

폐기물 에너지화가 수도권매립지 매립가스 발생량에 미치는 영향 Effect of Waste Energy Recovery on SUDOKWON Landfill Gas Generation

천승규
Seung-Kyu Chun

수도권매립지관리공사
SUDOKWON Landfill Site Management Corp.

(2010년 9월 27일 접수, 2010년 10월 25일 채택)

Abstract : To predict the potential reduction of CH₄ by recovering several types of wastes as of reusable energy sources like RDF, the CH₄ emission for each type of waste from Landfill Site 3 of SUDOKWON Landfill was estimated for the period of 2017 to 2024. Without any recovering effort on types of wastes being disposed of at the Landfill, there are producing a total of 526×10⁶ Nm³ of CH₄; municipal waste of 337×10⁶ Nm³, construction waste of 178×10⁶ Nm³, and facility waste of 11×10⁶ Nm³. It composed of 41.5% to that observed from 2002 to 2009. With properly retrieved by MT(Mechanical Treatment), it released a total of 158×10⁶ Nm³ CH₄; 127×10⁶ Nm³, 28×10⁶ Nm³, and 4×10⁶ Nm³, respectively. Additionally, when biologically degradable residues can be fully treated by MBT (Mechanical & Biological Treatment) system, the total amount of CH₄ emitted from the site will be lowered down as low as 115×10⁶ Nm³, which is comparably lower showing only 21.8% to that for without any energy recovery practice. Furthermore, it is far less showing 9.1% to that obtained from 2002 to 2009. It can be decided that predictable amount of CH₄ emission reduced could be successfully accomplished and enhanced through ways of energy recovery efforts such as further scale adjustment of LFG treatment capacity in association with currently implemented practices in the landfill site.

Key Words : Waste Energy, Landfill Gas, RDF, MBT

요약 : 폐기물을 활용한 고형연료생산 등 에너지화가 매립가스 발생량에 미치는 영향을 예측하기 위하여 2017년부터 2024년까지 수도권매립지 제3매립장을 대상으로 반입폐기물의 에너지화 방법별 CH₄ 발생량의 변화를 분석하였다. 분석결과 수도권매립지 제3매립장으로 반입되는 폐기물을 종래와 같이 전량 매립하는 경우 2017년부터 2024년 사이에 예상되는 CH₄ 발생량은 생활계 폐기물 337×10⁶ Nm³, 건설폐기물 178×10⁶ Nm³, 배출시설계 폐기물 11×10⁶ Nm³ 등 총 527×10⁶ Nm³으로 예상되었다. 이는 2002년부터 2009년까지 같은 기간 동안 제2매립장에서 발생된 CH₄ 발생량의 41.5% 수준이었다. 또한, 생활계 폐기물과 건설폐기물을 MT (Mechanical Treatment)방식으로 고형연료를 생산한 뒤 그 잔재물을 모두 매립할 경우 CH₄ 발생량은 생활계 폐기물 127×10⁶ Nm³, 건설폐기물 28×10⁶ Nm³, 배출시설계 폐기물 4×10⁶ Nm³ 등 총 158×10⁶ Nm³로 예상되었다. 한편, 생활계 폐기물을 MT방식으로 처리 후 발생하는 유기성 혼합잔재물을 생물학적으로 처리하여 자원화하는 MBT (Mechanical & Biological Treatment)방식을 도입할 경우 같은 기간 중 총 CH₄ 발생량은 115×10⁶ Nm³로 예상되었다. 이는 단순 매립방식의 21.8% 수준이었으며 2002년부터 2009년 사이의 발생량과 비교하면 9.1%에 불과하였다. 본 연구를 통해 폐기물 에너지화에 의해 매립지에서의 CH₄ 발생량이 큰 영향을 받게 됨을 알 수 있었다. 따라서 매립가스를 활용한 에너지사업 계획시 합리적 규모설정과, 소량발생 매립가스의 에너지화 기술에 대한 연구와 투자 등 사전대비가 필요하다고 판단된다.

주제어 : 폐기물에너지, 매립가스, 폐기물고형연료, MBT

1. 서론

최근 신·재생에너지의 확충 및 기후변화에 대한 적극적인 대응이 요구됨에 따라 단순 매립되던 폐기물을 에너지로 전환하는 새로운 폐기물 처리방식이 정부계획하에 적극적으로 추진되고 있다. 동 계획에 따라 수도권 환경·에너지종합타운내 폐자원에너지타운¹⁾을 포함한 전국의 권역별 에너지타운 건설을 통해 2020년까지는 전체 발생 폐기물의 대부분이 에너지화 시설에서 처리될 예정이다.²⁾

폐기물 에너지화의 가장 주된 방법은 종이류 등 가연성물질을 선별하여 고형연료를 생산하고 선별과정에서 발생된 잔재물만을 매립하는 방식이다. 이러한 방식으로 폐기물을 처리할 경우 매립 폐기물 내 생물분해 가능물질의 감소를 초래하여 매립가스 생산량 저하로 이어지게 된다. 따라서

중장기적인 매립가스 포집관리방법 개선과 신 매립공법의 적용, 매립가스를 이용한 바이오에너지 생산시설에 대한 적정 투자규모 결정 등 사전대비를 위해서는 폐기물 에너지화 사업이 매립가스 발생량에 미치는 영향의 정도를 파악할 필요가 있다.

