

매립지 온실 가스 배출량 산정을 위한 IPCC 선정방법별 특성 연구

정성훈[†] · 황현욱[†] · 김명균 · 엔짜오핑 · 느지오카 안토니 무투아 ·
티네가 조셉 냐모코 · [‡]김영주

경북대학교 건설환경에너지공학부

Study of Selected IPCC Methodologies for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions from a Landfill

Sung Hoon Jung[†], Hyeon Uk Hwang[†], Myung Gyun Kim, Cao Zheng Yan,
Antony Mutua Nzioka, Joseph Nyamoko Tinega and [‡]Young Ju Kim

*School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Major in Environmental
and Energy Engineering, Kyungpook National University, Daegu, Korea*

요 약

본 연구에서는 매립 처리시설을 대상으로 1996 IPCC G/L에 제시된 Tier 1 방법과 GPG 2000의 Tier 2 방법, 2006 IPCC G/L의 Tier 2 방법을 이용하여 매립시설에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하였으며 각 방법론 별로 적용상의 장단점 및 배출결과에 영향을 주는 요인과 산정된 배출량의 특성을 고찰하였다. 온실가스 배출량을 산정한 결과 1996 IPCC G/L Tier 1의 배출량은 2000~2013년 기간 동안 평균 약 2,760 ton/yr로 산정되었고, GPG 2000 Tier 2의 배출량은 평균 약 1,500 ton/yr, 2006 IPCC G/L Tier 2의 배출량은 평균 약 880ton/yr로 가장 낮게 산정되었다.

주제어 : 온실가스, 매립지, IPCC 가이드라인, 배출량 산정, 메탄

Abstract

The purpose of this study was to estimate greenhouse gas emissions using IPCC 1996 Guideline Tier 1, Good Practice Guidance 2000 Tier 2 and IPCC 2006 Guideline First Order Decay methods from landfill disposal facility. In addition, a comparative analysis evaluating the pros and cons of each method based on assumptions and default factors was considered for each method. The greenhouse gas emission computed using IPCC 1996 Guideline Tier 1 method (2,760 ton/yr) was higher than the estimation of GPG 2000 Tier 2 and IPCC 2006 Guideline First Order Decay Model which showed 1500 and 880 ton/yr respectively between 2000 and 2013.

Key word : Greenhouse Gas, Landfill, IPCC G/L, Emission Calculation, Methane

· Received : June 17, 2016 · 1st Revised : July 25, 2016 · 2nd Revised : August 25, 2016 · Accepted : September 12, 2016

[‡]Corresponding Author : Young Ju Kim (E-mail : yjukim@knu.ac.kr)

School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University, 80 Daehakro, Bukgu, Daegu, 41566, Korea

[†]These authors contributed equally to the work.

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

기후변화가 인간 활동에 의해 발생한다는 과학적인 증거가 제시됨에 따라 1992년 기후변화 대응을 위한 유엔의 리우환경회의 기후변화협약(UNFCCC)이 탄생되었으며, 1997년에는 기후변화협약의 구체적 이행을 위한 선진국의 온실가스 감축을 규정한 교토의정서가 체결되었다. 교토의정서에서는 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆) 등 6종의 온실가스 배출량에 대한 감축을 주요 내용으로 하고 있으며, 의무감축 국가인 부속서 I 국가는 2008년 ~ 2012년까지 온실가스 배출량을 1990년 대비 평균 52%를 감축하도록 하고 있다.^{1,2)} 우리나라는 교토의정서에 의한 제1차 공약기간(2008년 ~ 2012년) 내 온실가스 감축 의무는 부여받지 않았으나 선발 개도국의 책임과 의무의 충실한 이행의 필요성을 인식하게 되었다. 이에 정부는 기후변화협약의 대응을 위해 1998년 4월에 관계부처 장관회의를 통해 국무총리를 위원장으로 하는 범정부대책기구를 설치하여 기후변화협약에 대응하는 정책추진체제를 갖추게 되었다. 제 15차 COP회의를 거쳐 우리나라는 자발적 감축국가로 남게 되었지만, 국가 온실가스 중기 감축목표 설정을 통해 2020년 국내 온실가스BAU(Business as usual)대비 30% 감축 목표로 기후변화 대응을 실시하게 되었다. 국가 온실가스 감축목표의 달성을 위해 각 지방자치단체(이하 지자체)에 감축목표량이 할당되며, 각 지자체는 기후변화대응의 실질적 역할 수행의 주체로서 역할이 강조되고 있는 시점이다.^{3,5)} 따라서, 온실가스 배출량 감축을 위하여 지자체의 지역적 특성과 여건을 고려한 다양한 감축 방법론의 개발이 필요하다.

