



온실가스 배출량 산정지침 변경에 따른 폐기물 소각 부문의 배출량 변화 요인 분석

강성민* · 노준영** · 조창상* · 이화수*** · 전의찬****†

*세종대학교 기후변화센터 연구교수, **세종대학교 기후변화협동과정 석사과정학생,
동일과학대학교 신소재응용화학학과 교수, *세종대학교 환경에너지공간융합학과 교수

Analysis of Factors for Emission Change in the Waste Incineration Sector caused by Change of Guidance in the Greenhouse Gas Emissions Estimate Method

Kang, Seongmin*, Roh, Jonnyoung**, Cho, Changsang*, Lee, Hwa Soo*** and Jeon, Eui-Chan****†

*Research Professor, Climate Research Center, Sejong University

**Master Student, Cooperate Course for Climate Change, Sejong University

***Professor, Department of Advanced Materials and Applied Chemistry, Dong-Eui Institute of Technology

****Professor, Department of Environment Energy and Geoinformation, Sejong University, Sejong University

ABSTRACT

Due to adoption of the “Paris Agreement” in 2015, we must prepare for “Global stock-taking” assessment. To do so, it is necessary to improve the credibility of the GHG inventory and to identify and manage the emission characteristics of each major GHG emission source.

Korea estimates GHG emissions using the methodology of the Korean MRV G/L (based on IPCC GPG 2000). The methodology of the IPCC GPG 2000 is not as supported as that of the IPCC 2006 G/L.

Therefore, to improve the credibility of GHG inventory, IPCC 2006 G/L must be applied. The UNFCCC has specified that MRV work should be implemented based on the 2006 IPCC G/L scheme from 2015 to strengthen the reporting and evaluation systems for implementation of reductions among countries.

This study analyzed the applicability of the 2006 IPCC emission estimating method in the waste incineration sector and the factors affecting the emission. The study focused on the Gyeonggi do sector, which treats the largest amount of waste in Korea.

The GHG emission of the 2006 IPCC G/L-based method was estimated to be 405 tCO₂eq lower than the Korean MRV G/L-based GHG emission. This difference is because the Korean MRV G/L estimates GHG emissions based on total amount of waste incinerated, while the 2006 IPCC G/L estimates the emissions based on the specific characteristics of each waste type.

Key words: Post-2020 system, Global stock-taking, GHG inventory, GHG estimate method, Waste incinerator

1. 연구의 배경 및 목적

2015년 제 21차 기후변화당사국총회 (COP)에서 ‘신기후 체제’에 대한 파리협정이 채택되었으며, 파리협정은 2016년 11월 4일부터 국제법으로 효력이 발효되었다. 2020년 이후 출범될 신기후체제에서는 기후변화협약에 가입한 195개 당사국이 모두 자발적으로 온실가스를 감축해야 한다. ‘신기후 체제’에서는 2023년부터 5년 단위로 국제이행점검 (Global

stocktaking)이 진행될 예정이며, 국가온실가스인벤토리와 온실가스 감축 목표 달성 경과 등을 의무적으로 보고해야 한다 (UNFCCC, 2015). 앞으로 진행될 국제이행점검에 대비하기 위해서는 온실가스 인벤토리의 신뢰성을 향상시켜야 한다. 또한, 주요 온실가스 배출원별 배출 특성 파악과 배출량을 관리하는 것이 중요하다.

우리나라 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량은 2016년 기준, 7.1 백만톤 CO₂eq로 전체 폐기물 분야 온실가스 배출

† **Corresponding author:** ecjeon@sejong.ac.kr (98 Gunja-dong Gwangjin-gu, Seoul, 143-747 Korea. Tel. +82-2-3408-4353)

Received December 24, 2018 / Revised January 16, 2019 1st, January 28, 2019 2nd / Accepted February 7, 2019

량 16.5 백만톤CO₂eq 중 약 43%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다 (GIR, 2018). 폐기물 소각 부문은 폐기물 분야 주요 온실가스 배출원이다. 따라서, 앞으로 진행될 신기후체제의 국제이행점검 대비를 위해서는 온실가스의 인벤토리 신뢰도 향상과 온실가스 배출량을 관리하는 것이 중요하다.

우리나라의 폐기물 소각 부문 온실가스 배출량은 ‘국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침’ (이하 ‘Korean MRV’)을 이용하여 산정하고 있다. Korean MRV 지침에서는 IPCC GPG 2000의 방법론으로 산정하고 있다. IPCC GPG 2000의 방법론은 2006 IPCC G/L의 방법론과 비교하여 정교성 수준이 낮은 것으로 알려져 있다 (Lee DG, 2013). 따라서, 온실가스 인벤토리의 신뢰도를 향상하기 위해서는 2006 IPCC G/L을 적용할 필요가 있다.

우리나라는 2023년도부터 2006 IPCC G/L 방법론에 따른 국가 온실가스 인벤토리 구축을 목표로 하고 있다 (Korea energy agency, 2017). 본 연구는 폐기물 소각 부문을 대상으로 현재 국가 온실가스 배출량 산정에 적용되는 활동자료를

대상으로 현행 Korea MRV 지침의 배출량 산정 방법과 앞으로 적용이 필요한 2006 IPCC G/L의 온실가스 배출량 산정 방법론을 적용하여 배출량을 비교하였다 또한, 2006 IPCC G/L의 온실가스 배출량 산정 방법론을 대상으로 국내 적용 시 고려해야 할 사항과 국내 적용에 따른 배출량 변화요인들을 분석하였다.

2. 국외 온실가스 배출량 산정방법 적용 현황

UNFCCC에서는 국가 간의 감축 이행에 대한 보고·평가 체계를 강화하기 위해 온실가스 산정·보고·검증 지침과 제3자 검증을 강화하는 내용을 제17차 당사국총회에서 합의하였으며, 온실가스 MRV 작업은 2015년부터 2006 IPCC G/L 체계로 작성되도록 규정하였다 (Lee DG, 2013).

