



[2018-12-WE-007]

몽골 울란바토르시 Naranjin Enger 매립지 매립가스 발전사업 타당성 평가

권희동¹⁾ · 이형돈²⁾ · 천승규³⁾*

Assessment of Feasibility of Power Generation Plant Using Landfill Gas at Naranjin Enger Disposal Site, in Ulaanbaatar, Mongolia

Hee-Dong Kwon¹⁾ · Hyung-Don Lee²⁾ · Seung-Kyu Chun³⁾*

Received 13 November 2018 Revised 5 December 2018 Accepted 10 December 2018

ABSTRACT We investigated the possible effects of a waste power generation plant and gas recovery from a landfill at Naranjin Enger Disposal Site (NEDS) in Ulaanbaatar, Mongolia. The household waste generation rate, waste composition, and treatment ratio in Ulaanbaatar, Mongolia from 2005 to 2015 were investigated using field survey data and a documentary survey. Field survey research investigating landfill structure, amount of disposed waste, and characteristics of landfill gas (LFG) concentration including CH₄, CO₂, O₂, H₂S, and N₂ was then conducted, and the amount of LFG generated from 2022 to 2041 was predicted using a first order decay model. The results indicated that a landfill power generation plant at NEDS in Ulaanbaatar could be operated by minimum 2.7 MW, and 24.1% of the Green House Gas (GHG) reduction in the waste department of Mongolia was expected to be achieved in 2030.

Key words Landfill gas(매립가스), Power generation plant(발전소), Green house gas(온실가스), Ulaanbaatar(울란바토르)

subscript

Land GEM : landfill gas emission model
NEDS : naranjin enger disposal site
CTC : control technology center
IPCC : intergovernmental panel on climate change

GWP : global warming potential
GHG : greenhous gas

1. 서론

인구 약 310 만명인 몽골의 폐기물 발생량은 2010년 $840 \times 10^3 \text{Mg/year}$ 에서 2015년에는 $2,900 \times 10^3 \text{Mg/year}$ ($0.9 \text{kg/day} \cdot \text{person}$)으로 6년 사이 3배 이상 급격히 증가하고 있다. 이러한 폐기물 발생량의 급증은 최근 10여 년간 수도권인 울란바토르시를 중심으로 급격한 산업발전에 따른 인구증가와 소비자들의 생활 형태의 변화 등에 의한 것으로 파악되고 있다.

1) Researcher, Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Science & Technology

2) Senior researcher, Environmental Convergence Technology Center, Korea Testing Laboratory

3) Professor, Graduate School of Energy & Environment, Seoul National University of Science & Technology

*Corresponding author: skchun@seoultech.ac.kr

Tel: +82-2-970-6880 Fax: +82-2-970-6800

발생폐기물의 상당부분은 ger촌 형태의 몽골 주거지 특징으로 인해 불법적인 투기와 노천소각 등으로 처리되고 있고, 정상적으로 수거된 폐기물의 처리방식도 대부분 단순매립에 의존하고 있다. 극히 일부의 발생폐기물이 재활용을 위하여 중간선별장 등으로 이송되고 있으나 관련시설의 부족으로 인해 전체 발생 폐기물 대비 재활용되는 폐기물의 비율은 약 3% 미만으로 폐기물 재활용 및 자원화를 위한 효율적인 시스템 구축이 절실한 상황이다.^[1,2] 2015년 기준 울란바토르 NEDS를 포함한 인근 3개 매립장에 매립되는 폐기물량은 $969 \times 10^3 \text{Mg/year}$ 로, 전체 폐기물 발생량의 약 33%이다. 이 가운데 연구대상 매립지인 NEDS로 약 50%가 반입되고 있다.