전 세계적으로 온실가스 배출량은 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)가 제시한 방법론을 사용하여 산정하고 있다. IPCC에서 제시한 첫 가이드라인은 1994년 IPCC 총회에서 인정되었으며, 1996년에 새로운 방법론을 추가하여 개정판 「Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories」(이하 1996 IPCC G/L)이 출시되었고, 2000년 우수실행지침서 「Good Practice Guidance and Uncertainty Management for National Greenhouse Gas inventories」(이하 GPG 2000)를 거쳐 2006년에 2006 IPCC 가이드라인 「IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories」를 발간·배포하고, 모든 국가가 자국의 온실가스배출통계 구축을 위해 위의 지침을 활용할 것

을 권유하고 있다. 현재 1996 IPCC 가이드라인 및 GPG 2000은 UNFCCC가 국제표준으로 인정된 지침서로 지정되어 있다. 2006 IPCC G/L은 1996 IPCC G/L 및 GPG 2000의 제한점을 보완함과 동시에 조금 더 구체적으로 각 국가별 특성을 반영하도록 권고하는 특성을 가지고 있다.

최근 지자체 차원의 온실가스 배출량 산정에 관한 연구 증가와 이를 통해 기후변화대응계획 수립 또는 온실가스 감축 시나리오 작성 사례가 이어지고 있으나 목적에 맞는 온실가스 산정 방법 선택에는 어려움이 따른다. 현재 온실가스 배출량 산정 가이드라인 별 배출량 차이 및 특성 비교에 관한 연구는 미비하며, 적합한 가이드라인 선정 및 적용에 대한 연구 사례 역시 부족한 것으로 사료된다. 일반적으로 전국 대부분의 지자체의 전체 온실가스 배출량 중 에너지 분야의 비중이 80% 이상이다. 에너지 분야에 속하는 에너지 산업, 제조업 및 건설, 수송, 가정, 상업 분야 등이 타 분야에 비해 감축 잠재량이 높고 감축정책 수립이 비교적 용이하기 때문에 이 분야의 온실가스 배출량 산정방법별 특성 비교 연구는 일부 진행되었다.⁶⁾

폐기물 분야의 경우 배출량 특성에 관한 연구가 미비하여 산정방법별 특성 비교 연구는 전무하다. 따라서 본 연구에서는 경상북도 A 지자체 내 생활폐기물 매립 처리시설 1개소를 대상으로 1996 IPCC G/L에 제시된 Tier 1 방법과 GPG 2000의 Tier 2 방법, 2006 IPCC G/L의 Tier 2 방법을 이용하여 매립시설에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하였으며 각 방법론 별로 산정 방법 및 결과를 비교 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1. 온실가스 배출량 산정방법

본 연구에서는 경상북도 A 지자체 내 생활폐기물 매립 처리시설 1개소를 대상으로 1996 IPCC G/L에 제시된 Tier 1 방법과 GPG 2000의 Tier 2 방법, 2006 IPCC G/L의 Tier 2 방법을 이용하여 매립시설에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하였으며 각 방법론 별로 적용상의 장단점 및 배출결과에 영향을 주는 요인과 산정된 배출량의 특성을 고찰하였다. 1996 IPCC G/L의 Tier 2 방법과 GPG 2000의 Tier 1 방법, 2006 IPCC G/L의 Tier 1 방법은 기본적인 산정방식이 유사하여 비교 검토에서 제외하였다.

2.1.1. 1996 IPCC G/L의 Tier 1 방법

1996 IPCC G/L의 Tier 1 방법은 실험모형에 의해 개발된 간단한 산정방법으로 물질수지법을 기초로 하며 기본적으로 그 해 매립된 폐기물에서 배출되는 온실가스(메탄)는 매립된 그 해 모두 배출된다는 가정하에 메탄 배출량을 산정하며 계산식은 식 (1)에 의해 계산하였다.^{7,9)}

$$CH_4(Gg/yr) = [(MSW_T \times MSW_F \times MCF \times DOC \times DOC_F \times F \times 16/12) - R] \times (1 - OX) \quad (1)$$

