

매립시설 및 매립가스 에너지화시설 운영현황 분석

김종환¹, 배재근², 박준석^{3,*}

¹(주)세월이엔이, 대표이사

14322 경기도 광명시 하안로 60, 광명테크노파크 D동 605호

²서울과학기술대학교 환경공학과, 교수

01811 서울 노원구 공릉로 232

³강원대학교 지구환경시스템공학과, 교수

25913 강원도 삼척시 중앙로 346

(2018년 8월 19일 접수; 2018년 9월 7일 수정본 접수; 2018년 9월 10일 채택)

Operating Performance Evaluation of Landfill Facility and Landfill Gas (LFG) Energy Facility

Jong-Hwan Kim¹, Chae-Gun Phae², and Joon-Seok Park^{3,*}

¹Sewon Engineering & Energy, CEO

#D-605, GMtechnoPark, 60 Haan-ro, Gwangmyeong-si, Gyeonggi-do 14322, Korea

²Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science & Technology, Professor

232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea

³Department of Earth & Environmental Engineering, Kangwon National University, Professor

346 Joongang-ro, Samcheok-si, Gangwon-do 25913, Korea

(Received for review August 19, 2018; Revision received September 7, 2018; Accepted September 10, 2018)

요 약

본 연구는 설문조사를 통하여 매립시설과 매립가스 에너지화시설의 기술성, 경제성, 환경성을 평가하고자 실시되었다. 기술성, 경제성, 환경성에 대하여 가중치를 균등하게 부여한 경우, 각 40%, 30%, 30%로 설정한 경우, 그리고 각 30%, 40%, 30%로 설정한 경우의 세 가지로 종합평가 점수를 분석한 결과 가중치에 따른 각 항목별 점수는 큰 차이가 없었다. 세 가지 가중치 방법을 이용하여 매립시설에 대한 기술성, 경제성, 환경성에 대한 종합평가 결과 기술성에서 대·중규모가 14.8~19.7점과 14.3~19.0점으로 소규모(9.8~13.0점) 보다 다소 높은 점수를 받았고, 환경성은 대·소규모가 21.3~23.7점과 20.8~23.1점으로 중규모의 17.6~19.6점 보다 다소 높았다. 그러나 경제성에서는 대·중규모가 22.0~29.3점과 20.5~27.3점으로 소규모의 6.0~8.0점 보다 큰 격차를 보이며 뚜렷하게 높은 점수를 평가받았다. 기술성, 경제성, 환경성에 대한 종합점수는 대·중·소규모가 각각 63.0~65.4점, 57.1~59.2점, 38.6~40.6점으로 규모별 큰 차이를 나타내었는데 이는 경제성 부분 평가가 가장 큰 영향을 미쳤기 때문인 것으로 평가되었다. 매립가스 에너지화시설도 기술성에서 대·소규모가 19.2~25.6점과 17.8~23.7점, 환경성에서 23.1~25.7점과 21.3~23.7점으로 시설 규모별로 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 경제성 부분에서는 27.8~33.3점과 18.8~25.1점으로 보다 큰 차이를 나타내었다. 매립시설과 매립가스 에너지화시설의 운영평가에 가장 큰 영향은 미치는 인자는 상대적으로 기술성과 환경성보다 경제성인 것으로 나타났다.

주제어 : 매립시설, 매립가스 에너지화시설, 기술성, 경제성, 환경성

Abstract : This research was conducted to evaluate the operational performance of landfill facility and landfill gas energy facility from the questionnaire survey. In order to evaluate overall operational performance, three types of weighting methods were applied to each technical, economical, and environmental item. There was no significant difference between an equal weighted method, a weighted method of 40% for technology, 30% for economy, and 30% for environment, and a weighted method of 30% for technology, 40% for economy, and 30% for environment. In technical performance, large and middle scales of landfill

* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: wan5155@kangwon.ac.kr; Tel: +82-33-570-6578; Fax: +82-33-571-6571

doi: 10.7464/ksct.2018.24.3.221 pISSN 1598-9712 eISSN 2288-0690

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.

facilities showed higher scores of 14.8 ~ 19.7 and 14.3 ~ 19.0 than 9.8 ~ 13.0 of small scale one. In environmental performance, large, middle, and small scales of landfill facilities showed 21.3 ~ 23.7, 17.6 ~ 19.6, and 20.8 ~ 23.1 scores, respectively. However, in economical performance, there was significant difference between them with scale. Large and middle scales of landfill facilities showed higher scores of 22.0 ~ 29.3 and 20.5 ~ 27.3 than 6.0 ~ 8.0 of small scale one. As a result of evaluation for landfill gas energy facility, large scale facility showed 19.2 ~ 25.6 and 17.8 ~ 23.7 scores in technical performance and 23.1 ~ 25.7 and 21.3 ~ 23.7 scores in environmental performance, respectively. However, in economical performance evaluation, large scale of landfill gas energy facility showed relatively higher of 27.8 ~ 33.3 score than 18.8 ~ 25.1 of small scale one. From these results, it was shown that economy evaluation heavily effect on the operational performance of landfill facility and landfill gas energy facility compared to technology and environment evaluation.