본 연구는 이러한 필요성에 따라 현재 수도권매립지에서 계획 중인 MT (Mechanical Treatment) 및 MBT (Mechanical & Biological Treatment)시설의 도입이 매립가스 발생량에 미치는 영향을 일차분해모델을 이용하여 추정하였다. 또한 모델링시스템의 구축방법과 일차분해상수인 k의 보정방안, 고형연료 생산시설에 의한 매립 대상폐기물의 성상별 변동비율 반영 등 매립가스 모델링시스템 구축 과정을 제시함으로써 타 매립장에서의 관련연구에 적용 가능하도록 하였다.

† Corresponding author E-mail: tocsk@slc.or.kr Tel: 032-5609-570 Fax: 032-5609-649

2. 연구 방법

2.1. 연구대상지

연구대상지로는 국내 최대의 매립지인 수도권매립지를 선정하였다. 선정 이유는 폐기물 에너지화 사업이 가장 먼저 그리고 대규모로 국가계획에 따라 진행될 예정이기 때문이다.

수도권매립지는 서울특별시, 인천광역시 및 경기도내 58개 시·군·구의 2,285만명으로부터 배출되는 폐기물 약 12,000 ton/day을 반입처리하고 있으며 2010년 8월말 현재 제2매립장의 매립공정률은 84%로 2015년경 매립이 완료될 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 2015년 말까지 1,033,000 m²의 제3매립장 1단계 시설을 건설하여 2016년부터 약 7~8년간 총 2×10⁶ m³의 폐기물을 매립하고 이후 2, 3단계 시설을 추가 건설할 계획이다. 매립가스 발생모델을 적용하는 구체적인 연구대상지로는 상기의 개별 매립장 중 폐기물 에너지화 사업의 영향을 처음부터 받게 되는 제3매립장 1단계 시설로 하였다.

2.2. 매립가스 발생 예측모델 적용

수도권매립지 제3매립장에 대한 매립가스 발생량 예측을 위하여 기존 제2매립장을 대상으로 매립가스 발생모델을 적용하고 이를 현장 모니터링 결과와 비교하여 모델의 정확도를 평가 및 보정하였다. 적용 모델로는 미생물활동에 의한 분해속도를 시간에 따른 함수로 표현함으로써 실제 상황에 가까운 결과를 도출하는 것으로 평가되어 Scholl Canyon Model, IPCC Reference Method 등 매립가스 발생예측에 일반적으로 이용되고 있는 식 (1)의 일차분해모델을 사용하였다.^{3,4)}

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n L_i \cdot R_i \cdot (1 - e^{-k_i \cdot t}) \quad (1)$$

hear, Q_{CH_4} : accumulated CH_4 by time elapsed (m³ CH_4 /yr)

L : CH_4 generation potential (m³ CH_4 /ton waste)

R : landfilled waste (ton/yr)

k : CH_4 generation velocity constant (yr⁻¹)

t : time elapsed (yr)

i : kinds of waste

L은 매립 폐기물 성상별로 생물분해에 의한 CH_4 최대

생산 잠재력이다. 이에 대한 추정방법은 BMP test, Lysimeter 등 다양한 방법들이 있으나⁵⁾ 실험규모가 커질수록 미생물을 위한 최적 환경 조성에 어려움이 있기 때문에 일반적으로 BMP test 방식이 많이 사용되고 있으며 본 연구에서도 수도권매립지 반입 폐기물에 대하여 BMP test를 통해 얻은 연구결과를 이용하였다.⁴⁾ R은 각 폐기물 성상별 연간 매립량으로 2000년부터 2009년까지 수도권매립지에 반입된 폐기물의 각 성상별 조사 자료를 활용하였다.⁶⁾ 아울러 폐기물 성상별 매립가스 발생속도를 의미하는 k는 수도권매립지 제2매립장의 경우 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)³⁾의 값보다는 Scholl Canyon Model의 k가 보다 실측치와 유사^{7,8)}하므로 이를 적용하였다.