따라서, 배출량(ton/yr)은 발생한 고형폐기물 총량(MSW_T, ton/yr)과 발생한 폐기물 중 매립되는 비율(MSW_F)을 곱한 값인 매립총량(MSW)에 매립된 폐기물 중 생분해성 유기물이 혐기성 미생물에 의해 메탄가스로 전환되는 비율(메탄보정계수, MCF), 분해 가능한 유기탄소의 실제 분해비율(DOC_F), 매립가스 중 메탄가스 비율(F)을 곱한 값에서 메탄회수(R, Gg/yr)을 뺀 후 1에서 폐기물의 산화계수(OX)을 뺀 값을 곱하여 산정하였다.^{8,9)} 여기서, 메탄보정계수(MCF)는 1996 IPCC G/L 및 GPG 2000의 제한점을 보완하여 2006 IPCC G/L로 적용하면서 관리형 혐기성 매립시설은 1.0, 관리형 준호기성 매립시설은 0.5, 관리되지 않은 매립 깊이가 5m 이상이며 지하수면이 높은 매립시설은 0.8, 관리되지 않은 매립 깊이가 5m 이하인 매립시설은 0.4 및 분류되지 않은 고형 폐기물 매립시설은 0.6으로 적용하였으며 Table 1에 나타내었다. 경상북도 내 A 지자체 내 생활폐기물 매립 처리시설은 관리형 혐기성 매립시설로 분류되어 MCF를 1.0으로 적용하였다. 분해 가능한 유기탄소(DOC)는 식 (2)를 이용하여 1996 IPCC G/L Tier 1, GPG 2000 G/L Tier 2에 의한 배출량 산정 시 적용

$$DOC = 0.4(A) + 0.17(B) + 0.15(C) + 0.3(D) \quad (2)$$

DOC 산정식에서 A (종이 및 천류 비율), B (잔디, 풀 등 음식을 제외한 부패 가능한 폐기물 비율), C (음식폐기물 비율) 및 D (목재 및 짚 비율)이다. 분해 가능한 유기탄소의 실제 분해비율(DOC_F)은 1996G/L에서는 기본값으로 0.77을 제시하였으나, GPG에서는 리그닌 탄소를 포함하는 경우 0.5~0.6 값을 사용할 것을 권장하고 있다. 따라서 본 연구에서는 1996 IPCC G/L Tier 1, GPG 2000 G/L Tier 2에 의한 배출량 산정 시 0.55를 적용하였으며 2006 IPCC G/L Tier 2에 의한 배출량 산정 시 한국환경공단에서 제시한 값(0.5)을 적용하여 산정하였다. 매립가스 중 메탄가스 비율(F)은 일반적으로 0.5를 사용하고 있으나, GPG 2000에서는 F값이 폐기물 성상에 따라 주로 0.4~0.6사이에 존재하여 기본값으로 0.5를 제시하고 있다. 기존의 우리나라 대부분의 연구에서도 0.5를 사용하고 있으며 한국환경공단에서도 0.5로 제시하고 있어 본 연구에서도 동일한 값을 적용하였다.⁹⁾ 산화계수(OX)는 기본값인 0을 적용하였으며, 예외로 최종복토층(cover)과 갈라진 틈으로 빠져나가는 것을 모두 산정하기 위해, 복토가 이루어지고, 잘 관리된 SWDS에 대해서 산화율 0.1을 사용할 수 있다. 0.1보다 높은 산화율 값을 사용하는 경우에는 반드시 문서화, 참고문헌 첨부 및 국가 상황과 관련된 자료를 근거로 제시해야 한다. 그리고 산화계수를 적용하기 전, 발생한 전체 양에서 회수된 메탄을 제외하여야 한다. 메탄 회수(R)은 향후의 메탄가스 회수량을 정확하게 예측하기 어려우므로 IPCC에서 제시한 기본값인 0을 적용하였다. 메탄 회수에 대한 문서화된 자료가 있을 경우에만 R값을 적용하도록 권고하고 있으며, 메탄 회수에 대한 자료가 유효하지 않을 경우에는 메탄이 회수되지 않는 것으로 간주하고 있다.^{8,9)}

Table 1. Application of MCF for different site type

Type of site		1996G/L GPG2000	2006G/L
Managed (anaerobic)	Top layer (5 m waste)	1.0	1.0
	Lower layer		
Managed (semi-aerobic)			0.5
Unmanaged-deep (>5m waste) and/or high water table		0.8	0.8
Unmanaged-shallow (>5 m waste)		0.4	0.4
uncategorized SWDS		0.6	0.6