Keywords : Landfill facility, Landfill gas energy facility, Technical performance, Economical performance, Environmental performance

1. 서론

수분과 유기물 함량이 높은 폐기물의 직매립은 악취와 해충을 발생시키고 매립지 사면붕괴를 일으키며, 침출수 처리를 어렵게 하는 등 많은 문제를 일으킨다[1]. 이에 2005년 음식물류폐기물 직매립금지 제도가 도입되었으며, 런던협약(1972)과 런던의정서(1996)에 따라 2012년 하수슬러지·가축분뇨, 2013년 읍폐수·분뇨·분뇨슬러지, 그리고 2014년 폐수 및 폐수슬러지의 해양배출이 금지되었다[2]. 2000년 말부터는 자원 및 에너지 가격이 급등하고 지구온난화 등으로 인하여 온실가스 감축이 절실히 요구되고 있어 폐기물로부터 자원 및 에너지 회수의 필요성이 대두되었으며[2], 2008년에는 폐자원 및 바이오매스 에너지대책을 수립하여 폐자원 에너지타운 조성사업을 추진하였다[2]. 하수슬러지는 건조시켜 화력발전소 에너지원으로 사용하고 읍폐수 등은 바이오가스화에 의한 에너지화 등이 진행되고 있다[2]. 이를 정리하면 폐기물 관련 매립 비율은 점차 감소하고 해역배출은 금지되었으며, 소각과 재활용의 비율은 증가하고 폐자원에너지화가 증가하는 등 자원순환형 사회로 전환되고 있다.

정부는 국정과제 중 하나로서 “자원순환사회 실현”을 위한 실천과제로 “자원순환사회전환촉진법”제정을 추진하여 왔으며, 2016년 5월에 “자원순환기본법”을 공포하였다[3]. 이처럼 매립이 점차 감소하고 있는 추세이지만 잔여 폐기물은 최종적으로 매립된다는 것을 고려하면 매립시설의 중요성을 간과할 수는 없다. 지금까지 매립 기술에 관한 연구는 꾸준히 진행되어 많은 자료가 축적되어 있기는 하지만 실제 운영현황에 대해서 자세히 평가한 사례는 많지 않다.

폐기물 매립지에서 발생하는 매립가스(landfill gas, LFG)는 주로 45 ~ 60%의 메탄과 40 ~ 45%의 이산화탄소, 소량의 황화수소, 암모니아, 휘발성 유기물질 등으로 구성되어 있으며[4,5], 매립연한에 따라 조성비는 달라진다. 메탄은 무색, 무취의 가스로 매립가스 뿐만 아니라 천연가스의 주성분이기도 하다. LFG 에너지화(자원화) 기술은 포집기술, 전처리기술, 정제기술 및 자원화기술로 대별된다[6]. 전처리에는 탈황, 제습, 실록산 제거를 거쳐야 한다[6]. 정제기술에는 흡수법, 흡착법, 막분리법, 심냉분리법, 혼성분리법 등이 있으며, 자원화기술로는 직접이용, 발전, 증질가스화 및 고질가스화 등이 있다[6].

매립용량이 큰 매립장은 대부분 민간투자사업 등을 통하여

LFG 자원화시설을 설치, 운영 중에 있다[6]. LFG 자원화 시설은 크게 발전시설과 가스공급시설로 구분한다. 2015년 매립시설 중 LFG를 활용하는 시설은 192개 시설 중 10개 시설로 5.2%를 차지하였는데 이는 수도권매립지관리공사(평가 대상 시설 아님)는 제외한 결과이다[7]. LFG 활용량은 총 73,080 천Nm³이었으며, 이 중 발전시설에 활용한 매립장은 8개 시설에 22,006 천Nm³(30.1%), 가스공급에 활용한 시설은 2개 시설에 51,073 천Nm³(69.9%)이었다[7].

LFG 발전시설은 발전설비와 운영원리 자체가 천연가스 발전시설과 유사하지만 실제 LFG 발전시설의 적정 규모를 결정하고 운영함에 있어서는 여러 가지 어려운 점이 많다[4,6]. 앞선 연구[6]에서는 매립장의 시설개요, LFG 발생 및 포집량의 추정에 대해서만 보고되어 있고 자세한 실제 운영현황에 대해서 평가한 연구는 미미한 실정이다. 환경부에는 2015년 4월에 “폐기물처리시설 설치·운영 실태 평가방법 및 절차 등에 관한 규정”을 환경부고시로 공표하여 행정규칙으로 매년 1회 폐기물처리시설에 대한 평가를 실시하도록 하였다. 폐기물처리시설은 소각시설, 매립시설, 생활자원회수센터, 음식물류폐기물 공공처리시설, 가연성폐기물 연료화시설, 유기성 폐자원 바이오가스화시설의 6개 시설별로 평가되고 있다[7]. 그러나, 매년 실시되는 실태평가 보고서에는 개략적이고 종합적인 실태만 보고되어 있어 보다 자세한 상황을 파악하기에는 다소 역부족인 면이 있다.

본 연구는 환경부고시(제2015-60호)가 공표되기 직전에 매립시설과 LFG 에너지화시설에 대하여 설문조사를 실시한 것을 바탕으로 매립시설과 LFG 에너지화시설의 기술성, 경제성, 환경성 등 운영현황을 보다 자세히 평가하고자 하였다. 본 연구의 자료 및 평가 결과는 폐기물처리시설 설치·운영 실태 평가 보고서와 함께 향후 매립시설 및 LFG 에너지화시설 운영관리 정보시스템을 구축하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 연구 방법

2.1. 설문조사

설문조사를 실시할 당시인 2012년 기준 전국의 매립시설은 총 223개소가 운영되었다(Table 1) [8,9]. 이 중 대규모(매립용량 $\geq 5 \times 10^6$ m³)로 운영되는 곳은 5개소로 전체의 2.2%

Table 1. Status of landfill facility and landfill gas energy facility to complete a questionnaire in 2012 [8,9]