본 연구에서는 부속서 I 국가들의 온실가스 국가 인벤토리 보고서를 분석하고, 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량 산정방법을 살펴보았다. 관련 내용은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. IPCC GHG Emission estimation method application status

No.	Country	GPG 2000	2006 IPCC G/L	No.	Country	GPG 2000	2006 IPCC G/L
1	USA		O	23	Romania		O
2	UK		O	24	Slovakia		O
3	Sweden		O	25	Latvia		O
4	Japan		O	26	Malta		O
5	Austria		O	27	Liechtenstein	-	-
6	Belgium	O		28	Luxem bourg	-	-
7	Bulgaria		O	29	Estonia		O
8	Canada		O	30	Switzer land		O
9	Lithuania		O	31	Czech		O
10	Germany	-	-	32	Ukraine		O
11	Denmark		O	33	Belarus		-
12	Greece		O	34	Cyprus	-	-
13	Croatia		O	35	EU	-	-
14	Hungary		O	36	Finland	-	-
15	Iceland		O	37	France		O
16	Nether lands		O	38	Ireland		O
17	New Zealand		O	39	Italy	O	
18	Slovenia		O	40	Spain		O
19	Turkey		O	41	Monaco	-	-
20	Norway	-	-	42	Kazakh stan	O	
21	Poland		O	43	Russia		O
22	Portugal		O	Total		3	40

분석 결과, 국가 온실가스 인벤토리 보고서를 제출하고 있는 43개국 중 40개국에서 2006 IPCC G/L 방법론 기반으로 온실가스 배출량을 산정하고 있는 것으로 나타났다. 우리나라도 앞으로 진행될 국제이행점검 대응을 위해 2006 IPCC G/L 기반의 온실가스 배출량을 산정해야 할 것으로 판단된다.

3. 연구방법

3.1 연구 대상 지역 선정

본 연구에서는 우리나라에서 폐기물을 가장 많이 처리하고 있는 경기지역을 대상으로 IPCC 가이드라인별 온실가스 배출량 산정방법에 따른 폐기물 소각 부문의 변화 요인을 분석하였다.

경기 지역의 폐기물 처리량은 하루 평균 12,070 ton/day로 나타났다. 경기지역은 우리나라 전체 폐기물 처리량 중 22%로 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 나타났으며, 관련 내용을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Waste Treatment of incineration in Korea

No.	Region	Waste treatment by incineration (ton/day)	Ratio of incineration (%)
1	Seoul	9,608	17.9
2	Busan	3,352	6.2
3	Deagu	2,957	5.5
4	Incheon	2,390	4.4
5	Gwangju	1,247	2.3
6	Daejeon	1,629	3
7	Ulsan	1,591	3
8	Sejong	177	0.3
9	Gyeonggi	12,070	22.4
10	Gangwon	2,179	4.1
11	Chungbuk	2,114	3.9
12	Chungnam	2,502	4.7
13	Jeonbuk	1,848	3.4
14	Jeonnam	1,967	3.7
15	Gyeongbuk	2,885	5.4
16	Gyeongnam	3,951	7.3
17	Jeju	1,305	2.4

3.2 IPCC G/L별 온실가스 배출량 산정방법

3.2.1 Korean MRV G/L의 폐기물 소각 부문 온실가스 배출량 산정방법

우리나라에서는 매년 온실가스종합정보센터에서 국가 온실가스 인벤토리 보고서를 작성하고 있으며, 온실가스 배출량은 ‘국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침’ (이하 ‘Korean MRV’)을 기반으로 산정하고 있다. 국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침에서는 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량은 IPCC GPG 2000의 방법론을 사용하고 있으며, CO₂ 배출량 산정식은 식 (1), 식 (2)와 같다.

현재 국가 온실가스 인벤토리 보고서에서는 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량 산정 시 한국환경공단에서 매년 제공하는 “전국 폐기물 발생 및 처리 현황”의 폐기물 소각량을 활동자료로 사용하고 있다. 따라서, 본 연구에서도 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량 산정 시 국가 온실가스 인벤토리 보고서에서 적용하고 있는 “전국 폐기물 발생 및 처리 현황” 자료에서 폐기물 소각량을 이용하여 2010년 ~ 2016년의 온실가스 배출량을 산정하였다.

$$CO_2\text{Emission} = \sum [EF \times A \times 10^{-3}] \quad (1)$$

여기서,

CO₂ Emission: 폐기물 종류별 소각에 따른 CO₂ 배출량 (천톤 CO₂eq/yr)

EF: 폐기물 종류별 CO₂ 배출계수 (천톤 CO₂eq/ 천톤 waste)

활동자료 (A): 폐기물 종류별 소각량 (톤 waste/yr)

$$CO_2EF = \sum (CCW_i \times FCF_i \times EC_i) \times 44/12 \quad (2)$$

여기서,

CCW_i: 폐기물 종류별 탄소함량

FCF_i: 폐기물 종류별 화석탄소 함량

EC_i: 폐기물 종류별 소각효율

국가 온실가스 통계 산정·보고·검증 지침에서는 폐기물 소각 부문의 Non-CO₂ 배출량 산정 시 IPCC GPG 2000에 기반하여 N₂O 배출량만을 산정하고 있으며, 산정식은 식 (3)과 같다. 본 연구에서는 폐기물 소각 부문의 N₂O 국가배출계수를 사용하여 Korean MRV 에 따라 N₂O 배출량을 산정하였다.

$$N_2O \text{ Emission} = A_i \times EF_i \times 10^{-9} \quad (3)$$

여기서,

$N_2O \text{ Emission}$: 폐기물 종류별 소각에 따른 N_2O 배출량 (천톤 N_2O/yr)

EF_i : 폐기물 종류별 N_2O 배출계수 ($gN_2O/t \text{ waste}$)

A_i : 폐기물 종류별 소각량 ($t \text{ waste/yr}$)

3.2.2 2006 IPCC G/L의 온실가스 배출량 산정방법

2006 IPCC G/L에서는 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량을 산정할 때 IPCC GPG 2000에서 사용하였던 폐기물 총량에 근거한 식과 폐기물 성상 기반의 식을 모두 제시하고 있다. 하지만 2006 IPCC G/L에서는 폐기물 성상 기반으로 온실가스 배출량을 산정하는 것을 권고하고 있다. 본 연구에서는 2006 IPCC G/L에서 권고하고 있는 폐기물 성상에 기반한 산정방식으로 CO_2 배출량을 산정하였다.