2.1.2. GPG 2000 G/L의 Tier 2 방법

GPG 2000 G/L의 Tier 2 방법은 매립시설에서 발생되는 매립 가스는 일시적으로 배출이 되는 것이 아니라 매립된 폐기물이 서서히 동화되면서 지속적으로 배출되는 것으로 이러한 시간의 함수를 고려한 일차반응식을 적용($e^{-k} \times e^{-kt}$)하여 매립시설에서 발생하는 메탄가스에 영향을 미치는 다양한 계수들을 고려하여 산정하는 방법론이다. 이것은 개별 매립시설의 메탄가스 발생 곡선을 활용한 것으로 선진국은 물론 일반 지역의 매립시설에도 적용할 수 있는 방법으로 메탄 발생량 계산식은 식 (3)에 의해 계산하였다.^{7,9)}

$$CH_4(t) = \frac{\sum [(A \times k \times MSW_T(x) \times MSW_F(x) \times L_0(x) \times e^{-k(t-x)}) - R] \times (1 - OX)}{\quad} \quad (3)$$

기본적으로 적용되는 매개변수는 1996 IPCC G/L Tier 1 방법과 같으며, t는 산정연도, x는 메탄발생과 관련된 폐기물 매립기간(년), A는 $(1 - e^{-k})/k$ 로 합계를 보정해주는 정규화 계수, L_0 는 메탄 배출계수로 식 (4)에 의해 계산하였다.

$$L_0(x) = MCF \times DOC \times DOC_F \times F \times \frac{16}{12} \quad (4)$$

메탄 발생 속도 상수(k)는 매립폐기물 내의 발생 가능한 메탄 총량의 반이 발생하는데 소요되는 시간이며 IPCC 가이드라인에서 폐기물 조성별 반감기($t_{1/2}$)를 이용하여 폐기물 조성별 k값을 설정하고 있다. 반감기는 폐기물의 조성, 매립지가 위치하고 있는 지역의 기후 조건, 매립지의 특성 및 폐기물의 매립 방법 등의 다양한 인자에 의해 영향을 받는다. k값은 1996 IPCC G/L Tier 1의 경우 고려되지 않으며 GPG 2000 G/L Tier 2 방법에 의한 배출량 산정 시에는 지침에 따라 0.5를 적용하였으며 2006 IPCC G/L Tier 2 방법에 의한 배출량 산정 시에는 국내통계의 폐기물 성상 분류기준 차이로 인하여, 가이드라인 배출계수 기본값을 국내 적용 시 일부 성상에 대한 재분류가 불가피하다. 이에 성상별로 다른 특성을 갖는 계수 k에 대하여 국내통계에 알맞은 값을 적용해야 함으로 한국환경공단(관리되는 폐기물 매립지 배출계수)에서 제공하는 값을 적용하였다.^{8,9)}

2.1.3. 2006 IPCC G/L의 Tier 2 방법

2006 IPCC G/L은 1996 IPCC G/L 및 GPG 2000의 제한점을 보완함과 동시에 조금 더 구체적으로 각 국가별 특성을 반영하도록 권고하는 특성을 가지고 있다. 2006 IPCC G/L의 Tier 2 방법은 GPG 2000 G/L의 Tier 2 방법의 일부 배출계수 기본값 사용과 함께 운영기한, 매립장 특성, 처리량, 처리되는 폐기물에 대한 성상별 매립된 폐기물의 양과 배출계수를 곱하여 배출량을 산정하며 기본식은 식 (5)에 의해 계산하였다.^{8,9)}

$$\begin{aligned} DDOC_m &= W \times DOC \times DOC_f \times MCF \\ DDOC_{maT} &= DDOC_{mdT} + (DDOC_{mdT-1} \times e^{-k}) \\ DDOC_{m\ decompT} &= DDOC_{mdT-1} + (1 - e^{-k}) \\ CH_{4\ generatedT} &= DDOC_{m\ decompT} \times F \times 16/12 \\ CH_{4\ emittedT} &= [\sum CH_{4\ generatedT} - RT] \times (1 - OX_T) \end{aligned} \quad (5)$$