Facility	Scale	Capacity ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	Nationwide		Response for questionnaire survey		Code of local government for questionnaire survey
			Number	% ^{a)}	Number	% ^{b)}	
Landfill facility	Large	≥ 5	5	2.2	3	50.0	LF_L1, LF_L2, LF_L3
	Middle	$1 \sim < 5$	34	15.3	2	33.3	LF_M1, LF_M2
	Small	< 1	184	82.5	1	16.7	LF_S1
	Sum	-	223	100.0	6	100.0	-
Landfill gas energy facility	Large	≥ 5	3	20.0	2	28.6	LE_L1, LE_L2
	Middle	$1 \sim < 5$	5	33.3	-	0.0	-
	Small	< 1	7	46.7	5	71.4	LE_S1, LE_S2, LE_S3, LE_S4, LE_S5
	Sum	-	15	100.0	7	100.0	-

^{a)} Each relevant percentage of total nationwide facility, ^{b)} Question response rate

를 차지하였고 약 80%는 매립용량 $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ 미만의 소규모 시설이었다[8,9]. 이들 매립지 중 LFG 에너지화시설은 15개가 운영되었으며, 대규모 매립시설에서 운영되는 곳이 3개소 이었고, 중규모($1 \sim < 5 \times 10^6 \text{ m}^3$)와 소규모($< 1 \times 10^6 \text{ m}^3$)가 각각 5개소와 7개소를 차지하였다[8,9]. 여기에서 LFG 에너지화시설의 규모는 본 시설이 설치된 해당 매립지의 폐기물 매립용량을 의미한다.

본 연구에서는 폐기물 매립시설 및 LFG 에너지화시설의 운영실태를 평가하고자 설문조사를 실시하였다[8,9]. 먼저 매립시설과 LFG 에너지화시설을 규모별로 구분하였으며, 선정된 시설수를 Table 1에 나타내었다. 매립시설은 대·중·소 규모별로 각각 3개소, 2개소, 1개소를 선정하였다. 소규모 매립시설의 경우 민간 등에 의하여 운영되는 곳이 많고 큰 규모에 비하여 운영상태가 미흡할 수 있어서인지 설문조사에 협조가 원활히 이루어지지 않았다. 따라서 매립시설의 경우 규모별 시설수와 설문조사 대상자 비율이 대표성 확보에 다소 미흡하게 반영된 부분이 있다고 판단된다. LFG 에너지화시설은 대규모와 소규모에서 각 2개소와 5개소를 선정하였으며[8,9], 중규모 시설은 해당 지자체의 원만한 협조를 받지 못하여 선정에서 제외하였다. 시설의 종류 및 규모가 반영될 수 있도록 코드와 일련번호를 부여하였다. 매립시설(landfill facility)은 영문 알파벳 LF를, LFG 에너지화시설(landfill gas energy facility)은 LE를 부여하였으며, 시설규모는 일련번호와 함께 대규모(large), 중규모(middle), 소규모(small)에 각각 L, M, S를 부여하였다[6]. 설문조사를 위한 주요 항목은 기본현황과 기술성, 경제성, 환경성으로 구성하였다[6].

2.2. 설문평가

평가시 적용되는 가중치부여기법에는 평점모형(scoring method), 목표달성기법(goal achievement method), 다속성효용함수법(multi-attribute utility theory, MAUT), outranking method, 계층분석기법(analytic hierarchy process, AHP), 매트릭스 분석법(matrix analysis) 등이 있다[9,10]. 이들 평가기법 대부분은 평가자의 주관적 평가에 따른 평가지표의 가중치를 객관화하기가 어렵고 중요도의 경우 전문가 의견이 반영되어 있지 않

아 각 평가지표별 중요도를 부여하기가 쉽지 않은 단점이 있다[9,10]. 본 연구에서는 이 중 가장 타당할 것으로 판단되는 매트릭스 분석법을 적용하여 시설현황 분석을 진행하였다. 매트릭스 분석법은 각 대안에 대해서 대안이 실행되었을 때 영향을 받을 평가항목을 결정하고 영향도에 대해 점수를 부여한 후 요인별 중요도 지수를 합산하여 구한다[11]. 매트릭스 분석법에는 “각 평가항목의 중요도가 같다.”라는 전제가 깔려 있다[11]. 그러나 각 항목의 중요도가 모두 같은 경우는 드물기 때문에 가중치를 부여하기도 하지만 본 연구에서는 평가항목의 중요도가 같다는 가정을 두고 진행하였다. 설문조사 결과를 바탕으로 현황평가를 실시하기 위하여 기술성, 경제성, 환경성 분야로 나누어 평가항목을 설정하였다[8,12]. 평가는 각 항목별로 A~E의 5가지 기준을 설정하고 배점을 최고 1.0에서 최저 0.2까지 부여하였다[8,12].

기술성 평가는 매립시설의 경우 8가지, LFG 에너지화시설은 5가지 항목으로 구성하였다[9,10]. 매립시설 평가항목은 연간 폐기물 반입중지 일수, 매립지 사용 연한 증가율, 매립지복토재 사용량, 운영인원, 수직형포집정, 수평형포집정, 지하수 검사회수, 침출수 검사정 개수이며, LFG 에너지화시설은 가동률, 연간 보수일수, 최대 연속가동일수, 운영인원, 에너지생산량으로 구성되어 있다[9,10].

경제성 평가는 매립시설의 경우 폐기물처리량(ton)을 기준으로 설정하였으며, 운영비, 인건비, 보수비용, 에너지 판매수익, 에너지 사용비용, 약품비용의 6가지 항목으로 구성하였다[9,10]. LFG 에너지화시설은 매립가스량(Nm^3)을 기준으로 운영비, 인건비, 보수비용, 에너지 판매수익, 에너지 사용비용, 약품비의 6가지 항목으로 구성하였다[9,10].