우리나라는 폐기물 성상별 건조물질 함량과 탄소함량을 개발하여 국가고유 값을 제시하고 있다. 따라서, 폐기물 성상에 기반 CO_2 배출량 산정 시 국가고유 건조물질 함량과 탄소함량을 사용하였다. 화석탄소 함량은 2006 IPCC G/L에서 제시하고 있는 값을 이용하였다.

본 연구에서는 2006 IPCC G/L의 방법론에 따라 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량을 산정하기 위해 현재 국가 온실가스 인벤토리 보고서에서 적용하고 있는 활동자료인 “전국 폐기물 발생 및 처리 현황” 자료를 사용하였다. 해당 자료 중 2006 IPCC G/L의 방법론 적용을 위해 폐기물 성상별 소각량을 이용하여 2010년 ~ 2016년의 온실가스 배출량을 산정하였다.

$$CO_2 \text{ Emission} = \quad (4)$$

$$SW_i \cdot \sum (WF_{i,j} \cdot dmi_{i,j} \cdot CF_{i,j} \cdot FCF_{i,j} \cdot OF_{i,j}) \cdot 44/12$$

여기서,

SW_i : 소각되는 i 유형 고형 폐기물의 총량 (습량기준), Gg/yr

$WF_{i,j}$: 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성 성분 j 의 폐기물 유형/물질의 비율

$dmi_{i,j}$: 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성성분 j 의 건조물질 함량

$CF_{i,j}$: 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성성분 j 의 탄소비율 (총 탄소 함량)

$FCF_{i,j}$: 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성성분 j 의 총포탄 소량 중 화석탄소 비율

$OF_{i,j}$: 산화계수

Non- CO_2 배출량은 2006 IPCC G/L과 CH_4 , N_2O 의 국가 고유 배출계수를 적용하여 온실가스 배출량을 산정하였다.

$$Non - CO_2 \text{ Emission} = \sum (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

여기서,

IW_i : i 유형 고형폐기물의 소각되거나 노천소각된 양

EF_i : 총 CH_4 , N_2O 배출계수 ($kgCH_4/Gg$, kgN_2O/Gg)

4. 연구 결과

4.1 IPCC 가이드라인별 온실가스 배출량 산정방법의 변화 요인

우리나라에서 적용하고 있는 Korean MRV G/L 방법에서 2006 IPCC G/L 방법으로 온실가스 배출량 산정방법 변경 시 변화요인들을 Table 3에 나타내었다.

가장 중요한 변화 요인은 온실가스 배출량 산정방법의 변경이다. Korean MRV G/L의 폐기물 소각 부문 온실가스 배출량은 폐기물 종류 (생활폐기물, 사업장폐기물, 건설폐기물 등)별 소각 총량을 기준으로 산정하고 있다. 2006 IPCC G/L에서는 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량을 폐기물 종류별 세부 성상을 반영하여 산정하도록 권고하고 있어 폐기물 종류의 세부 성상별 매개변수를 추가로 반영해야한다.

또 다른 변화 요인으로는 CH_4 배출량 고려에 관한 것이 있다. Korean MRV G/L에서는 CH_4 의 온실가스 배출량이 미미하다고 판단하여 배출량을 산정하지 않지만, 2006 IPCC G/L에서는 준연속식과 회분식 소각방식을 많이 사용하고 있을 때 CH_4 배출량을 고려하는 것을 권장하고 있다. 2015 전국 폐기물 처리 및 발생 현황에 따르면, 2015년 기준으로 지방자치단체에서 운영하는 생활폐기물 소각시설 184개소 중 59개소가 준연속식과 회분식 소각을 하는 것으로 나타났으며, 사업장폐기물 소각 자가처리업체는 총 202개소 중 140개소가 준연속식과 회분식 소각을 하는 것으로 나타났다. 따라서, CH_4 배출량도 온실가스 배출량 산정 시 고려해야 할 것으로 판단된다.

마지막으로 카테고리의 따른 차이가 있다. 이 차이는 Korean MRV G/L 방법에서 폐기물 소각만으로 구분되던 것

Table 3. Change factor between 2006 IPCC G/L and Korean MRV G/L

Classification	Korean MRV G/L	2006 IPCC G/L	2006 IPCC G/L Applicability
Estimation formula	Base of waste volume	Basis of waste composition	National data available.
GHG Emission	Except of CH ₄ emission	Include of CH ₄ emission	National data available
Parameter	Waste types parameters	Waste compositions parameters	Partial country data available
Category	6.C. Waste incineration	6.C. Incineration and open burning of waste	-
		6.C.1 Waste incineration	Partial country data available
		6.C.2. Open burning of waste	National data inapplicability