W는 매립된 폐기물의 양(Gg), $DDOC_{maT}$ 는 T년도까지 매립지에 누적된 $DDOC_m$ 의 양(Gg), $DDOC_{maT-1}$ 는 T-1년도까지 매립지에 누적된 $DDOC_m$ 의 양(Gg), $DDOC_{mdT}$ 는 T년도에 매립된 $DDOC_m$ 의 양(Gg), $DDOC_{m\ decompT}$ 는 T년도에 분해된 $DDOC_m$ 의 양(Gg)을 각각 의미한다. $CH_{4\ generatedT}$ 는 T년에 발생한 메탄의 양, F는 매립가스 중 메탄의 부피비, R은 회수율, 그리고 OX는 산화율을 각각 의미한다. 여기서, 분해 가능한 유기 탄소(DOC)의 양(Gg)은 식 (6)에 의해 계산하였다.

$$DOC = \sum_x (DOC_i - W_i) \quad (6)$$

DOC_i 는 폐기물 성상 i에 대한 분해가능한 유기 탄소의 비율(예를 들어, 습중량 기준으로 종이에 대한 기본값 0.4)이며, W_i 는 폐기물 카테고리에 의한 폐기물 성상 i의 비율(예를 들어, 습중량 기준으로 동아시아의 MSW 내 종이에 대한 기본값 0.188)이다.

2006 IPCC G/L Tier 2 방법은 매립지의 현재와 과거의 폐기물 매립에 관한 양질의 국가 고유 활동도 자료가 있어야 한다²⁾. 즉, 10년, 혹은 그 이상의 폐기물 매립 자료는 국가 고유의 통계나 조사, 다른 유사 자료에 근거해야 하므로 매립지에 폐기물 매립이력(매립지별 매립 시작년도부터 배출량 산정시점 또는 매립 종료 시점까지의 매립량)을 10년 이상 확보하도록 하여, FOD 방법에 적용할 시 Tier 2 수준이라 할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 배출량 산정결과

3.1.1. 1996 IPCC G/L Tier 1에 의한 산정결과

산정대상 매립시설에서 1996 IPCC G/L Tier 1 방식을 이용하여 온실가스 배출량을 산정할 경우 기본 활동자료는 연도별 고품폐기물 총 발생량(MSW_T)과 발생된 폐기물 중 매립되는 비율(MSW_F)이다. 매개변수는 1996 IPCC G/L에 제시된 기본값을 적용하였으며 2000년 ~ 2013년 연도별 총 매립량(MSW)과 최종 산정된 온실가스 배출량을 Fig. 1에 제시하였다.

Fig. 1에 나타난 바와 같이 1996 IPCC G/L Tier 1 방법에 의한 온실가스 배출량은 2000년 ~ 2013년 기간 동안 평균 약 2,760 ton/yr으로 산정되었으며, 2003년을 제외하면 매립량이 증가할수록 온실가스 배출량 또한 증가하였다. 2002년에 비해 2003년에 총 매립량이 감소하였음에도 온실가스 배출량이 증가한 이유는 총 매립량 중 온실가스가 배출되는 폐기물의 조성 비율이 다른 해에 비해 높았던 것으로 분석되었으며, 2012년부터 매립량과 온실가스 배출량이 증가하였다.

3.1.2. GPG 2000 G/L Tier 2에 의한 산정결과

GPG 2000 G/L Tier 2 방식의 산정에 이용되는 기본 활동자료는 1996 IPCC G/L Tier 1 방식에 적용되는 기본 활동자료와 동일 값을 적용하였다. GPG 2000 G/L Tier 2 방식은 1996 IPCC 가이드라인에서 적용되는 변수 외에 메탄발생속도상수(k)를 추가적으로 적용하여 산정하며 2000년 ~ 2013년 연도별 총 매립량(MSW)과 최종 산정된 온실가스 배출량을 Fig. 2에 제시하였다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 GPG 2000 G/L

Tier 2 방법에 의한 온실가스 배출량은 2000년 ~ 2013년 기간 동안 평균 약 1,500 ton/yr으로 산정되었으며, 2003년을 제외하면 매립량의 증감에 따라 온실가스 배출량 또한 비례적으로 증감하는 경향을 보였다.

2002년에 비해 2003년에 총 매립량이 감소하였음에도 온실가스 배출량이 증가한 이유는 총 매립량 중 온실가스가 배출되는 폐기물의 조성 비율이 높았던 것으로 분석되었다.