한편, 매립장내부의 환경은 기본적으로 BMP test 환경과는 큰 차이가 있어 Table 1의 k를 적용할 경우 매립가스 발생속도가 과대평가되는 경향이 있다. 이는 매립장 내부의 수분부족, 영양물과 미생물간의 접촉조건 등 다양한 현장의 제한요인으로 인해 미생물이 최적의 분해활동을 하기 어렵기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 모니터링 값과의 오차를 최소화할 수 있는 보정방안으로서 k값 조절 factor 개념을 도입하였다.

모델결과와 실측자료와의 비교평가를 위하여 수도권매립지에서 2005년부터 2009년까지 제2매립장에 대하여 실시한 모니터링 자료를 활용하였다.⁷⁾ 2000년부터 2004년까지는 포집관망을 통한 매립가스 강제포집량과 간소소각기로 처리된 매립가스량 만이 측정되었고 복토층과 매립장 사면으로의 표면발산량은 모니터링 되지 않아 정확도가 떨어지므로 제외하였다.

k값을 보정하지 않고 모델링 결과와 현장 모니터링 값을 비교한 결과 모델링 결과가 33.83% 과다하게 계산되었다.

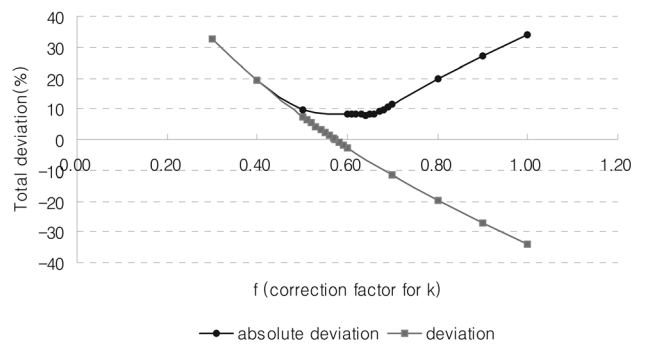


Fig. 1. The total deviation between modelling and monitoring CH_4 emissions by applying correction factor f.

Table 1. Factors and parameters used for first order decay model to estimate CH_4 emission quantity from Landfill Site 2

Physical constitution	Food	Paper	Plastics	Wood	Rubber · Leather	Textiles	Others	Sludge*
L ⁴⁾ (Nm ³ CH ₄ /wet ton)	117.1	239.1	66.6	116.0	79.9	215.8	109.3	16.1
Half life (yr)	1	5	20	5	20	5	5	20
k (yr ⁻¹)	0.693	0.139	0.035	0.139	0.035	0.139	0.139	0.035
k2 (yr ⁻¹)**	0.397	0.080	0.020	0.080	0.020	0.080	0.080	0.020

* Sludge for solidification

** k2 = k · f, f = 0.573

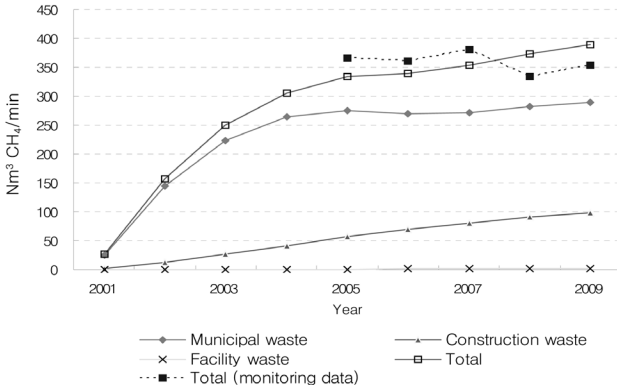


Fig. 2. Modelling and monitoring CH₄ emission velocities of Landfill Site 2.

따라서 k에 보정계수인 f를 곱하여 실 모니터링 값에 근사하도록 하였다. Fig. 1과 같이 f를 0.641로 할 때 양 데이터군의 편차의 합이 7.95%로 최소였으며 편차에 절대값을 취하지 않을 경우는 f가 0.573일 때 편차의 합이 -0.018%로 가장 작았다. 본 연구에서는 모니터링 값 자체에도 표면발산량 측정 오차요인이 있고 또한 2008, 2009년의 최근 자료에 대한 상대적인 신뢰도 부여 및 현장의 경험 등을 반영하여 f값을 0.573으로 하여 보정한 k2를 모델에 사용하였다.

Table 1의 각 값들을 사용하여 2001년부터 2009년까지의 모델링 값과 2005년부터 2009년까지의 모니터링 값을 비교한 결과는 Fig. 2와 같았다. 연 평균 약 8.8% 정도의 오차가 있었으나 모니터링 값 자체의 오차요인 등을 감안할 때 예측을 위한 모델의 적용에 있어 큰 무리는 없는 것으로 판단되었다.