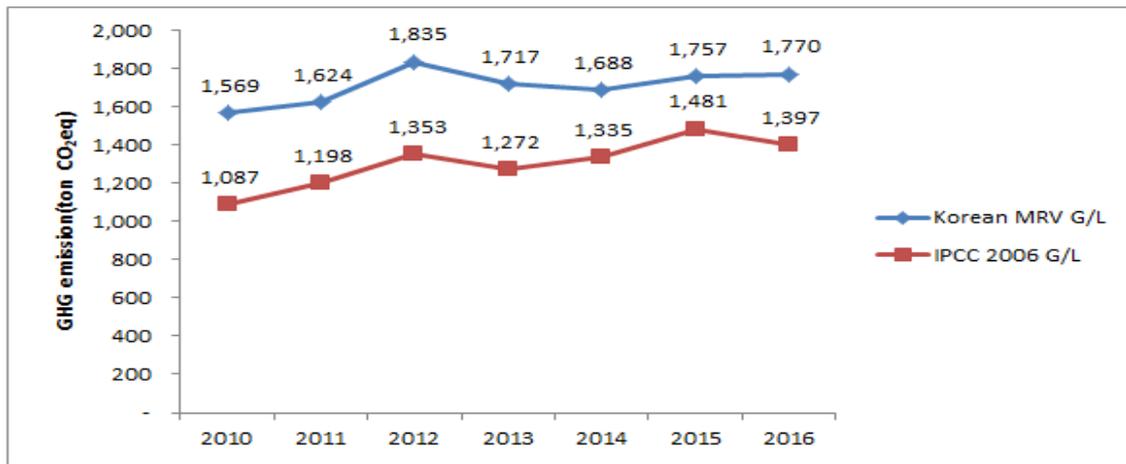


Fig. 1. GHG Emissions difference by application 2006 IPCC G/L and Korean MRV G/L method.

이 2006 IPCC G/L방법으로 변경시 카테고리 폐기물 소각 및 노천소각으로 구분되도록 변경되었다. 우리나라에서는 생활폐기물, 사업장폐기물 등의 노천소각과 관련된 기초 활동 자료가 부족하며, 해당 폐기물의 노천소각은 불법으로 규정하고 있다. 이 차이는 온실가스 배출량 산정 시 폐기물 분야에서는 노천소각을 고려하지 못하기 때문에 큰 영향을 지지 않을 것으로 판단된다.

4.2 IPCC 가이드라인별 온실가스 배출량 변화

본 연구에서는 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량 산정 시 의료폐기물과 지정폐기물은 현재 지역별로 관련 자료를 제공하고 있지 않기 때문에 산정하지 못하였다. 따라서 대상 온실가스 배출량은 생활폐기물 소각 부문, 사업장폐기물 소각 부문, 건설폐기물 소각 부문으로 지정하여 산정하였다.

Korean MRV G/L과 2006 IPCC G/L 기반으로 경기지역의 폐기물 소각 부문 온실가스 배출량을 각각 산정한 결과, 2006 IPCC G/L 기반 온실가스 배출량이 Korean MRV G/L 기반의 배출량 보다 낮게 나타났다. 온실가스 배출량 차이는 2015년

에 최소 16% (276 GgCO₂eq)에서 2010년에 최대 31% (482 GgCO₂eq)의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 Korean MRV G/L에서는 폐기물 소각 총량 기반으로 온실가스 배출량을 산정하는 반면, 2006 IPCC G/L로 변경 시 폐기물 종류별 세부 성상의 소각량 기반으로 배출량을 산정하게 되면서 세부 성상별 계수들이 각각 다르게 적용되기 때문으로 판단된다.

배출량 차이의 원인을 알아보기 위해 폐기물 종류별 세부 성상과 적용 계수에 따른 변화 요인을 추가로 분석하였다.

4.2.1 폐기물 성상에 따른 배출량 변화요인

폐기물 소각 부문의 배출량 산정방법이 폐기물 종류별 총 소각량 기준에서 폐기물 종류에 따른 성상 소각량 기준으로 변경되면서, 화석탄소 함량이 0%인 폐기물과 불연물에 해당하는 유리, 금속 등은 배출량 산정에서 제외된다. 따라서, 이렇게 제외되는 요인들이 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량 산정 시 전체 배출량에 영향을 미치는 것으로 조사 되었다. 생활폐기물에서는 나무, 음식물, 유리, 금속이 제외된다.

제외되는 폐기물은 Table 4 에서 보는 바와 같이 나무 13.58%, 음식물 7.31%, 유리 0.53%, 금속 0.59%로 전체 생활 폐기물에서 약 22% 가량 차지하는 것으로 나타났다.

사업장폐기물에서는 동식물성 잔재물, 식용유, 목재가 제외되며, 제외되는 사업장폐기물은 Table 5에서 보는 바와 같이 동식물성 잔재물 2.36%, 식용유 0.001%, 나무 2.3%로 전체 사업장폐기물에서 약 5% 가량 차지하는 것으로 나타났다.

건설폐기물은 목재가 제외되며 제외되는 건설폐기물은 전체 건설폐기물에서 약 10% 가량 차지하는 것으로 나타났다. 관련 내용은 Table 6에 나타내었다.

4.2.2 탄소함량에 따른 배출량 변화요인

탄소함량에 따른 배출량 변화 요인을 분석하기 위하여 식 (6)과 같이 성상별 온실가스 배출량 산정 시 적용되는 탄소함량을 총 탄소함량으로 재산정하여 Korean MRV G/L 적용 탄소함량과 비교하였다. 탄소함량의 차이 비교는 Table 7에 나타내었다.

$$CF_i = \frac{SW_i \cdot \sum (WF_{i,j} \cdot dm_{i,j} \cdot FCF_{i,j} \cdot OF_{i,j}) \cdot 44/12}{Total\ CO_2\ emission} \quad (6)$$

여기서,

CF_i : 소각되는 i 유형 고형폐기물의 총 탄소 비율

SW_i : 소각되는 i 유형 고형 폐기물의 총량 (습량기준), ton/yr

WF_{i,j} : 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성 성분 j의 폐기물 유형/물질의 비율

Table 4. Composition ratio of Municipal solid waste composition

Municipal solid waste composition	Composition ratio(%)
Paper	47.46
Rubber/leather	9.26
Plastic	24.71
Wood	13.58
Food	7.31
Glass	0.53
Metal	0.59
Other	2.63
Total GHG emission excepted waste ratio	22.01

dm_{i,j} : 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성성분 j의 건조 물질 함량

FCF_{i,j}: 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성성분 j의 총 탄소량 중 화석탄소 비율

