

온실가스·에너지 목표관리제를 위한 폐기물 매립시설 메탄배출량의 적정 산정방법에 관한 고찰

Review of the Estimation Method of Methane Emission from Waste Landfill for Korean Greenhouse Gas and Energy Target Management System

서동천·나제현*·배성진*·이동훈*[†]

Dong-Cheon Seo · Je-Hyun Nah* · Sung-Jin Bae* · Dong-Hoon Lee*[†]

에코그린연구소 · *서울시립대학교 에너지환경시스템공학부

EcoGreen Works · *Department of Energy and Environmental System Engineering, The University of Seoul

(2013년 4월 5일 접수, 2013년 11월 13일 채택)

Abstract : To promote the carbon emission trading scheme and reduce greenhouse gas (GHG) emission as following ‘Korean GHG & Energy Target Management System’, GHG emissions should be accurately determined in each industrial sector. For the estimation method of GHG emission from waste landfill, there are several error parameters, therefore we reviewed the estimation method and proposed a revised method. Methane generation from landfill must be calculated by the selected method based on methane recovery rate, 0.75. However, this methodology is not considered about uncertainty factor. So it is desirable that CH₄ generation is estimated using first order decay model and methane recovery should use field monitoring data. If not, CH₄ recovery could be applied from other study results; 0.60 of operational landfill with gas vent and flaring system, 0.65 of operational site with landfill gas recovery system, 0.90 of closed landfill with final cover. Other parameters such as degradable organic carbon (DOC) and fraction of DOC decompose (DOC_f) need to derive the default value from studies to reflect a Korean waste status. Proper application of MCF that is selected by operation and management of landfill requires more precise criteria.

Key Words : Greenhouse Gas and Energy Target Management System, Methane Emission Estimation Method, Waste Landfill

요약 : 우리나라에서 시행되고 있는 ‘온실가스·에너지 목표관리제’의 효율적인 운영을 통하여 실질적인 온실가스 배출을 감축하고 향후 예정되어 있는 ‘탄소배출권 거래제’의 원활한 추진을 위해서는 온실가스배출량의 정확한 산정이 요구된다. 폐기물부문에 있어 주요 온실가스배출원인 폐기물 매립시설에 대해서도 목표관리제 운영지침에서 온실가스배출량 산정방법이 제시되어 있으나 계산방법과 매개변수 등에 오차요인이 있어 적정 산정방법에 대해 검토·제안하고자 하였다. 그 결과, 메탄회수율 0.75를 기준으로 산정방법을 구분하고 그 단일값과 메탄회수량으로부터 메탄발생량을 계산하는 방법은 삭제하여 온실가스배출량 산정과정에 중복적용과 과대평가 발생요인을 해소할 필요가 있음을 알 수 있었다. 메탄발생량은 일차분해모델로 추정하고 메탄회수량은 매립시설에서 측정된 값을 사용하도록 하되 과거 메탄회수량 데이터를 확보하기 곤란한 경우에는 메탄회수량을 산정할 수 있도록 일일복토나 중간복토가 포설된 사용중 매립시설에서는 가스배제공과 간이소각 0.60, 강제포집 시스템 0.65로, 최종복토가 이루어진 사용종료 매립시설은 자연적인 포집이나 강제포집이 수행되면 0.90으로 국내 매립시설에 적합한 조건별 메탄회수율 기준값을 제시하였다. 주요 매개변수 중 분해 가능한 유기탄소 비율(DOC)과 메탄으로 전환 가능한 DOC 비율(DOC_f)은 국내 폐기물의 조성별 특성을 반영할 수 있도록 국내 연구결과를 이용하여 기준값을 도출하여 사용할 수 있으며, 메탄보정계수(MCF)는 매립시설의 설계나 설치 등의 단순한 기준으로 판단할 수 없으므로 명확한 기준이 요구되는 것으로 나타났다.

주제어 : 온실가스 및 에너지 목표관리제, 메탄배출량 산정방법, 폐기물 매립시설

1. 서론

우리나라는 주요 온실가스인 이산화탄소의 배출량이 세계 10위권을 기록하고 있으며 이산화탄소 배출량의 증가율에서도 OECD 국가 중 1위를 차지하는 등 온실가스 배출에 있어 큰 비중을 차지하고 있다.¹⁾ 이에 기후변화방지를 위한 국제적인 노력에 적극 동참하여 국제사회에서의 책임을 다할 뿐만 아니라 녹색기술과 녹색산업을 통한 성장동력 확보와 경제적 발전을 동시에 도모하기 위하여 지난 2010년 「저탄소 녹색성장 기본법」을 제정·시행하였으며, 이로써 온실가스 배출 감축의 근간을 마련하고 구체적인 정책적, 제도

적 토대를 구축하여 추진하고 있다.

같은 법 제42조에 따르면 정부는 온실가스 감축, 에너지 절약 및 이용효율, 신·재생에너지 보급 등에 대하여 목표를 설정하고 목표달성을 위한 조치 및 관리를 이행하도록 규정하고 있다. 또한, 2020년 국가 온실가스 총배출량을 2020년 배출 전량치 대비 30%까지 감축한다는 국가차원의 온실가스 감축 목표(같은 법 시행령 제25조)를 달성하기 위하여 기준량 이상의 온실가스를 배출하거나 에너지를 소비하는 업체를 관리업체로 지정하고 온실가스 배출 및 에너지 사용에 대한 목표설정, 준수, 보고, 관리하도록 하고 있다. 이를 「온실가스·에너지 목표관리(이하 목표관리제)」라 하며 온실가

[†] Corresponding author E-mail: dhlee@uos.ac.kr Tel: 02-6490-5312 Fax: 02-6490-6179

Table 1. Management company designation criteria of Korean greenhouse gas and energy target management system

Criteria	To Dec. 31, 2011		From Jan. 1, 2012		From Jan. 1, 2014	
	Company ²⁾	Establishment ³⁾	Company	Establishment	Company	Establishment
Greenhouse gas emission (tCO ₂ eq)	125,000	25,000	87,500	20,000	50,000	15,000
Energy consumption (TJ)	500	100	350	90	200	80

* Criteria are annual means of greenhouse gas emission and energy consumption in the latest three years

스 배출량 산정방법을 비롯한 세부적인 사항은 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침(이하 지침(2012))」의 환경부고시로 정하여 시행하고 있다. 이러한 목표관리제는 향후 시장기능을 활용하여 효과적으로 온실가스 감축을 유도하기 위해 2012년 5월에 제정된 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」에 근거하여 시행될 예정인 「온실가스 배출권 거래제」의 추진을 위한 준비단계의 성격도 가진다고 볼 수 있다.

목표관리제에 따른 관리업체 지정기준은 Table 1과 같으며 온실가스 배출량 및 에너지 소비량의 기준이 강화되고 있다. 부문에 따라 지정된 관리업체의 수는 2012년 기준 총 580개소이며 가장 많은 수의 관리업체가 지정된 부문은 산업·발전 부문으로 78%에 육박하며, 나머지는 건물·교통 부문, 폐기물 부문, 농업·축산 부문의 순인 것으로 나타나고 있다. 폐기물 부문은 전체의 약 6%를 차지하고 있는데 지침에 따른 폐기물 부문의 배출활동은 고형폐기물의 매립, 고형폐기물의 생물학적 처리, 하·폐수 처리 및 배출, 폐기물의 소각 등 4개이며,⁵⁾ 일반적으로 폐기물 관련 온실가스 배출원 중 매립시설이 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 알려져 있으므로 목표관리제에 따른 배출활동 중 고형폐기물의 매립에 의한 온실가스 배출의 기여도가 가장 높을 것으로 예상된다.