울란바토르시 북서쪽 약 10km 지점에 위치하고 있는 NEDS는 몽골 내에서 유일하게 위생적으로 처리되고 있는 매립장이다. 현재 1,000~1,200Mg/day 정도의 폐기물이 반입되고 있다. NEDS는 일일복토와 다짐작업 등을 통해 위생매립방식으로 처리하고 있으나, 몽골의 추운 기후(겨울철 최저 -45°C)와 낮은 연강수량(약 350mm) 등으로 인해 매립가스 발생측면에서 불리하고 발생된 매립가스도 포집 및 활용방법 등에 대한 해결책을 찾지 못하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 몽골에서 발생되는 폐기물의 발생 및 수거부터 처리까지의 전반적인 기초현황을 파악하고, NEDS를 대상으로 현재 발생되고 있는 매립가스의 효율적인 활용방법을 모색하기 위해 두 차례의 현장조사에 의한 매립장 현황파악 및 매립가스의 농도를 측정·분석하였다. 또한 매립장 내 누적된 폐기물 매립량의 추산과 모델링을 통한 매립가스 발생량을 예측분석하고, 매립가스 발전소의 적정 시설 규모를 평가하였다. 또한 매립가스 발전소 건설에 따른 온실가스 감축량을 분석함으로써 2020년 이후 신기후체제에 대한 적극적인 대응 등 몽골의 폐자원에너지화에 기여할 수 있는 방안을 모색하였다.

2. 연구방법

2.1 폐기물처리 및 매립장 현황

2.1.1 폐기물처리 현황

울란바토르시는 인구의 약 60%가 Ger에서 거주하고 있

으며, Ger 지역은 주거형태의 특성상 인구밀도가 낮고 지역이 넓기 때문에 수거시스템은 높은 비용에 비해 낮은 효율을 보이고 있다. 특히 Ger 지역의 폐기물 수거주기는 월 1~2회이며 낮은 수거빈도 및 관리의 어려움으로 인해 불법적으로 폐기물이 투기되기도 하는 것으로 나타났다.

반면 인구 중 약 40%가 아파트 형태의 주거시설에 거주하고 있으며, Ger 지역에 비해 상대적으로 높은 수준의 수거 서비스가 제공되고 있다. 즉, 이 지역에서는 주로 수거용 용기에 폐기물을 배출하며, 용기가 없는 경우 아파트단지 앞이나 도로 일부 구역 등 배출 거점에 폐기물을 배출하고 있다. 배출 폐기물의 수거주기는 주 1~2회 정기적으로 이뤄지고 있고, 대부분 전문 관리인이 수거공간을 유지관리하고 있다.^[3,4]

울란바토르시의 아파트나 Ger 지역에서 발생한 가정계 생활폐기물과 산업폐기물 등은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 대부분 혼합·수거하여 재활용시설 및 매립지로 운반 후 최종처리되고 있으며, 일부 재활용선별시설에서 재활용품을 선별 및 수거하고 있으나 개인에 의하여 비공식적으로 수거되는 재활용품이 많아 정확한 재활용 비율은 산정되지 못하고 있는 실정이다.

2.1.2 연구대상 매립장

몽골 울란바토르시의 매립장 중 가장 규모가 큰 NEDS은 약 $246,000\text{m}^2$ 면적으로 북위 $47^\circ 94' 84''$, 동경 $106^\circ 79' 02''$ 에 위치하고 있고, Khoroo3, Khoroo4 지역 사이 도로를 통해 진입할 수 있다. 2009년 일본국제협력단(JICA) 자금으로 건설되어 운영 중인 NEDS는 2017년 말 현재 울란바토르시 전체 연간 발생 폐기물 $1.04 \times 10^6 \text{Mg}$ 중 $4.8 \times 10^5 \text{Mg}$ 이상을 반입하여 처리하고 있다. 반입폐기물은 생활폐

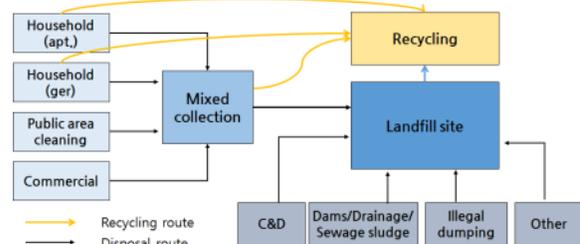


Fig. 1. Collection and treatment system in Ulaanbaatar, Mongolia

기물, 건설폐기물 등으로 매립장 입구에서 계량 후 매립되고 있다. 매립방식은 일반적인 위생매립 방식으로서 폐기물 매립 후 일일복토작업과 다짐작업을 진행하고 있고, 발생된 침출수는 저장조에 저장된 후 1년에 한번 씩 수거하여 위탁처리하고 있다.

