

혼합 건설폐기물 처리경로별 전과정 온실가스 발생량 평가

김다연* · §황용우** · 강홍윤* · 문진영*

*인하대학교 글로벌산업·환경융합전공, **인하대학교 환경공학과

Evaluation of Greenhouse Gas Emissions for Life Cycle of Mixed Construction Waste Treatment Routes

Da-Yeon Kim*, §Yong-Woo Hwang**, Hong-Yoon Kang* and Jin-Young Moon*

*Program in Global Industrial & Environmental Technology Convergence, Inha University,

** Department of Environmental Engineering, Inha University

요 약

우리나라는 2019년 221,102 ton/day의 건설폐기물이 발생하였으며, 그 중, 본 연구의 대상인 혼합 건설폐기물 발생량은 24,582 ton/day로 조사되었다. 나머지 건설폐기물은 98.9%의 상당히 높은 수준으로 재활용되고 있다. 폐기물 부문의 온실가스 배출량은 17.1 백만 ton CO₂-eq.로 총발생량의 2.3% 정도를 차지한다. 온실가스 배출을 감축하기 위해 환경영향 저감 방법 등에 관한 관심이 점차 증대되고 있으나, 혼합 건설폐기물의 발생량은 현재까지 지속적으로 증가하고 있어 이에 대한 적절한 처리가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 분리 선별이 어려워 매립 및 소각에 의해 처리하는 경우가 대부분이며, 단순처리보다 재활용을 위한 효율적인 방안 마련이 시급한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 혼합 건설폐기물의 처리경로별 온실가스 배출량 산출을 통해 환경영향을 검토하였다. 그 결과, 온실가스 발생량이 가장 높은 것은 소각단계로 나타났으며, 최적의 온실가스 저감 방안은 단순 소각처리가 아닌 재활용, 에너지회수를 통한 재활용 처리가 최적의 방안이라고 판단된다. 또한, 에너지화 단계의 온실가스 발생량은 두 번째로 높게 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 폐기물을 에너지로 활용하여 화석연료 사용 절감을 통해 온실가스 배출량을 감축시킬 수 있다고 판단된다. 수송단계에서는 최적의 거리 설정과 바이오연료 및 전기자동차 운행 등을 적용하여 온실가스 발생량을 최소화하는 것이 최적의 방안이라고 판단된다.

주제어 : 혼합 건설폐기물, 전과정평가(LCA), 온실가스 배출량 산정, 환경영향, 재활용

Abstract

Construction waste is generated at a rate of approximately 221,102 tons/day in Korea. In particular, mixed construction waste generates approximately 24,582 tons/day. The other components were recycled by 98.9%. The amount of greenhouse gas emissions from the waste was 17.1 million tons of CO₂ equaling 2.3% of the total greenhouse gas emissions. To reduce greenhouse gas emissions, reducing the environmental impact is becoming increasingly important. However, appropriate treatment must first be established, as mixed construction waste is also increasing. Thus, an effective plan is urgently needed because it is frequently segregated and sorted by the landfill and incinerated. In addition, there is an urgent need to prepare various effective recycling methods rather than a simple treatment. Therefore, this study analyzed the environmental impact of the treatment of mixed construction waste by calculating greenhouse gas emissions. As a result, the highest greenhouse gas

· Received : December 17, 2021 · Revised : December 23, 2021 · Accepted : January 4, 2022

§ Corresponding Author : Yong-Woo Hwang (E-mail : hwangyw@inha.ac.kr)

Department of Environmental Engineering, Inha University, 100 Inha-ro, Michuhol-gu, Incheon 22212, Korea

©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.

generation occurred during the incineration stage. Moreover, the optimal method to reduce greenhouse gas emissions is recycling and energy recovery from waste. In addition, the amount of greenhouse gas generated during energy recovery from the waste stage was the second highest. However, greenhouse gas emissions can be reduced by using waste as energy to reduce fossil fuel consumption. In addition, for the transportation stage, the optimal reduction plan is to minimize the amount of greenhouse gas emissions by setting the optimal distance and applying biofuel and electric vehicle operations.

