

매립지에서의 호기 운영 관리를 통한 외부사업 방법론 개발 연구

전완^{*,****†} · 전은돈^{*} · 김형수^{*,***} · 김이준^{*,***} · 이충국^{**}

^{*}한국기후변화연구원 기후정책2연구실 선임연구원, ^{**}한국기후변화연구원 기후정책1연구실 수석연구원,

^{***}강원대학교 환경관리 및 정책협동과정 박사과정생

Development of an external project methodology through aerobic operation management in landfills

Cheon, Wan^{*,****†} · Jeon, Eun Don^{*} · Kim, Hyeong Su^{*,***} · Kim, Yijoon^{*,***} and Lee, Chung Kook^{**}

^{*}Researcher, Climate Policy Research Department 2, Korea Research Institute on Climate Change, Chuncheon, Korea

^{**}Chief Researcher, Climate Policy Research Department 1, Korea Research Institute on Climate Change, Chuncheon, Korea

^{***}Doctoral Student, Environmental Management and Policy Cooperative Course, Graduate School of Kangwon National University, Chuncheon, Korea

ABSTRACT

This study explores the development of a greenhouse gas (GHG) reduction methodology using landfill aeration technology in final-covered landfills. Prompted by global initiatives such as the Global Methane Pledge and Korea’s 2050 Carbon Neutral Strategy, this study focuses on mitigating methane emissions—a major contributor to GHG from anaerobic landfill processes. Aeration technology, which introduces oxygen into closed landfills, promotes aerobic decomposition and reduces methane generation. The research identifies and analyzes similar methodology, CDM methodology AM0083, to derive insights applicable to Korea Emissions Trading Scheme. Key components such as applicability conditions, baseline scenarios, project boundaries, GHG calculation methods, and monitoring approaches are examined. The main results of the study are as follows: First, the amount of GHG reduction can be estimated by applying a First Order Decay (FOD) model based on the amount of waste landfilled by waste composition, consistent with the national GHG inventory methodology. Second, when applying the FOD model, the GHG reduction can be calculated by considering the difference in methane correction factors between anaerobic and aerobic landfills. Finally, project emissions should account for nitrous oxide emissions generated by the application of aerobic landfill technology. These findings will serve as a basis for developing a GHG reduction methodology using landfill aeration technology, and facilitates estimation of reduction potential using real data from actual landfill sites.

Key words : Greenhouse Gas Reduction, Methodology, Landfill Aeration, External Project

1. 서론

2021년 제26차 UN기후변화회의에서 발표된 ‘글로벌 메탄 서약(Global Methane Pledge, GMP)’ 이후 160개 국가가 본 서약에 가입하면서(Global Methane Pledge,

2025) 메탄 감축은 국가 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contribution, NDC) 달성을 위한 필수적 의제로 부상하였다. 메탄의 지구온난화지수는 21로 이산화탄소보다 지구온난화에 21배 더 많은 영향을 미친다.

우리나라의 메탄 배출량은 2022년 기준 35.2 백만톤

†Corresponding author : wan@kric.re.kr (24239, 11, Subyeongongwon-gil, Chuncheon-si, Gangwon-state, Korea. Tel. +82-33-259-0136)

ORCID 전 완 0009-0004-8756-4243
전은돈 0000-0002-2310-8941
김형수 0009-0004-4390-5544

김이준 0009-0009-0291-2963
이충국 0009-0006-3885-5161

CO_{2eq}으로 국내 전체 온실가스 배출량의 4.9%를 차지하며, 농업(17.32 백만톤 CO_{2eq}, 49.3%), 폐기물(12.61 백만톤 CO_{2eq}, 35.9%), 에너지(4.98 백만톤 CO_{2eq}, 14.2%) 부문에서 주로 배출되고 있다. 세부적으로는 폐기물매립(33.0%), 벼재배(20.2%), 장내발효(19.1%) 순으로 배출되고 있다(Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea, 2025). 우리나라의 메탄 배출량 중 약 50%는 농업 부문에서 발생하지만, 농업 부문의 저탄소 농업기술은 생물학적 특성과 운영상의 제약으로 인해 현장 적용가능성이 낮다(Choi, 2022). 반면, 폐기물 부문에서 발생하는 메탄은 중소형 매립지 및 대규모 매립지 중 자원화시설이 중단된 매립지들에 공기주입 기술을 통해 효과적으로 온실가스를 저감할 수 있으므로(Korea Environmental Industry & Technology Institute, 2019), 보다 현실적이고 효과적인 온실가스 감축 수단이다.