2.3. 에너지화 사업에 따른 매립가스 발생량 평가

모델의 적용을 통하여 2016년 제3매립장 매립개시 후 2017년부터 2024년까지의 가스 발생량을 추정하였다. 이는 제3매립장 1단계 시설의 추정 사용기간이라는 점과 아울러 제2매립장 매립개시 이후 현재까지의 사용기간과 일치한다는 점에서 양자의 비교 편의를 위한 것이다. 또한 2024년까지의 매립가스 발생량 추정으로도 이후의 발생형태를 충분히 짐작할 수 있기 때문이다.

폐기물의 에너지화에 따른 CH₄ 발생량의 추정은 우선 2016

년부터 2023년까지 수도권매립지 반입 폐기물에 대하여 에너지화를 하지 않고 현재와 같이 전량 매립할 경우와 폐기물에 대하여 에너지화를 하는 경우로 크게 대별하였다. 에너지화를 하는 경우에는 다시 생활계 폐기물로부터 고품연료 생산 후 유기성 혼합잔재물을 매립처리하는 MT방식의 경우 그리고 동 유기성 혼합잔재물을 별도의 생물학적 처리시설을 통해 자원화 하는 MBT방식의 경우로 나누어 평가하였다.

배출시설계 폐기물은 반입량이 소량이거나 CH₄ 발생률이 미미한 물질들은 제외하고 슬러지만을 대상으로 평가하였다. 전량 매립방식은 반입슬러지를 폐기물관리법에 따라 중성 플라이애쉬, 시멘트 등을 첨가하여 고화 후 매립하는 것으로 하였고 에너지화는 수도권매립지의 관계계획에 따라 1,000 ton/day은 고화제와 시멘트를 첨가하여 매립장 복토재를 생산하고 나머지는 건조연료화 함으로써 전량 재활용하는 것으로 하였다.

2.3.1. 예상 반입폐기물 양 및 성상

2016년부터 2023년까지 수도권매립지의 연도별 폐기물 반입 총량은 수도권매립지관리공사에서 제3매립장 실시시설을 위하여 수행한 관련연구의 예측자료를 활용하였다.⁹⁾ 연도별 반입 폐기물의 성상별 비율을 추정하기 위해 건설폐기물과 배출시설계 폐기물은 수도권 환경·에너지종합타운 조성을 위한 관련연구사업 결과를 활용하였고,¹⁰⁾ 생활계 폐기물은 근거자료가 부족한 관계로 2000년부터 2009년까지의 실 반입폐기물의 성상별 비율을 기초로 추세분석을 실시하였다. 아울러, 음식물류폐기물의 경우 그동안 직매립금지조치 등에 따라 반입량이 크게 변화되었으므로 안정기에 들어선 2004년부터 2009년까지의 통계를 적용하였다. 상기와 같은 방법에 의해 2016년부터 2023년까지 산출한 폐기물 성상별 반입예상량은 Table 2와 같다.

2.3.2. 폐기물 에너지화 사업 추진계획의 적용

수도권매립지는 2008년 수립된 정부의 관계계획에 따라 수도권매립지의 모든 가연성 및 생분해성 반입폐기물을 가능한 제3매립장 사용개시일 이전에 Table 3과 같은 MT 또는 MBT를 중심으로 하는 에너지화 사업을 통해 전량 처리

Table 2. Predictions of disposed waste to SUDOKWON Landfill

(Unit : 10³ ton)

Year	Total	Food	Paper	Plastics	Wood	Textiles	Others	Sludge	Incombustibles
2016	4,447	83	554	387	534	46	67	990	1,787
2017	4,377	78	536	368	531	44	64	990	1,766
2018	4,308	74	519	350	526	42	61	990	1,745
2019	4,241	70	505	335	522	40	59	990	1,721
2020	3,834	66	472	303	426	38	56	990	1,482
2021	3,777	62	457	292	420	36	54	990	1,465
2022	3,722	59	441	281	415	35	52	990	1,449
2023	3,669	56	426	271	409	33	50	990	1,434
Total	32,375	548	3,910	2,588	3,783	315	462	7,919	12,850

Table 3. Planned waste energy recovery facilities of SUDOKWON Landfill

Facilities	Energy recovery method	Scale (ton/day)
RDF manufacturing facility for municipal waste	Mechanical and biological treatment	2,000
RDF manufacturing facility for construction waste	Mechanical treatment	4,000
Solid form fuel manufacturing facility for sewage sludge	Drying · manufacturing solid form fuel	2,700

source : agenda of the board of directors (SLC, 2009.11)

Table 4. The estimation of landfill ratio for municipal waste by MT and MBT (Unit: ton/day)