한편, 목표관리제의 성공적인 시행을 통한 온실가스의 감축을 달성하기 위해서는 관리업체별 온실가스 배출량이 정확하게 산정되어야 한다. 관련 지침(2012)에서도 국가 온실가스 배출량 통계를 작성하는 방법으로 사용되는 「2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories(이하

2006 IPCC 가이드라인)」을 일부 변형한 매립시설의 온실가스 배출량 산정방법을 제시하고 있다. 이 방법에서는 개별 매립시설의 폐기물 매립량과 조성을 활동자료로 하고 그에 따른 배출계수는 IPCC에서 제시한 기본값을 그대로 활용하는 가장 단순한 형태(Tier 1)를 적용하도록 하고 있다.⁶⁾

그러나 지침(2012)의 산정방법은 국내 폐기물의 특성과 실제적인 폐기물 매립시설의 구조나 운영조건 등을 반영하기 어려운 한계를 가지고 있으며, 각각의 매립시설에 따른 차이를 나타내기보다는 일정한 배출계수를 일률적으로 적용하는 오차요인을 내포하고 있다. 이에 본 연구에서는 온실가스·에너지 목표관리제의 효율적인 운영을 위하여 폐기물 매립시설의 온실가스 배출량 산정방법과 그 활동자료 및 매개변수에 대한 종합적인 고찰을 통해 보다 신뢰성 높은 적정 온실가스 산정방안을 제시하고자 한다.

2. 온실가스배출량 산정을 위한 적정 계산방법

2.1. 국내외 온실가스배출량 산정방법

2.1.1. 우리나라 온실가스배출량 산정방법

국내 온실가스배출량 산정방법은 「저탄소 녹색성장 기본법」에 따라 마련된 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침(2012)」의 별표 14에서 제시되어 있으며, 폐기물 매립에 대해서는 ‘26. 고형폐기물의 매립’에서 개별 매립시설의 메탄배출량 산정방법을 규정하고 있다.⁶⁾ 매립시설에서 폐기물 분해에 따라 발생하는 온실가스는 메탄만을 대상으로 하며, 메탄배출량을 메탄발생량에서 메탄회수량과 메탄산화량을 제외한 나머지로 산정하는 2006 IPCC 가이드라인의 기본적인 형태를 도입하고 있다.⁷⁾ 온실가스배출량 산정에 필요한 매개변수에 있어서도 2006 IPCC 가이드라인의 기본값을 활용하도록 한다.

하지만, 메탄발생량을 산정하기 위한 계산방법에 있어서는 다음과 같이 메탄회수율(0.75)을 기준으로 하여 2006 IPCC 가이드라인의 일차분해모델을 따르거나 메탄회수량으로부터 계산하도록 하는 등 2006 IPCC 가이드라인과 차이를 보이고 있다.

$$\frac{R_T(\text{회수량})}{CH_4\text{generated}_T(\text{발생량})} \leq 0.75 \text{인 경우,} \quad (1)$$

지침(2012)에 제시된 수식(2006 IPCC 가이드라인과 동일)에 따라 메탄발생량 및 메탄배출량을 산정한다.

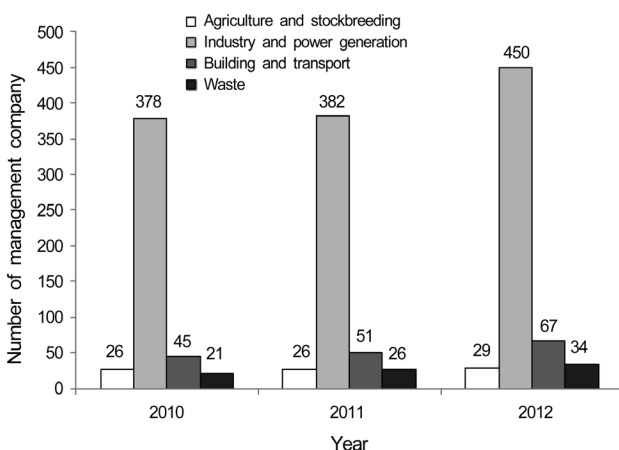


Fig. 1. Number of management company of Korean greenhouse gas and energy target management system.⁴⁾

$$\frac{R_T(\text{회수량})}{\text{CH}_4\text{generated}_T(\text{발생량})} \leq 0.75 \text{인 경우,} \quad (2)$$

메탄발생량은 회수량과 회수율 기준값(0.75)을 이용하여 아래의 식으로 계산하고 그 메탄발생량을 지침(2012)에 제시된 수식(2006 IPCC 가이드라인과 동일)에 적용하여 메탄배출량을 산정한다.

$$\text{CH}_4\text{generated}_T = \gamma \times \text{회수량} \times (1/0.75) \quad (3)$$

여기서, γ : 표준 조건에서 m^3 과 CO_2eq 의 환산계수($\gamma = 6.784 \times 10^{-4} \times 21$) (단, 무게 단위일 경우 $\gamma = 1.0$)

2.1.2. 2006 IPCC 가이드라인의 온실가스배출량 산정방법

2006 IPCC 가이드라인은 국가 온실가스배출량 인벤토리 작성을 위한 산정방법을 제시하는 것으로, 개별 매립시설을 대상으로 하는 것은 아니지만 매립시설별 온실가스배출량 산정에도 적용할 수 있다. 폐기물 매립시설에서 배출되는 메탄에 대해서 일차분해모델(First Order Decay model, FOD model)을 적용하도록 하는데, 일차분해모델은 매립시설에서 이루어지는 폐기물의 분해과정이 미생물에 의한 반응이며 메탄의 발생 역시 같은 패턴으로 진행된다는 가정 하에 수립된 모델이다. 결국, 매립가스의 발생량과 포집량 등을 예측하여 적절한 처리, 자원화 등을 유도하기 위하여 사용되던 산정방법이 온실가스 배출량 추정에 도입된 것이며, 국내 온실가스배출량 산정방법도 이를 근간으로 하고 있다.

2006 IPCC 가이드라인의 메탄배출량 산정방법은 장래의 매립가스 발생의 시각이 아니라 과거의 온실가스 관점에서 접근하고 각 국가의 과거 기간에 배출된 온실가스량을 평가하는 데 초점이 맞추어져 있다는 특징을 가지고 있다. 또한, 온실가스배출량 산정에 필요한 매개변수의 기본값을 제시함으로써 국가별 데이터 확보의 문제를 해소하고 있다.

해당 가이드라인에서는 메탄발생량을 매립시설 관련 활동 자료와 매개변수를 이용하여 일차분해모델로 계산한 다음, 그로부터 메탄회수량과 메탄산화량을 삭감하여 메탄배출량을 산정하도록 한다.⁷⁾ 이 중 메탄회수와 관련해서는 기본적으로 실측한 회수량을 활용하도록 하고 있고 회수율 등을 통해 간접적으로 구한 메탄회수량은 불확실성이 커지는 우려가 있어 주의가 요구되는 것으로 설명하고 있다. 한편, 메탄의 회수율을 고려하거나 그 특정값(예, 0.75)을 기준으로 설정하는 방식으로는 산정방법을 제시하고 있지 않다.

