

## 使用終了埋立地 廢棄物の 處理方法別 溫室가스 低減量 評價

\*李丙先 · 韓相國 · 姜丁熙\* · 李南勳\*

(주)포스벨, \*安養大學校 環境에너지工學科

### Estimation of Greenhouse Gas Reduction Potential by Treatment Methods of Excavated Wastes from a Closed Landfill Site

\*Byung-Sun Lee, Sang-Kuk Han, Jeong-Hee Kang\* and Nam-Hoon Lee\*

FORCEBEL Co., Ltd., \*Department of Environmental and Energy Engineering, Anyang University

#### 요 약

본 연구는 사용종료매립지 정비를 위한 폐기물 처리과정에서 가연성폐기물의 처리 방법별 온실가스 발생량을 IPCC에서 제시하고 있는 기본배출계수(default emission factor)를 활용하여 산정하고 그 결과 비교를 통해 온실가스 감축량을 산정하였다. 대상 매립지로부터 굴착한 폐기물의 성상을 조사한 결과 토사류가 64.96%로 가장 많은 비율을 차지하고 있었으며, 다음으로 비닐/플라스틱류가 19.18%의 비율을 차지하고 있어 전체 폐기물 중 토사류의 비율이 매우 높은 것으로 나타났다. 음식물류, 목조류, 종이류와 같이 생분해가 용이한 폐기물이 거의 발견되지 않은 점 등이 일반적인 비위생매립지의 굴착폐기물과 성상이 유사하였다. 전체 폐기물의 겉보기 밀도는 평균 0.74t/m<sup>3</sup>으로 확인되었다. 폐기물을 매립으로 처리하는 경우 약 60,542 tCO<sub>2</sub>, 소각을 통해 폐기물 처리 시 9,933 tCO<sub>2</sub>의 온실가스가 배출되며 폐기물 고품연료 생산 시에는 33,738 tCO<sub>2</sub>의 온실가스가 감축되는 것으로 산정되어 폐기물 고품연료 생산이 온실가스 감축에 도움이 되는 것으로 확인되었다.

**주제어** : 온실가스, 온실가스 감축 잠재량, 매립지, 고품연료, 폐기물 처리

#### Abstract

This study was carried out to estimate greenhouse gas reduction potentials under treatment methods of combustible wastes excavated from closed landfill. The treatment methods of solid wastes were landfilling, incineration, and production of solid recovery fuel. The greenhouse gas reduction potentials were calculated using the default emission factor presented by IPCC G/L method of IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). The composition of excavated waste represented that screened soil was the highest (65.96%), followed by vinyl/plastic (19.18%). This means its own component is similar to the other excavated waste from unsanitary landfill sites. Additionally, its bulk density was 0.74 t/m<sup>3</sup>. In case of landfilling of excavated waste, greenhouse gas emission quantity was 60,542 tCO<sub>2</sub>. In case of incineration of excavated waste, greenhouse gas emission quantity was 9,933 tCO<sub>2</sub>. However, solid recovery fuel from excavated waste reduced 33,738 tCO<sub>2</sub> of the greenhouse gas emission quantity. Therefore, solid recovery fuel production is helpful to reduce of greenhouse gas emission.

**Key words** : Green house gas, GHG reduction potential, Landfill, SRF, Waste treatment

\* Received : April 23, 2013 · Revised : July 5, 2013 · Accepted : July 30, 2013

\*Corresponding Author : Byung-Sun Lee (E-mail : greancorea@korea.com)

R & D Center, FORCEBEL Co., Ltd., #496 Mado-ro, Hwasung-City, Gyeonggi-do, 445-862, Korea

Tel : +82-31-355-0006 / Fax : +82-31-355-0183

©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

지난 수백년 간 지구의 온도는 꾸준히 상승하여 왔고, 산업혁명 이후 온도상승 기울기는 가파르게 변화하였다. 이러한 지구표면의 온도 상승현상을 지구온난화라 하여 세계 각국은 전 지구적 문제로서 인식하여 기후변화협약 및 교토의정서 채택 등의 노력을 기울이고 있다<sup>1)</sup>. 지구온난화의 주요 원인으로 온실가스를 꼽고 있는데 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 염화불화탄소(CFC, Chlorofluorocarbon)를 주요 온실가스로 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 규정하고 있다<sup>2)</sup>.