Key words : Mixed Construction Waste, Life Cycle Assessment(LCA), Estimation of Greenhouse Gas Emissions, Environmental Impact, Recycle

1. 서 론

우리나라는 2019년 221,102 ton/day의 건설폐기물이 발생한 것으로 조사되었으며 그중, 본 연구의 대상인 혼합 건설폐기물 발생량은 24,582 ton/day로 확인되었다. 이러한 건설폐기물은 매립 1,767 ton/day 및 소각 621 ton/day 정도의 양으로 처리되고 있다. 나머지 건설폐기물은 대부분 재활용되는 것으로 조사되었으며, 그 비율은 98.9%로 상당히 높은 수준으로 나타났다¹⁾. 폐기물 부문의 온실가스 배출량은 17.1백만 ton CO₂-eq.로 온실가스 총 발생량의 2.3% 정도를 차지하고 있는 것으로 조사되었으며, 폐기물의 매립 및 소각에 의해 각각 45.8% 및 41.5%의 비율로 온실가스가 발생하는 것으로 나타났다²⁾. 매립 및 소각에 의한 온실가스 배출을 감축하기 위해 처리 및 재활용 등의 환경영향 저감 방법 등에 관한 관심이 점차 증대되고 있으나, 건설폐기물의 발생량은 현재까지 지속적으로 증가하고 있다³⁾. 건설폐기물의 약 10%를 차지하는 혼합 건설폐기물 또한 지속적으로 증가하고 있어 이에 대한 적절한 처리가 필요할 것으로 판단된다.

「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률 시행령」 별표⁴⁾ 건설폐기물의 종류에 따르면 혼합건설폐기물은 폐콘크리트, 페아스팔트 콘크리트, 폐벽돌, 폐블록, 폐기와, 폐목재, 폐합성수지, 폐섬유, 폐벽지, 건설오니, 폐금속류, 폐유리, 폐타일 및 폐도자기, 폐보드류, 폐판넬 중 둘 이상 혼합된 것을 의미한다. 이러한 혼합 건설폐기물은 성상을 분라·선별하는 것이 어려워 매립 및 소각에 의해 처리하는 경우가 대부분이며, 재활용 시 공정비용이 상당히 많이 발생하는 등의 부정적인 영향이 크다^{5,6)}. 또한, 매립 및 소각은 건축자재 소비 및 원자재 생산으로 인한 에너지소비와 토지, 수자원 및 대기오염을 초래하는 등의 건물의 수명주기 동안 심각한 환경문제를 야기한다^{7,8)}.

혼합 건설폐기물 중 가연성 건설폐기물은 높은 에너

지 잠재성을 가지고 있어 매립 및 소각 등의 단순처리보다 고형연료화 등을 통한 에너지원으로 활용 가능하다^{9,10)}. 또한, 차¹¹⁾의 연구에 의하면 재활용 및 에너지회뿐만 아니라 건설폐기물 수송 계획 시 수송차량의 종류, 소요 대수 및 수송 거리 등의 산정에 따라 온실가스 배출량 저감에 중요한 요인이 될 수 있는 것으로 파악되었다. 현재 국내 건설폐기물 재활용 현황은 상당히 높게 조사되어 있으나 처리업체에 일임하는 폐기물까지 모두 재활용으로 분류되어 실질적인 재활용률은 낮다고 사료된다. 또한, Eurostat¹²⁾에 의하면 건설 및 철거 폐기물은 주로 매립처리 되는 것으로 조사되었으며, Helena¹³⁾의 연구에 의하면 혼합 건설폐기물 매립처리의 경우 환경 및 경제적 평가 결과, 모든 평가에서 좋지 않은 것으로 나타났다. 건설 부문은 환경에 상당한 영향을 가지는 핵심 영역이며¹⁴⁾, 자원의 효율적인 활용 및 환경영향 저감을 위하여 단순 매립, 소각처리보다는 재활용을 위한 효율적인 방안 마련이 시급한 실정으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 혼합 건설폐기물의 처리경로별 온실가스 배출량을 산출하여 환경영향을 최소화할 수 있는 최적 처리 방안을 제시하고자 한다.

2. 연구대상 및 시나리오 설정

Table 1에 본 연구의 대상인 혼합 건설폐기물 발생량을 나타내었다. 가연성·불연성 혼합폐기물은 총 24,582 ton/day가 발생하였으며, 폐보드류 및 폐판넬을 제외한 혼합 건설폐기물은 24,367 ton/day로 나타났다¹⁾. 또한, 본 연구에서 혼합 건설폐기물 성상에 따른 발생량은 송과 성¹⁵⁾의 연구에서 제시한 혼합 건설폐기물의 성상 비율을 적용하여 연구를 진행하였다. 이 연구에 의하면 건설공사에서 발생하는 폐기물의 발생원단위를 조사하여 수집된 데이터를 바탕으로 건설폐기물의 발생실태와 처리형태 등을