2.1.3. 미국의 온실가스배출량 산정방법

미국의 경우에도 폐기물 매립시설의 메탄발생량, 메탄배출량, 메탄회수량(처리량)을 보고하도록 하고 있으며, 「Mandatory Reporting of Greenhouse Gases; Final Rule (2009) (이하 MRR)」로 온실가스배출량 산정방법 등을 규정하고 있다. 메탄의 발생이 적을 것으로 예상되는 유해폐기물, 건설폐기물, 산업폐기물 매립시설은 제외하고 1980년 1월 1일

이후에 폐기물 매립이 진행된 매립시설을 대상으로 한다. 매개변수인 폐기물 매립 이력 자료 및 적정 모델 입력변수를 사용하여 연간 메탄발생량을 계산하도록 한다.⁸⁾

매립가스의 포집 및 처리가 이루어지지 않은 시설에 대해서는 메탄산화를 고려하여 연간 메탄배출량을 산정하도록 하며, 매립가스를 포집 · 처리하는 경우에는 그 때의 메탄 농도, 유량, 온도, 압력 등 모니터링 자료를 통해 포집량 및 처리량을 산정하되 ‘식 (1) 메탄발생량 추정값에서 메탄회수량 측정값을 삭감하여 구하는 메탄배출량 산정방법’과 ‘식 (2) 메탄회수량 측정값을 메탄회수율 기본값으로 나누어 구하는 메탄배출량 산정방법’의 두 가지 방법을 사용할 수 있다.⁹⁾

식 (1)의 경우, 메탄배출량은 메탄발생량에서 메탄회수량과 메탄산화량을 빼주어서 산정하므로 2006 IPCC 가이드라인과 같은 개념을 가지고 있으나 회수된 메탄의 소각처리효율 등도 고려하기 때문에 보다 정교한 계산이 이루어진다고 판단된다. 매립폐기물 관련 데이터가 확보된 경우에는 2006 IPCC 가이드라인의 산정방법과 동일한 방법으로 메탄발생량을 추정하며, 그 때 요구되는 각종 변수들의 값은 MRR (2009)에서 별도로 제시하고 있다. 메탄발생량 산정과정에서 필요한 과거 폐기물 매립량 데이터가 없는 경우에는 ‘데이터가 있는 가장 오래된 연도의 폐기물 매립량과 대상년도의 매립량이 동일한 것으로 가정’, ‘대상년도 매립대상 인구수와 폐기물 발생원단위를 이용’, ‘매립용량 등을 기초로 한 평균 매립량 계산’을 통해 데이터를 생산하여 활용한다.

식 (2)의 경우에는 일차분해모델을 통한 메탄발생량 산정 과정이 없이 측정된 메탄회수량, 가스포집효율, 가스포집시스템 운영시간 등으로부터 메탄배출량을 직접 계산한다. 이때의 포집효율은 매립가스 포집시스템 운영유무, 복토형태 등에 따라 MRR (2009)에 제시된 값을 선택하며, 하나의 매립시설에서 여러 가지 가스포집 특성이 존재하는 경우에는 각 특성에 따른 해당면적을 가중평균하여 전체적인 포집효율을 구하도록 하고 있다. 한편, 포집효율 기본값을 0.75로 제시하고 있으나 온실가스배출량 산정방법을 선택하는 기준이나 절대적인 수치로 사용하지 않는다.

2.1.4. 일본의 온실가스배출량 산정방법

우리나라의 목표관리제와 유사하게 일본에서도 「지구온난화 대책의 추진에 관한 법률(地球温暖化対策の推進に関する法律)」에 의하여 온실가스 다량 배출자에게 온실가스배출량을 산정하여 보고하도록 하는 의무를 부여하고, 국가는 보고된 데이터를 집계 · 공표하도록 하는 「온실가스배출량의 산정 · 보고 · 공표제도(温室効果ガス排出量の算定 · 報告 · 公表制度)」를 시행하고 있다. 그 온실가스배출량 산정방법은 「온실가스배출량 산정 · 보고 매뉴얼(温室効果ガス排出量算定 · 報告マニュアル)(2012)」에 정해져 있는데 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 등 온실가스 성분별 배출원에 따라 제시되어 있고, 폐기물(음식물, 종이, 천연섬유, 나무, 하수슬러지, 분뇨처리 슬러지, 정수슬러지, 제조업 관련 유기성 슬러지 대상) 매립시설은 메탄배출 관련 대상 활동으로 지정

되어 있다.¹⁰⁾

폐기물 매립시설의 메탄배출량은 폐기물 종류별 매립량에 대하여 단위 폐기물량당 메탄배출량으로 나타내는 배출계수(단위 : tCH₄/t)를 곱하는 간단한 형태로 이루어져 있고 준호기성 매립방식이 확실한 경우에는 배출계수에 0.5를 곱하도록 한다. 이와 같이 일본의 온실가스배출량 산정은 시간을 고려하는 일차분해모델이 아니라 메탄의 일시적 발생 및 배출을 가정하여 매립한 연도별 폐기물에서 배출 가능한 총괄적인 양을 산출하는 mass balance method의 방법을 사용하는 것으로 볼 수 있다.

한편, 일본은 자국 내 온실가스배출권 거래제라 할 수 있는 「자율참여형 온실가스 배출량 거래제도(自主參加型國內排出量取引制度)」의 가이드라인(2011)에서도 단위폐기물량에 대한 배출계수를 이용하여 온실가스배출량을 산정하는 방법을 채택하고 있다.¹¹⁾ 또한 일본의 국가 온실가스 인벤토리 보고서에서는 폐기물 매립에 따른 메탄배출량 산정에서 FOD model를 이용한 것으로 설명하고 있으나 일차분해모델을 통하여 메탄발생량 산정이 아닌 폐기물량을 계산하고, 여기에 위의 제도에서 사용하는 형태의 배출계수를 사용하여 최종적인 메탄배출량을 산정한 것으로 나타나고 있다.¹²⁾ 따라서 일본의 경우에는 폐기물 종류별 단위폐기물량당 메탄배출량을 기반으로 온실가스배출량을 산정하는 것이 선호된다고 판단된다.

2.1.5. 호주의 온실가스배출량 산정방법

호주에서 시행되고 있는 「국가 온실가스 및 에너지 보고서 시스템」과 관련하여 온실가스배출량 산정방법은 「Technical Guidelines for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions by Facilities in Australia (2011)」에 제시되어 있다. 폐기물 매립시설의 유기물질이 분해됨에 따라 배출되는 온실가스(CH₄)는 물론, 매립가스의 소각처리에 의해 배출되는 온실가스(CH₄ 및 N₂O)까지도 대상으로 한다. 2008년 7월 1일 이후에 폐기물 반입이 이루어지고 연간 10,000 tCO₂ 이상의 온실가스를 배출하는 매립시설에 대해 적용하도록 하고 있다. 메탄배출량의 산정은 메탄발생량에서 메탄회수량과 메탄산화량을 빼주는 방식을 가지고 있어 2006 IPCC 가이드라인의 기본 개념을 따르고 있으나 메탄회수를 메탄포집, 메탄소각, 메탄이동의 세부적인 항목으로 구분하고 있다는 차이를 가진다.¹³⁾

폐기물 매립시설의 온실가스배출량 산정을 위한 호주의 기본적인 방법은 Method 1이다. 이는 회수율(0.75)을 기준으로 메탄발생량 계산방법을 달리하고 있는데 국내 지침(2012)상의 온실가스배출량 산정방법과 동일한 방식이다. 2006 IPCC 가이드라인에 의해 추정된 메탄발생량을 회수량과 비교하고, 그 비율인 회수율이 0.75 이하인 경우에는 당초 계산하였던 메탄발생량을 그대로 사용한다. 반면, 회수율이 0.75를 초과하는 경우에는 그 회수율을 사용하는 것이 아니라 메탄회수율을 0.75의 고정된 값의 회수율로 나누어서 메탄발생량을 다시 산정하도록 되어 있다(우리나라 온실가스

배출량 산정방법의 수식 참조). 이것은 매립시설에서 메탄회수율이 75%를 넘길 수 없다는 판단에 따른 것으로 보이나 세부적인 설명이나 근거는 확인되지 않는다.