환경성 평가는 두 시설 모두 에너지 자립률, 연료사용량, 전기사용량, 환경기준 위반횟수, 환경오염물질 배출농도, 약품사용량 등을 선정하였다[9,10].

3. 결과 및 고찰

3.1. 폐기물 발생, 처리 및 처리시설 현황

생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물(지정폐기물 제외), 건

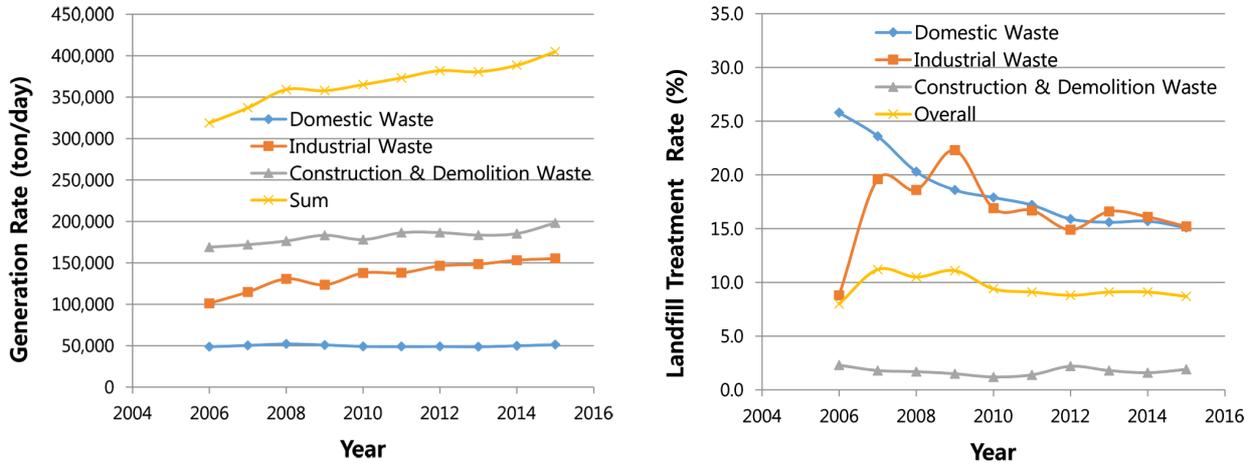


Figure 1. Annual generation rate (a) and landfill treatment rate (b) of solid waste in Korea (Year of 2006 ~ 2015) [13].

설페기물의 총 발생량은 2006년 318,928톤/일에서부터 꾸준한 증가를 보여 2015년 현재 404,812톤/일을 나타내고 있다 (Figure 1(a)) [13]. 이 기간 동안 생활폐기물 발생량은 큰 변화가 없었으나 사업장배출시설계폐기물과 건설폐기물의 증가가 뚜렷하였다. 통계자료에 따르면 2015년 생활, 사업장배출시설계 및 건설폐기물 전체의 8.7%가 매립되었고, 5.9%는 소각, 85.2%가 재활용, 0.2%가 해역배출로 처리되었다[2,13]. 생활폐기물은 51,247톤/일 중 매립, 소각, 재활용으로 처리되는 비율은 각각 15.1%, 25.7%, 59.2%이었다[2,13]. 사업장배출시설계폐기물은 155,305톤/일 중 매립, 소각, 재활용, 해역배출 비율이 15.2%, 6.2%, 78.2%, 0.4%이었고, 건설폐기물은 198,260톤/일 중 각각 1.9%, 0.5%, 97.6%를 나타내어 대부분

이 재활용되었다[2,13].

연도별 매립 처분률 추이를 좀 더 살펴보면 생활폐기물은 2006년 이후 꾸준히 감소추세를 나타내다가 2012년부터 안정화 단계에 들어 약 15%에 이르렀다(Figure 1(b)) [2,13]. 그러나 사업장배출시설계폐기물은 2006년 이후 증가하여 2009년 약 22%까지 증가하였다가 최근에는 15~16% 정도가 매립 처분 되는 것으로 나타났다[2,13]. 매립처분 비율이 2009년까지 증가하였다가 감소 후 안정화 단계에 들어간 이유는 사업장폐기물 처리비용 상승에 따른 재활용 비율 증가 때문인 것으로 판단된다. 실제 2009~2015년 동안의 소각처리 비율은 5.3~6.5%로 큰 변화가 없었으나, 재활용 비율은 2009년에서 2015년 78.2%로 크게 증가하였다. 건설폐기물은 재활용

Table 2. Status of landfill facility in 2012 / 2015 [13]