2020년 발표된 ‘대한민국 2050 탄소중립전략’에서는 매립부문 공기주입 운영 강화 기술을 폐기물의 주요 감축 수단으로 제시하였다(The Government of the Republic of Korea, 2020). 공기주입 기술은 폐기물 매립지 내부에 공기를 공급하여 생물학적 분해를 촉진하는 방법으로 온실가스 발생량 감축과 동시에 사후관리기간을 단축시킬 수 있는 공법이다(Green Technology Center, 2020; Seoul Development Institute, 2010). 본 공법을 활용한 매립지 공기주입 프로젝트는 독일, 오스트리아, 중국 등 국제적으로 진행되고 있다(Brandstätter et al., 2020; Lei et al., 2018; Ritzkowski and Stegmann, 2012).

국내에서는 매립지 공기주입을 통한 메탄 저감 효과 관

련하여 국내 폐기물매립지 사례를 통해 공기주입 기술의 적용가능성 평가 연구(Ban et al., 2015)와 BMP 실험을 통한 공기 주입량에 따른 수도권매립지 메탄 생성량 변화 분석 연구가 수행되었으며(Shim et al., 2016), 2021년에는 실제 매립지를 대상으로 공기주입 기술의 온실가스 감축 효율을 평가하여 공기주입 전·후 메탄 감축효율이 61.1%인 것으로 조사된 연구가 있었다(Song et al., 2021).

매립지 공기주입 기술의 온실가스 감축수단으로의 확대를 위한 경제적 보완 방법으로 온실가스 감축 사업화가 필요하다. 온실가스 감축 사업화를 위해서는 출처가 명확한 최신의 데이터를 활용하여 원칙 및 기준에 따라 산정 방법론이 개발되어야 한다(Korea Environment Corporation, 2021). 대표적인 온실가스 감축 방법론으로는 국내 배출권 거래제 외부사업 방법론과 국외 CDM 방법론이 사용되고 있다. 국내에서는 매립지공기주입에 의한 온실가스 감축 기술 방법론이 개발되어 있지 않으나, 가축분뇨 또는 유기성 폐기물 유래의 메탄을 감축하는 방법론은 일부 개발되어 있다(Offset Registry System, 2025).

국외에서는 매립지 공기주입에 의한 온실가스 감축 기술의 방법론 및 고형폐기물 처리장에서 메탄을 감축하는 방법론이 개발되어 있다(United Nations Framework Convention on Climate Change, 2022). 하지만 CDM (Clean Development Mechanism) 방법론은 ‘폐기물 깊이가 10m 미만인 매립지에 적용가능’, ‘매립지의 매립가스 수집 비율이 50% 이하’이어야 하는 등 이미 최종복토된 매립지 관련 국내 법률 및 현황에 맞지 않는 부분이 존재하므로 국내 적용이 어려운 상황이다.