한편, 같은 가이드라인에 제시되어 있는 Method 2를 통해서 0.75의 회수율 기준의 적용 없이 2006 IPCC 가이드라인의 일차분해모델로 메탄발생량을 직접 계산할 수 있도록 한다. 이것은 매립지 현장에 설정된 대표구역의 메탄발생량을 측정하고 그로부터 산출된 메탄발생속도상수(k)를 모델에 적용하도록 함으로써 현실성 있는, 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다고 판단하기 때문으로 여겨진다.

2.2. 온실가스배출량 산정방법의 비교 및 국내 적정 방법

앞에서 살펴본 각 온실가스배출량 산정방법은 폐기물 매립시설의 온실가스인 메탄의 배출량을 산정할 때 메탄발생량에서 메탄회수량과 메탄산화량을 빼주는 방식을 기본 개념으로 채택하고 있으며, 따라서 메탄배출량 산정을 위해 메탄발생량, 메탄회수량, 메탄산화량의 값을 구하여야 한다. 이 중 메탄회수량은 실제 포집되어 처리가 이루어진 메탄의 양을 이용하고 메탄산화량은 산화율 기본값을 사용할 수 있다.

그러나 Table 2에 비교하여 나타낸 바와 같이 메탄발생량은 일반적으로 일차분해모델을 사용하여 산출하더라도 메탄회수율을 이용하는 방법을 추가적으로 사용하는 등 온실가스배출량 산정방법에 차이가 있음을 알 수 있다. 2006 IPCC 가이드라인의 경우에는 일차분해모델과 매개변수를 이용하여 메탄발생량을 산정하고 여기에 메탄회수율을 사용하여 메탄배출량을 구하도록 하고 있다. 반면, 미국을 비롯한 호주와 우리나라에서는 일차분해모델에 의한 메탄발생량 산정방법과 함께 메탄회수율로부터 메탄발생량을 계산하는 방법도 제시하고 있다.

미국의 경우에는 일차분해모델을 이용하거나 일차분해모델 없이 메탄회수량과 회수율 데이터를 직접 활용하여 산정하는 두 가지 방법 중 하나를 선택하는 데 있어 별도의 회수율 기준을 제시하지 않고 있다. 이와 달리, 호주나 우리나라의 경우에는 일차분해모델에 의해 평가한 메탄발생량을 바탕으로 메탄회수율을 확인한 다음, 그 회수율을 기준값인 0.75와 비교하여 일차분해모델을 사용할 것인지 또는 메탄

Table 2. Comparison of methane generation estimation methods for greenhouse gas emission from landfill

Guideline	Using FOD model	Using methane recovery rate	
		(Recovered CH ₄)/ (CH ₄ recovery rate)	(Recovered CH ₄)/ (CH ₄ recovery rate = 0.75)
IPCC ⁷⁾	Yes	No	No
US ^{8,9)}	Yes	Yes	No
Japan ¹⁰⁾	No	No	No
Australia ¹³⁾	Yes	No	Yes
Korea ⁶⁾	Yes	No	Yes

회수량을 회수율로 나누는 방법을 적용할 것인지를 다시 결정하도록 하고 있다. 이 때 메탄회수량을 회수율로 나누어 메탄발생량을 계산하는 경우에는 0.75의 고정된 값을 회수율로 적용하도록 하고 있어 매립지의 가스포집 특성이 고려되지 않는다. 국내 지침(2012)에서는 구체적인 설명이 제시되어 있지 않으나 이러한 산정방법에 대한 비교를 통해서 국내 온실가스배출량 산정방법은 호주의 방법과 동일한 방식을 채택한 것임을 유추할 수 있다.

이와 같이 회수율 기준값을 이용하는 호주나 국내 온실가스배출량 산정방법에 따라 폐기물 매립시설의 메탄배출량을 평가할 경우, 2006 IPCC 가이드라인 일차분해모델과 매개변수를 이용하여 산정하기 때문에 이미 불확도를 포함하고 있는 메탄발생량을 결정하게 되는데, 여기에 보다 불확도가 증대될 가능성이 회수율 기준값으로 산정방법을 선정하도록 한다는 문제점이 있다고 판단된다. 또한, 메탄회수율은 폐기물 매립의 진행여부, 복토의 상태 및 재질, 포집시설의 유형과 운영형태 등으로 인해 개별 매립시설에 따라 매우 큰 차이를 나타낼 뿐만 아니라 동일한 매립시설에서도 변동성을 보인다. 그렇기 때문에 산정방법에서 기준값으로 정한 0.75의 회수율은 하나의 가정된 값으로서 다양한 조건을 가지고 설치 및 운영되는 실제 매립시설에 대한 대표적인 값이라 할 수 없다. 특히, 회수율이 0.75를 초과하는 것으로 확인된 경우에는 메탄발생량을 재산정하면서 고정된 회수율인 0.75를 무조건 적용하기 때문에 메탄발생량이 과대평가될 우려가 있고, 더욱이 최종적으로 그 메탄발생량에서 회수량을 차감하여 메탄배출량을 산정하는 과정에서 온실가스배출량 산정결과의 과대평가 정도가 크게 확대될 수 있어 신뢰성 있는 산정이 이루어지기 곤란한 것으로 판단된다.

한편, 호주 온실가스배출량 산정방법의 회수율 기준값, 회수율을 기준으로 한 산정방법의 구분 등에 대한 이유나 타당성과 관련한 구체적인 근거나 설명은 해당 가이드라인에 나타나 있지 않다. 다만, 호주의 폐기물 매립시설 오염물질 배출통계 보고서라 할 수 있는 「National Pollution Inventory-Emission Estimation Technique Manual for Municipal Solid Waste (MSW) Landfills (Version 1.2, 2005)」에서 가장 일반적인 매립가스 포집효율로 제시하였다고 설명하고 있고, 미국 Environmental Protection Agency (EPA)에서도 적용하고 있는 것으로 언급하고 있는 정도이다. 그러나 이전에 발간된 보고서¹⁴⁾에서는 메탄회수율로 볼 수 있는 매립가스 포집효율 75%는 미국 EPA의 매립시설 오염물질 배출계수¹⁵⁾로 표현하고 있을 뿐이므로 호주 산정방법의 회수율 기준값은 별도의 연구결과라기 보다는 미국에서 포집효율로 정한 평균값을 차용한 것으로 보인다. 이는 예측된 데이터를 가지고 장래의 매립가스배출량과 회수량을 계산하기 위해 미국 등에서 가정하여 사용되어 온 일반적인 매립가스 포집효율의 값을, 이미 확보된 자료에 기초하여 과거의 온실가스배출량을 산정하는 방법에 적용하면서 발생한 오류라고 볼 수

있다.

따라서 현재의 우리나라에서 채택하고 있는 산정방법과 같이, 회수량에 일률적인 값의 회수율을 적용하거나 불확실한 메탄회수율을 가정하여 온실가스배출량을 산정하는 것은 바람직하지 않다고 판단된다. 이미 국내 산정방법에서 메탄발생량 계산에 사용하도록 하고 있는 2006 IPCC 가이드라인의 산정방법을 활용하되 국내 매립시설의 특성과 조건을 반영할 수 있도록 적절한 매개변수를 도입하고 그 불확도를 적절하게 관리하는 것이 보다 신뢰성 있는 온실가스배출량 산정에 타당한 것으로 판단된다.