Local government	Number of facility	Total area (m ²)	Total capacity (m ³)	Residual available capacity (m ³)	Operating personnel (number)
Nationwide	223 / 225	31,235,065 / 27,057,039	426,813,642 / 481,412,517	213,282,573 / 252,102,551	1,396 / 1,429
Busan	1 / 1	747,922 / 747,922	24,494,000 / 24,494,000	11,253,184 / 10,131,403	48 / 52
Daegu	1 / 1	853,400 / 853,400	32,378,541 / 32,378,541	22,034,600 / 20,824,695	54 / 54
Incheon	5 / 5	19,793,391 / 15,412,864	245,809,381 / 289,347,381	126,759,168 / 160,508,046	242 / 248
Gwangju	1 / 1	177,790 / 337,860	4,220,000 / 9,480,000	2,242,775 / 7,225,493	28 / 28
Daejeon	1 / 1	608,256 / 695,788	8,762,000 / 8,762,000	1,674,193 / 3,046,398	39 / 39
Wolsan	2 / 2	360,276 / 360,276	7,064,656 / 7,064,656	2,892,989 / 2,646,184	35 / 16
Sejong	1 / 2	5,569 / 27,818	21,635 / 296,592	12,704 / 268,976	2 / 5
Gyeonggi	9 / 9	720,198 / 549,698	8,299,574 / 8,285,336	4,981,055 / 4,632,916	54 / 39
Gangwon	24 / 24	1,202,476 / 1,269,640	16,374,043 / 18,648,556	5,059,469 / 6,784,639	160 / 152
Chungbuk	13 / 13	438,719 / 437,719	5,393,650 / 5,393,650	1,931,823 / 1,578,168	62 / 134
Chungnam	16 / 16	628,462 / 628,537	7,428,629 / 7,526,133	3,745,962 / 3,437,317	63 / 54
Jeonbuk	15 / 14	913,552 / 855,068	8,883,534 / 8,388,934	2,682,706 / 1,938,459	71 / 71
Jeonnam	58 / 61	1,315,626 / 1,463,925	16,630,388 / 18,817,298	6,744,215 / 8,220,941	229 / 228
Gyeongbuk	38 / 38	1,017,104 / 1,069,779	14,426,974 / 15,930,938	7,990,747 / 8,759,767	151 / 141
Gyeongnam	28 / 27	2,135,840 / 2,025,486	23,951,093 / 23,631,908	12,786,219 / 11,807,433	126 / 128
Jeju	10 / 10	316,484 / 321,259	2,675,544 / 2,966,594	490,764 / 291,717	32 / 30

Table 3. Status of landfill gas energy facility in 2012 / 2015 [13]

Local government	Number of facility	Used (or collected) amount of LFG (Nm ³ /year)	Produced amount for energy (Nm ³ /year)	Operating personnel (number)
Nationwide	15 / 14	207,432,315 / 159,525,456	174,557,293 / 115,901,182	537 / 524
Busan	1 / 1	5,263,281 / 3,861,126	5,263,281 / 3,861,126	48 / 52
Daegu	1 / 1	22,153,041 / 20,399,461	44,248,584 / 20,366,461	54 / 54
Incheon	1 / 1	169,547,943 / 123,647,256	115,106,571 / 80,747,191	238 / 244
Gwangju	1 / 1	1,115,057 / 2,733,575	1,115,057 / 2,733,575	28 / 28
Daejeon	1 / 1	785,209 / 3,328,168	295,730 / 2,673,974	39 / 39
Wolsan	1 / 1	1,414,006 / 898,396	1,414,006 / 898,396	19 / 5
Chungbuk	1 / 1	1,254,984 / 803,295	1,254,984 / 803,295	17 / 12
Jeonbuk	1 / 1	579,600 / 640,972	541,510 / 640,972	13 / 13
Jeonnam	3 / 3	2,646,802 / 1,915,362	2,646,802 / 1,845,347	37 / 46
Gyeongnam	3 / 2	1,762,123 / 474,291	1,760,499 / 474,291	34 / 19
Jeju	1 / 1	910,269 / 865,554	910,269 / 865,554	10 / 7

률이 높아 매립처분률은 2% 정도를 나타내었다[2,13]. 생활 폐기물, 사업장배출시설계폐기물(지정폐기물 제외), 건설폐기물의 전체적인 매립처분률은 2010년 이후 10% 미만을 나타내어 큰 변화를 나타내지는 않고 있다.

설문조사가 이루어졌던 2012년과 2015년에 운영되고 있는 매립시설 및 매립가스 에너지화시설 현황을 Table 2와 3에 나타내었다[13]. 2015년 운영되는 전국 매립시설은 총 225개소로 2012년(223개소) 설문조사 때보다 2개소가 증가하였으며(Table 2), 매립가스 에너지화시설은 2014년 14개소로 2015년(15개소)에 비하여 1개소가 감소하였다(Table 3). 매립가스 에너지화시설은 매립시설을 기반으로 한다. 지역별로는 매립시설 수가 전남에 밀집되어 있고 매립가스 에너지화시설 역시 이 지역에 가장 많은 시설 수가 운영되고 있다. 그러나 규모면에서는 인천광역시에 위치한 수도권매립지가 매립량이 가장 많고 매립가스도 가장 많이 발생되고 있다.

3.2. 기술성 평가

본 논문에서는 실제 조사된 현황자료를 중심으로 고찰하였으며, 자료(raw data)와 부과점수를 제시하였다. 설문조사 결과에 따라 부과된 점수는 이후 종합평가를 위한 자료로 사용하였다. 매립시설과 매립가스 에너지화시설의 기술성 평가항목은 각각 8가지와 5가지로 하였다(Table 4) [8,9].