OF_{i,j} : 산화계수

현재 적용되고 있는 (Korean MRV G/L) 생활폐기물 소각 부문의 탄소함량은 IPCC GPG 2000에 제시된 기본값 40%이다. 성상 기반의 온실가스 배출량 산정 (2006 IPCC G/L) 시 성상별 국가고유 탄소함량을 적용할 수 있으며, 이를 총 탄소함량으로 환산하였을 때 약 69%가 적용되는 것으로 분석되었다. 생활폐기물 소각에 적용되는 탄소함량은 국가 고유 배출계수를 사용할 때 더 높은 값이 적용되는 것으로 분

Table 5. Composition ratio of Industrial waste

Industrial waste	Composition ratio(%)
Paper	0.60
Fabric	2.69
Synthetic resine	71.69
Synthetic rubber	0.87
Leather	0.06
Wastewater sludge	4.94
Process sludge	1.50
Purification sludge	0.06
Animal and Plant Residues	2.36
Cooking oil	0.001
Wood	2.30
Other	12.93
Total GHG emission excepted waste ratio	4.7

Table 6. Composition ratio of Construction waste

Construction waste	Composition ratio(%)
Wood	10.10
Synthetic resine	82.48
Fabric	6.33
Wallpaper	0.04
Board	0.001
Panel	0.05
Other	1.00
Total GHG emission excepted waste ratio	10.10

석되었다.

사업장폐기물 소각은 Korean MRV G/L에서 적용되고 있는 탄소함량 50%와 성상별 국가고유 탄소함량을 총 탄소함량으로 환산한 값 44%와 비교하였을 때, Korean MRV G/L에서 적용되고 있는 탄소함량보다 낮은 값이 적용되는 것으로 분석되었다.

건설폐기물 소각은 Korean MRV G/L에서 적용되고 있는 탄소함량 50%와 성상별 국가고유 탄소함량을 총 탄소함량으로 환산한 값 67%와 비교하였을 때, Korean MRV G/L에서 적용되고 있는 탄소함량보다 높은 값이 적용되는 것으로 분석되었다.

Korean MRV G/L에서 적용되는 탄소함량과 2006 IPCC G/L로 변경시 적용되는 탄소함량의 차이를 비교한 결과, 생활폐기물 소각과 건설폐기물 소각은 Korean MRV G/L에서 적용하는 탄소함량보다 높은 탄소함량을 적용하며, 사업장폐기물 소각은 Korean MRV G/L보다 낮은 탄소함량을 적용하는 것으로 나타났다. Korean MRV G/L와 2006 IPCC G/L

의 탄소함량 차이는 생활폐기물 소각이 가장 크며, 건설폐기물 소각, 사업장폐기물 순으로 나타났다.

4.2.3 화석탄소 함량에 따른 배출량 변화요인

화석탄소 함량에 따른 배출량 변화 요인을 분석하기 위하여 식 (7)과 같이 성상별 온실가스 배출량 산정 시 적용되는 화석탄소 함량을 총 화석탄소 함량으로 재산정하여 Korean MRV G/L 적용 화석탄소 함량과 비교하였다. 화석탄소 함량의 차이 비교는 Table 8에 나타내었다.

$$FCF_i = \frac{SW_i \cdot \sum (WF_{i,j} \cdot dm_{i,j} \cdot CF_{i,j} \cdot OF_{i,j}) \cdot 44/12}{Total\ CO_2\ emission} \quad (7)$$

여기서,

FCF_i: 소각되는 i 유형 고형폐기물의 총 탄소량 중 화석탄소 비율

Table 7. Carbon contents difference between application 2006 IPCC G/L and Korean MRV G/L method

Classification	MSW carbon contents		Industrial waste carbon contents		Construction waste carbon contents	
	Korean MRV G/L	2006 IPCC G/L	Korean MRV G/L	IPCC 2006 G/L	Korean MRV G/L	2006 IPCC G/L
2010	40%	70%	50%	48%	50%	66%
2011		74%		44%		67%
2012		73%		45%		67%
2013		68%		43%		67%
2014		67%		45%		66%
2015		66%		44%		67%
2016		62%		37%		67%
Mean		40%		69%		50%

Table 8. FCF difference between application 2006 IPCC G/L and Korean MRV G/L method

Classification	MSW FCF		Industrial waste FCF		Construction waste FCF	
	Korean MRV G/L	2006 IPCC G/L	Korean MRV G/L	2006 IPCC G/L	Korean MRV G/L	2006 IPCC G/L
2010	40%	40%	90%	51%	90%	56%
2011		44%		57%		69%
2012		43%		56%		67%
2013		46%		53%		73%
2014		48%		56%		67%
2015		53%		56%		77%
2016		51%		55%		76%
Mean		40%		46%		90%

- SW_i : 소각되는 i 유형 고형 폐기물의 총량 (습량기준), ton/yr
- WF_{ij} : 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성 성분 j의 폐기물 유형/물질의 비율
- dm_{ij} : 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성성분 j의 건조 물질 함량
- CF_{ij} : 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성성분 j의 탄소 비율 (총 탄소 함량)
- OF_{ij} : 산화계수

Korean MRV G/L에서 생활폐기물 소각에 따른 온실가스 배출량 산정 시 화석탄소 함량은 40%를 적용한다. Korean MRV G/L에서 적용되는 화석탄소 함량은 2006 IPCC G/L에서 적용되는 정상별 화석탄소 함량을 총 화석탄소 함량으로 환산한 값 46%와 비교하였을 때, 더 높은 값을 적용하는 것으로 분석되었다.

사업장폐기물 소각은 Korean MRV G/L에서 적용하는 화석탄소 함량 90%와 2006 IPCC G/L에서 적용되는 정상별 화석탄소 함량을 총 화석탄소 함량으로 환산한 값 55%와 비교하였을 때 적용되는 값이 상당히 적은 것으로 분석되었다.