주요 시설로는 반입 계량대, 관리동, 침출수 저장조, 매립가스 배출시설, 재활용선별시설, 중장비 보관 창고, 복토재 종합관리사무소, 펜스 가림막 등이며, 재활용선별시설은 한국국제협력단(KOICA) 자금으로 건설 운영되고 있었으나, 화재로 인해 현재는 전소된 상태로 방치되어 있다. 매립장내 매립가스 배출시설은 총 4개이며, 특별한 기계적 장치 없이 매립장내에 깊이 약 1~2m로 삽입·설치되어 있고 발산되는 매립가스를 모아 그대로 대기배출하고 있는 상황이다. [5~7]

NEDS는 울란바토르 시청이 직접 운영·관리를 담당하고 있고, 울란바토르시 발생 폐기물외에 인근 6개 자치구에서 수거된 폐기물도 무료로 반입되고 있다. 인근 도로는 도심으로부터 왕복 2차선도로와 포장 진입도로를 이용하여 모든 종류의 차량 접근이 가능하며, 도심에서부터 매립장 진

입 전까지 연결되는 지방도로는 아스팔트 포장으로 비교적 잘 정비되어 있다.

2.2 매립가스 성분 측정

NEDS 내 포집설비는 대기 중에 개방형태로 방치되어 있어 매립가스 농도를 정확히 측정하는 것은 매우 어려운 실정이다. 표면에서 발산되는 매립가스의 농도를 측정하기 위해서는 개방 또는 폐쇄 형태의 flux chamber를 사용하여 N₂ 또는 air를 통해 purge하여 측정하거나, 폐기물이 분해되는 매립장 내부에 시추장비를 이용해 일정 깊이 이상 뚫어서 내부 온도와 농도 등을 측정해야한다.

현지의 여건으로 인해 이러한 방법을 사용하기 어려운 상황에서 본 연구에서는 개방형태의 가스배출구에서 발산되는 매립가스 농도를 분석하는 방법을 선택하였다. 이를 위해 총 4개의 가스 배출구중 2개를 선정하여 5차례(2018년 6월~7월) 측정하였다. 매립가스 측정 장비는 BIOGAS 5000(Geotech社)을 사용하였고, 측정항목은 CH₄, CO₂, O₂, H₂S이다. 가스배출구에서의 1차 측정은 매립가스 배출구가 개방된 상태로 측정하였고, 2차부터 5차까지는 Fig. 3과 같이 가스배출구에 대한 sealing 작업을 통해 매립가스에의 외기 혼입을 최소화시켰으며, 아울러 sealing 후 최소 5시간에서 24시간까지 안정화되는 시간을 거쳐 가스 농도를 측정하였다. 즉, 2차 측정시에는 sealing후 5시간, 3차 측정은 8시간, 4차 측정은 12시간, 그리고 5차 측정은 24시간 안정화시킨 후 각각 농도를 측정하였다. 또한 각 매립가스 농도는 포집공별로 3회씩 측정한 후 산술평균하여 구하였다.