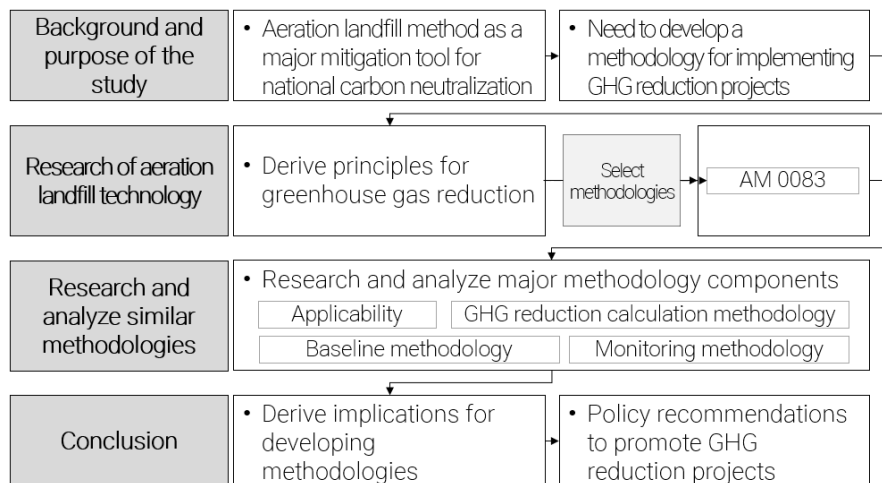


Fig. 1. Research methodology flowchart

현재 국내 폐기물매립지에서의 온실가스 배출량은 「국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인」 및 「온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침」[별표6]에서 제시하는 1차 반응모델(First Order Decay, FOD)을 통해 산정한다(Ministry of Environment, 2024a; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006). 1차 반응모델 산정식을 활용하여 본 연구는 온실가스 감축사업으로 활용 가능한 매립지 공기주입 기술의 온실가스 감축량 산정방법을 제시하고자 한다. 본 연구의 결과는 향후 폐기물매립 부문의 온실가스 감축 정책을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 연구절차 및 내용

본 연구의 주요 목적은 매립지 공기주입기술의 유사 방법론 사례를 조사 및 분석하여 국내 배출권거래제 상쇄제도에서 온실가스 감축량 산정 방법론 개발을 위한 시사점을 도출하는 데 있다.

이를 위해 첫째, 매립지 공기주입 기술의 온실가스 감축 원리를 도출하여 유사 방법론을 선정하였다.

둘째, 선정된 비교 방법론에 대해 적용조건, 사업경계 및 베이스라인 시나리오, 온실가스 산정 방법, 모니터링 방법 등 방법론 핵심 구성요소를 검토하였다.

최종적으로, 유사 방법론 사례 분석을 활용하여 국내 배출권거래제 상쇄제도 방법론 개발 방향에 대한 시사점을 제시하였다.

연구의 상세 절차는 Fig. 1에 설명되어 있다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 매립지 공기주입 기술의 온실가스 감축 원리 도출

3.1.1. 매립지 공기주입 기술의 온실가스 감축원리 도출 및 유사 방법론 선정

매립되는 폐기물은 다양한 물질로 구성되어 있으며, 폐기물에 포함된 유기물질 중 생물학적으로 분해 가능한 물질은 매립지 내부의 미생물 활동에 의해 분해된다. 분해는 크게 호기성과 혐기성 두 가지 조건으로 실시된다.

호기성 분해는 폐기물 층 내부에 존재하는 산소를 이용하여 분해 가능한 유기물질이 분해되는 과정이며 최종 산출물로 물과 이산화탄소가 발생한다. 호기성 분해를 통해

Table 1. List of similar methodology investigations

Methodology	Overview	Type of GHGs emissions mitigation action
AM00083 Avoidance of landfill gas emissions by in-situ aeration of landfills	Landfilled waste is treated aerobically on-site by means of air venting (overdrawing) or low pressure aeration with the objective of avoiding anaerobic degradation processes	GHGs emission avoidance (The project avoids CH ₄ emissions from landfills)

폐기물 층의 산소가 모두 소모되면 매립지 내부는 혐기성 상태로 전환되어 혐기성 조건의 분해가 진행되며 메탄과 이산화탄소가 최종산물로 생성된다. 이는 매립지 유지관리의 대부분 기간을 차지하게 되며 매립지의 온실가스 배출은 매립가스 발생량 예측과 혐기성 분해단계에 초점이 맞춰진다.

매립지 공기주입 기술은 공기주입시설을 활용하여 매립지 내부를 혐기성에서 호기성으로 전환시켜 매립가스 발생을 저감하는 공정으로 매립지 조기 안정화에도 기여할 수 있다. 공기주입 기술 도입시 발생하는 추가적인 온실가스 배출원은 공기주입시설 등 설비의 전력 사용에 따른 간접 배출이 존재한다.

국내에는 매립지 공기주입 기술을 적용한 온실가스 감축 방법론이 존재하지 않는다. 따라서 유사 방법론으로는 국외 CDM에 등록된 ‘매립지 현장 폭기에 의한 매립가스 배출 회피 방법론’을 선정하여 조사하였다.

선정된 방법론별 기술 개요와 온실가스 감축 메커니즘은 Table 1에 제시되어 있다.