폐기물의 처리과정에서 발생하는 온실가스로는 폐기물의 매립에 따른 혐기성 분해과정에서 발생하는 메탄, 폐기물의 소각처리 과정에서 발생하는 이산화탄소 및 아산화질소가 있다<sup>3,4)</sup>. 국내, 전체 온실가스 배출량 중 폐기물 부문의 온실가스 발생량은 2.5~7.4%를 차지하며 메탄 및 아산화질소는 이산화탄소에 비해 지구온난화지수(GWP, Global Warming Potential)가 높아 온실가스 감축을 위해 중요하게 다루어져야 한다<sup>5,6,7)</sup>. 우리나라는 폐기물 부문의 온실가스 감축을 위해 국가에너지기본계획, 폐기물 에너지화 기본 계획 등을 수립하고 신재생에너지의 개발을 진행해오고 있다.<sup>5)</sup> 폐기물 부문의 신재생에너지는 주로 폐기물고형연료(Solid Recovery Fuel, SRF)생산 및 유기성폐기물의 혐기소화가스 이용이 대표적이다.

비위생매립지의 정비방법에는 현재 이적처리, 선별이적처리, 현지안정화 방법 등이 대표적으로 활용되고 있는데 이적처리 혹은 선별이적에 의한 처리방법은 폐기물을 매립지에서 다른 곳으로 이동시켜 처리하는 방법이며, 현지안정화 방법은 매립지에서 발생하는 침출수를 차단하고 매립지내부에서 오염원을 생분해시켜 자연적으로 무해하도록 하는 공법이다.<sup>8)</sup>

굴착 및 선별 후 가연성폐기물은 주로 소각처리하며, 토사류는 복토재 등으로 재활용하고 있다. 그러나 폐기물의 소각과정에서 발생하는 이산화탄소 및 아산화질소는 온실가스이므로 온실가스 감축을 위해서는 피해야 할 처리방법이다. 가연성폐기물의 고형연료화는 온실가

스 감축 및 에너지 절약 측면에서 효율적인 방법이다. 한편, 국내 폐기물 부문의 온실가스 배출량에 관한 연구는 주로 소각, 매립, 하수처리시설 등의 처리시설에서 배출되는 온실가스 배출량의 산정에 초점이 맞추어 진행되어 왔으며<sup>3,4,5)</sup>, 감축량 및 감축효과에 대한 연구는 미미한 실정이다. 온실가스 감축량의 비교는 기후변화 대응 관련 국가의 경쟁력 강화측면에서 매우 중요한 항목이며, 본 연구에서는 온실가스 감축량 효율 측면에서 효과적인 폐기물 처리방안을 도출하고자 하였다.

이에 본 연구에서는 현재 정비 사업이 진행 중인 C시 비위생매립지를 대상으로 굴착폐기물의 처리방법 별 온실가스 배출량을 산정하고, 감축잠재량을 예측하였다. 배출량 산정은 IPCC에서 제안한 Tier 1 배출량 산정방법을 활용하였다. Tier 1 방식은 IPCC G/L에서 제시하고 있는 기본 배출계수(default emission factor)를 적용하여 배출량을 산정하는 것을 말하며, 현재 우리나라는 국가 고유의 온실가스 배출계수(country-specific emission factor)가 확립되지 않아 Tier 1 배출량 산정방법을 활용하고 있다. 매립처리, 선별 및 소각처리, 선별 및 고형연료화 총 3가지 시나리오를 선정하여 각 시나리오 별 온실가스 배출량을 산정하였고, 배출량 비교를 통해 고형연료화 시 온실가스 감축효과를 산정하였다. 본 연구는 폐기물의 처리방법에 따른 온실가스 발생 및 저감량의 평가를 목적으로 한다. 산정결과의 비교는 국내 고형연료 생산에 대한 구체적인 이점을 제시함으로써 국내 온실가스 저감 기술의 하나로 활용할 수 있는 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. 연구 방법

본 연구에서는 C시에 위치한 비위생매립지를 대상으로 폐기물처리 시나리오별 온실가스 감축잠재량을 산정하고자 하였다. Table 1은 대상매립지의 현황을 나타내고 있다. 대상 매립지는 1996년 4월부터 매립을 시작하여 1997년 6월까지 총 37,700 m<sup>2</sup>의 면적에 총 204,000 t의 폐기물을 매립하였으며 매립종료 후 현재는 나대지로 활용 중에 있다. 폐기물은 주로 생활폐기물을 매립하였다.