	Input ¹⁰⁾	Output ¹⁰⁾		Ratio of landfill (MT)	Ratio of landfill (MBT)	
		Total	No.9			No.15
Food	109.6	106.3	67.3	39.0	0.970	0.356
Paper	497.4	132.9	22.6	110.3	0.267	0.222
Vinyl, Plastics	414.1	72.9	4.7	68.2	0.176	0.165
Wood	26.2	24.4	0.3	24.1	0.932	0.921
Textiles	68.1	11.3	0.8	10.6	0.166	0.155
Others	25.0	8.5	1.6	7.0	0.341	0.279
Incombustibles	52.8	30.1	14.2	16.0	0.570	0.302
Total	1,193.0	386.4	111.4	275.0	0.324	0.230

할 계획이다. 따라서 본 연구에서도 실제 처리시설의 용량은 반입대상 폐기물 전량으로 하였고 시설의 가동 시기는 2016년부터 그 적용기준을 정하였다.

이러한 시설들의 건설은 2011년부터 본격적으로 추진될 계획이므로 각 에너지화 시설의 효율 등을 사전 예측하는 데에는 한계가 있다. 따라서 생활폐기물 고품연료 생산시설의 경우는 수도권매립지관리공사에서 수행한 관련 연구사업의 2,000 ton/day 규모시설의 물질수지자료를 활용하였다.¹⁰⁾ 즉, Table 4와 같이 총 1,193 ton/day의 폐기물이 투입될 경우 고품연료를 생산하고 배출되는 잔재물은 유기성 혼합 잔재물은 9번, 무기성 혼합 잔재물은 15번의 2개 배출공정에서 총 386.4 ton/day가 발생된다. 본 연구에서는 이 가운데 MT방식은 9번 및 15번 공정의 잔재물을 모두 매립하는 것으로 하였고, MBT방식은 15번 공정의 잔재물은 매립하되 9번 공정의 유기성 혼합 잔재물은 별도의 생물학적 처리를 통해 자원화 함으로써 매립대상에서 제외하는 것으로 하였다.

아울러, 건설폐기물은 환경부의 차세대 핵심환경기술개발사업의 일환으로 수도권매립지에 반입되는 건설폐기물을 대상으로 수행된 50 ton/day 규모의 연구사업 결과를 적용하였다. 즉, 목재류는 80.91%, 기타 가연물은 93.92%의 회수율을 얻은 바 있어¹¹⁾ 이를 건설폐기물에 대한 MT시설의 회수율로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 매립가스 발생현황 및 예측

모델을 적용한 결과 제2매립장에서의 CH₄ 발생속도는 2002년부터 2009년까지 생활계 폐기물이 평균 252.3 Nm³ CH₄/

min로 가장 컸고 건설폐기물이 59.6 Nm³ CH₄/min로 나타나 제2매립장 매립가스의 대부분인 약 80.7%가 생활계 폐기물의 매립에 의한 것이었다.

또한, 제2매립장의 매립이 진행 중이므로 매립가스의 발생량은 지속적으로 증가하고 있으나 매립시간경과에 따라 증가 속도는 서서히 감소하는 추세를 보였다. 아울러, 매립가스 발생량에서 생활계 폐기물의 기여도가 가장 크지만 2004년도 264.3 Nm³ CH₄/min 이후 기여율이 조금씩 줄어드는 반면 건설폐기물의 기여도는 2002년도 전체 발생량의 7.6%에 불과하였으나 2009년도에는 25.3%로 증대하고 있었다. 이는 2005년부터 음식물류폐기물의 직매립이 금지된 것과 함께 분리수거의 정착 등으로 생활계 폐기물의 반입량이 감소하고 있는데 따른 것으로 판단된다. 배출시설계 폐기물의 경우 반입 성상 자체가 소각재, 광재 등으로 이루어져 있어서 매립가스 발생량은 극히 미미하였다.

수도권매립지 제3매립장에 2016년부터 2023년까지 폐기물을 에너지화하지 않고 종래와 같이 전량 매립할 경우 2017년부터 2024년까지 예상되는 반입폐기물별 CH₄의 발생추세는 Fig. 3과 같았다. 즉, CH₄ 발생량은 2017년에 20.2×10⁶ Nm³ CH₄/yr에서 2024년에 98.8×10⁶ Nm³ CH₄/yr로 증가하고 있으나 그 증가율은 서서히 둔화되고 있었다. 전체 발생량 중 생활계 폐기물에 의한 것이 2017년부터 2024년까지 총 64.5%로 가장 컸고 건설폐기물은 33.5% 그리고 배출시설계 폐기물인 슬러지는 2.0%로 미미했다. 폐기물 종류별 반입비율은 음식물쓰레기 직매립 금지, 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률 시행 등 매립가스 발생량에 영향을 미치는 관련법제가 상당부분 안정화 된 이후 과거와 같은 급격한 변화는 없었다. 이에 따라 폐기물 종류별 CH₄ 발생비율도 에너지화를 하지 않은 경우에는 큰 폭의 변화는 없었다.