3.1.3. 2006 IPCC G/L Tier 2에 의한 산정결과

2006 IPCC G/L Tier 2 방식으로 배출량을 산정하기 위해 한국환경공단의 “지자체 온실가스 배출량 산정 지침”에 입각하여 한국환경공단에서 제시하는 정상별 DOC 값과 메탄발생속도상수(k)를 각각 적용하였으며, 기본활동자료는 1996 IPCC G/L Tier 1, GPG 2000 G/L Tier 2에 적용한 것과 동일한 값을 적용하여 산정하였으며 2000년 ~ 2013년 연도별 총 매립량(MSW)과 최종산정된 온실가스 배출량을 Fig. 3에 제시하였다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 2006 IPCC G/L의 Tier 2 방법에 의한 온실가스 배출량은 2000년 ~ 2013년 기간 동안 평균 약 880 ton/yr으로 산정되었으며, 2004년까지 증가추세를 보인 이후 서서히 감소하는 경향을 보였다.

3.2. 산정방법간 온실가스 배출량 비교

본 연구의 배출량 산정대상 시설인 A 매립시설의 2000 ~ 2013년 온실가스 배출량은 산정방법에 따라 각기 다른 배출량 및 배출 형태를 나타내었다. 산정방법별 차이를 보이는 주원인은 각 산정방법별 매개변수 및 배출계수의 차이로 인한 부분이 있으며, 또한 사용 활동자료의 형식, 형태에 따른 부분이 있다. 각 산정방법별

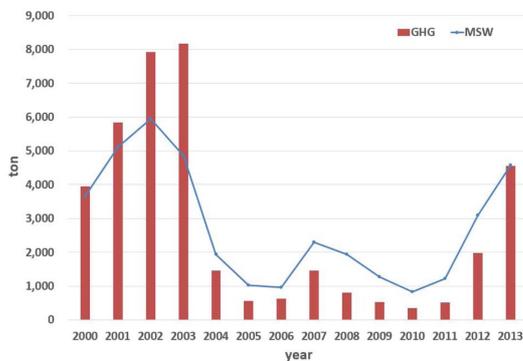


Fig. 1. Trends of GHG emissions by 1996 IPCC G/L Tier 1.

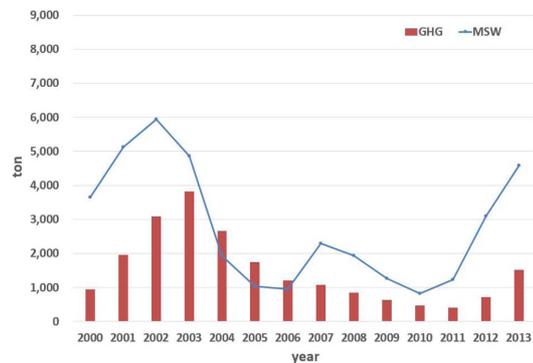


Fig. 2. Trends of GHG emissions by GPG 2000 G/L Tier 2.

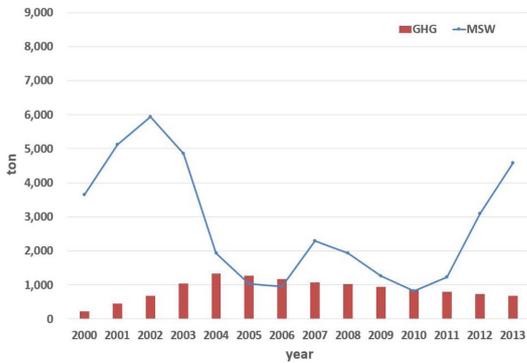


Fig. 3. Trends of GHG emissions by 2006 IPCC G/L Tier 2.

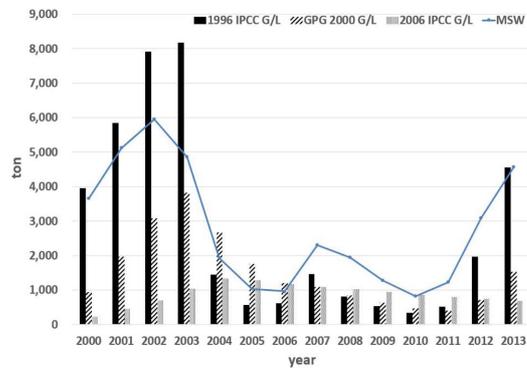


Fig. 4. Comparison of GHG emissions by each Methods.