매립시설에 대한 반입중지일수는 계획반입일수 중 주민차탈, 행정처분 등으로 인하여 폐기물 반입이 되지 않은 일수로 법정공휴일과 기상조건 등에 의한 반입중지일수는 제외한 것이다[8,9]. 조사된 6개소 매립시설 중 연간 폐기물 반입중지일수는 중규모 한 곳(LF_M1)에서만 2일을 나타내었고, 나머지는 중지 없이 폐기물이 반입되어 평가점수는 0.8 이상으로 높았다[8,9]. 폐기물 톤당 복토재사용량은 대규모 시설 한 곳(LF-F3)에서 약 60%로 상대적으로 높았으나 전체 평균은 폐기물 톤당 0.21톤(0.10 ~ 0.60톤 범위)으로 폐기물량 대비 약 20%

임을 알 수 있었다[8,9]. 복토재 사용량이 많은 것은 매립가스 관리나 위생적인 면에서는 긍정적인 측면이 있으나 복토재 조달비용을 감안하면 운영업체에는 부담으로 작용한다[9]. 폐기물 톤당 운영인원은 0.00007 ~ 0.00674인/톤(평균 0.00123인/톤)을 나타내었고, 규모가 큰 시설일수록 작은 시설에 비하여 운영인원이 적었다[8,9]. 수직형 매립가스 포집정의 개수는 평균 0.00015개/m²(0.00001 ~ 0.00043개/m²)이었고 수평형 매립가스 포집정을 설치하고 있는 곳은 없는 것으로 나타났다[8,9]. 6개 매립시설 중 4개소는 분기별 1회, 2개소는 매월 지하수 검사를 실시하는 것으로 나타났다[8,9]. 폐기물관리법 시행규칙 별표 19에서는 폐기물 매립시설의 사후관리기간을 사용종료 또는 폐쇄신고를 한 날부터 30년 이내로 하며[14], 지하수 사후관리 항목 및 방법으로 지하수의 수질보전 등에 관한 시행규칙 별표 4에 따른 생활용수 수질기준항목을 같은 규칙 제6조 제1항에 따라 조사하도록 하고 있다[14,15]. 다만, 매립종료 후 3년까지는 월 1회 이상 조사하여야 한다[15]. 그 이후 일반 오염물질과 전기전도도, 지하수위 및 해당 지하수오염유발시설에서 배출되는 유해물질의 경우 분기 1회 이상 측정하여야 하고 지하수의 생활용수 수질기준 항목 중 특정유해물질과 지하수오염유발시설로부터 검출가능성이 있는 유해물질은 반기 1회 이상 측정하여야 한다[15]. 폐기물관리법 시행규칙 별표 9 제2호가목8)의 설치기준에 따라 매립시설의 주변에 설치된 3개의 기존 검사정을 이용하여 지하수 수질을 검사하되 반드시 기능이 정상적으로 발휘되도록 관리하여야 한다[14]. 본 조사대상 매립시설의 침출수 검사정 수는 평균 4개(0 ~ 8개 범위)인 것으로 조사되었다.

매립가스 에너지화시설의 설계대비 가동률은 평균 96.2% (87.9 ~ 106.0%)로 대규모 시설 평균이 102.8%로 소규모 시설 93.5%보다 약 10% 높았다(Table 4) [8,9]. 매립이 종료된 이후에는 매립가스량 자체가 급감하므로 매립가스 발전(에너지화)시설의 가동률은 빠른 시간 내에 저하된다[6]. 이외에 황

Table 4. Technology evaluation of landfill facility and landfill gas energy facility [8,9]

Code of landfill facility	Prohibited period of solid waste input		Increasing rate of life for landfill use		Used amount of landfill cover soil		Operating personnel			
	Data (day/year)	Score	Data (%)	Score	Data (ton/ton)	Score	Data (person/ton)	Score		
LF_L1	0	1.0	3,400	0.2	0.11	0.4	0.00007	1.0		
LF_L2	0	1.0	129	0.2	0.17	0.4	0.00020	0.8		
LF_L3	0	1.0	100	0.2	0.60	1.0	0.00012	0.8		
LF_M1	2	0.8	200	0.2	0.10	0.2	0.00002	1.0		
LF_M2	0	1.0	100	0.2	0.14	0.4	0.00021	0.6		
LF_S1	0	1.0	100	0.2	0.13	0.4	0.00674	0.2		
Mean	0.33	1.0	672	0.2	0.21	0.5	0.00123	0.7		
Code of landfill facility	No. of vertical landfill gas collection well		Length of horizontal landfill gas collection well		Frequency of groundwater inspection		No. of leachate inspection well			
	Data (no./m ²)	Score	Data (m/m ²)	Score	Data (no./year)	Score	Data (no.)	Score		
LF_L1	0.00021	0.6	-	0.2	4	0.2	0	0.2		
LF_L2	0.00010	0.2	-	0.2	12	0.6	5	0.4		
LF_L3	0.00004	0.2	-	0.2	4	0.2	8	0.6		
LF_M1	0.00010	0.2	-	0.2	12	0.6	4	0.4		
LF_M2	0.00043	1.0	-	0.2	4	0.2	4	0.4		
LF_S1	0.00001	0.2	-	0.2	4	0.2	3	0.2		
Mean	0.00015	0.4	-	0.2	6.7	0.3	4.0	0.4		
Code of landfill gas energy facility	Operating rate		Repairing day		Continuous operating time		Operating personnel		Amount of produced energy	
	Data (%)	Score	Data (day/year)	Score	Data (day/year)	Score	Data (person/10 ⁶ Nm ³)	Score	Data (TOE/Nm ³)	Score
LE_L1	105.6	1.0	18	0.4	18	0.2	0.01	1.0	0.0002	0.2
LE_L2	100	0.8	2	1.0	300	0.4	0.02	1.0	0.0004	0.4
LE_S1	93.1	0.8	1	1.0	28	0.2	0.02	1.0	0.0002	0.2
LE_S2	106	1.0	7	0.8	31	0.4	0.05	1.0	0.0003	0.4
LE_S3	87.9	0.6	2	1.0	28	0.2	0.07	0.8	0.0003	0.4
LE_S4	90.4	0.8	10	0.8	4	0.2	0.26	0.2	0.0008	0.8
LE_S5	90.3	0.8	26	0.2	16	0.2	0.15	0.6	0.0003	0.4
Mean	96.2	0.8	9.4	0.7	61	0.3	0.08	0.8	0.0004	0.4