Table 1. Status of unsanitary landfill site in this study

Landfill site	Opening year	Closing year	Total Area (m <sup>2</sup> )	Landfill Mass (t)	Amount of landfill waste (m <sup>3</sup> )	Land utilization
C city unsanitary landfill	96. 4	97. 6	37,700	204,000	250,000	Bare ground

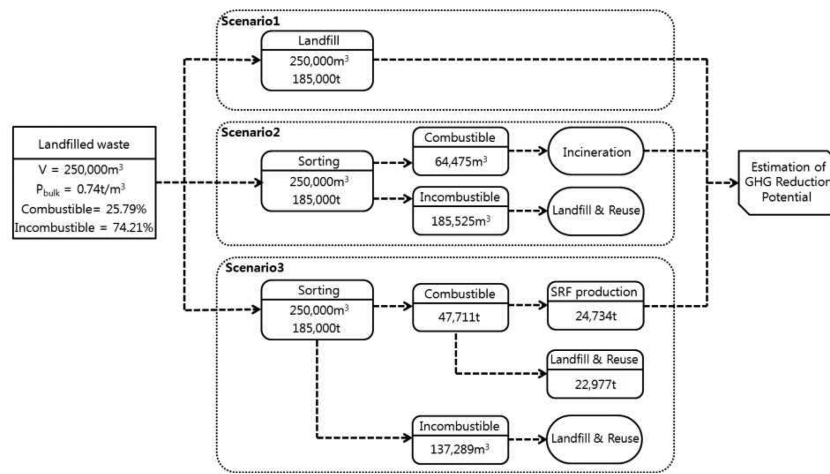


Fig. 1. Flow chart of GHG gas reduction potential estimating with solid waste treatment scenario.

폐기물의 처리방법별 온실가스 감축잠재량 평가를 위한 시나리오 흐름도를 Fig. 1에 나타내었다. 폐기물은 매립, 소각, 폐기물고형연료 생산 총 3가지 시나리오를 통해 처리되며 매립 및 소각은 온실가스 감축에 관련된 내용이 없으므로 온실가스 배출량만을 고려하였다. 시나리오 1은 매립에 의한 폐기물의 처리이며 매립장 전량 250,000 m<sup>3</sup>이 고려대상이다. 시나리오 2는 소각에 의한 폐기물 처리이며 가연성폐기물 25.79%, 총 부피로 약 64,475 m<sup>3</sup>이 소각처리 대상이다. 나머지 185,525 m<sup>3</sup>의 폐기물은 매립처리하는 것으로 가정하였으며 불연물이므로 온실가스 배출량은 없는 것으로 간주하였다.

시나리오 3은 고형연료 생산을 통해 폐기물을 처리하는 방법이다. 전체 폐기물 250,000 m<sup>3</sup>은 겉보기 밀도를 고려하여 185,000 t으로 환산하였다. 총 폐기물 중 가연성 폐기물이 47,711 t이며 이 중 고형연료 생산설비의 수율을 고려하여 24,734 t이 고형연료로 생산되는 것으로 산정하였다. 고형연료로 만들어지지 않은 가연물의 일부 및 불연물은 매립처리하는 것으로 가정하였으며, 이 폐기물에 대해서는 온실가스가 발생하지 않는 것으로 가정하였다. 한편, 고형연료생산에 과정에서 전력을 소비하게 되므로 이를 온실가스 배출량으로 산정하였고, 생산된 고형연료의 연소를 통해 얻는 열량을 온실가스 감축량으로 산정하여 최종 온실가스 감축 잠재량으로 평가하였다.

2.1. 매립 처리시 온실가스 배출량 산정

폐기물의 매립처리과정에서 발생하는 주요 온실가스

는 메탄과 이산화탄소 및 아산화질소이다. 그러나 IPCC2006GL(Intergovernmental Panel on Climate Change 2006 Guideline)에서는 메탄만을 온실가스 배출량 산정에 고려하고 있다. 이는 혐기분해에 의해 발생한 이산화탄소는 자연계에서 순환하며 지구온난화에는 영향을 미치지 않기 때문으로 보기 때문이다. 아산화질소의 경우 메탄 및 이산화탄소에 비해 발생량이 매우 미미하여 제외하고 있다. 따라서 본 연구에서도 메탄만을 온실가스 발생량으로 고려하여 연구를 진행하였다.

$$CH_4 \text{ 배출량} = [(W \times L_0) - R] \times (1 - OX) \quad (1)$$

$$L_0 = DOC \times DOC_f \times MCF \times F \times (16/12) \quad (2)$$

식 (1)에서 W는 고형폐기물의 양으로서 굴착폐기물 중 토사는 제외한 가연성 폐기물만을 고려하였다. R은 회수된 메탄의 양으로서 비위생매립지에서는 별도의 매립가스 포집장치가 설치되어 있지 않으므로 R=0으로 간주하였다. OX는 메탄의 산화율이며 IPCC2006GL에서 제시한 관리되지 않은 매립지의 기본값인 0을 사용하였다. L<sub>0</sub>는 메탄발생잠재량으로서 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. DOC는 분해가능한 유기탄소 비율이고, DOC<sub>f</sub>는 혐기조건하에서 분해가능한 유기탄소의 양을 의미한다. MCF는 메탄보정계수로서 매립지의 관리, 폐기물의 배치 등의 조건에 따라 발생하는 메탄의 양을 보정해주는 계수이다. F는 매립가스 내 메탄의 비율(v%)이며, 본 연구에서는 일반적인 매립지에서 발생하는 매립가스 중의 메탄농도인 55%를 고려하여, 0.55를