3. 메탄회수량 산정을 위한 적정 회수율

3.1. 국내외 메탄회수율 조사연구 및 적용사례

폐기물 매립시설에서 배출되는 온실가스의 양은 메탄발생량에서 메탄회수량과 메탄산화량을 제외한 값이므로 온실가스배출량 산정을 위해서는 메탄회수량에 대한 데이터가 필요하다. 회수량은 개별 매립시설에서 발생한 매립가스를 포집하고 이를 소각하거나 자원화하면서 이산화탄소로 전환되는 메탄을 의미하므로 매립시설 현장에서 포집과 처리 등의 과정이 이루어진다면 실측이 가능하다. 그러나 목표관리제 대상 매립시설에서는 현재 메탄회수량이 측정되더라도 과거 데이터가 없는 경우가 대부분이며, 포집시스템의 유형에 따라 측정이 곤란하거나 주기적인 측정이 이루어지지 않는 등 측정자료의 확보가 어려운 경우가 많다. 이러한 경우에는 메탄회수량을 알 수 없기 때문에 관련시설을 설치·운영함으로써 실질적으로 온실가스를 감축하였다더라도 메탄배출량 산정에 적용할 수 없게 되는 문제가 발생하므로 추정된 메탄발생량에 적절한 메탄회수율을 곱하여 메탄회수량을 도출하여야 한다.

미국의 MRR(2009)에서는 매립시설의 복토에 관한 정보가 없을 경우 회수율(포집효율)의 기본값으로 0.75를 제시하고 있지만 Table 3에 나타난 바와 같이 가스포집시스템과 복토조건을 확인하면 포집효율을 산정하여 배출량 산정모델에 적용하도록 하고 있다.⁹⁾ 이 값들은 별도의 보고서¹⁶⁾를 근거로 하여 제시된 값이며, 해당 보고서에서는 문헌검토를 통해 복토와 포집시스템에 따라 포집효율을 제시하였는데, 일일복토와 강제포집시스템의 경우 50~70%(기본값 60%), 중간복토와 강제포집시스템의 경우 54~95%(기본값 75%), 최종복토와 지오멤브레인 및 강제포집시스템의 경우 90~99%(기본값 95%)로 나타나 있다. 이를 포함한 국내의 현장조사 등으로부터 얻은 폐기물 매립시설의 메탄회수율(매립가스 포집효율)에 대한 연구결과를 Table 4에 나타내었다. 결과를 살펴보면, 매립시설의 조건에 따라 회수율에 차이가 나타나는 것을 볼 수 있으므로 매립가스 배출에 직접적인 영향을 미치는 복토와 가스포집시스템의 조건에 따른 적정 메탄회수율을 사용하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

Table 3. Landfill gas collection efficiencies from US MRR⁹⁾

Description	Landfill gas collection efficiency
A1: Area with no waste in-place	Not applicable; do not use this area in the calculation.
A2: Area without active gas collection, regardless of cover type	CE2: 0%
H2: Average depth of waste in area A2	
A3: Area with daily soil cover and active gas collection	CE3: 60%
H3: Average depth of waste in area A3	
A4: Area with an intermediate soil cover and active gas collection	CE4: 75%
H4: Average depth of waste in area A4	
A5: Area with a final soil and geomembrane cover system and active gas collection	CE5: 95%
H5: Average depth of waste in area A5	
Area weighted average collection efficiency for landfills	$CE_{ave} = (A2 \times CE2 + A3 \times CE3 + A4 \times CE4 + A5 \times CE5) / (A2 + A3 + A4 + A5)$

3.2. 국내 적정 메탄회수율 기준값

적정 메탄회수율을 확인하기 위하여 앞에서 살펴본 Table 4의 연구결과에서 국내 사용중 및 사용종료 매립시설에 대한 현장조사결과를 토대로 가스포집시스템의 형태에 따라 정리한 메탄회수율을 Table 5에 나타내었다. 여기서 메탄회수율은 다음 식에 의한 것으로 메탄산화량은 국내 지침(2012)

Table 5. Survey results for methane recovery rate of landfills in Korea

	Landfill	Methane recovery rate (%)
	With only active gas collection system	69.3 (53.7-84.4)
Operational landfill	With gas well and flaring combined with active gas collection system	57.4 (28.4-80.8)
	With only gas well and flaring	65.5 (14.3-98.4)
Closed landfill	With only active gas collection system	98.1 (95.1-99.7)
	With gas well and flaring combined with active gas collection system	98.6 (96.2-99.9)

이나 2006 IPCC 가이드라인 등에서 사용하는, 일반적인 메탄산화율 적용값인 10%를 이용하여 계산한 것이다. 또한, 사용중 매립시설은 일일복토 또는 중간복토가 이루어진 상태이고 사용종료 매립시설은 최종복토까지 진행된 복토조건을 가지고 있는 경우를 의미한다.

$$\text{메탄회수율(\%)} = \frac{\text{회수량(가스배제공(간이소각)배출 포함)}}{\text{회수량(가스배제공(간이소각)배출 포함)} + \text{표면발산량} + \text{메탄산화량}}$$

사용중 매립시설에서는 가스배제공(간이소각)만 운영하거나 가스배제공(간이소각)과 강제포집시스템의 병행에 따라 메탄회수율 57.4~65.6%의 일정범위로 확인되고 있어 강제포집 병행을 포함한 가스배제공(간이소각)에 따른 사용중 매

Table 4. Studies on methane recovery rate for waste landfill

Literature	Cover or gas collection	Methane recovery rate (%)
Afvalzorg Deponie BV (2000) ¹⁷⁾	-	9.1-44.0
Capaccioni et al. (2011) ¹⁸⁾	HDPE and clay liner	83-85
Di Bella et al. (2011) ¹⁹⁾	Capping	78.4-79.5
Scharff and Jacobs (2006) ²⁰⁾	Active gas collection	60
	Active gas collection and cover	90
	No gas collection	10
Spokas et al. (2006) ²¹⁾	1 m of clay layer	88.0-98.1
	30 cm of clay layer	88.0-92.5
	Geocomposite layer	40.9
	Geomembrane	83.8
SWICS (2007) ¹⁶⁾	Daily soil cover	60 (50-70)
	Intermediate soil cover	75 (54-95)
	Final cover and/or geomembrane	95 (90-99)
SLC (2010) ²²⁾	Sudokwon Landfill Site 1 Final cover and active gas collection	98.5 (95.5-99.9)
	Sudokwon Landfill Site 2 Intermediate cover and active gas collection	67.2 (55.4-85.7)
EMC (2008) ²³⁾ KECO (2009) ²⁴⁾ , 2010 ²⁵⁾	Gwangju Landfill Active gas collection	56.3-83.6
	Daejeon Landfill Active gas collection and leachate monitoring well	30.6-82.4
	Wonju Landfill Gas well and flaring	30.6-97.0
	Anseong Landfill Gas well without collection	29.4-98.1
	Okcheon Landfill Gas well without collection	90.8-98.6
	Jeungpyeong Landfill Gas well without collection	15.6-79.6
	Dangjin Landfill Gas well without collection	90.9-98.5

Table 6. Optimal default values of methane recovery rate for Korean landfill

Landfill	Cover	No gas collection	Gas well and flaring (Included combination with active gas collection)	Active gas collection
Operational landfill	Daily and Intermediate cover	0	0.60	0.65
Closed landfill	Final cover	0	0.90	0.90

립지의 적정 메탄회수율은 60% 수준인 것으로 판단된다. 사용중 매립시설에서도 강제포집시스템만 운영하는 경우에는 메탄회수율 69.3%를 나타내고 있어 이러한 조건에서는 메탄회수율을 65% 수준으로 선정하는 것이 적정한 것으로 보인다. 한편, 불투수층의 최종복토와 매립가스 강제포집시스템을 갖춘 사용종료 매립시설에서는 98% 내외의 매우 높은 회수율을 보이고 있어 해외의 연구사례 등을 고려할 때 적정 메탄회수율은 90% 수준에서 결정하는 것이 바람직하다고 여겨진다.