Table 1. Mixed construction waste generation¹⁾

Waste type		Generation (ton/day)
Combustible·non-flammable mixed	Waste boards	206
	Waste panel	9
	Mixed construction waste	24,367

Table 2. Scenario settings for the treatment of mixed construction waste

Type	The details
Scenario 1	Landfill : non-combustible waste (2,437 ton/day) Incineration : combustible waste (21,930 ton/day)
Scenario 2	Recycling : non-combustible (2,437 ton/day) and combustible waste (5,570 ton/day) Landfill : the other non-combustible waste (1,219 ton/day)
Scenario 3	Energy recovery from waste : combustible waste (21,930 ton/day) Landfill : non-combustible waste (2,437 ton/day)
Scenario 4	Energy recovery from waste : combustible waste (21,930 ton/day) Recycling : non-combustible waste (2,437 ton/day) Landfill : the other non-combustible waste (1,219 ton/day)

Table 3. Fuel consumption of vehicles according to the transport distance of mixed construction waste

Type	Unit	Generation
Mixed construction waste	ton/day	24,367
Number of vehicles required	units	1,624
Transport distance	km	44
Vehicle fuel economy	km/L	3.2
Fuel consumption of vehicles according to the transport distance	L	22,330

도출하였으며, 혼합 건설폐기물 중 가연성 건설폐기물 90%, 비가연성 건설폐기물 10%로 나타났다.

Table 2에 본 연구에서 설정한 혼합 건설폐기물 처리 경로별 시나리오를 나타내었다. scenario 1은 비가연성 건설폐기물 전량 매립 및 가연성 건설폐기물 전량 소각처리, scenario 2는 비가연성 및 가연성 건설폐기물 재활용, 그 외 비가연성 건설폐기물 매립처리, scenario 3은 가연성 건설폐기물의 에너지화, 그 외 비가연성 건설폐기물 매립처리, scenario 4는 가연성 건설폐기물의 에너지화, 비가연성 건설폐기물의 재활용, 그 외 비가연성 건설폐기물 매립처리로 설정하였다.

3. 처리경로별 온실가스 발생량 산정

3.1. 수송단계

수송 거리에 따른 경유 사용량은 식 (1)을 이용하여 산

정하였다.

$$Q = \text{소요대수} \times \text{수송거리}(km) \div \text{연비}(km/L) \quad (1)$$

여기서,

Q : 수송 거리에 따른 연료 사용량

차량의 종류 및 연비는 이¹⁶⁾의 연구에서 제시한 공사 현장에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 수송 장비 15 ton 덤프트럭을 대상으로 하였으며, 연비는 3.2 km/L를 적용하였다. 수송단계에서의 혼합 건설폐기물 수송량은 24,367 ton/day로 적용하였으며, 수송량에 따른 소요 대수는 약 1,624대로 적용하였다. 수송 거리는 수도권매립지 반입 허용지역의 총 64개 지역 거리 평균인 44 km로 선정하였으며, Table 3에 혼합 건설폐기물 소요 대수 및 수송 거리에 따른 차량의 연료 사용량을 나타내었다.

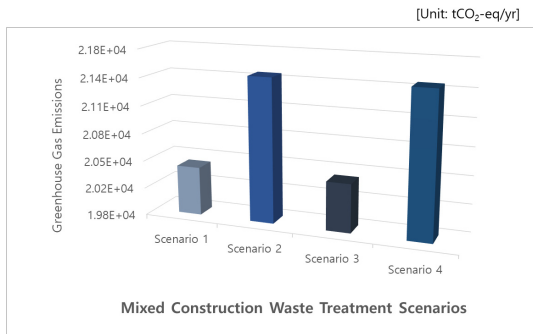


Fig. 1. Greenhouse gas emissions caused by transportation for 4 scenarios.

매립, 소각 및 에너지화는 수도권매립지관리공사에서 처리하는 것으로 가정하였으며, 재활용은 재활용업체를 통한 후 나머지 폐기물을 수도권매립지관리공사에서 처리하는 것으로 가정하였다.