건설폐기물 소각은 Korean MRV G/L에서 적용하는 화석탄소 함량 90%와 2006 IPCC G/L에서 적용되는 정상별 화석탄소 함량을 총 화석탄소 함량으로 환산한 값 69%와 비교하였을 때, 적용되는 화석탄소 함량 값이 낮은 것으로 분석되었다.

화석탄소 함량 적용 값의 차이를 비교한 결과, 생활폐기물 소각은 Korean MRV G/L보다 2006 IPCC G/L에서 높은 화석탄소 함량 값을 적용하는 것으로 나타났으며, 사업장폐기물 소각과 건설폐기물 소각은 Korean MRV G/L보다 2006

IPCC G/L에서 낮은 화석탄소 함량 값을 적용하는 것으로 분석되었다. 화석탄소 함량에 따른 차이는 사업장폐기물 소각과 건설폐기물 소각의 편차가 생활폐기물 소각의 화석탄소 함량 차이보다 비교적 높은 것으로 나타났다.

4.2.4 건조물질함량에 따른 배출량 변화요인

건조물질 함량에 따른 배출량 변화 요인을 분석하기 위하여 식 (8)과 같이 정상별 온실가스 배출량 산정 시 적용되는 건조 함량을 총 건조 함량으로 재산정하였다.

$$Dm_i = \frac{SW_i \cdot \sum_j (WF_{i,j} \cdot FCF_{i,j} \cdot CF_{i,j} \cdot OF_{i,j}) \cdot 44/12}{Total\ CO_2\ emission} \quad (8)$$

여기서,

- Dm_i : 소각되는 i 유형 고형폐기물의 건조물질 함량
- SW_i : 소각되는 i 유형 고형 폐기물의 총량 (습량기준), ton/yr
- WF_{ij} : 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성 성분 j의 폐기물 유형/물질의 비율
- FCF_{ij} : 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성성분 j의 화석탄소 비율
- CF_{ij} : 소각되는 i 유형 고형폐기물의 구성성분 j의 탄소 비율 (총 탄소 함량)
- OF_{ij} : 산화계수

Table 9에서 보는 바와 같이 Korean MRV G/L에서는 생활폐기물 소각, 사업장폐기물 소각, 건설폐기물 소각 배출량 산정 시 건조물질 함량을 고려하지 않았다. 하지만, 2006 IPCC G/L로 변경될 시 정상별 건조물질 함량을 고려해야 한다.

Table 9. Dm difference between application 2006 IPCC G/L and Korean MRV G/L method

Classification	MSW Dm		Industrial waste Dm		Construction waste Dm	
	Korean MRV G/L	2006 IPCC G/L	Korean MRV G/L	2006 IPCC G/L	Korean MRV G/L	2006 IPCC G/L
2010	Not applicable	86%	Not applicable	72%	Not applicable	98%
2011		86%		69%		98%
2012		87%		70%		98%
2013		86%		68%		98%
2014		86%		70%		98%
2015		86%		69%		98%
2016		87%		64%		98%
Mean		-		86%		-

종합적으로 적용되는 건조물질 함량을 살펴보면, 생활폐기물 소각시설 배출량 산정 시 적용되는 건조물질 함량은 86%, 사업장폐기물 소각의 적용 건조물질 함량은 69%, 건설폐기물 소각의 적용 건조물질 함량은 98%로 사업장폐기물의 적용 건조물질 함량이 가장 낮게 나타났다.

즉, 사업장폐기물에서 적용되는 건조물질 함량이 2006 IPCC G/L의 방법으로 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량 산정 시 배출량이 적어지는데 영향을 미칠 수 있는 것으로 분석된다. 생활폐기물 소각의 경우에도 건조 물질 함량이 86%로 적용되면서 온실가스 배출량이 적어지는데 기여를 할 수 있는 것으로 판단된다. 건설폐기물 소각의 경우에는 적용 건조물질 함량이 98%이기 때문에 온실가스 배출량이 적어지는데 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

4.2.5 CH₄ 배출량에 따른 배출량 변화요인

폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량 산정 시 2006 IPCC G/L로 변경하게 되면, CH₄ 배출량이 추가되어야 한다. 이때 적용되는 CH₄ 배출량에 따른 온실가스 배출량 추가분은 생활폐기물의 소각 경우 약 60 tCO₂eq, 사업장폐기물 소각의 경우 160 tCO₂eq, 건설폐기물 소각의 경우 약 40 tCO₂eq로 전체 배출량에서는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구는 앞으로 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량 산정 시 적용이 필요한 2006 IPCC G/L 온실가스 배출량 산정 방법론에 적용 가능성과 적용 시 배출량 변화요인들에 대해 분석하였다.

온실가스 배출량은 생활폐기물 소각 부문, 사업장폐기물 소각 부문, 건설폐기물 소각 부문을 대상으로 산정하였다. 현재 국가배출량 산정 시 적용하고 있는 Korean MRV G/L과 성상 기반으로 온실가스 배출량을 산정하는 2006 IPCC G/L 방법을 이용하여 경기지역의 폐기물 소각 부문 온실가스 배출량을 비교하였다. 온실가스 배출량 비교결과, 2006 IPCC G/L 기반 온실가스 배출량이 Korean MRV G/L 기반의 배출량보다 평균 405 GgCO₂eq 낮게 나타났다.

이러한 차이는 기준에 우리나라에서는 Korean MRV G/L에서 폐기물 소각 총량 기반의 온실가스 배출량을 산정하다가 2006 IPCC G/L로 변경 시 폐기물 성상과 그 성상에 적용되는 계수들이 각각 다르기 때문으로 판단된다. 본 연구는 폐기물 소각분야의 특성상 여러 성상별 자료 특성들(성상별 건조물질함량, 탄소함량, 화석탄소함량)이 적용되므로 배출량 변경에 대한 정확한 이유를 파악하기 힘든 한계점을 가지고 있다. 하지만 관련하여 영향을 미칠 수 있는 요인을 분석해 보면 다음과 같다.