**Table 2.** Default values for DOC content of different MSW components<sup>9)</sup>

MSW component	DOC content in % of wet waste		DOC content in % of dry waste	
	Default	Range	Default	Range
Paper/cardboard	40	36-45	44	40-50
Textiles	24	20-40	30	25-50
Food waste	15	8-20	38	20-50
Wood	43	39-46	50	46-54
Garden and Park waste	20	18-22	49	45-55
Nappies	24	18-32	60	44-80
Rubber and Leather	39	39	47	47

F값으로 사용하였다. DOC, DOCf 및 MCF는 IPCC 2006GL에서 제시하는 기본값을 사용하였으며 Table 2에 기본값을 정리하였다.

$$DOC = \sum(DOC_i \times W_i) \quad (3)$$

여기서 DOC<sub>i</sub>는 폐기물 성상에 대한 분해가능한 유기 탄소의 비율이고, W<sub>i</sub>는 폐기물 성상의 비율을 의미한다. 메탄을 이산화탄소 배출량으로 환산하기 위해 최종메탄발생량에 메탄의 지구온난화지수(Global Warming Potential) 21<sup>2)</sup>을 곱하였다.

## 2.2. 소각 처리 시 온실가스 배출량 산정

폐기물의 소각과정에서는 온실가스로 메탄과 이산화탄소 및 아산화질소가 발생하는 것으로 보고되고 있다. 이 중 메탄은 소각과정에서 불완전연소의 결과물로 발생하기 때문에 고온에서 일정한 소각시간을 유지하는 최근의 소각설비에서는 발생하지 않는 것으로 간주하였다.

이산화탄소의 발생량 산정에서 탄소 중 종이류 목초류 등의 생물계 탄소는 자연계 순환 과정에서 재이용 및 동화되는 것으로 간주되므로 비닐/플라스틱류, 고무 및 섬유류에 대해서만 고려하였으며, 다음 식에 의해 배출량을 산정하였다.

$$CO_2 = MSW \times \sum(WF_j \cdot dm_j \cdot CF_j \cdot FCF_j \cdot OF_j) \times 44/12 \quad (4)$$

여기서, MSW는 소각되는 습량기준의 고형폐기물 총량이고, WF<sub>j</sub>는 MSW내 구성 성분 j의 폐기물의 비율이다. dm<sub>j</sub>는 소각되는 MSW의 구성 성분 j중 건조물질의 함량, CF<sub>j</sub>는 구성 성분 j의 건조 물질 내 탄소 분

**Table 3.** Default values of N<sub>2</sub>O emission factors for incineration of waste<sup>9)</sup>

Type of waste	N <sub>2</sub> O Emission Factors (g-N <sub>2</sub> O/t-Waste)
MSW	39.8
Industrial waste (except sewage sludge)	113.19
Industrial waste(sludge)	408.41
Construction waste	109.57
Hazardous waste (except sewage sludge)	83.52
Hazardous waste(sludge)	408.41

율이며, FCF<sub>j</sub>는 구성 성분 j의 탄소 총량 중 화석 탄소의 비율을 의미한다. OF<sub>j</sub>는 산화계수이며 IPCC2006GL 기본값을 적용하였다. 아산화질소는 500 ~ 950°C 사이의 온도의 연소과정에서 발생하며 다음의 식을 이용하여 배출량을 산정하였다.

$$N_2O = \sum(IW \times EF) \times 10^{-6} \quad (5)$$

여기서, IW<sub>i</sub>는 폐기물의 소각된 양(Gg)이고, EF는 아산화질소의 배출계수이다. Table 3에 배출계수를 정리하였으며 본 연구에서는 39.8 g-N<sub>2</sub>O/t-Waste를 온실가스 배출량 산정에 사용하였다. 아산화질소는 지구온난화지수가 이산화탄소보다 310배 높으므로<sup>2)</sup> 최종발생량에 310을 곱하여 이산화탄소 발생량으로 환산하였다.