Table 5. The estimation of CH₄ emission quantity from Landfill Site 3 by each waste constituent in case of no waste energy recovery (Unit : 10⁶ Nm³ CH₄)

	Total	Food	Paper	Plastics	Wood	Textiles	Others	Sludge
2017	20.2	3.2	10.1	0.5	4.7	0.8	0.6	0.3
2018	37.5	5.1	19.2	1.0	9.1	1.4	1.0	0.6
2019	52.4	6.3	27.2	1.4	13.1	2.0	1.5	0.9
2020	65.4	6.9	34.4	1.8	16.7	2.5	1.9	1.2
2021	75.6	7.2	40.4	2.2	19.2	3.0	2.2	1.5
2022	84.5	7.2	45.6	2.6	21.5	3.3	2.5	1.8
2023	92.2	7.1	50.2	2.9	23.5	3.7	2.7	2.1
2024	98.8	6.9	54.2	3.2	25.3	3.9	2.9	2.4
Total	526.7	49.9	281.3	15.6	133.1	20.7	15.3	10.9
(%)	(100.0)	(9.5)	(53.4)	(3.0)	(25.3)	(3.9)	(2.9)	(2.1)

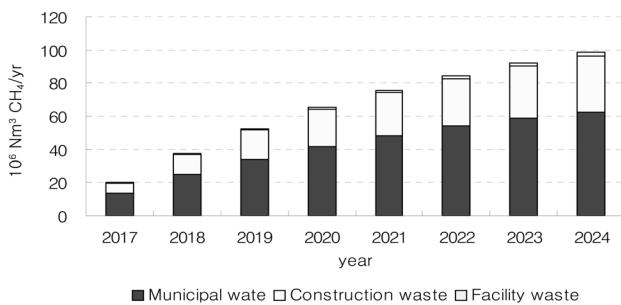


Fig. 3. The estimation of CH₄ emission quantity from Landfill Site 3 in case of no waste energy recovery.

Table 5 및 Fig. 4처럼 2017년부터 2024년까지의 CH₄ 총량 527×10⁶ Nm³ 중 폐기물의 성상별 CH₄ 기여율은 종이류가 53.4%, 나무류가 25.3%이었다. 반면 음식물류폐기물은 9.5% 그리고 여타 폐기물류의 기여도는 매우 작았다.

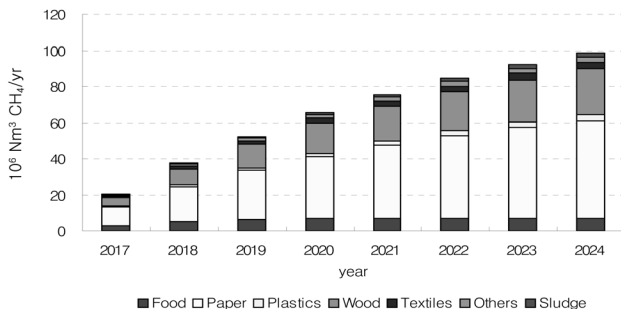


Fig. 4. The trend of CH₄ emission of Landfill Site 3 in case of no waste energy recovery.

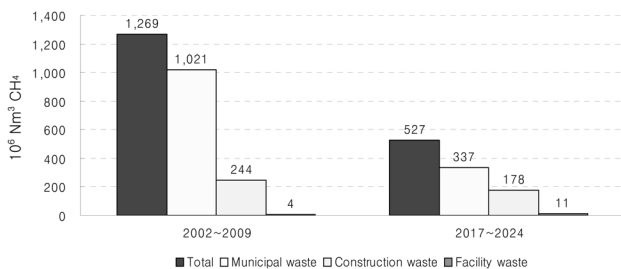


Fig. 5. The comparison of CH₄ emission amounts (2002~2009, 2017~2024).

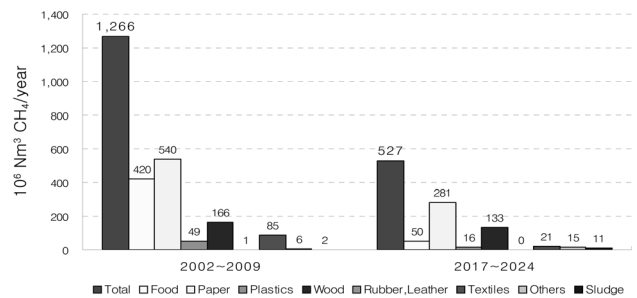


Fig. 6. The comparison of CH₄ emission amounts by waste constituent (2002~2009, 2017~2024).