본 연구에서는 2006 IPCC Guideline¹⁷⁾을 활용하였으며, 온실가스 배출량 산정을 위해 이동 연소 도로 부문 Tier 1 식 (2)를 활용하였다. 연료 사용량은 22 kL를 적용하였으며, 열량 계수는 35.2 TJ/1000 m³를 적용하여 온실가스 배출량을 산정하였다.

$$E_{i,j} = \sum (Q_i \times EC_i \times EF_{ij} \times 10^{-6}) \quad (2)$$

여기서,

$E_{i,j}$: 연료 종류 i 의 사용에 따른 온실가스 j 의 배출량 (tGHG)

Q_i : 연료 i 의 사용량(KL-연료)

EC_i : 연료 i 에 따른 열량계수(순발열량, MJ/L-연료)

$EF_{i,j}$: 연료에 따른 온실가스 j 의 배출계수(kgGHG/TJ-연료)

i : 연료 종류

Fig. 1에 시나리오별 수송에 따른 온실가스 배출량을 나타내었다. scenario 2 및 scenario 4의 온실가스 배출량은 2.14E+04 tCO₂-eq/yr로 가장 높은 것으로 나타났다. 매립 및 소각처리 후 재활용 처리를 위한 수송으로 인하여 수송 거리가 멀어짐에 따라 더 많은 온실가스 배출량이 발생하는 것으로 판단된다.

Table 4. Landfill gas collection according to noncombustible waste generation

Non-combustible waste (ton/yr)	Annual landfill gas collection per ton (m ³ /yr)	Annual landfill gas collection of noncombustible waste (m ³ /yr)
889,505	1.45	1,289,782

3.2. 매립단계

매립단계에서의 비가연성 건설폐기물은 2,437 ton/day로 연간 889,505 ton이 전량 매립되는 것으로 가정하였다. Table 4에 매립발생량에 따른 매립가스 포집량을 나타내었으며, 수도권매립지관리공사¹⁸⁾의 1, 2 매립지 매립용량에 따라 분당 약 400 m³의 매립가스가 발생하는 것으로 조사되었다. 따라서, 매립량 ton 당에 따른 매립가스 포집량을 산출하였으며, 비가연성 건설폐기물의 연간 발생량에 따른 매립가스 포집량은 1,289,782 m³/yr로 나타났다.

비가연성 건설폐기물 발생량에 따른 매립단계에서의 온실가스 배출량 산정은 2006 IPCC Guideline의 공정배출 고형폐기물의 매립 Tier 1 식 (3)을 활용하여 산정하였다. 수도권매립지관리공사에 따르면 폐기물 분해 과정에서 메탄의 농도가 약 50~60% 정도 발생하는 것으로 조사되어 본 연구에서 메탄 발생률을 약 50%로 가정하였다. 분해 가능한 유기탄소 비율 및 메탄 발생 속도상수는 사업장 폐기물 중 건설 및 파쇄 잔재물 기본값 0.1을 적용하였다. 또한, 메탄 보정계수는 매립시설 유형 중 관리형 매립지-준호기성에 해당하는 기본값 0.5를 적용하였으며, 산화율의 경우 토양, 퇴비 등으로 복토되는 매립지에 해당하는 기본값 0.1을 적용하였다.

$$CH_4 Emissions = \quad (3)$$

$$\left[\sum_x CH_4 generated_{x,T} - R_T \right] \times (1 - OX)$$

$$CH_4 generated_{x,T} = DDOCh_{,decomp_T} \times F \times 1.336$$

$$DDOCh_{,decomp_T} = DDOCh_{a_{T-1}} \times (1 - e^{-k})$$

$$DDOCh_{a_{T-1}} = DDOCh_{d_{T-1}} + (DDOCh_{a_{T-2}} \times e^{-k})$$

$$DDOCh_{d_{T-1}} = W_{T-1} \times DOC \times DOC_j \times MCF$$

여기서,

$CH_4 Emissions_T$: T년도 메탄 배출량

$CH_4 generated_T$: T년도 발생 가능한 최대 메탄배출량

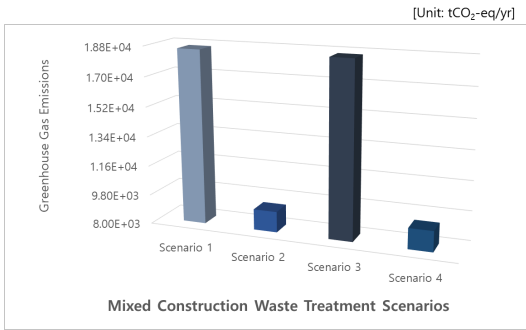


Fig. 2. Greenhouse gas emissions caused by landfill for 4 scenarios.