따라서 온실가스배출량 산정에 있어 매립시설의 조건에 따라 적용할 수 있는 적정 국내 메탄회수율 기준값은 Table 6과 같이 제안할 수 있다. 하지만 간이소각용 가스배출공과 강제포집시스템의 설치·운영에 따라 개별 대상매립지의 실제 메탄회수 특성은 큰 차이를 보일 수 있고, 이 기준값은 매우 한정된 연구결과를 반영하고 있으므로 국내 매립시설에 대한 폭넓은 연구를 통해 보완이 필요한 것으로 판단된다.

4. 산정방법에 적용하기 위한 적정 주요 매개변수

목표관리제에 따른 국내 온실가스배출량 산정방법에서는 폐기물 매립시설의 메탄배출량을 산정하기 위하여 다양한 매개변수를 사용하도록 하고 있다. 온실가스배출량 산정결과와의 신뢰성을 확보하기 위하여 이들 매개변수에 대하여 보다 정확한 데이터를 적용하는 것이 매우 중요하다. 그러나 우리나라 산정방법에서 제시하고 있는 매개변수는 Table 7에 나타낸 바와 같이 대부분 2006 IPCC 가이드라인에 제시된 기본값을 그대로 적용하도록 하고 있어 폐기물 및 매립시설의 설치·운영 조건 등 국내 특성을 고려한 적정 매

개변수의 도출 및 활용이 필요하다.

이들 매개변수 중 활동자료인 폐기물성상별 매립량(W)은 매립시설에 반입되는 폐기물에 대한 계근데이터와 성상조사 결과를 활용하므로 실제에 근접한 자료를 적용할 수 있으며, 메탄회수율(R_T)도 실측으로 구하도록 하고 있으므로 측정방법과 데이터 관리를 위한 검증으로 신뢰성이 확보된 자료를 이용할 수 있다.

배출계수 중 산화율(OX)와 메탄발생속도상수(k)는 폐기물 매립시설에서 신뢰성 있는 측정이 곤란하기 때문에, 한정된 연구결과를 기초하여 가정한 수치이기는 하지만 국제적으로 통용되고 있는 2006 IPCC 가이드라인의 값을 사용하는 것이 현재의 여건을 고려할 때 무리가 없다고 판단된다. 그러나 이들 항목들도 지속적인 연구와 보완은 필요할 것이다. 메탄부피비(F)는 일반적으로 적용되고 있는 매립가스의 메탄 농도인 50%를 기본값으로 하나 이는 매립시설의 여러 가지 조건에 따라 차이가 있고 그 변동성도 크므로 메탄회수율을 측정하는 과정에서 반드시 확인하여야 하는 메탄 농도 실측치를 사용하는 것이 바람직하다. 이외에 국내 여건을 감안한 보다 정확한 온실가스배출량 산정을 위해 우선 개선이 필요한, 분해 가능한 유기탄소비율(DOC), 메탄으로 전환 가능한 DOC 비율(DOC_i), 메탄보정계수(MCF) 등의 매개변수에 대해서는 다음에서 구체적으로 살펴보고자 한다.

4.1. 분해 가능한 유기탄소 비율(DOC)

DOC는 폐기물의 특성을 나타내는 배출계수이며, 지침(2012)에서는 IPCC의 가이드라인에서 제시하고 있는 기본값을 사용하도록 한다. 그러나 2006 IPCC 가이드라인에서 제시한 기본값은 국내 폐기물의 특성을 반영한 값이 아니고 특히, 혼합폐기물의 DOC값 등은 적용시 오차발생의 요인으로 작용할 소지가 크다. 또한 DOC는 특별한 연구에 의한 것이라기보다는 생물학적으로 분해가 가능하다고 판단되는 각 폐기물 조성의 물질들이 함유하고 있는 탄소의 양이기 때문에 폐기물 성상조사를 통해 확인된 결과를 바탕으로 DOC를 산출할 수 있고 이를 사용하는 것이 온실가스배출량 산정의 정확도 향상을 위해 필요하다.

목표관리제를 위한 산정방법에서 이미 매립시설은 폐기물 성상조사를 통해 폐기물성상별 매립량(W)을 측정하도록 하고 있어, 이 때 공정시험기준에 따라 폐기물 조성별 수분과 탄소함량을 측정하면 해당 매립시설의 폐기물 조성별 DOC를 구할 수 있다. 한편, 성상조사와 화학적 조성 등의 실측

Table 7. Activity data and emission factors of the Korean greenhouse gas estimation method for waste landfill

Activity data				Emission factors			
Mass of waste composition (W)	Methane recovery (R _T)	Degradable organic carbon (DOC)	Fraction of DOC which decomposes (DOC _i)	Methane correction factor (MCF)	Oxidation factor (OX)	Fraction of CH ₄ in generated landfill gas (F)	Methane generation constant (k)
Data by measurement	Data by measurement	Default values for waste composition in IPCC guidelines	Default value 0.5 in IPCC guidelines	Default values for landfill types in IPCC guidelines	Default values for landfill covers in IPCC guidelines	Default value 0.5 in IPCC guidelines	Default values for waste composition in IPCC guidelines

Table 8. Research results of DOC for Korean waste composition²⁷⁾

Food	Paper	Wood	Rubber & leather	Biodegradable others
0,115	0,275	0,330	0,439	0,245

으로부터 얻은 결과에서도 리그닌 등 난분해성 유기물질에 기인하는 경우에는 DOC에서 제외되는 것이 바람직하지만, 이러한 물질의 함량을 추가적으로 측정하지 않더라도 이는 폐기물에 함유된 탄소에서 실제 분해되는 탄소의 비율이라고 볼 수 있는 메탄으로 전환 가능한 DOC_r를 통해서 온실가스 배출량 산정에 반영될 수 있으므로 폐기물 성상조사 결과의 데이터를 적용하는 데 있어 문제가 없다.

개별 매립시설에서 폐기물 성상조사가 수행되지 못하거나 데이터가 없는 과거의 기간에 대한 온실가스배출량을 산정하여야 하는 경우에는 국내 폐기물의 조성별 DOC를 기본값으로 사용하는 것이 우리나라 폐기물 특성을 나타내는 적절한 결과의 도출에 필요하다. Table 8과 같이 이미 관련된 국내 연구결과가 보고된 사례^{26,27)}도 있어 국내 폐기물의 조성에 따른 DOC의 값은 도출 및 적용이 가능한 상태이다.