2002년부터 2009년까지 제2매립장에서 발생한 CH₄ 발생량과 2017년부터 2024년까지 제3매립장에서의 동일한 8년간의 CH₄ 발생량을 비교하였다. 발생총량에 있어서는 제2매립장이 1,269×10⁶ Nm³, 제3매립장이 527×10⁶ Nm³로 제3매립장 발생량이 제2매립장 발생량의 약 41.5%수준이었다. 이는 Fig. 5와 6과 같이 CH₄ 발생량이 생활계 폐기물의 경우 1,021×10⁶ Nm³에서 337×10⁶ Nm³로 67%가 감소하고 또한, 음식물류폐기물이 420×10⁶ Nm³에서 50×10⁶ Nm³로 88.1%가 감소한 것이 주원인이었다.

3.2. 에너지화 방법별 매립가스 발생량 예측

생활계 폐기물의 경우 MT를 통해 고형연료를 생산하고 발생하는 잔재물을 모두 매립하는 경우 Table 6과 같이 2017년부터 2024년까지 총 126.6×10⁶ Nm³의 CH₄가 발생하였다. 유기성 혼합잔재물을 생물학적 처리를 통해 자원화하는 MBT에 의해 처리할 경우 같은 기간 동안 83.8×10⁶ Nm³의 CH₄가 발생되었다.

건설폐기물을 MT를 통해 고형연료를 생산하고 잔재물을 매립할 경우 같은 기간 동안 27.5×10⁶ Nm³의 CH₄가 발생하였다. 슬러지는 1,000 ton/day은 복토재 생산시설에서 처리하고 추가 반입 슬러지는 건조연료화 할 경우 CH₄ 발생량은 4.0×10⁶ Nm³으로 미미하였다.

2017년부터 2024년까지 폐기물로부터 에너지를 회수하지 않고 전량 매립하는 경우 매립가스 총 발생량은 527×10⁶ Nm³, MT 방식을 도입할 경우는 전량매립 시에 비해 70.0%

Table 6. The predictions of CH₄ emission quantity from Landfill Site 3 for each type of energy recovery (Unit : 10⁶ Nm³ CH₄)

Year	Total			Municipal waste			Construction waste		Facility waste(sludge)	
	No energy recovery	MT	MBT	No energy recovery	MT	MBT	No energy recovery	MT	No energy recovery	MT (dry fuel)
2017	20,2	7,0	4,6	13,5	5,9	3,5	6,4	1,0	0,3	0,1
2018	37,5	12,4	8,4	24,7	10,3	6,3	12,2	1,9	0,6	0,2
2019	52,4	16,7	11,7	34,0	13,6	8,6	17,5	2,7	0,9	0,3
2020	65,4	20,1	14,4	41,8	16,2	10,5	22,4	3,5	1,2	0,5
2021	75,6	22,7	16,6	48,4	18,2	12,0	25,7	4,0	1,5	0,6
2022	84,5	24,8	18,4	53,9	19,7	13,3	28,8	4,4	1,8	0,7
2023	92,2	26,5	20,0	58,6	20,9	14,4	31,5	4,9	2,1	0,8
2024	98,8	27,9	21,3	62,5	21,8	15,2	34,0	5,2	2,4	0,9
Total	526,7	158,1	115,4	337,5	126,6	83,8	178,4	27,5	10,9	4,0

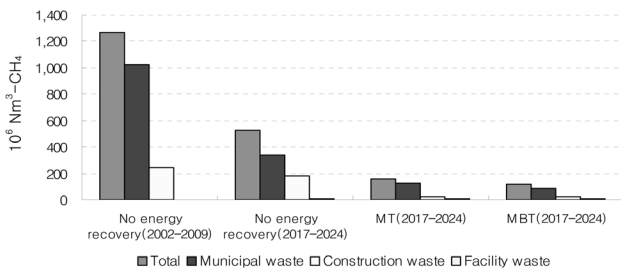


Fig. 7. Total CH₄ emission amounts for each type of energy recovery (2002~2009, 2017~2024).

감소한 158×10⁶ Nm³ 그리고 MBT 방식은 78.2% 감소한 115×10⁶ Nm³로 예상되는 등 에너지화에 따라 큰 폭의 감소를 보였다. 특히, Fig. 7과 같이 2017년부터 2024년 사이의 발생량을 2002년부터 2009년까지의 발생량과 비교하면 전량매립의 경우 41.5%, MT의 경우 12.5%, MBT의 경우 9.1% 수준이었다.