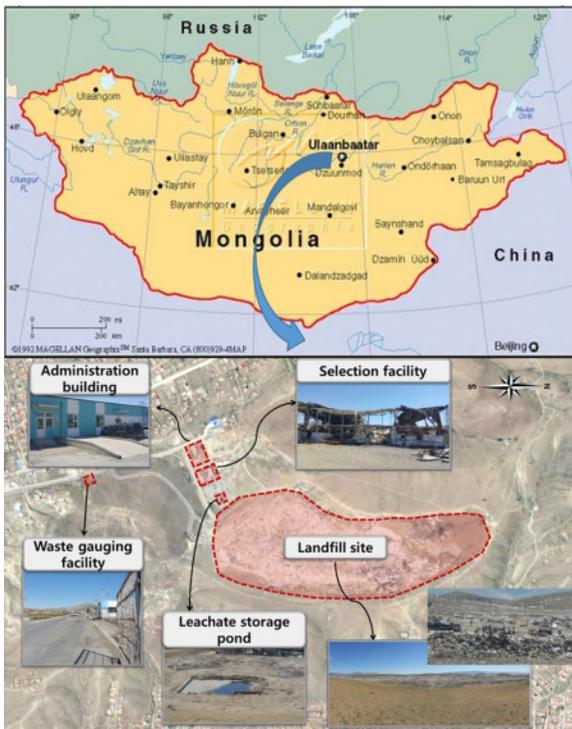


Fig. 2. Naranjin Enger disposal site (NEDS) in Ulaanbaatar, Mongolia



Fig. 3. Measurement for LFG at NEDS landfill site

2.3 매립가스 발생량 추정

발전소 건설 등 매립가스 자원화를 위해서는 일차적으로 매립가스 발생량에 대한 평가가 필요하다. 매립가스 발생량 예측에는 여러 방법들이 있으나 IPCC와 미국 EPA CTC에서 Scholl Canyon model을 기초로 개발한 LandGEM^[8] 등 대부분 식 (1)과 같이 폐기물의 성상별 유기탄소의 반감기를 바탕으로 1차분해식을 통해 매립가스내 메탄(CH₄) 발생량을 예측하고 있으며^[9] 본 연구에서도 몽골 NEDS 매립장의 CH₄ 발생량 추정을 위해 동 식을 사용하였다.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m L_i W_{ij} (1 - e^{-k_j t}) \quad (1)$$

where,

- Q_{CH_4} : the quantity of methane generated (m³)
- L : methane generation potential (m³/Mg waste)
- W : the quantity of disposed landfill waste (Mg/year)
- k : methane generation rate constant (year⁻¹)
- t : elapsed time after waste disposal (year)
- n : number of modeling year
- m : kinds of waste

L 은 폐기물내 유기성분의 양 그리고 k 는 수분, pH, 온도 등 폐기물 조성과 매립장 환경의 영향을 받으며^[10] 이외에도 매립연한, 침출수 발생량의 변화에 의해서도 그 값이 변화하게 된다. 본 연구에서는 L 값과 k 값은 Table 1에 나타난 값을 적용하였으며, k 값은 문헌의 폐기물 성상별 반감기 자료를 반감기 공식을 이용하여 산출한 것이다. 이상의 조건하에 식 (1)에 의하여 CH₄ 연도별 발생가능량을 산출하였다. 이렇게 산출된 이론적인 CH₄ 발생량에 실제 발전량과 관련된 포집가능한 양, 농도, 발열량, 발전기 효율 등을 추정하여 적용하였다. 즉, 매립가스 중 평균 CH₄ 농도는 수도권매립지 제1매립장의 경험등에 비추어 이산화소의 비율 및 외기 유입량 추정치를 고려하여 약 40%로 그리고 CH₄ 비중은 0.7814kg/m³로 적용하였다. 포집율은 기존의 문헌자료^[11]의 68.5%를 적용 시 71.9m³/min에서 28.8m³/min 까지 가능할 것으로 예측되었으나, 부실한 매립복토작업

등 현지여건을 감안하여 매립가스 포집율을 50%로 하였다. 아울러 적용대상인 가스엔진방식의 발전기 효율이 일반적으로 35%이상이나 연구대상매립지의 CH₄ 농도가 낮은 점을 고려하여 발전기 효율은 보수적으로 30%로 하였다.