3.2. 유사 방법론 검토 및 분석

유사 방법론에서 제시된 적용조건, 사업경계 및 베이스라인 시나리오, 온실가스 산정 방법, 모니터링 방법 등의 주요 구성 요소에 대해 검토 및 분석을 진행하였다.

3.2.1. 적용조건

적용조건은 특정 방법론의 적용을 위해 갖추어야 할 필수적인 조건들을 말한다. 유사 방법론의 적용조건은 방법론에 적용가능한 온실가스 감축기술 범위 제한, 사업경계를 명확히 하여 방법론 범위 이외의 온실가스 영향 제한, 감축사업의 추가성을 입증하기 위해 환경규제 의무 준수율 제한 등을 중점적으로 제시하고 있었다. 주요 적용조

Table 2. Key applicability

Key applicability
① Aeration techniques used are either air venting(overdrawing) or low pressure aeration
② Treatment of landfilled waste is in closed landfills or closed landfill cells
③ If mandatory environmental regulations require the collection and flaring of landfill gas, the corresponding compliance rate is below 50% in the host country
④ Closed cells of operating or closed landfills might be eligible as long as they are physically distinct from the remaining parts of the landfill

Table 3. Key baseline methodology

Key baseline methodology	
Baseline scenario	Partial or total release of landfill gas from the closed landfill or the closed landfill cell
Project scenario	In-situ aeration of the closed landfill or the closed landfill cell reduces GHGs emissions
Project boundary	Includes all sites and facilities incorporated within the business activities, such as landfill site, landfill cells, methane collection systems, air injection facilities, air injection pipes etc.

건은 Table 2에 제시되어 있다.

유사 방법론의 적용조건 분석을 통해 본 방법론에 적용할 주요 시사점은 아래와 같다. 먼저 사업기술의 기술적 적용범위와 적용기술을 명확히 하여야 하며, 적용범위 이외에서 발생하는 온실가스 감축 영향을 제한하여야 한다. 또한 매립지는 대기, 수질, 토양 등 환경규제를 다수 적용받는 사업 대상지이므로, 법적·제도적 추가성 이슈가 발생하지 않도록 법에 따른 의무적 행위를 제한할 수 있는 적용조건 설계가 필요하다.

3.2.2. 베이스라인 시나리오 및 사업경계

베이스라인 시나리오란 감축사업이 진행되지 않았을 경우 발생할 가능성이 가장 높은 법적 준수 대체 시나리오를 말한다. 사업경계는 베이스라인 배출원과 사업활동 배출원의 경계를 명확히 설정하는 것을 뜻한다.

유사 방법론의 베이스라인 시나리오는 폐쇄된 매립지 또는 폐쇄된 매립지 셀로부터 유기성폐기물의 혐기성 소화로 인해 바이오가스(메탄)가 배출하는 사업이다. 유사 방법론의 사업경계는 매립지, 전력 및 연료사용 시설 등 사업 활동에 포함되는 모든 시설을 포함하고 있었다. 각 공정별 주요 베이스라인 시나리오 및 사업경계는 Table 3과 같다.

유사 방법론의 베이스라인 시나리오와 사업경계를 참고하여 본 방법론에 적용 가능한 시사점은 다음과 같다. 매립지 공기주입 기술에 대한 베이스라인 시나리오로 폐쇄된 매립지로부터 유기성폐기물의 혐기성 소화로 인한 바이오가스 발생에 따른 메탄을 배출하는 사업 추진이 가능하다고 판단된다. 사업경계는 사업 활동과 관련한 모든

시설 범위(공기주입시설, 모니터링 기기 등)를 포함하여야 하는 것으로 분석되었다.

3.2.3. 온실가스 산정 방법

온실가스 감축량 산정은 베이스라인 배출량에서 사업 배출량 및 누출량을 차감하여 산정한다. 베이스라인 배출량은 감축 사업이 없었던 상태에서 예상되는 온실가스 배출량이며, 사업 배출량은 온실가스 감축사업을 시행 후 발생하는 온실가스 배출량을 의미한다. 누출량은 사업경계 외부에서 온실가스 감축활동 결과로 발생하는 온실가스 배출량이다.

유사 방법론의 온실가스 산정 방법은 배출량을 직접 측정하는 방식과 FOD 모델을 적용하는 추정 방식이 제시되고 있었다. 각 공정별 주요 온실가스 산정 방법은 Table 4와 같다.