온실가스 배출량을 산정방법별로 비교한 결과를 Fig. 4에 제시하였다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 연평균 온실가스 배출량은 1996 IPCC G/L Tier 1에 의한 배출량, GPG 2000 Tier 2에 의한 배출량 및 2006 IPCC G/L Tier 2에 의한 배출량 순으로 높게 산정되었다. 1996 IPCC G/L의 Tier 1에 의한 배출량의 경우 매립량의 증감에 따라 온실가스 배출량도 비례적으로 증감하여 매립량에 가장 많은 영향을 받는 것으로 판단되었다. GPG 2000 Tier 2에 의한 배출량과 비교 시 2003년까지는 배출량이 약 2배정도 높았으나 2004년 이후로는 오히려 약 2배 가량 낮았다. 이러한 결과의 주된 이유는 산정식의 기본 이론의 차이로 볼 수 있다고 사료된다. GPG 2000 G/L Tier 2에 의한 배출량의 경우 2006 IPCC G/L Tier 2 방법과 비교 시 2005년까지는 최소 2배 이상의 높은 배출량을 보이다가 2006년 비슷한 값을 기록한 이후 점점 낮은 배출량을 나타내었다. 이러한 배출량의 특성을 나타낸 이유는 두 방법 모두 산정기본이

론은 같으나 매개변수 값의 차이에 따른 것으로 판단되었다. 2006 IPCC G/L Tier 2 방법이 보다 국가적 특성을 반영하는 매개변수들이 많은데 이 매개변수의 값들이 IPCC 지침에서 제공하는 기본 값보다 상대적으로 낮은 값을 가지는 것들이 많기 때문으로 사료된다. 2006 IPCC G/L Tier 2 방법의 경우 1996 IPCC Tier 1 방법과 비교 시 현저히 낮은 배출량을 나타내었는데 주된 이유는 2006 IPCC G/L Tier 2 방법이 매립되는 폐기물 중 성상 분류 등에서 더욱 세분화 되고, 국내 매립시설에서 매립시설의 산정에 적용되는 매개변수 값들이 지침에서 제공하는 기본 값들 보다 상대적으로 낮은 값이 적용되는 이유로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 경상북도 내 A 지자체 내 생활폐기물 매립 처리시설 1개소를 대상으로 1996 IPCC G/L에 제시된 Tier 1 방법과 GPG 2000의 Tier 2 방법, 2006 IPCC G/L의 Tier 2 방법을 이용하여 매립시설에서 발생하는 온실가스 배출량을 산정하였으며 각 방법론 별로 적용상의 장단점 및 배출결과에 영향을 주는 요인과 산정된 배출량의 특성을 고찰하였다.

각 가이드라인에서 제시하는 방법별로 온실가스 배출량을 산정한 결과 1996 IPCC G/L Tier 1의 배출량은 2000~2013년 기간 동안 평균 약 2,760 ton/yr로 산정되었고, GPG 2000 Tier 2의 배출량은 평균 약 1,500 ton/yr, 2006 IPCC G/L Tier 2의 배출량은 평균 약 880 ton/yr로 가장 낮게 산정되었다. 각 산정방법별 배출량이 차이를 보이는 주된 이유는 1996 IPCC G/L, GPG 2000 및 2006 IPCC G/L으로 수정 보완됨에 따라 산정식의 변화, 산정에 사용되는 매개변수(산정방법별 DOC, 산정방법별 DOC_p , 산정방법별 k) 값의 차이가 주된 이유로 사료된다. 3가지 방법에 이용되는 각 매개변수들 중 분해 가능한 유기 탄소값(DOC값)과 메탄발생속도상수(k값)의 차이를 볼 수 있으며 적용방법 또한 차이를 나타내었다.

3가지 방법 중 1996 IPCC G/L Tier 1 방법이 배출량 산정이 비교적 용이하나 현재 연구된 바에 의하면 실험결과에 비해 배출량이 상대적으로 높게 나타남에 따라 배출량에 대한 신뢰성이 떨어진다는 평가를 받고 있다. GPG 2000의 경우 1996 IPCC G/L에 제시된 방법을 수정·보완하였으나 각 국가의 특성을 반영하지 못하는 단점이 있는 것으로 평가된다. 2006 IPCC G/L