- R_T : T년도에 회수된 메탄량
- OX : 매립지 표면에서의 산화율
- F : 발생 매립가스에 대한 메탄 부피비
- K : 메탄 발생 속도상수
- $DDOCmd_{T-t}$: T-1년도에 매립된 혐기적 분해가능한 유기탄소
- W : 폐기물 매립량
- DOC : 분해 가능한 유기탄소 비율
- DOC_j : 메탄으로 전환 가능한 DOC 비율
- MCF : 호기성 분해에 대한 메탄 보정계수
- T : 산정년도
- X : 폐기물 성상

Fig. 2에 시나리오별 매립에 따른 온실가스 배출량을 나타내었다. scenario 1 및 scenario 3의 온실가스 배출량은 1.83E+04 tCO₂-eq/yr로 가장 높은 것으로 나타났으며, scenario 2 및 scenario 4의 온실가스 배출량은 9.10E+03 tCO₂-eq/yr로 비가연성 건설폐기물 전량 매립 대비 재활용 처리 후 나머지 50%(1,219 ton/day)의 폐기물을 매립하여 온실가스 배출량이 감소한 것으로 판단된다.

3.3. 소각단계

소각단계에서의 가연성 건설폐기물은 21,930 ton/day로 전량 소각하는 것으로 가정하였다. 폐기물 성상에 따른 배출량은 문¹⁹⁾의 연구에서 제시한 매립지에 반입되는 혼합 건설폐기물 시료의 물리적 조성 결과를 활용하였으며, 이를 Table 5에 나타내었다. 혼합 건설폐기물의 물리적 조성 결과 폐목재 25.4%, 폐합성수지 7.5% 및 폐벽지

Table 5. Results of physical composition of mixed construction waste in landfill

Type	Percentage (%)
Wood	25.4
Synthetic resin	7.5
Wallpaper	2.1
Fider	1.2

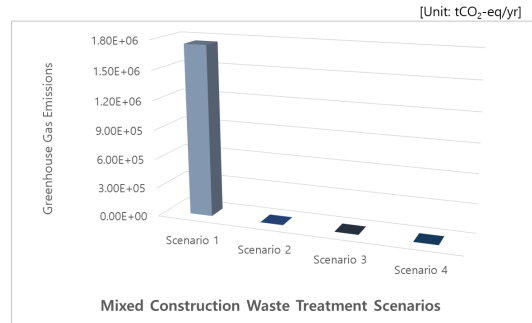


Fig. 3. Greenhouse gas emissions caused by incineration for 4 scenarios.

2.1% 등으로 나타났다.

소각단계에서의 온실가스 배출량 산정은 2006 IPCC Guideline 소각에 해당하는 고상 폐기물 Tier 1 식 (4)를 활용하여 산정하였다. 또한, 환경부¹⁾에 의하면 수도권 건설폐기물에 대한 공공 소각시설 운영방식은 대부분 연속식으로 확인되었다. 따라서, 본 연구의 폐기물 소각 분야에서 CH₄의 배출계수는 소각 기술 중 연속식 고정상 기술의 기본값 0.0002 kgCH₄/t-Waste를 적용하였으며, N₂O의 배출계수는 폐기물 형태 중 건설폐기물의 기본값 109.57 gN₂O/t-Waste를 적용하였다.

$$CO_2 Emissions = \sum_i \left(\sum_j (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \right) \times 3.664 \tag{4}$$

$$CH_4 Emissions = IW \times EF \times 10^{-3}$$

$$N_2 O Emissions = IW \times EF \times 10^{-3}$$

여기서,

$CO_2 Emissions$: 폐기물 소각에서 발생하는 온실가스 양 (tCO₂)

SW_i : 폐기물 성상_i별 소각량(t-Waste)

dm_i : 폐기물 성상 i 별 건조물질 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

CF_i : 폐기물 성상 i 별 탄소 함량($tC/t - Waste$)

FCF_i : 화석탄소 질량 분율(0에서 1사이의 소수)

OF_i : 산화계수(소각효율, 0에서 1사이의 소수)

3.664 : CO_2 의 분자량(44.010/C의 원자량(12.011))

Fig. 3에 시나리오별 소각에 따른 온실가스 배출량을 나타내었으며, 소각단계의 온실가스 배출량은 1.75E+06 tCO₂-eq/yr로 처리경로별 중 가장 높은 것으로 나타났다. 가연성 건설폐기물 소각단계 온실가스 배출량에 대부분을 차지하는 것은 폐목재 N₂O, 폐플라스틱 CO₂로 나타났다. 폐목재는 크롬, 구리, 비산염 등 처리된 제품이 있어 소각과정 중 크롬과 비소 등을 배출해 환경오염 문제를 발생시켜 재활용 및 에너지회수를 통한 처리가 최적의 방안이라고 판단된다^{20,21}.