## 2.3. 선별 후 고형연료화 시 온실가스 배출량 산정

폐기물의 선별 후 고형연료화에 의한 온실가스 배출량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

**Table 4.** Composition of excavated waste

(unit : wt.%)

components		This study	A Landfill <sup>10)</sup>	B Landfill <sup>11)</sup>
Combustible	Food	0.00	0.00	0.00
	Paper	1.72	2.30	0.20
	Wood	1.48	2.43	0.53
	Rubber	0.25	1.37	0.87
	Vinyl/Plastic	19.18	26.46	9.87
	Textile	3.15	5.83	3.07
	Sub-total	25.79	38.39	14.53
Incombustible	Metal	2.10	1.55	0.73
	Glass	1.60	4.09	0.23
	Soil	64.96	55.97	84.17
	Gravel	5.56	-	-
	Sub-total	74.21	61.61	85.47
Total		100.00	100.00	100.00
Bulk density(t/m <sup>3</sup> )		0.74	-	-

$$CO_2 \text{ net,emission} = CO_2 \text{ production} - CO_2 \text{ reduction} \quad (6)$$

CO<sub>2</sub> production은 고형연료 생산과정에서 소요되는 에너지를 의미하며, 본 연구에서는 고형연료 생산 설비의 가동에 따른 전력소비만을 고려하여 CO<sub>2</sub> 배출량으로 환산하였다. CO<sub>2</sub> reduction은 고형연료의 생산에 따른 온실가스 저감량을 의미하며, 폐기물로부터 생산된 고형연료의 연소 시 발생하는 열량을 이산화탄소 저감량으로 환산하였다.

**2.4. 폐기물의 물리적 조성 및 겉보기 밀도 측정**

폐기물의 가연분 성분별 함량을 확인하기 위하여 물리적성상 조사를 진행하였다. 시료를 가연분 6종(음식물류, 종이류, 비닐/플라스틱류, 목초류, 섬유류, 고무/피혁류), 불연분 3종(금속류, 유리/자기류, 토사류)으로 수선별(Hand sorting)한 후 수분이 발산되지 않도록 즉시 습윤기준 중량을 측정하였다. 총 무게에 대한 각 성분의 중량비(측정된 중량/전체 폐기물의 총 중량)를 바탕으로 각 조성별 함량으로 산정하였다. 전체 폐기물의 중량을 확인하기 위한 겉보기 밀도는 110 L용량의 케이스에 폐기물 시료를 채운 후 중량을 측정하여 산정하였다.

**3. 결과 및 고찰**

**3.1. 대상폐기물 물리적성상 분석 및 고형연료 생산량 예측**

Table 4는 본 연구 및 다른 문헌에서 조사된 비위생 매립지 굴착폐기물의 물리적 조성을 정리한 것이다. 물리적 조성 분석은 시료를 가연분 6종(음식물류, 종이류, 비닐/플라스틱류, 목초류, 섬유류, 고무/피혁류), 불연분 3종(금속류, 유리/자기류, 토사류)으로 수선별(Hand sorting)한 후 수분이 발산되지 않도록 즉시 습윤기준 중량을 측정하였다. 총 무게에 대한 각 성분의 중량비(측정된 중량/전체 폐기물의 총 중량)를 바탕으로 각 조성별 함량으로 산정하였다.

조사결과 토사류가 64.96%로 가장 높은 백분율을 나타내었으며, 불연분이 전체 폐기물의 74.21%를 차지하고 있었다. 가연성 폐기물 중에는 비닐/플라스틱류가 19.18%, 섬유류가 3.15%로 나타나 두 종류의 폐기물이 가연성폐기물의 대부분을 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 다른 연구 결과들과 비교하여 불 때<sup>10,11)</sup> 토사류의 비율이 매우 높고, 음식물류, 목초류, 종이류와 같이 생분해가 용이한 폐기물이 거의 발견되지 않은 점 등이 유사하였다. 전체 폐기물의 겉보기 밀도는 평균 0.74 t/m<sup>3</sup>

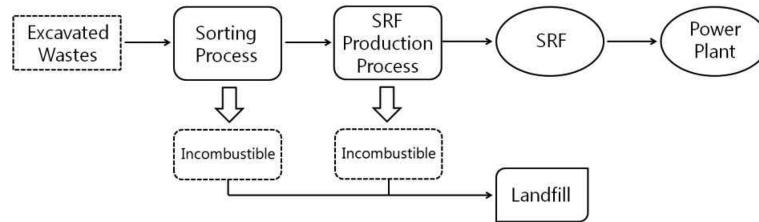


Fig. 2. Schematic diagram of RDF Production System.

Table 5. SRF yield from excavated waste

Number	Waste sorting process			SRF production process			Total Yield (%)
	Input (kg)	Output (kg)	Yield (%)	Input (kg)	Output (kg)	Yield (%)	
1st	4,662	820	17.59	283.99	230.03	81.01	14.25
2nd	4,214	690	16.37	273.58	216.43	79.11	12.95
3rd	3,907	603	15.43	255.31	204.35	80.04	12.35
4th	4,331	721	16.65	263.17	203.64	77.38	12.88
5th	3,337	594	17.80	223.82	181.54	81.11	14.44
average	4,090	594	16.77	259.97	207.20	79.73	13.37

으로 확인되었다.