4.2. 메탄으로 전환 가능한 DOC 비율(DOC_r)

폐기물에 함유되어 있는 DOC가 매립시설에 처분된 상태에서 분해과정을 거쳐 메탄으로 바뀌는 비율이 DOC_r이다. 목표관리제에 따른 지침(2012)에서는 일률적으로 2006 IPCC 가이드라인의 기본값인 0.5를 DOC_r로 적용하도록 하고 있다. 이는 폐기물 매립량, DOC 등 온실가스배출량 산정을 위한 다른 매개변수는 폐기물의 조성에 따라 적용하도록 하고 있음에도 불구하고 매립시설의 현장에서 나타나는 폐기물의 생분해 특성인 DOC_r의 경우에는 폐기물 조성별 특성을 고려하지 않고 동일한 값을 사용하는 것이다. 또한 국내 연구결과^{28,29)}에서는 기본값 0.6 (0.58~0.62 범위)을 국내 폐기물에 대한 DOC_r로 적절한 수준으로 제시하고 있는 등 2006 IPCC 가이드라인의 값은 국내 폐기물의 특성을 나타내지 못하고 있다.

DOC는 폐기물에 포함되어 있는 탄소가 실제 매립시설 현장의 혐기성 분해조건 하에서 메탄으로 전환되는 비율을 나타내기 때문에 폐기물 조성에 따라 변화하는 수분 및 탄소 함량을 비롯한 생분해가능성 관련 인자들이 반영되어야 한다. 이와 같이 매립시설 현장의 조건을 감안하는 것이 정확도를 확보하는 데 있어 중요하지만 온실가스배출량 산정방법에서는 매립시설이 가지고 있는 조건은 MCF를 통해 구현하고 있으므로 DOC_r는 잠재적인 생분해도를 나타낸다고 볼 수 있다. 결국 Table 9의 국내 연구결과³⁰⁾와 같이 BMP

Table 9. Biodegradability based on volatile solid (VS) of Korean waste composition³⁰⁾

Food	Paper	Wood	Textile	Rubber	Leather	Biodegradable others	Mixture
0,682	0,692	0,439	0,451	0,046	0,243	0,585	0,366

(biochemical methane potential) test 등을 통하여 최적 조건 하에서 나타나는 잠재적인 생분해도를 폐기물 조성에 따라 확인하고 이를 탄소(DOC)를 기준으로 환산하여 DOC_r를 확보할 수 있다. 따라서 국내 폐기물의 조성별 특성이 반영된 DOC_r 데이터를 얻고 적용하는 것이 가능하며 이를 통하여 적정 온실가스배출량을 산정하는 것이 필요하다.

4.3. 메탄보정계수(MCF)

메탄보정계수(MCF)는 매립시설의 조성 및 운영에 따른 메탄 발생의 조건을 나타내는 것으로 국내 지침(2012)에서는 2006 IPCC 가이드라인에서 제시한 매립시설 유형별 기본값을 사용하도록 하고 있다. 매립시설에 차수시설과 복토를 시행하는 관리형 매립시설의 경우 혐기성 조건은 1.0, 준호기성 조건은 0.5의 MCF를 적용하며, 비관리형 매립시설의 경우에는 매립고가 5 m 이상일 때 0.8, 5 m 미만일 때는 0.4의 MCF를 적용한다. 이와 같이 MCF를 결정하는 매립시설의 특성은 폐기물 분해조건에 영향을 미쳐서 메탄으로 전환되는 정도에 변화를 줄 수 있는, 매립된 폐기물층에 대한 산소의 침투여부와 그 정도라고 할 수 있다.

목표관리제의 대상이 되는 국내의 매립시설은 관리형 매립시설에 속할 가능성이 크기 때문에 관리형 매립시설에 대한 혐기성 또는 준호기성의 MCF의 적용에 따라 온실가스 배출량 산정결과가 두 배의 차이를 나타낼 수 있어 적절한 매개변수 사용이 매우 중요하다. 그럼에도 불구하고 국내 지침(2012)은 물론, 2006 IPCC 가이드라인에서도 매립시설의 준호기성 여부를 판단할 수 있는 명확한 기준이 제시되어 있지 않은 상태이다. 한편, 온실가스배출량 산정방법의 실제 적용을 돕기 위해 발간된 「폐기물부문 온실가스 배출량 산정 매뉴얼(2012)」에서는 매립가스 채취공, 침출수배수시스템, 저류량 규제시설(집수시설)이 모두 운영되고 있는 매립시설을 준호기성으로 하고, 세 가지 시설 중 한 가지 이상 운영되는 매립시설은 혐기성으로 제시하고 있다.³¹⁾

준호기성 매립은 명확한 공학적 정의가 되어있지는 않으나²⁹⁾ 일반적으로 큰 관경의 침출수 집배수시설 등을 통하여 매립된 폐기물층 일부에 공기가 공급됨으로써 해당부분에서 호기성 분해가 이루어지고 조기안정화가 달성될 수 있도록 하는 매립방식을 의미하므로, 상기 매뉴얼의 기준시설 중 공기공급을 목적으로 하지 않는 매립가스 채취공은 준호기성의 기준으로는 부적절하고, 침출수 집배수 관련 시설은 폐기물층에 호기성 영역을 형성할 수 있는 형태여야 한다. 또한 충분한 공기공급시설이 설계·시공된 매립시설의 경우에도 국내 매립시설의 높은 침출수 수위 등으로 혐기성 상태로 유지될 가능성이 높기 때문에^{32,33)} 단순히 설계기준이나 설치여부, 측정자료 없는 운영자료만으로는 준호기성으로 판정할 수 없다. 따라서 아직 판단기준이나 효과 등에 대하여 연구결과나 합리적인 합의가 부족한 상태인 준호기성 매립을 불분명한 기준에 의해 적용하기보다는, 온실가스배출량 산정의 신뢰도를 높이기 위해 매립시설의 운영과정에

서 실제 공기공급이 확인 가능한 경우를 제외하면 국내 매립 시설은 혐기성 매립으로 보는 것이 타당하다고 판단된다.

5. 결론 및 제언

우리나라 「온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침(2012)」에서 제시하고 있는 폐기물 매립시설의 온실가스 배출량 산정방법을 종합적으로 검토하여 보다 신뢰성 있는 결과를 얻기 위한 산정방법의 개선방안을 도출하였으며, 온실가스·에너지 목표관리제를 위한 국내 매립시설에 대한 온실가스배출량 산정방법을 다음과 같이 제안하고자 한다.

1) 온실가스배출량 산정과정의 중복적용과 과대평가 발생 요인을 해소하기 위하여 메탄회수율 0.75를 기준으로 산정방법을 구분하고 그 단일값과 메탄회수량으로부터 메탄발생량을 계산하는 방법은 삭제한다. 이렇게 되면 이미 메탄배출량 산정의 기준방법으로 사용하고 있는 2006 IPCC 가이드라인의 일차분해모델로 온실가스배출량 산정방법이 일원화되므로 산정방법 적용시의 혼선으로 야기되는 문제도 해결할 수 있을 것으로 예상된다.

2) 온실가스배출량 산정에 필요한 메탄발생량과 메탄회수량은 각각 일차분해모델에 의한 추정과 매립시설 실측으로부터 구하여 적용하는 것이 바람직하다. 그러나 대상 매립시설에서 매립가스를 포집·처리함에도 불구하고 과거 메탄회수량 데이터를 확보하기 곤란한 경우에 대해서는 하나의 회수율 기본값을 사용하기보다는, 일차분해모델로 산정된 메탄발생량에 매립시설의 복토상태 등의 조건별 메탄회수율을 곱하여 메탄회수량을 산정하는 방법을 도입할 필요가 있다.