3.4. 재활용 및 에너지화 단계

가연성 건설폐기물 재활용단계에서는 절반 이상의 발생량을 차지하는 폐목재를 대상 물질로 선정하였으며, 그 양은 5,570 ton/day로 적용하였다. 또한, Table 6에 재활용에 따른 에너지 사용량을 나타내었으며, 김²²의 연구에서 제시한 폐목재 재활용 파티클보드 생산에 사용되는 에너지양을 활용하였다.

비가연성 건설폐기물 재활용단계에서는 페콘크리트를

대상 물질로 선정하였으며, 그 양은 2,437 ton/day로 적용하였다. Table 7에 비가연성 건설폐기물 재활용에서의 에너지 사용량을 나타내었으며, 김²³의 연구에서 제시한 재생골재 생산에 따른 에너지 사용량을 활용하였다. 또한, 약 50% 정도의 재생골재 생산되는 것으로 조사되어, 본 연구에서도 50% 재생골재 생산 및 50% 매립으로 가정하였다.

에너지화 단계에서 가연성 건설폐기물은 21,930 ton/day로 적용하였다. 또한, Table 8에 가연성 건설폐기물 에너지화에 따른 고행연료 생산의 에너지 사용량을 나타내었으며, 장과 조²⁴의 연구에서 제시한 고행연료 생산 시 에너지 사용량을 활용하였다.

재활용 및 에너지화에 따른 온실가스 배출량 산정은 에너지 사용량에 의하여 외부에서 공급된 전기 사용 Tier 1 식 (5)를 활용하였으며, 비가연성 건설폐기물 50% 매립에 따른 온실가스 배출량 산정은 공정배출 고행폐기물의 매립 Tier 1에 해당하는 식 (3)을 활용하여 산정하였다.

$$GHG\ Emissions = Q \times EF_{i,j} \quad (5)$$

여기서,

$GHGEmissions$: 전력 사용에 따른 온실가스별 배출량(tGHG)

Q : 외부에서 공급받은 전력 사용량(MWh)

$EF_{i,j}$: 전력 간접배출계수(tGHG/MWh)

Table 6. Electrical energy consumption in the particleboard production of waste wood

Waste wood	Type	Amount
1 ton	Electrical energy (kWh)	0.1
5,570 ton		557

Table 7. Electrical energy consumption in the recycled aggregate production of waste concrete

Waste concrete	Type	Amount
1 ton	Electrical energy (kWh)	1.4
2,437 ton		3,411

Table 8. Electrical energy consumption in the production of energy recovery from waste

Waste combustible	Type	Amount
1 ton	Electrical energy (kWh)	2.8
21,930 ton		61,404

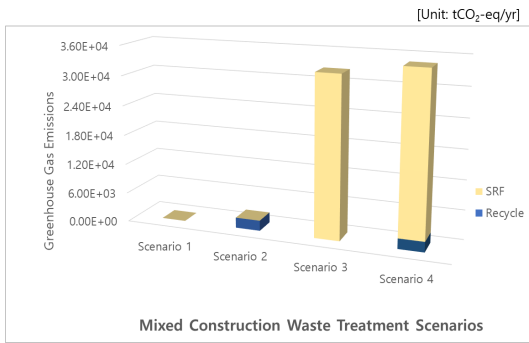


Fig. 4. Greenhouse gas emissions caused by recycling and energy recovery from waste for 4 scenarios.

Fig. 4에 시나리오별 재활용 및 에너지화에 따른 온실가스 배출량을 나타내었다. scenario 4의 온실가스 배출량은 3.28E+04 tCO₂-eq/yr로 가장 높은 것으로 나타났으며, scenario 2가 2.06E+03 tCO₂-eq/yr로 두 번째로 높게 나타났다. 재활용에 따른 온실가스 배출량은 에너지화 대비 3.07E+04 tCO₂-eq/yr 정도 높은 것으로 나타났으며, 재활용 단계 중 비가연성 건설폐기물의 재활용 시 사용되는 에너지량이 가연성 건설폐기물 재활용 및 에너지화보다 많은 에너지 사용으로 인하여 온실가스 배출량이 높게 발생한 것으로 판단된다.