2.4 온실가스 감축량 평가

LFG 발전사업 시행에 따른 온실가스 감축량의 산정을 위해 발생예상 매립가스량을 적용하여 온실가스 감축량을 예측하였다. 즉, 사업기간 동안 총 발생하는 매립가스량 중 매립가스 발전소에서 발전용으로 사용하는 CH₄량을 산출하고 이를 LNG 사용을 대체하는 CH₄ 감축량으로 전환하였다. 추가적으로 발생하는 매립가스는 간이 소각시설로 처리하는 것으로 하였다. 매립가스 발전에 의한 GHG 저감과 간이소각시설에 의한 메탄의 연소에 의한 온실가스 저감효과 등은 Table 2와 같이 “환경부고시 제2017-197호 공공 부문 온실가스·에너지목표관리 운영 등에 관한 지침”의 “[별표 4] 온실가스 배출량 등의 산정방법 (고시 제6조 제2항 관련)” 방법론을 적용하여 산정하였다. 즉, 먼저 발전에 따른 온실가스 배출량을 상기 고시에 의하여 산출한 후 CH₄ 발전 및 간이 소각시설에 의하여 제거된 CH₄의 CO₂ 환산량에서 상기 발전에 의하여 발생된 CO₂ 환산량을 제함으로써 순수하게 동 발전사업으로 감축되는 CO₂ 양을 산출하였다.

Table 1. Parameter values for LFG modeling of landfill gas in NEDS

Components	$L^{[12]}$ (Nm ³ /ton)	Half life (year) ^[13]	k (1/year)
Food	419.9	12	0.06
Paper	284.9	17	0.04
Wood	213.1	35	0.02
Other combustibles	295.4	14	0.05

Table 2. Coefficients related to GHG emission for LFG power plant

(unit: kg GHG/TJ)

Kinds of GHGs	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Electricity Emission Coef.	465.3	0.0054	0.0027
Gaseous Biomass_Landfill Gas	54600	30	0.1
Global Warming Potential	1	21	310

3. 연구결과 및 고찰

3.1 폐기물 성상 특성

울란바토르시의 폐기물 성상은 Table 3과 같이 여름철과 겨울철의 성상이 크게 다른 것으로 조사되었다. 특히 여름철은 음식물이 36%로 매우 큰 반면, 겨울철에는 혹독한 겨울날씨 탓으로 인해 난방 등에서 사용하는 석탄 등에서 배출되는 재가 49%로 절반가까이 차지하는 특성이 있었다. 매립가스 발생량에 영향이 큰 유기성분은 대부분 음식물류와 종이류로서 이들의 비율은 여름 58%, 겨울 36%이며 나머지는 소량의 섬유류가 차지하고 있다.

폐기물 발열량 및 원소조성은 기존 문헌자료^[3,5]를 바탕으로 재구성한 결과 Table 4와 같았으며, 폐기물의 종류별 톤당 반입비율 및 저위발열량 자료를 통해 울란바토르시 폐기물의 연간평균 kg당 저위발열량을 계산한 결과 약 2,401 kcal/kg인 것으로 분석되었다.

Table 3. Composition of municipal solid wastes in Ulaanbaatar, Mongolia

(unit: %)

Components	Summer	Winter	Avg.
Food	36	23	30
Plastics	22	14	18
Paper	22	13	18
Metal	7	0	4
Glass	9	0	5
Textiles	4	1	3
Ash	0	49	25
Total	100	100	100

Table 4. Elementary composition of municipal solid wastes in Ulaanbaatar, Mongolia

Components	C	H	N	O	S	Cl	Water	Ash	Lower caloric value	
									kJ/kg	kcal/kg
Food	16.9	3.0	1.0	14.3	0.0	0.1	60.0	4.6	6,109	1,460
Paper	31.3	4.5	0.1	31.2	0.0	0.1	25.0	7.7	11,478	2,742
Textiles	43.7	5.0	5.4	30.7	0.1	0.6	14.0	0.6	16,629	3,973
Plastics	64.9	9.3	0.2	5.9	0.0	2.7	12.0	4.9	32,353	7,730
Green Waste	24.2	3.3	1.0	20.3	0.0	0.1	25.0	26.0	9,051	2,162
Rubber, Leather	57.0	7.4	1.3	20.6	0.1	8.7	1.0	4.0	25,754	6,153