Korean MRV G/L에서 2006 IPCC G/L 방법으로 변경 시 배출량에 영향을 미치는 요인으로는 먼저, 배출량 산정 시 제외되는 부분이 있다. 배출량 산정 시 제외되는 부분으로는 화석탄소 함량이 0%인 폐기물과 유리, 금속 등의 불연물이 있는 것으로 조사되었다.

탄소함량 적용에도 차이가 있는 것으로 조사되었다. 생활폐기물 소각과 건설폐기물 소각에 적용되는 탄소함량은 Korean MRV G/L에서 2006 IPCC G/L 방법으로 변경 시 높은 탄소함량 값을 적용하게 되며, 사업장폐기물 소각은 Korean MRV G/L에서 2006 IPCC G/L 방법으로 변경 시 낮은 탄소함량 값을 적용하게 되는 것으로 나타났다. 화석탄소 함량의 차이는 생활폐기물 소각은 Korean MRV G/L보다

Table 10. CH₄ emission difference between application 2006 IPCC G/L and Korean MRV G/L method

Unit: GgCO₂eq

Classification	MSW CH ₄ emission		Industrial waste CH ₄ emission		Construction waste CH ₄ emission	
	Korean MRV G/L	2006 IPCC G/L	Korean MRV G/L	2006 IPCC G/L	Korean MRV G/L	2006 IPCC G/L
2010	Not applicable	0.05	Not applicable	0.15	Not applicable	0.04
2011		0.05		0.16		0.03
2012		0.06		0.18		0.03
2013		0.05		0.15		0.05
2014		0.06		0.14		0.04
2015		0.07		0.14		0.05
2016		0.05		0.17		0.03
Mean		-		0.06		-

2006 IPCC G/L 방법으로 변경 시 높은 화석탄소 함량 값을 적용하는 것으로 나타났으며, 사업장폐기물 소각과 건설폐기물 소각은 Korean MRV G/L에서 2006 IPCC G/L 방법으로 변경 시 낮은 화석탄소함량을 적용하게 되는 것으로 분석되었다. 또한, 건조물질 함량도 2006 IPCC G/L 방법으로 변경 시 추가되는 사항이기 때문에, 기존에 건조물질 함량을 적용하지 않았던 것 보다 건조물질 함량 적용 시 전체 소각량에서 수분함량이 제외되면서 소각 총량이 줄어들게 된다. 이러한 요인들이 2006 IPCC G/L의 방법론 적용에 따른 폐기물 소각 부문의 총 온실가스 배출량 산정 시 배출량이 적어지는 요인 중 하나로 판단된다.

우리나라는 기존에 2006 IPCC G/L 방법 적용에 대응하기 위해 성상별 탄소함량, 건조물질 함량, CH₄ 배출계수 등을 이미 개발한 바 있다. 폐기물 소각 부문은 현재 적용하고 있는 활동자료를 성상별 소각량 자료가 충분히 제시되어 있으므로 충분히 온실가스 배출량을 산정할 수 있는 준비가 되어 있으므로 좀 더 신뢰도 높은 수준의 온실가스 인벤토리를 구축할 수 있을 것이라 판단된다.

추후 자료를 좀 더 확보할 수 있다면, 현재 우리나라에서 진행되고 있는 폐기물 소각부문의 배출권 거래제 자료들을 이용하여 Bottom-up 형식의 배출량을 산정할 수 있다면 인벤토리 신뢰도를 더욱더 향상할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 결과에 따르면, 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량을 산정할 때 2006 IPCC G/L의 방법론을 적용할 때, Korean MRV G/L로 온실가스 배출량 산정하는 것보다 온실가스 배출량이 적어질 것으로 판단된다. 추후 범위를 넓혀 국가 전체 폐기물 소각 부문의 온실가스 배출량 차이의 분석이 필요할 것으로 판단되며, 더 나아가 배출량 차이에 따른 파급효과 분석도 진행된다면 ‘신기후체제’의 국제이행점검에도 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 환경부 기후변화특성화대학원사업의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Agência Portuguesa do Ambiente. I.P. Departamento de Alterações Climáticas (DCLIMA). 2018. Portuguese National Inventory Report. Portugal: DCLIMA. National report.
- Australian National Greenhouse Accounts. 2018. National Inventory Report 2016-CRF data. Australian: Australian National Greenhouse Accounts. National report.
- CITEPA. 2017. National Greenhouse Gases Inventory Report of France-CRF data. France: CITEPA. National report.
- Direction de l'Environnement. 2017. Monaco National Inventory Report 2017-CRF data. Monaco: Direction de l'Environnement. National report.
- Compiled by the Hungarian Meteorological Service Unit of National Emissions Inventories. 2018. National Inventory Report for 1985-2016-CRF data. Hungary.
- Environmental Protection Agency. 2017. Ireland's National Inventory Report 2017-CRF data. Ireland: Compiled by the Hungarian Meteorological Service Unit of National Emissions Inventories. National report.
- Croatian agency for environment and nature. 2018. Croatian National Inventory Report 2018-CRF data. Croatia: Croatian agency for environment and nature. National report.
- Czech hydrometeorological institute. 2018. National Greenhouse Gas Inventory Report Of The Czech Republic-CRF data. Czech: Czech hydrometeorological institute. National report.
- DCE (Danish Centre for Environment and Energy). 2018. Denmark's National Inventory Report 2018-CRF data. Denmark: DCE. National report.
- Department of Environment Ministry of Agriculture. Rural Development and Environment. 2017. National Greenhouse Gases Inventory Report 1990 - 2015-CRF data. CYPRUS: Department of Environment Ministry of Agriculture. National report.
- Environment Agency. 2018. Luxembourg's National Inventory Report 1990-2016-CRF data. Luxembourg: Environment Agency. National report.
- Environment agency austria. 2018. Austria's National Inventory Report 2016-CRF data. Austria: Environment agency austria. National report.
- Environment and climate change canada. 2018. National Inventory Report 2016-CRF data. Canada: Environment and climate change canada. National report.
- European environment agency. 2018. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2015 and inventory report 2018-CRF data. European: European