3.5. 처리경로별 총 온실가스 배출량 결과

Fig. 5에 혼합건설폐기물 처리경로별 시나리오에 따른 온실가스 배출량을 나타내었다. 본 연구에서의 최적의 처리경로는 온실가스 배출량이 3.29E+04로 가장 적은 scenario 2번으로 나타났으며, 온실가스 배출량이 1.78E+06로 가

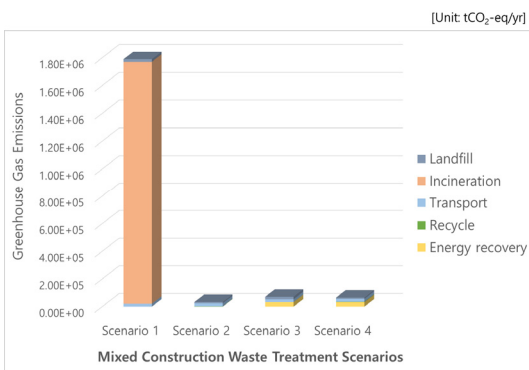


Fig. 5. Greenhouse gas emissions results for 4 scenarios.

장 많이 차지하는 것은 scenario 1번으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 혼합 건설폐기물의 처리경로별 온실가스 배출량을 산출하여 혼합 건설폐기물 처리에 대한 최적 방안 선정을 수행하였다. 수행 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 수송단계에서는 scenario 2 및 scenario 4가 2.15E+04 tCO₂-eq/yr로 온실가스 배출량이 가장 높은 것으로 나타났으며, scenario 1 및 scenario 3이 2.11E+04 tCO₂-eq/yr로 두 번째로 많이 차지하였다.
2. 매립단계에서는 scenario 1 및 scenario 3가 1.86E+04 tCO₂-eq/yr로 온실가스 배출량이 가장 높은 것으로 나타났다. 전량 매립 대비 재활용 처리 후 매립 시 약 9.26E+03 tCO₂-eq/yr 정도의 온실가스 배출량이 감소하는 것으로 나타났다.
3. 소각단계에서의 온실가스 배출량은 1.78E+06 tCO₂-eq/yr로 전체 처리경로별 중 가장 높은 것으로 나타났으며, 가연성 건설폐기물 중 폐목재 N₂O, 폐플라스틱 CO₂가 소각단계 총 온실가스 배출량의 약 93%를 차지하는 것으로 나타났다.
4. 재활용 및 에너지화 단계에서는 scenario 4가 3.43E+04 tCO₂-eq/yr로 온실가스 배출량이 가장 높은 것으로 나타났으며, scenario 3가 3.25E+04로 두 번째로 높게 나타났다. scenario 2는 2.11E+03 tCO₂-eq/yr로 가장 낮은 배출량으로 나타났다.

본 연구의 온실가스 발생량이 가장 높은 것은 소각단계로 나타났으며, 최적의 온실가스 저감 방안은 단순 소각 처리가 아닌 재활용 및 고품연료 생산을 통한 처리가 최적의 방안이라고 판단된다¹⁸⁾. 또한, 에너지화 단계 온실가스 배출량이 두 번째로 높게 차지하는 것으로 나타났다. 그러나 가연성 폐기물 에너지 가능량을 살펴보면 약 4.21E+07 TOE/day 정도의 잠재성을 가지는 것으로 나타났으며, 연간 1.54E+10 TOE/yr 정도의 에너지로 활용하여 화석연료 사용을 절감할 수 있다고 판단된다. 또한, 재활용을 통해 가연성분의 자원을 약 8.00E+09 kg/yr, 비가연성분의 자원을 약 8.90E+08 kg/yr 정도 절감할 수 있다고 판단된다.

수송단계 온실가스 발생량은 세 번째로 높게 차지하는 것으로 나타났으며, 수송단계에서는 최적의 거리 설정과 바이오연료 및 전기자동차 운행 등을 적용하여 온실가스 배출량을 최소화하는 것이 최적의 방안이라고 판단된다²⁵⁾.

감사의 글

본 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0008421, 2021년 산업전문인력역량강화사업).