본 연구에서 사용된 고행연료 생산 설비의 공정도를 Fig. 2에 나타내었다. 매립지로부터 굴착된 폐기물은 선별장치(Sorting process)를 통과하여 가연성폐기물 및 토사류, 금속류 등의 불연물로 선별되어 배출된다. 선별장치로부터 배출된 가연성폐기물은 불연물과 분리되어 가연물 비율이 투입폐기물에 비해 상대적으로 향상된다. 이 가연성폐기물은 고행연료생산설비로 투입되어 가연물의 순도를 향상시키고 함수율을 낮추어 고행연료 품질을 높여 최종 고행연료제품으로 생산된다.

시멘트 보조연료로 사용이 가능한 고행연료를 생산하기 위한 법적기준 4,500 kcal/kg 시멘트 소성로 폐기물 사용·관리기준<sup>13)</sup>을 만족시키기 위해서 비닐, 플라스틱류 등의 고발열량의 가연물을 선별할 수 있도록 시스템을 구성하였으며, 투입폐기물, 선별설비 통과 후, 고행연료생산시설에서 생산된 가연물 비율을 실험을 통해 확인한 결과를 Table 5에 나타내었다. 투입폐기물로부터 선별설비에 의해 가연성폐기물로 선별되는 중량비는 약 16.77%였으며, 고행연료 제조 과정에서 약 15.00%는 건조 및 가연물 반송으로 최종 생산된 고행연료의 제조율은 약 85.00%로 나타나 총 투입폐기물로부터의 고행연료 수율은 평균 약 13.37%(함수율 9.37%)로 조

사되었다.

Table 6은 기존문헌<sup>14,15)</sup>에 보고된 폐기물 고행연료의 수율과 본 연구에 사용된 설비의 수율을 비교한 것이다. 조 등은 생활폐기물의 고행연료 생산설비의 수율을 조사한 결과 투입폐기물 중량대비 21.7%의 수율을 확인하였다고 보고하였다. 본 연구에서 사용된 고행연료 생산설비의 13.37%에 비해 높은 수율을 나타내었으나, 투입된 폐기물 중 가연성폐기물의 비율을 고려하면 조 등의 고행연료 생산설비는 투입 가연물 중 약 23.7%의 가연물이 고행연료 제품으로 생산되는 셈이며 본 연구에 사용된 설비는 51.85%의 가연물이 고행연료 제품으로 생산되는 셈이다. 최 등<sup>15)</sup>의 연구결과에서도 원주시에서 가동 중인 설비의 고행연료 수율이 42.7%로 보고하고 있어 본 설비의 고행연료 수율은 일반적인 생산설비에 비해 높은 수율을 나타내고 있음을 확인하였다. 굴착 폐기물로부터 고행연료의 중량을 고행연료수율에 폐기물 중량을 곱하여 총 고행연료 생산량을 산정하였으며 고행연료의 총 생산량을 기준으로 온실가스 감축량을 산정하였다.

### 3.2. 각 시나리오별 온실가스 배출량 산정

매립상태의 폐기물을 굴착하지 않고 처리하는 경우의

**Table 6.** Comparison of SRF yield

	Type of Waste	Combustible waste(R <sub>0</sub> )	SRF yield(R <sub>s</sub> )	R <sub>s</sub> /R <sub>0</sub>
This study	Excavated waste	25.79%	13.37%	51.84
Jo et. al <sup>14)</sup>	Municipal waste	91.50%	21.70%	23.72
Choi et. al <sup>15)</sup>	Municipal waste	-	42.70%	-

**Table 7.** Power consumption of each process

System	Power Consumption (kW)
Sorting process	237.5
SRF production process	472.5
Total	710.0

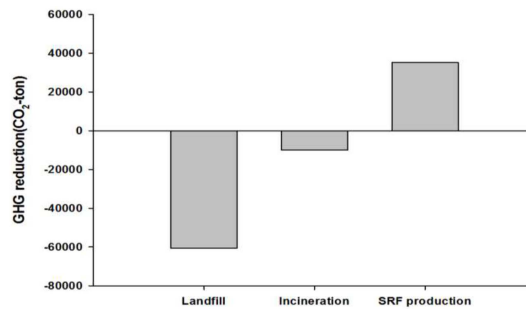
온실가스 배출량을 Tier 1식을 이용하여 산정한 결과 2.883tCH<sub>4</sub>의 메탄이 발생하며 이를 이산화탄소량으로 환산하면 60,542 tCO<sub>2</sub>이 된다. 소각을 통해 폐기물 처리 시 발생하는 온실가스는 이산화탄소는 7,775 tCO<sub>2</sub>, 아산화질소는 2,158 tCO<sub>2</sub> 총 9,933 tCO<sub>2</sub>의 온실가스가 발생하는 것으로 조사되었다.

