K.H. Kim, and W.S. Bae (2007) Development of emission factors for greenhouse gas (CO<sub>2</sub>) from anthracite fired power plant in Korea, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 23(4), 440-448. (in Korean with English abstract)

Korea Environment Corporation (2008) *Development of Estimation Method on Greenhouse Gas Emission Status from Environment (I)*.

Kim, H.R., B.B. Jin, W.W. Yoon, Y.S. Kwon, M.Y. Lee, Y.B. Yoon, and W.G. Shin (2007) Estimation of emission and development of emission factor on greenhouse gas (CO<sub>2</sub>) of the combustion facilities, *Environment Management Corporation*, 16(4), 277-283.

Korea Environment Corporation (2006) *An Establishment of Data Base of CO<sub>2</sub> Emission status from Environment*.

Kheshgi, H.S., S.J. Smith, and J.A. Edmonds (2005) Emissions and atmospheric CO<sub>2</sub> stabilization: long-term limits and paths, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 10(2), 213-220.

Lim, J.G. (2007) *Third National Communication of the Republic of Korea Under the United Nations Framework Convention on Climate Change*, Korea Energy Economics Institute, 5 (83pp.)

Ministry of Environment (2009) *The Operaton Status of MSW Incinerators (2006~2009)*.

Song, H.D., J.H. Hong, Y.S. Um, S.B. Lee, D.G. Kim, and J.S. Kim (2007) A study on the estimation of emission factors for greenhouse gas (CO<sub>2</sub>) in cement industry, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 23(2), 158-168. (in Korean with English abstract)

Um, Y.S., J.H. Hng, J.S. Kim, D.G. Kim, S.B. Lee, H.D. Song, and S.H. Lee (2007) An estimation of plant specific emission factors for CO<sub>2</sub> in iron and steel industry, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 23(1), 50-63. (in Korean with English abstract)

Vishwanathan, C. and J. Trakler (2003a) *Municipal solid waste management in Asia*, ARPPET Report, Asian Institute of Technology.

Vishwanathan, C. and J. Trakler (2003b) *Municipal solid waste management in Asia: A comparative analysis*. In *Proc. of the workshop on Sustainable landfill management*, 3~5 Dec. 2003, Anna University, p. 5, 40.