References

1. Ministry of Environment, National Waste Generation and Treatment Status, <https://www.recycling-info.or.kr/rrs/main.do>, December 31, 2020.
2. Greenhouse Gas Information Center, 2020 : 2020 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea, pp. 6-7, Greenhouse Gas Inventory and Research Center, Ministry of Environment, <http://www.gir.go.kr/home/main.do>
3. J. S. Park, H. S. Lee, 2010 : A Study on the Utilization of Combustible Construction Waste as Fuel, J.RCR, 5(2), pp.116-123.
4. Korea Ministry of Government Legislation, Guidelines for the treatment of construction waste, <https://www.law.go.kr/LSW/main.html>, January 5, 2021.
5. W. Y. Choi, 2020 : Construction Waste Recycling Promotion Act Revision, J.RCR, 15(2), pp.6-10.
6. K. W. Cha, 2011 : A Study on the Calculation of CO₂ Emissions and Environmental Cost according to Construction Waste Types on the basis of LCA, Kyungpook National University, Master's thesis.
7. Yuehuan S, Huabo D., Zinuo W., et al., 2020 : Characterizing the environmental impact of packaging materials for express delivery via life cycle assessment, J. Clean. Prod, 274, pp.122961.
8. Seyed H. G., Matthew B., Nuhu B., 2020 : Pathways to circular construction: An integrated management of construction and demolition waste for resource recovery, J. Clean. Prod, 224, pp.118710.
9. C. B. Park, 2017 : Alternative energy effectiveness analysis of the combustible waste into fuel, Ajou University, Master's thesis.
10. J. S. Park, S. H. Lee, 2009 : A Study on the Promotion of Combustible Construction Waste Recycling, RCR, 4(1), pp.89-95.
11. K. W. Cha, W. H. Hong, J. H. Kim, 2017 : A Study on CO₂ Emission in End-of-Life Phase by Detached House Type, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 33(3), pp.51-59.
12. Joint Research Centre - European Commission, Best Environmental Management Practice in the Building and Construction Sector, Final Draft, <https://ec.europa.eu>, October 20, 2021.
13. Helena D., John B., Katja L., et al., 2015 : Construction and demolition waste management – a holistic evaluation of environmental performance, J. Clean. Prod, 107(1), pp. 333-341.
14. Jian Z., Zhen Yu Z., 2014 : Green building research-current status and future agenda: a review, RSER, 30, pp.271-281.
15. T. H. Song, J. U. Seong, 2017 : Comparison of the Construction Waste Generated by the Project and the Estimation of the Waste Generation Unit, J.RCR, 5(4), pp.427-434.
16. H. S. Lee, 2002 : The Estimation of Energy Consumption and Carbon Dioxide Generation during the Building Demolition Process, Chung-Ang University, Master's thesis.
17. IPCC, 2006 : Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2-5, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., et al., IGES, <https://www.ipcc.ch/>
18. Sudokwon Landfill Site Management Corporation, Waste Disposal, <https://www.slc.or.kr/main.do>, March 24, 2021.
19. H. S. Moon, S. W. Lee, K. Y. Kim, et al., 2018 : A Study on the Characteristics for Energy Recovery and Possibility of Landfill Control of Combustible Industrial Wastes Disposed into Landfill Sites, KSUE, 18(3), pp.339-349.
20. Chan, J.T.K, Leung, H.M, Yue, P.Y.K., et al., 2017 : Combined effects of land reclamation, channel dredging upon the bioavailable concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Victoria Harbour sediment, Hong Kong, Mar Pollut Bull, 114(1), pp.587-591.
21. Md. Uzzal H., Chi Sun P., 2018 : Comparative LCA of wood waste management strategies generated from building construction activities, J. Clean. Prod, 177, pp.387-397.
22. M. H. Kim, S. Y. Hong, C. G. Phae, et al., 2012 : Analysis of environmental benefit of wood waste recycling processes, J.KORRA, 20(2), pp.15-19.
23. W. J. Kim, 2002 : Environmental assessment for the recycling of waste concrete using life cycle assessment method, University of Seoul, Master's thesis.
24. E. M. Jang, Y. S. Cho, 2013 : The Economic Analysis of A Solid Refuse Fuel (SRF) Project in the Urban Area, JCCR, 4(3), pp.245-254.
25. Zehai H., Yunxiang L., Cong W., 2018 : Influence of construction and demolition waste on fitness and community structure of cicada nymphs: New bioindicators of soil pollution, PLOS, 13(9), pp.e0203744-e0203744.

김 다 연

- 인하대학교 글로벌산업·환경융합전공 석사
-

황 용 우

- 일본 동경대학교, 도시공학 박사
 - 한국전과정평가학회 회장
 - 한국환경경영학회 부회장
 - 산업부 자체평가위원회 평가위원
 - 현재 인하대학교 환경공학과 교수
-

강 홍 윤

- The University of Queensland 토목환경공학 박사
 - (前)한국생산기술연구원 수석연구원
 - 현재 인하대학교 대학원 글로벌산업환경융합전공 교수
 - 현재 한국환경경영학회 회장
 - 당 학회지 제28권 4호 참조
-

문 진 영

- 인하대학교 환경공학과 박사
 - (前)인천재능대학교 환경보건과 조교수
 - 인천시 계양구 성과평가위원
 - 현재 인하대학교 산업환경융합연구센터 책임연구원
-