폐기물의 고형연료화 시 전체폐기물 중 고형연료화 수율 13.37%를 기준으로 하였을 때 약 24,734.5 t의 고형연료 생산이 가능할 것으로 예상된다. 고형연료의 발열량 4,500 kcal/kg, 원유발열량 10,730 kcal/kg<sup>12)</sup>, 석유환산계수 0.00107TOE/kg<sup>12)</sup>, 탄소배출계수 0.829TC/TOE<sup>12)</sup>를 기준으로 다음 식을 이용하여 이산화탄소 배출량을 산정하였다.

이산화탄소 배출량(tCO<sub>2</sub>) =

$$\frac{W_s \times H_s}{H_o} \times 0.00107 \times 0.829 \quad (7)$$

여기서 W<sub>s</sub>는 고형연료의 중량(kg), H<sub>s</sub>는 고형연료의 발열량(kcal/kg), H<sub>o</sub>는 원유의 발열량(kcal/kg)을 의미한다. 산정결과 약 33,738 tCO<sub>2</sub>의 온실가스가 저감되는 것으로 나타났다. 폐기물 고형연료를 생산설비 가동을



**Fig. 3.** Comparison of GHG reduction by solid waste treatment methods.

위해서는 1시간당 710 kWh의 전력을 소비하는 것으로 가정하였으며 매립된 30.23 m<sup>3</sup>/hr의 처리용량의 생산설비를 이용하여 매립폐기물 250,000 m<sup>3</sup>을 선별하기 위해서 약 1,033.7 hr의 시간이 소요된다. 에너지관리공단에서 제시한 전력소비에 따른 이산화탄소 배출계수 0.4705 tCO<sub>2</sub>/MWh<sup>12)</sup>를 이용하여 생산설비의 가동에 따른 온실가스 배출량을 산정하면 약 345 tCO<sub>2</sub>을 배출하며 결국 폐기물 고형연료 생산에 따른 온실가스 감축량은 33,393 tCO<sub>2</sub>이다.

온실가스의 감축잠재량 평가 시 고형연료 폐기물의 생산은 매립처리와 비교하면 약 95,701 tCO<sub>2</sub> 소각처리와 비교 시 약45,092 tCO<sub>2</sub>의 온실가스 감축효과가 있는 셈이다. 통계청 데이터에 따르면 2010년 현재 우리나라의 폐기물분야 온실가스 총 배출량은 약 1,418만 tCO<sub>2</sub>이다. 따라서 폐기물 고형연료의 생산은 매립처리에 비해 0.67%, 소각처리에 비해 0.32%의 온실가스 감축효과가 있는 것으로 산정되었다.

**Table. 8** The results of GHG reduction potential with scenario

Scenario	Senario 1 (Landfill)	Senario 2 (Incineration)	Senario 3 (SRF production)
Emission (tCO <sub>2</sub> )	60,542	9,933	345
Reduction (tCO <sub>2</sub> )	0	0	33,738
Reduction potential (tCO <sub>2</sub> )	-60,542	-9,933	33,393

#### 4. 결 론

본 연구에서는 비위생매립지 정비과정에서 발생하는 가연성폐기물의 처리방법에 따른 온실가스 발생량을 산정하였다. 굴착하지 않고 매립처리 하였을 경우, 소각처리 하였을 경우, 폐기물고형연료화 하였을 경우 3가지 처리방법별 배출되는 온실가스의 양을 산정 비교하여 온실가스 감축 잠재량을 확인한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 굴착폐기물의 물리적 조성을 확인한 결과 토사류가 64.96%, 비닐/플라스틱류가 19.18%, 섬유류가 3.15%로 나타나 다른 비위생매립지에서 배출되는 폐기물과 물리적 성상이 유사하였으며, 겉보기 밀도는 평균  $0.74 \text{ t/m}^3$ 으로 확인되었다.

2. Tier1 방법을 통해 폐기물의 처리방법별 온실가스 배출량을 산정한 결과 매립상태의 폐기물을 굴착하지 않고 처리하는 경우 약  $60,542 \text{ tCO}_2$ 의 온실가스가 배출되는 것으로 산정되었다. 소각을 통해 폐기물 처리 시 발생하는 온실가스는 이산화탄소는  $7,775 \text{ tCO}_2$ , 아산화질소는  $2,158 \text{ tCO}_2$ 로 이를 이산화탄소로 환산할 경우 총  $9,933 \text{ tCO}_2$ 의 온실가스가 발생하는 것으로 산정되었다.