- environment agency. National report.
- Federal Environment Agency. 2018. National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 2018-CRF data. German: Federal Environment Agency. National report.
- Flemish Environment Agency. Flemish institute for technological research. Walloon Agency for Air and Climate. Brussels Environment. Federal Public Service of Health. Food Chain Safety and Environment DG Environment - Climate Change Section. Belgian Interregional Environment Agency. ECONOTEC. 2018. Belgium's greenhouse gas inventory (1990-2016)-CRF data. Belgium: Flemish Environment Agency. Flemish institute for technological research. Walloon Agency for Air and Climate. Brussels Environment. Federal Public Service of Health. Food Chain Safety and Environment DG Environment - Climate Change Section. Belgian Interregional Environment Agency. ECONOTEC. National report.
- FOEN (Federal office for the environment). 2018. Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2016 National Inventory Report-CRF data. Switzerland: FOEN. National report.
- Federal Service for Hydrometeorology and environmental monitoring (Roshydromet). 2018. Russian's Greenhouse Gas Inventory-CRF. Russia.
- GIR (Greenhouse gas inventory & research center). 2018. National greenhouse gas inventory report of Korea. Seoul. Korea: Greenhouse gas inventory & research center. National report.
- GIR (Greenhouse gas inventory & research center). 2018. Guidelines for national greenhouse gas statistics Measuring · Reporting · Verification. Seoul. Korea: Greenhouse gas inventory & research center. National report.
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. 2018. Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2015 National Inventory Report 2017-CRF data. Italian.
- IPCC. 2001. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories chapter 5. Geneva. Switzerland: IPCC.
- IPCC. 2007. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories vol 5 waste.
- Korea Energy Agency. 2017. Study on improvement of inventory method of industrial process sector (mineral industry etc.) Final Report. Gyeonggi-do. Korea: Korea Energy Agency.
- Lee DG. 2013. The study on Implementation Method of 2006 IPCC Guidelines -IPPU Mineral Industry -. Gyeonggi-do. Korea: Statistics Korea. Second half study report-1.
- Lithuanian Environmental Investment Fund. 2018. Lithuania's National Inventory Report 2018-CRF data. Lithuania: Lithuanian Environmental Investment Fund. National report.
- MOE (Ministry of Environment). 2011. Status of waste generation and disposal in Korea. Incheon. Korea; Korea Environment Corporation. National report.
- MOE (Ministry of Environment). 2012. Status of waste generation and disposal in Korea. Incheon. Korea; Korea Environment Corporation. National report.
- MOE (Ministry of Environment). 2013. Status of waste generation and disposal in Korea. Incheon. Korea; Korea Environment Corporation. National report.
- MOE (Ministry of Environment). 2014. Status of waste generation and disposal in Korea. Incheon. Korea; Korea Environment Corporation. National report.
- MOE (Ministry of Environment). 2015. Status of waste generation and disposal in Korea. Incheon. Korea; Korea Environment Corporation. National report.
- MOE (Ministry of Environment). 2016. Status of waste generation and disposal in Korea. Incheon; Korea Environment Corporation. Korea; Korea Environment Corporation. National report.
- MOE (Ministry of Environment). 2017. Status of waste generation and disposal in Korea. Korea; Korea Environment Corporation. National report.
- Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Ukraine'S Greenhouse Gas Inventory 1990-2016-CRF data. Ukraine: Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. National report.
- Ministry Of Energy Republic of Kazakhstan. 2017. ational Greenhouse Gas Inventory Report of Kazakhstan 2017. Kazakhstan: Ministry Of Energy Republic of Kazakhstan. National report.
- Ministry Of Environment and Energy. 2018. Greece National inventory report-CRF data. Greece: Ministry Of Environment and Energy. National report.
- Ministry of Environment National Environmental Protection

- Agency. 2018. Romania's Greenhouse Gas Inventory-CRF. Romania: Ministry of Environment National Environmental Protection Agency. National report.
- Ministry of Environmental Protection and Regional Development of the Republic of Latvia. 2018. Latvia's National Inventory Report-CRF data. Latvia: Ministry of Environmental Protection and Regional Development of the Republic of Latvia. National report.
- Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus. 2018. National Inventory Report 1990-2016-CRF data. Belarus: Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus. National report.
- National Centre for Emission Management (KOBiZE) at the Institute of Environmental Protection - National Research Institute. 2018. Poland's National Inventory Report-CRF. Poland: National Centre for Emission Management at the Institute of Environmental Protection - National Research Institute. National report.
- National Institute for Environmental Studies. 2018. National Greenhouse Gas Inventory Report of Japan 2018-CRF data. Japan: National Institute for Environmental Studies. National report.
- National institute for public health and the environment ministry of health. 2018 Greenhouse Gas Emissions in the Netherlands. 2018-CRF data. Netherlands: National institute for public health and the environment ministry of health. National report.
- Office of Environment. 2018. Liechtenstein' Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2016. National Inventory Report 2018-CRF data. Liechtenstein: Office of Environment. National report.
- Republic of Estonia Ministry of the Environment. 2018 Greenhouse gas emissions in estonia 1990-2016 National inventory report-CRF. Estonia: Republic of Estonia Ministry of the Environment. National report.
- Republic of Slovenia Ministry of the Environment and Spatial Planning Slovenian Environment Agency. 2018. Slovenia's National Inventory Report 2018-CRF. Slovenia: Republic of Slovenia Ministry of the Environment and Spatial Planning Slovenian Environment Agency. National report.
- Ricardo Energy & Environment. 2018. UK Greenhouse Gas Inventory. 1990 to 2015-CRF data. UK: Ricardo Energy & Environment. National report.