유사 방법론의 온실가스 산정 방식을 토대로 본 방법론에 적용가능한 시사점은 다음과 같다. 온실가스 감축량 산정은 폐기물성상별 매립량을 활용한 FOD 모델을 적용할 수 있으며, 혐기성과 호기성 매립지의 메탄보정계수의 차이로 온실가스 감축량을 추정할 수 있을 것으로 판단된다. 이외에 사업 배출량으로는 매립지 공기주입에 따른 아산화질소 배출량과 공기 주입에 따른 전력 사용으로 인한 배출량을 산정한다. 추가적으로 사업 추진 시 발생하는 배출원은 모두 고려하여 사업배출량으로 산정하여야 한다.

Table 4. Key GHGs reduction calculation methodology

Key GHGs reduction calculation methodology		
Baseline emissions	Source	① Emissions from decomposition of waste at the landfill site
	Calculation methodology	① Measured methane emissions ② Methane emissions estimated using the FOD model
Project emissions	Source	① Direct emissions from the in-situ aeration of landfill ② GHGs emissions from on-site electricity use ③ GHGs emissions from on-site fossil fuel consumption due to the project activity
	Calculation methodology	① Measured methane emissions ② Methane emissions estimated using the FOD model ③ Measured nitrous oxide emissions ④ Emissions of N ₂ O estimated using default emission factors ⑤ Measured electricity and fossil fuel consumption

Table 5. Key monitoring methodology

Key monitoring methodology
① Utilize the CDM tools corresponding to each monitoring factor
② Applying default values provided in statistical reports by local governments, academic journal articles, etc
③ Applying monitoring methods presented in internationally recognized standards and guidelines (ISO 9001, UK guidance, VDI guideline 3790 etc)
④ Conducting direct measurements using similar equipment such as infrared sensors and gas detectors in accordance with internationally recognized standards

3.2.4. 모니터링 방법

모니터링 방법론은 모니터링 절차, 데이터 및 인자로 구성된다. 유사 방법론에서는 CDM 도구 활용, 측정 장비로 직접 측정, 국제 표준 적용 등의 주요 모니터링 방법을 제안하고 있었다. Table 5에서는 공정별 핵심 모니터링 방법을 제시하고 있다.

유사 방법론의 모니터링 방식을 바탕으로 본 방법론에 반영할 수 있는 시사점은 다음과 같다. 외부사업 지침에 명시되지 않은 모니터링 방법에 대해서는 CDM Tool과 국제적으로 인정받는 표준(영국 환경청 가이드라인 등) 등을 참조하여 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 배기 배출량을 모니터링하기 위해서는 농도와 가스유량이 같은 기준으로 연속 측정되어야 한다.

3.3. 온실가스 방법론(안) 도출

유사 방법론 사례 분석을 바탕으로 국내 외부사업 온실가스 감축 방법론(안)을 제안하였다. 외부사업 방법론(안)은 온실가스 감축사업 유형, 적용조건, 주요 모니터링 인자, 그리고 베이스라인 시나리오를 제시한다.

3.3.1. 온실가스 감축사업 유형

본 방법론의 온실가스 감축 기술은 기존에 사용이 종료되었거나 부분적으로 최종복토가 된 혐기성 매립지 내부에 공기를 주입하여, 매립된 폐기물의 혐기성 분해과정을 방지하고 호기성 분해를 달성하는 매립지 공기주입 기술이다. 따라서 국내 배출권거래제 승인대상 외부사업 분류에 근거한 온실가스 감축사업 유형은 폐기물 취급 및 처리이다.

3.3.2. 적용조건

주요 방법론 적용조건은 ① 사업 활동 대상지는 「폐기물관리법 시행규칙」에 따라 설치 및 관리되었으며 생활폐기물이 매립된 관리형 매립시설이어야 하고, ② 매립시설의 모든 가스배제공에 대하여, 외부공기 유입을 차단한 상태에서 휴대용 분석장비 또는 GC (Gas Chromatography) 등의 장비를 통해 월 1회 이상 실측한 가스 CH₄/CO₂ 부피비의 값이 33% 미만임을 증빙하여야 한다.