화수소, 실록산 등의 전처리 설비설치는 가동률 저하의 문제를 일으키기도 한다[6]. 연간 보수일수는 평균 9.4일/년으로 동일한 대규모(10.0 ± 11.3일/년) 또는 소규모(9.2 ± 10.1일/년) 시설 간에도 편차가 큰 것으로 나타나 시설 규모에 따른 연간 보수일수에 차이가 있다고 결론 내리기는 어려웠다. 매립가스는 천연가스와 달리 실록산 등 불순물이 많기 때문에 전처리 설비의 설치·운영에도 불구하고 주기적인 보수 및 점검에 따른 가동중단 횟수와 기간이 천연가스 발전시설에 비하여 상대적으로 크다[6]. 최대연속가동일수는 최대 300일/년에서 최소 4일/년까지 다양하였다. 동일 규모 시설 간에 편차가 컸지만 전체적으로는 대규모가 소규모보다 최대연속가동일수가 길어 각각 159.0 ± 199.4일/년과 21.4 ± 11.3일/년을 나타

내었다[8,9]. 매립가스 반입량당 운영인원은 전체 평균 0.08인/10⁶ Nm³ (0.01 ~ 0.26인/10⁶ Nm³)이었으며, 대규모 시설(0.02인/10⁶ Nm³)이 소규모(0.11인/10⁶ Nm³) 보다 운영인원이 크게 적었다[8,9]. 매립가스 반입량 대비 에너지생산량은 0.0002 ~ 0.0008 TOE/Nm³(평균 0.0004 TOE/Nm³)의 범위를 나타내었다[8,9].

3.3. 경제성 평가

매립시설과 매립가스 에너지화시설의 경제성 평가항목은 운영비, 인건비, 보수비, 에너지 판매수익, 에너지 사용비, 약품비의 6가지로 동일하였으나 기본 단위는 각각 폐기물처리량(ton)과 매립가스량(Nm³)으로 하였다[8,9].

Table 5. Economy evaluation of landfill facility and landfill gas energy facility [8,9]

Code of landfill facility	Operating expenses		Labor cost		Repairing cost		Energy sale profit		Energy cost		Reagent cost	
	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score	Data (₩/ton)	Score
LF_L1	11,889	0.8	5,943	0.8	365	1.0	0	0.2	940	1.0	229	1.0
LF_L2	22,226	0.6	11,122	0.6	2,570	1.0	0	0.2	2,644	0.6	6	1.0
LF_L3	26,804	0.6	8,358	0.8	1,342	1.0	0	0.2	1,086	0.8	734	1.0
LF_M1	1,814	1.0	209	1.0	806	1.0	0	0.2	101	1.0	106	1.0
LF_M2	33,868	0.4	12,116	0.6	10,761	0.8	0	0.2	2,495	0.6	3,174	0.4
LF_S1	346,198	0.2	197,402	0.2	47,550	0.2	0	0.2	7,319	0.2	7,694	0.2
Mean	73,800	0.6	39,192	0.7	10,566	0.8	0	0.2	2,431	0.7	1,991	0.8

Code of landfill gas energy facility	Operating expenses		Labor cost		Repairing cost		Energy sale profit		Energy cost		Reagent cost	
	Data (₩/Nm ³)	Score										
LE_L1	25	1.0	8	1.0	1	1.0	150	0.6	1.0	1.0	0.2	0.8
LE_L2	50	1.0	13	0.8	11	1.0	136	0.6	17.1	0.4	0.1	0.8
LE_S1	98	1.0	8	1.0	75	0.4	130	0.6	0.1	1.0	4.5	0.4
LE_S2	96	1.0	17	0.8	75	0.4	150	0.6	1.0	1.0	0.0	1.0
LE_S3	142	0.8	27	0.6	25	0.8	188	0.8	14.0	0.6	7.9	0.2
LE_S4	457	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	0.0	1.0
LE_S5	117	0.8	32	0.4	30	0.8	17	0.2	10.1	0.6	0.0	1.0
Mean	141	0.8	18	0.7	36	0.7	129	0.5	7.2	0.7	1.8	0.7

매립시설의 폐기물 톤당 운영비는 1,814 ~ 346,198원/톤(평균 73,800원/톤)으로 시설별 차이가 컸다(Table 5) [8,9]. 특히, 대규모나 중규모의 평균 운영비가 약 20천원/톤임을 감안하면 소규모 매립시설(LF_S1)의 운영비 346,198원/톤은 상대적으로 매우 높았고, 소각시설의 규모별 톤당 평균처리비용과 비교할 때에도 높은 수준에 속하였다[9,16]. 특히 소규모 매립시설의 운영비는 소규모 스토커식 소각시설의 운영비 77,559 ~ 240,356원/톤과도 비교할 때에도 높은 것으로 나타났다[9,16]. 소규모 매립시설의 경우 설문조사 대상수가 1개 시설인 관계로 대표성 확보에 다소 미흡하였다고 판단된다. 소각시설 전체 평균 운영비는 161,677원/톤(53,508 ~ 1,254,743원/톤)이었으며, 열분해(439,864원/톤)가 유동층(163,064원/톤)이나 스토커(113,236원/톤) 보다 높았다[9,16]. 매립시설 인건비에서도 LF_S1(소규모)은 197천원/톤으로 대·중규모(0.2 ~ 12천원/톤) 보다 높았다. 열분해, 유동층, 스토커 소각시설 운영에 따른 인건비는 각각 46,018원/톤, 161,840원/톤, 62,334원/톤이었다[9,16]. 보수비의 경우 LF_S1 (47,550원/톤)을 제외하면 365 ~ 10,761원/톤으로 낮아 비교적 높은 점수가 부과되었다. 에너지 판매수익의 경우 모든 매립시설에서 수익이 없어서 평가항목으로서의 의미를 쇠퇴시켰다. 에너지 사용비는 LF_S1이 7,319원/톤으로 가장 높았고 그 이외의 시설은 101 ~ 2,644원/톤을 보였다[8,9]. 약품비에서도 LF_S1이 상대적으로 매우 높은 지출을 하는 것으로 나타났다[8,9].