에 의한 방법의 경우 현재 기존의 연구 및 제시된 가이드라인에 비해 최신의 연구결과를 반영하여 수립된 방법으로 비교적 국가별 특성(폐기물 조성, 폐기물 발생량, 폐기물 내 DOC 및 k)을 반영하는 것으로 평가된다. 하지만 아직까지 국내 폐기물 조성 분류 체계와 가이드라인에서 제시하는 폐기물 분류체계와 상이한 점이 있으며 가이드라인에서 요구하는 10년 이상 양질의 국가 폐기물 통계자료가 불충분하여 추정(또는 가정) 작업 등 대안에 의한 활동자료를 적용해야 하는 경우가 발생한다. 이러한 작업 수행 시 매립 폐기물의 조성별 DOC 값이 다양하므로 추정방법에 따라 배출량 차이를 보일 수 있으므로 향후 좀 더 정확하고 용이한 배출량 산정을 위하여 온실가스 인벤토리 구축을 위한 폐기물 처리시설 별 신뢰성 향상을 위하여 측정대상 매립지의 확대, 현장 측정값에 대한 신뢰성 제고, 각종 활동자료와 입력변수에 대한 연구, k값에 대한 불확도 평가 등 지속적인 연구가 필요하며 정확한 통계자료 구축이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

References

1. Kim, H. S., Choi, E. H., Lee, N. H., Lee, S. H., Cheong, J. P., Lee, C. Y., Yi, S. M., 2007 : Comparison of greenhouse gas emission from landfills by different scenarios. Korean Society for Atmospheric Environment, 23(3), pp. 344-352
2. Kan, S. Y., Hong, J. H., Lee, S. B., Han, Y. J., 2008 : Estimation and Projection of Greenhouse Gas Emissions from Waste Incinerators in Korea. Korean Society of Environmental Engineers, 30(3), pp. 250-256
3. Lee, B. S., Han, S. K., Kang, J. H., Lee, N. H., 2013 : Estimation of Greenhouse Gas Reduction Potential by Treatment Methods of Excavated Wastes from a Closed Landfill Site. Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, 22(6), pp. 3-11
4. Bae, J. H., Kang, H. C., 2014 : An Empirical Study on Impacts of Overlapping Climate and Energy Policies on Mitigation of Greenhouse Gas Emissions. Environmental and Resource Economics Review, 23(4), pp. 747-784
5. Park, S. J., Kim, E. Y., 2014 : A Study on the Optimal Management Option of the Disposal of Resources Found in Standard Plastic Garbage Bags. Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, 23(5), pp. 44-54
6. Cho, J. S., Cho, K. H., Ahn, J. W., Um, S. I., Y, K. S., 2011 : Applications and prospect of CDM project through recycling of inorganic waste. Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, 20(2). pp. 3-15
7. Kumar, S., Gaikwad, S. A., Shekdar, A. V., Kshirsagar, P. S., Singh, R.N., 2004 : Estimation method for national methane emission from solid waste landfills. Atmospheric Environment, 38(21), pp. 3481-3487
8. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
9. Korea Environment Corporation., 2016 : Guidelines for Local Government Greenhouse Gas Inventories.



정 성 훈

• 현재 경북대학교 건설환경에너지 공학부 박사수료



황 현 욱

• 현재 경북대학교 건설환경에너지 공학부 박사



김 명 균

• 현재 경북대학교 건설환경에너지 공학부 박사



엔 짜오핑

• 현재 경북대학교 건설환경에너지 공학부 박사수료



느지오카 안토니 무투아

• 현재 경북대학교 건설환경에너지 공학부 박사과정



티네가 조셉 냐모코

• 현재 경북대학교 건설환경에너지 공학부 석사과정



김 영 주

• 현재 경북대학교 건설환경에너지 공학부 교수

학회지 광고게재 안내

격월로 연간 6회 발간되는 한국자원리사이클링 학회지에 광고를 게재하고 있습니다. 알찬 내용의 학회지가 될 수 있도록 특별회원사 및 관련기업에서는 많은 관심을 가지고 협조하여 주시기 바랍니다. 광고게재 비용은 아래와 같으며, 기타 자세한 내용 및 광고게재에 관해서는 학회로 문의하시기 바랍니다.

	칼라인쇄 (1회)	흑백인쇄 (1회)	1년 6회 게재 기준			
			칼라 인쇄		흑백 인쇄	
			일 반	특별회원사	일 반	특별회원사
앞표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 안 쪽	50 만원	30 만원	180 만원	140 만원	130 만원	100 만원
뒷표지 바깥쪽	60 만원	40 만원	200 만원	150 만원	150 만원	120 만원
학회지 안(내지)	30 만원	20 만원	100 만원	80 만원	80 만원	50 만원

?Film을 주시는것을 기준으로 책정된 금액입니다.