3.2 매립 폐기물량

매립가스의 총 발생량을 산정하기 위해서는 매립폐기물의 매립기간과 동 기간 중 성상별 매립량을 추정해야한다. NEDS의 매립종료 시기는 2020년으로 계획되어 있기 때문에 2020년까지 매립장으로 반입될 예상량을 추정하였다. 2009년 개장 이래 NEDS로 반입되는 폐기물 성상에 따른 반입량 데이터는 울란바토르시 반입량 자료(2013~2017년)를 활용하였으며, 과거 20년간 울란바토르시 인구증감 추이를 바탕으로 최근년도의 연간 인구증가 수를 2018~2020년간 예측인구에 일정하게 반영하고 이에 따라 반입될 폐기물량을 추정하였다. 분석결과, NEDS에는 Table 5와 같이 2009년부터 2020년까지 약 6.3×10^6 Mg이 매립될 것으로 평가되었다.

3.3 매립가스 농도 분석

매립가스 농도 측정결과, Fig. 4에서 보는 바와 같이 매립가스 배출구에서의 1차 측정 시, 최대 CH₄ 농도는 배출구 1과 2에서 각각 5.0%, 1.4% 수준으로 매우 낮았다. 배출구에 대한 sealing이 되지 않은 상태에서 외기와의 혼합으로 인한 것이다. 그러나 sealing 이후 안정화시간이 증가됨에 따라 점차 CH₄의 농도가 상승되어 5차 측정(24시간 경과)시에는 각각 45.1%, 34.2%이었다. 배출구 1과 2의 차이가 있으나 향후 매립가스 발전을 위해서는 매립장에 대한 복토 시스템의 개선이 수반되어야 하므로 최대 CH₄ 농도 45.1%수준이

Table 5. Accumulative Landfill amount at NEDS landfill site

Year	Landfill amount (10 ³ Mg)	Cumulative landfill amount (10 ³ Mg)
2009	593	593
2010	583	1,175
2011	573	1,748
2012	563	2,311
2013	592	2,903
2014	558	3,461
2015	506	3,968
2016	451	4,418
2017	486	4,904
2018	476	5,380
2019	466	5,846
2020	457	6,303

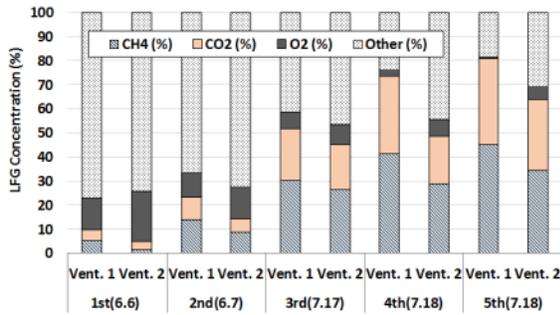


Fig. 4. Concentration of LFG at NEDS landfill site

면 매립장 내부의 혐기적 상태의 유지가 양호한 것으로 판단되며 발전을 위한 CH₄의 순도에도 문제가 없다. 한편 매립가스 발전시 부식 등 발전기의 수명 등에 큰 영향을 미치는 H₂S의 농도는 3ppm 미만으로 적은 것으로 분석되었다.^[14,15]

3.4 매립가스 발생량 및 발전량 예측

2022년부터 2041년까지 NEDS에서의 매립가스 발생량을 예측한 결과, Fig. 5와 같이 2022년 LFG 발생량은 105 m³/min이었으며, 점차 감소하여 2041년에는 약 42m³/min 발생되는 것으로 예상되었다. 총 발생량의 50%를 포집가능한 것으로 할 경우 매립가스 자원화 시설 가동연도인 2022년 4.18MW 발전이 가능하며 지속적으로 발전량이 감소하여 매립완료 20년이 경과된 후인 2041년에는 1.69MW 까지 발전이 가능한 것으로 예상되었다.