3) 메탄회수율 산정을 위한 국내 매립시설의 적정 메탄회수율 기준값은 사용중 매립시설의 경우 일일복토 또는 중간복토가 포설된 상태에서 가스배출공을 통해 자연적으로 포집하여 간소각으로 처리하는 매립시설에서는 0.60, 강제포집시스템을 설치·운영하는 매립시설에서는 0.65가 적정 수준으로 판단된다. 최종복토가 설치된 사용종료 매립시설의 경우에는 자연적인 포집이나 강제포집이 이루어지면 0.90의 메탄회수율 기준값을 적용할 수 있다.

4) 온실가스배출량 산정을 위해 필요한 주요 매개변수 중 분해 가능한 유기탄소 비율(DOC)과 메탄으로 전환 가능한 DOC 비율(DOC_f)은 국내 폐기물의 조성별 특성을 반영할 수 있도록 국내 연구결과를 이용하여 기준값을 도출하여 사용할 수 있다. 또한, 적정한 메탄보정계수(MCF)를 결정하기 위해서는 폐기물 매립시설의 혐기성 또는 준호기성 매립 해당여부를 명확히 확인할 수 있는 기준이 필요하며, 온실가스배출량 산정결과에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 관련시설의 설계나 설치 등의 단순한 기준에 의해 준호기성 매립으로 간주하는 것은 지양하여야 한다.

참고문헌

1. Korea Environment Corporation, Climate Change Information Website, <http://www.gihoo.or.kr>, February (2013).
2. Korean Ministry of Environment, "Attached Table 1 Criteria of Greenhouse Gas Emission and Energy Consumption for Selection of Managed Corporation (Company)," Operating Guideline for Greenhouse Gas and Energy Target Management System (Notification No. 2012-211)(2012).
3. Korean Ministry of Environment, "Attached Table 2 Criteria of Greenhouse Gas Emission and Energy Consumption for Selection of Managed Corporation (Establishment)," Operating Guideline for Greenhouse Gas and Energy Target Management System (Notification No. 2012-211 of the Ministry of Environment)(2012).
4. Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, National Greenhouse Gas Management System, <http://master.gir.go.kr>, January (2013).
5. Korean Ministry of Environment, "Attached Table 7 Target Setting Method Based on Benchmark," Operating Guideline for Greenhouse Gas and Energy Target Management System (Notification No. 2012-211)(2012).
6. Korean Ministry of Environment, "Attached Table 14 Estimation Method and Standard for Greenhouse Gas Emission by Activity, 26. Solid Waste Landfill," Operating Guideline for Greenhouse Gas and Energy Target Management System (Notification No. 2012-211)(2012).
7. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "Volume 5 Waste," 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, pp. 3.1~3.40(2006).
8. U. S. Environmental Protection Agency, "HH. Municipal Solid Waste Landfills," Mandatory Reporting of Greenhouse Gases; Final Rule, pp. 56334~56337(2009).
9. U. S. Environmental Protection Agency, "Subpart HH. Municipal Solid Waste Landfills," Mandatory Reporting of Greenhouse Gases; Final Rule, pp. 56475~56480(2009).
10. Japanese Ministry of the Environment and Ministry of Economy, Trade and Industry, "II Greenhouse Gas Emission Estimation Method, 3.3.14 Waste Disposal," Greenhouse Gas Emission Estimating and Reporting Manual (Ver. 3.3), pp. II-113~II-116(2012).
11. Japanese Ministry of the Environment, Guidelines of Monitoring and Reporting for Japan's Voluntary Emissions Trading Scheme (Ver.5.0)(2011).
12. Japanese Ministry of the Environment, National Greenhouse Gas Inventory Report of JAPAN(2013).
13. Australian Department of Climate Change and Energy Efficiency, "Part 5.2 Solid Waste Disposal on Land," Technical Guidelines for the Estimation of Greenhouse Gas Emissions by Facilities in Australia, pp. 300~332(2011).
14. Australian Department of Environment and Heritage, National Pollution Inventory (NPI)-Emission Estimation Manual for Municipal Solid Waste (MSW) Landfills (Version 1.1)(2002).
15. U. S. Environmental Protection Agency, "Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1: Stationary Point and

- Area Sources,” Fifth ed., AP-42. Section 2.4, Solid Waste Disposal(1998).
16. Solid Waste Industry for Climate Solution (SWICS), Current MSW Industry Position and State-of-the-Practice on LFG Collection Efficiency, Methane Oxidation, and Carbon Sequestration in Landfills, U. S.(2007).
 17. Afvalzorg Deponie BV, Quantifying Landfill Gas Emissions in the Netherlands; Definition Study, Netherlands(2000).
 18. Capaccioni, B., Caramiello, C., Tatano, F. and Viscione, A., “Effects of a temporary HDPE cover on landfill gas emissions: Multiyear evaluation with the static chamber approach at an Italian landfill,” *Waste Manage.*, **31**, 956~965(2011).
 19. Di Bella, G., Di Trapani, D. and ViViani, G., “Evaluation of methane emissions from Palermo municipal landfill: Comparison between field measurements and models,” *Waste Manage.*, **31**, 1820~1826(2011).
 20. Scharff, H. and Jacobs, J., “Applying guidance for methane emission estimation for landfills,” *Waste Manage.*, **26**, 417~429(2006).
 21. Spokas, K., Bogner J., Chanton, J. P., Morcet, M., Aran, C., Graff, C., Moreau-Le Golvan, Y. and Hebe, I., “Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection system?,” *Waste Manage.*, **26**, 516~525(2006).
 22. Sudokwon Landfill Site Management Corporation, The Report of Field Monitoring and Analysis for Landfill Gas Generation in Sudokwon Landfill Site(2010).
 23. Environment Management Corporation of Korea, The Report of Field Estimation and Study for Greenhouse Gas Emission from Landfill(2008).
 24. Korea Environment Corporation, The Report of Emission Factors Development for Greenhouse Gas from Waste Landfill Using Field Estimation(2009).
 25. Korea Environment Corporation, The Report of Emission Factors Development for Greenhouse Gas from Waste Landfill Using Field Estimation(2010).
 26. Seo, D.-C., Lee, H.-K., Jung, Y.-J., Lee, J.-J. and Lee, D.-H., “Chemical characteristics by physical compositions of municipal solid waste,” *J. Urban Sci. Univ. Seoul*, **27**(1), 131~138(2001).
 27. Bae, S.-J., Nah, J.-H., Jeon, E.-J., Seo, D.-C., Kim, Y.-J. and Lee, D.-H., “Estimation of DOC and DOC_f of municipal solid waste in landfill,” *J. Kor. Soc. Waste Manage.*, **28**(4), 413~422(2011).
 28. Bae, S.-J., Nah, J.-H., Jeon, E.-J., Seo, D.-C. and Lee, D.-H., “A Study on carbon balance in full scale landfills,” *J. Kor. Soc. Urban Environ.*, **9**(2), 99~105(2009).
 29. Sudokwon Landfill Site Management Corporation, The Report of Survey and Planning of Database System for Local Governmental Basic Data on Landfill Gas(2010).
 30. Sudokwon Landfill Site Management Corporation, The Report of Study on Potential Generation of Landfill Gas from Wastes(2004).
 31. Korean Ministry of Environment and Korea Environment Corporation, Greenhouse Gas Emission Estimation Manual (2012).
 32. Kim, H.-J., Bae, S.-J., Nah, J.-H., Kim, J.-H., Park, E.-Y., Kim, Y.-J. and Lee, D.-H., “Study on supply status and improvement of semi-aerobic waste disposal in Korea,” in Proceedings of the spring meeting of Korea Society of Waste Management, KSWM, Chuncheon, pp. 13~15(2011).
 33. Sudokwon Landfill Site Management Corporation, The Report of Study on Standard for Solid Waste Disposal Site Establishment and Management(2005).