두 번째 적용조건은 공기주입 기술을 통한 매립지의 호기성 분해 여부를 판단할 수 있는 기준으로 배출권거래제 명세서 작성 가이드라인에서 제시하는 준호기성 메탄보정계수

적용조건을 차용하였다(Ministry of Environment, 2024b).

주요 방법론 적용불가조건 사업은 매립지의 악취를 발생시키고 복토층을 훼손할 수 있는 추가적인 굴착 공사를 추진하는 사업이다. 단, 매립지 공기주입 사업과정에서 매립가스 측정용을 위한 가스관측공 및 가스배제관 설치와 매립폐기물 특성조사를 위한 렌스 설치 등의 천공 등은 가능하다.

3.3.3. 주요 모니터링 인자

먼저 사업 배출량을 산정하기 위한 주요 모니터링 인자는 ①사업 후 공기주입 시 사용된 연간 전력 사용량 ②혐기성으로 관리되거나 공기주입 이전에 매립지에서 측정된 매립가스 중 CH₄와 CO₂의 비율 ③공기주입 후 준호기성 조건을 만족하는 매립지에서 측정된 매립가스 중 CH₄와 CO₂의 비율 등이다.

적용조건을 입증하기 위한 주요 모니터링 인자는 ① 사업 후 메탄 부피비 ② 사업 후 이산화탄소 부피비 등이다.

3.3.4. 베이스라인 시나리오

베이스라인 시나리오는 해당 사업을 수행하지 않았을 경우, 사용이 종료되었거나 부분적으로 최종복토가 된 관리형 매립시설 내부에서 유기성폐기물의 혐기성 분해로 인해 메탄가스가 발생하는 것이다.

4. 결론

매립지 공기주입 기술 기반 온실가스 감축량 산정 방법론 개발을 목적으로 본 연구는 유사 방법론을 검토하여 적용방안을 마련하였으며 주요 내용은 다음과 같다. 첫째, 온실가스 감축량 산정은 국가 온실가스 인벤토리 산정방식과 동일하게 폐기물성상별 매립량을 활용한 FOD 모델을 적용할 수 있다. 단, 성상확인이 불가능한 경우 ‘혼합 폐기물’ 기본값을 적용할 수 있다. 둘째, FOD 모델을 적용할 때 혐기성과 공기주입 매립지의 메탄보정계수의 차이로 온실가스 감축량을 산정할 수 있다. 이 때 공기주입 매립지의 메탄보정계수는 국내 배출권거래제에서 적용하는 기본값이나 IPCC 2019 가이드라인에서 제시하는 산정식을 적용할 수 있다. 셋째, 사업 배출량으로 공기주입에 따라 발생하는 아산화질소 배출량과 공기 주입에 따른 전력 사용으로 인한 배출량을 고려하여야 한다. 아산화질소 배출량은 CDM AM0083에서 제시하는 산정식을 적용하

여 산정할 수 있다.

또한 도출된 시사점을 토대로 온실가스 감축 사업유형, 적용조건, 주요 모니터링 인자, 베이스라인 시나리오 등을 포함하는 외부사업 방법론(안)을 마련하였다. 본 방법론은 사용이 종료되었거나 부분적으로 최종복토가 된 혐기성 매립지에 공기를 주입하여 매립지 내부에 호기성 분해를 달성하여 메탄 배출을 줄이는 사업에 적용 가능하다. 특히 매립지의 호기성 분해 유지를 위해 월 1회 이상 CH₄/CO₂ 부피비 모니터링을 통해 계산값이 33% 미만임을 입증하여야 본 방법론 적용이 가능하다. 온실가스 감축량 산정을 위해서는 CH₄ 부피비, CO₂ 부피비, 공정별 외부전력 사용량 등이 모니터링 인자에 포함되어야 한다.

매립지 공기주입을 통한 외부사업 추진시 주요 정책적 시사점은 다음과 같다. 국가 온실가스 인벤토리 산정시 관리형 매립지의 CH₄ 배출량은 IPCC GPG 2000의 Tier2에 해당하는 FOD 방법론으로 산정하고 있다. 본 방법론의 온실가스 감축 기술은 매립지 공기주입 기술로, 현재 국내 온실가스 인벤토리 산정기준에 따라 준호기성 메탄 보정계수를 적용하여 온실가스 감축량을 산정할 수 있다. 향후 IPCC 2019 가이드라인이 온실가스 인벤토리 산정기준으로 채택된다면, IPCC 2019 가이드라인에 제시된 호기성 메탄보정계수를 반영해 준호기성에서 호기성에 이르는 호기성 분해 메커니즘을 보다 세밀히 구분하여 온실가스 감축량 산정의 정확도를 높일 필요가 있다.