3.5 온실가스 감축량 평가

매립가스 자원화 시설 등에 의한 온실가스 감축량은 2022

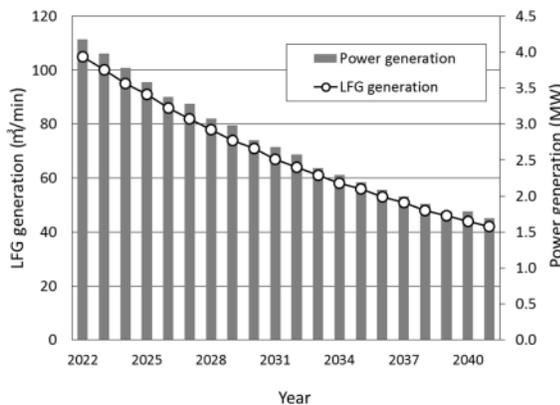


Fig. 5. Amount of LFG and power generation at NEDS landfill site

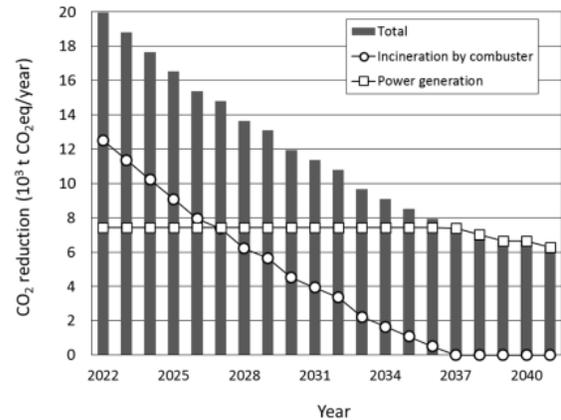


Fig. 6. Reduction amount of GHG emission at NEDS landfill site

년부터 2041년까지 20년간 매립가스발전에 의하여 145,505 tCO₂eq 그리고 간이소각시설에 의한 소각처리를 통해 87,619 tCO₂eq으로 총 233,124 tCO₂eq로 예상되었다. 년도별로는 Fig. 6에서 보는바와 같이 2022년에 최대치인 19,946 tCO₂eq 그리고 시간이 경과하면서 감소하여 2041년 6,282 tCO₂eq로서 동 기간중 평균 11,656 tCO₂eq/year으로 추정되었다.

몽골은 온실가스를 BAU대비 2020년까지 2%, 2025년까지 7%, 2030년까지 14%를 감축하기 위한 목표를 수립한 바 있다. 현재 몽골 전체에서 온실가스 배출량은 2012년 기준으로 약 59 MtCO₂eq/year 수준이며, 몽골 정부에서는 에너지(발전 및 열), 에너지(수송, 운송), 산업, 농업, 폐기물 등의 분야에서 온실가스 감축목표를 수립하고 진행 중에 있으며, 이 가운데 폐기물 분야의 온실가스 감축 목표량은 전체 감축량의 0.6%이다.^[16] 몽골의 2012년 온실가스 배출량을 기준으로 14% 감축목표치로 보면, 2030년 8,260 × 10³ tCO₂eq/year이다. 여기에 몽골 내 폐기물분야 감축비율(0.6%)을 적용하면 폐기물부문에서 49.6 × 10³ tCO₂eq/year 감축목표를 달성해야한다. 따라서 NEDS 내 매립가스 발전사업 실시에 따른 온실가스 감축량은 2030년 11,941 tCO₂eq/year으로서 몽골 폐기물부문 감축 목표량 대비 24.1%에 해당한다.