4. 결론

화석연료에 대한 국가 에너지 의존도를 낮추기 위해 그동안 단순 매립처리 되었던 폐기물로부터 고행연료를 생산하는 폐기물 에너지화가 급속히 진행되고 있다. 이에 따라 매립지에 묻히는 폐기물의 양과 성상 및 매립가스의 발생량에 큰 폭의 변화가 예상되므로 이에 대한 적절한 분석 및 평가방법을 정립하는 등 사전대비의 필요성이 크다고 하겠다.

본 연구는 이러한 취지하에 수도권매립지 제3매립장을 연구대상지로 선정하고 예측 모델을 활용하여 폐기물 에너지화에 따른 매립가스 발생영향을 분석하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 2016년부터 2023년까지 반입예상 폐기물은 총 32,375,142 ton으로 이를 종래와 같이 전량 매립할 경우 2017년부터 2024년 사이에 예상되는 CH₄ 발생량은 총 527×10⁶ Nm³로서 생활계 폐기물 337×10⁶ Nm³, 건설폐기물 178×10⁶ Nm³, 배출시설계 폐기물 11×10⁶ Nm³이었다. 이는 2002년부터 2009

년까지 같은 8년간의 제2매립장 CH₄ 발생량의 41.5% 수준으로 매립대상 폐기물중 생활계 폐기물의 감소와 함께 2004년부터 음식물류폐기물 매립량이 급감한 것이 주요인으로 판단된다.

2) 생활계 폐기물과 건설폐기물을 MT방식으로 분리선별, 고행연료를 생산한 후 그 잔재물을 모두 매립하고 슬러지 1,000 ton/day을 복토재로 활용할 경우 같은 기간 동안 발생될 것으로 예상되는 CH₄량은 생활계 폐기물 127×10⁶ Nm³, 건설폐기물 28×10⁶ Nm³, 배출시설계 폐기물 4×10⁶ Nm³ 등 총 158×10⁶ Nm³이었다.

3) 유기성 혼합잔재물을 생물학적으로 처리하여 자원화하는 MBT방식을 도입할 경우 생활계 폐기물의 CH₄ 발생량이 84×10⁶ Nm³로 감소함에 따라 같은 기간 동안 총 CH₄ 발생량은 115×10⁶ Nm³로 예상되었으며 이는 단순 매립방식의 약 21.8% 수준이었다.

연구결과 수도권매립지에서 MBT방식을 도입할 경우 예상되는 CH₄ 발생량을 2002년부터 2009년까지 제2매립장의 발생총량 1.27×10⁹ Nm³과 비교하면 9.1% 수준에 불과하였다. 따라서 수도권매립지 뿐만 아니라 폐기물의 에너지화 사업이 전국적으로 본격화 될 경우 개별 매립장에서의 매립가스를 활용한 전력 및 자동차연료 생산 등의 계획 수립 시 이러한 부분을 감안하여야 할 것이다. 즉, 적절한 시설규모 결정과 소규모 발생 매립가스의 활용기술 개발 등에 대한 연구와 투자가 필요할 것으로 판단된다.

KSEE

참고문헌

1. 환경부, 수도권 환경·에너지종합타운 조성계획(2008).
2. 환경부, 농림수산식품부, 산림청, 폐자원 및 바이오매스를 활용한 에너지 대책, pp. 9~10(2008).
3. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) : 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 5, pp. 3.17~3.18, 3.32~3.40(2006).
4. 수도권매립지관리공사, 수도권매립지 매립가스 및 침출수 발생량 모니터링 및 예측시스템 구축방안 연구, pp. 210~

- 214, 236(2004).
5. El-Fadel, M., Massoud, M., Emissions from Landfills: A Methodology Comparative Assessment, *Environmental Technology*, **21**(9), pp. 965~978(2000).
 6. 수도권매립지관리공사, 수도권매립지 통계연감 제8호, pp. 35~37(2010).
 7. 수도권매립지관리공사, 2009 수도권매립지 매립가스발생량 현장모니터링 및 발생특성 분석, pp. 64~69, 90~96 (2010).
 8. 배원재, 김승도, 정주영, “수도권매립지 매립가스 발생량 산정 및 예측에 대한 연구,” *대한환경공학회지*, **26**(6), 577~578(2009).
 9. 수도권매립지관리공사, 수도권매립지 제3매립장 기반시설 (1단계) 조성공사 실시설계보고서, pp. 171~206(2009).
 10. 수도권매립지관리공사, 수도권 폐자원에너지타운 조성사업 타당성조사 보고서, 제2권, pp. 147~157, 제3권, pp. 62~68(2009).
 11. 수도권매립지관리공사, 유기성폐기물 및 바이오매스 활용 기술-건설폐기물을 이용한 에너지 연료화 기술개발, p. 167 (2010).