향후 본 연구를 기초로 매립지 공기주입 기술을 적용한 온실가스 감축량 산정 방법론을 개발하며, 실제 폐기물 매립지의 데이터를 통해 온실가스 예상 감축량을 산정할 계획이다.

사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 비이산화탄소 온실가스 저감 사업화 연계 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(RS-2022-KE002150).

Reference

- Ban JK, Park JK, Kim K, Yoon SP, Lee NH. 2015. Possibility of aerobic stabilization technology for reducing greenhouse gas emissions from landfills in Korea (in Korean with English abstract). J Korea Org

- Resour Recycl Assoc 23(4): 40-51. doi: 10.17137/korrae.2015.23.4.040
- Brandstätter C, Prantl R, Fellner J. 2020. Performance assessment of landfill in-situ aeration - A case study. *Waste Manag* 101: 231-240. doi: 10.1016/j.wasman.2019.10.022
- Choi EJ. 2022. Domestic and international trends in low carbon agriculture technologies. *e-World Agric* 13: 3-12.
- Global Methane Pledge. 2025. Pledgs; [accessed 2025 Jul 9]. <https://www.globalmethanepledge.org/#pledges>.
- Green Technology Center. 2020. In-depth report by the bio and waste division of the GTC carbon neutrality technology expert council. Seoul, Korea: Author.
- Greenhouse Gas Inventory and Research Center of Korea. 2025. National greenhouse gas inventory (1990~2022) (based on the 2006 IPCC guidelines). Cheongju, Korea: Author.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. 2006 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Korea Environment Corporation. 2021. Common guidelines for methodologies of external projects. Incheon, Korea: Author.
- Korea Environmental Industry & Technology Institute. 2019. Final report on commercialization of aerobic stabilization technology for greenhouse gas reduction and heat energy recovery in waste landfills. Seoul, Korea: Author.
- Lei L, Jun M, Qiang X, Jingbang S, Yijun C, Gang Z. 2018. The in situ aeration in an old landfill in China: multi-wells optimization method and application. *Waste Manag* 76: 614-620. doi: 10.1016/j.wasman.2018.02.041
- Ministry of Environment. 2024a. Guidance on emission reporting and certification of greenhouse gas emissions trading system. Sejong, Korea: Author.
- Ministry of Environment. 2024b. Guidelines for preparing GHG emission reports under the emission trading scheme. Sejong, Korea: Author.
- Offset Registry System. 2025. Methodology for energy production and utilization businesses using biogas plants in rural areas. Public disclosure-current status of methodology; [accessed 2025 Jul 9]. <https://ors.gir.go.kr/home/orme010/activeList.do?menuId=10>.
- Ritzkowski M, Stegmann R. 2012. Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings. *Waste Manag* 32: 1411-1419. doi: 10.1016/j.wasman.2012.02.020
- Seoul Development Institute. 2010. The efficient use of Sudokwon landfill site. Seoul, Korea: Author.
- Shim MH, Lee KH, Ryu DS, Kim YH. 2016. Analysis of effect of air ingress into the landfill by BMP test. *Proceedings of the 2016 Autumn Conference of the Korea Society of Waste Management*. p. 79.
- Song SH, Ko JH, Park SH, Kim RH, Kim SM, Lee NH, Park JK. 2021. Assessment of greenhouse gas emission savings and methane correction factor in an aerobic municipal solid waste landfill (in Korean with English abstract). *J Korea Soc Waste Manag* 38(4): 303-309. doi: 10.9786/kswm.2021.38.4.303
- The Government of the Republic of Korea. 2020. 2050 carbon neutral strategy of the republic of Korea. Seoul, Korea: Author.
- United Nations Framework Convention on Climate Change. 2009. Avoidance of landfill gas emissions by in-situ aeration of landfills. Bonn, Germany: Author.