4. 결론

몽골 울란바토르시 인근에 위치한 NEDS를 대상으로 매

립장에서 발생하는 매립가스 농도를 분석하고, 2041년까지 매립가스 발생량과 발전 가능량, 매립가스 발전소 건설에 따른 온실가스 감축량을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) NEDS에 2009년부터 2020년까지 누적 매립량은 약 $6.3 \times 10^6 \text{Mg}$ 으로 추정되었으며, 실제 발생하는 매립가스 농도를 안정화 시간에 따라 평가한 결과, 24시간 안정화 시간을 거친 후 CH_4 농도는 최대 45.1%로 매립가스 발전이 가능한 범위인 것으로 판단되었다.
- 2) NEDS 누적 매립량 등을 통해 매립가스 발생량과 발전량을 예측한 결과, 2022년 최대 매립가스 발생량과 발전량은 $105 \text{m}^3/\text{min}$ 과 4.18MW 이었으며, 이후 점차 감소하여 2041년 $42 \text{m}^3/\text{min}$ 과 1.69MW 로 예측되었고, 평균 2.72MW 매립가스 발전소 운영이 가능할 것으로 분석되었다.
- 3) 매립가스 발전소 운영에 따른 온실가스 감축량을 평가한 결과, 2030년까지 몽골 내 폐기물 부문 BAU 기준 감축목표($49,560 \text{tCO}_2\text{eq/year}$) 대비 24.1% ($11,941 \text{tCO}_2\text{eq/year}$) 달성이 가능할 것으로 예상되었다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행한 연구과제의 결과입니다.

References

- [1] Delgermaa, G., and Matsumoto, T., 2016, "A Study of Waste Management of Households in Ulaanbaatar Based on Questionnaire Surveys", *International Journal of Environmental Science and Development*, 7(5), 368-371.
- [2] Byamba, B., and Ishikawa, M., 2017, "Municipal Solid Waste Management in Ulaanbaatar Mongolia: Systems Analysis", *Sustainability*, 9(6), 896.
- [3] JICA, 2007, "The Study on Solid Waste Management Plan for Ulaanbaatar City in Mongolia", Mongolia.
- [4] Perinaz, B. T., and Aafrin, K., 2017, "Mongolia National Waste Management Improvement Strategy and Action Plan 2017-2030", Mongolia.
- [5] Toshiki, K., Giang, P. Q., Serrona, K. R. B., Sekikawa, T., Yu, J. S., Choihil, B., and Kunikane, S., 2015, "Effects of introducing energy recovery processes to the municipal solid waste management systems in Ulaanbaatar, Mongolia", *Journal of Environmental Science*, 28(12), 178-186.
- [6] Ulaanbaatar City Project Team, 2017, "Ulaanbaatar Waste Management Improvement Strategy and Action Plan 2017-2030", Mongolia.
- [7] UNEP, 2017, "Industrial Waste Inventory in Mongolia", Mongolia.
- [8] U.S. EPA, 2005, "Landfill gas emissions model (LandGEM) version 3.02 user's guide", EPA-600/R-05/047.
- [9] Cossu, R., Andreottola, G., and Muntoni, A., 1996, "Modelling landfill gas production", *Biogas, E & FN Spon*, London.
- [10] Sudokwon Landfill Site Management Corporation, 2005, "Research based on waste landfill technology".
- [11] National Institute of Environmental Research, 2012, "A Study on Management and Utilization of Landfill Gas", Korea.
- [12] Jeon, E. J., Bae, S. J., Lee, D. H., Seo, D. C., Chun, S. K., Lee N. H., and Kim J. Y., 2007, Methane generation potential and biodegradability of MSW components, *Proceeding Sardinia 2007, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium*.
- [13] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories vol. 5, 3.17-18.
- [14] Park, J. K., Hur, K. B., Rhim, S. G., and Lee, I. H., 2009, "Feasibility Study of Microturbine CHP and Greenhouse CO_2 Enrichment System as Small Scale LFG Energy Project", *New & Renewable Energy*, 5(2), 15-24.
- [15] Hur, K. B., Park, J. K., Lee, J. B., and Rhim, S. G., 2010, "Design for Landfill Gas Application by Low Calorific Gas Turbine and Green House Optimization Technology", *New & Renewable Energy*, 6(2), 27-32.
- [16] Ulaanbaatar City, 2016, "Mongolia sustainable development vision 2030", Mongolia.