3. 폐기물의 고형연료화 시 연료화 생산에 따른 온실가스 감축량은  $33,738 \text{ tCO}_2$  생산설비의 가동에 따른 온실가스 배출량은  $345 \text{ tCO}_2$ 으로 총  $33,393 \text{ tCO}_2$ 의 온실가스가 감축되는 것으로 산정되었다. 이는 국내 전체 온실가스 발생량에 비교하였을 때 폐기물 고형연료의 생산이 매립처리에 비해 0.67%, 소각처리에 비해 0.32%의 온실가스 감축효과가 있는 것으로 산정되어 폐기물 고형연료 생산이 온실가스 감축에 도움이 되는 것으로 확인되었다.

4. 본 연구에서는 폐기물의 처리 방법별 온실가스의 발생량에 대하여 산정하였다. 그러나 폐기물의 처리를 위해서 매립지 운영과 소각시설의 운영에 소요되는 시간 및 에너지에 대해서는 고려하지 않았으며, 그에 대해서는 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 사 사

본 연구는 환경부 차세대예코 이노베이션 기술개발사업인 “이동식 매립지 정비 및 선별 가연물 연료화 기술 실증” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. Sang-Hoon Song, Hong-Kyu Kim, Jin-Kyu Park, Nam-Hoon Lee, 2012: A study on the calibration and verification of mathematical models for GHG emission from solid waste landfills, *Journal of Korea Society of Waste Management*, (28)4, pp. 370-377.
2. IPCC, 2006: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
3. Jin-Kyu Park, 2012: Developments of greenhouse gas generation models and estimation method of their parameters for solid waste landfills, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, (32)6B, pp. 399-406.
4. Sun-Yeong Kan, Ji-Hyung Hong, Su-Bin Lee, Young-Ji Han, 2008: Estimation and projection of greenhouse gas emissions from waste incinerators in Korea, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, (30)3, pp. 250-256.
5. Ah-Hyeon Jeon, Sung-Su Rhee, Jun-Gu Kang, Kyu-Yeon Kim, Jun-Seok Cha, Gil-Hong Oh, 2012: Estimation on the GHG reduction potential by recycling of organic sewage sludge, *Journal of Korea Society of Waste Management*, (29)3, pp. 251-258.
6. Hyun-Sun Kim, Dong-Sik Kim, Seung-Muk Yi, 2008: Forecast of greenhouse gas emission by policy of waste management in Korea, *Journal of Korean Society of Environmental Health*, (34)5, pp. 343-350.
7. See-hyung Lee, Jin-su Kim, Jeong-woo Lee, Seong-ho Lee, Eui-Chan Jeon, 2013 : A study on the evaluations of emission factors and uncertainty ranges for methane and nitrous oxide from combined-cycle power plant in Korea, *Environmental Science and Pollution Research*, (20), pp.461-468
8. Jun-Gyo Cheong, Chung-Hee Chang, Seung-Hoon Oh, 2006: A restoration scheme according to scale of unsanitary landfills, *Korean Society of Civil Engineers Magazine*, (54)4, pp. 54-60.
9. Korea Energy Economics Institute, 2007: A Study on prepare the 3<sup>rd</sup> National Communication in accordance with United Nations Framework Convention on Climate Change
10. Sang-Pyo Hong, Kwang-Yul Kim, 2005: Assessment on stabilization of open-dumping landfill gas, *Journal of Korean Society of Environmental Impact Assessment*, 14(6), pp. 365-375.
11. Byung-Doo Jung, Jae-Hyuk Hyun, Min-Gil Kim, Hye-Jin Hwang, Hyeong-Joong, Jeon, Jang-Ho Jeong, 2008: A study on characteristics of waste from unsanitary landfill, *Korea Society of Waste Management, Proceeding of*



- Autumn Conference, pp. 517-519.
12. Korean Energy Management Corporation. United Nations Framework Convention on Climate Change, Oil Conversion Tons Calculated
  13. Ministry of Environment, Wastes Control Act Enforcement Rule Attached Table: Waste Recycling Standard & Specific Methods
  14. Mi-Hyun Jo, Byung-Jin Lee, Jai-Young Lee, 2012 : Effect of modified MBT process on the RDF yield and characteristics, Journal of Korea Society of Waste Management, (29)8, pp. 785-792.
  15. Sang-Hoon Lee, Yeon-Seok Choi, Du-Su Jeong, 2012: A study on energy effect and economic benefit in the wonju MSW RDF manufacturing plant, Journal of Korea Society of Waste Management, (29)4, pp. 372-378.



李 丙 先

- 건국대학교 환경공학과 공학박사
- 현재 (주)포스벨 기업부설연구소 연구소장



韓 相 國

- 수원대학교 환경공학과 공학석사
- 현재 (주)포스벨 기업부설연구소 선임연구원



姜 丁 熙

- 현재 안양대학교 박사과정



李 南 勳

- 현재 안양대학교 환경에너지공학과 교수
-