매립가스 에너지화시설의 운영비와 인건비는 25 ~ 457원/Nm³

(평균 141 원/Nm³)과 8 ~ 32원/Nm³(평균 18원/Nm³)으로 조사되었다(Table 5) [8,9]. 또한 보수비, 에너지 사용비, 약품비는 각각 1 ~ 75원/Nm³(평균 36원/Nm³), 0.1 ~ 17.1원/Nm³(평균 7.2원/Nm³), 0 ~ 7.9원/Nm³(평균 1.8원/Nm³)을 나타내었다[8,9]. 에너지 판매수익은 평균 129원/Nm³ (17 ~ 188원/Nm³)으로 아직까지는 지출항목인 평균 운영비, 인건비, 보수비, 에너지 사용비, 약품비의 합(204원/Nm³)에는 미치지 못하였다[8,9].

3.4. 환경성 평가

매립시설의 환경성 평가 항목 중 에너지자립률은 대규모에 서만 121 ~ 3,425%를 나타내었고 중·소규모는 0%를 나타내었다(Table 6) [8,9]. 연료사용량과 전기사용량은 평균 0.0062 TOE/ton (0.0002 ~ 0.0250 TOE/ton)과 14.7 kW/ton (0.7 ~ 41.8 kW/ton)이었으며[8,9], 환경기준을 위반한 곳은 없는 것으로 조사되었다. 침출수발생량은 1.8 m³/톤(0.1 ~ 5.6 m³/톤)을 나타내었다[8,9]. 오염물질 평균 배출농도는 BOD, COD, SS, T-N, T-P가 각각 24 mg L⁻¹, 406 mg L⁻¹, 23 mg L⁻¹, 411 mg L⁻¹, 2.0 mg L⁻¹을 나타내었다[8,9]. 약품으로 FeCl₂와 H₂SO₄는 사용되지 않는 것으로 조사되었고, NaOH가 평균 0.33 L/m³으로 가장 많이 사용되었다[8,9]. 다음으로는 Al₂SO₄와 폴리머가 0.89 L/m³와 0.04 L/m³가 사용되었다[8,9].

매립가스 에너지화시설의 에너지자립률은 평균 9.430% (872 ~ 42,082%), 연료사용량은 평균 0.00002 TOE/Nm³ (0 ~

Table 6. Environment evaluation of landfill facility [8,9]

Code of landfill facility	Energy independence rate		Fuel use		Electricity use		Violation frequency of environmental standards		Generated leachate	
	Data (%)	Score	Data (TOE/ton)	Score	Data (kW/ton)	Score	Data (No./yr)	Score	Data (m ³ /ton)	Score
LF_L1	3,425	1.0	0.0008	1.0	1.7	1.0	0	1.0	0.6	0.8
LF_L2	121	0.6	0.0031	0.4	9.6	0.8	0	1.0	0.6	0.8
LF_L3	161	0.8	0.0027	0.6	11.7	0.6	0	1.0	1.7	0.4
LF_M1	0	0.2	0.0002	1.0	0.7	1.0	0	1.0	0.1	1.0
LF_M2	0	0.2	0.0053	0.2	22.4	0.2	0	1.0	1.9	0.4
LF_S1	0	0.2	0.0250	0.2	41.8	0.2	0	1.0	5.6	0.2
Mean	618	0.5	0.0062	0.6	14.7	0.6	0	1.0	1.8	0.6
Code of landfill facility	BOD		COD		SS		T-N		T-P	
	Data (mg L ⁻¹)	Score	Data (mg L ⁻¹)	Score	Data (mg L ⁻¹)	Score	Data (mg L ⁻¹)	Score	Data (mg L ⁻¹)	Score
LF_L1	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2
LF_L2	11	0.8	633	0.2	19	0.8	-	0.2	7.3	0.2
LF_L3	41	0.2	270	0.6	26	0.6	-	0.2	0.7	0.8
LF_M1	19	0.8	665	0.2	37	0.4	811	0.2	0.4	1.0
LF_M2	45	0.2	459	0.2	32	0.4	-	0.2	0.8	0.8
LF_S1	6	1.0	1	1.0	3	1.0	10	1.0	0.6	0.8
Mean	24	0.5	406	0.4	23	0.6	411	0.3	2.0	0.6
Code of landfill facility	Polymer		Al ₂ SO ₄		FeCl ₂		H ₂ SO ₄		NaOH	
	Data (L/m ³)	Score	Data (L/m ³)	Score	Data (L/m ³)	Score	Data (L/m ³)	Score	Data (L/m ³)	Score
LF_L1	0.00	1.0	0.00	1.0	0	1.0	0	1.0	0.00	1.0
LF_L2	0.00	1.0	0.00	1.0	0	1.0	0	1.0	0.00	1.0
LF_L3	0.00	1.0	0.89	0.6	0	1.0	0	1.0	0.00	1.0
LF_M1	0.19	0.2	1.50	0.4	0	1.0	0	1.0	0.21	0.8
LF_M2	0.00	1.0	2.08	0.2	0	1.0	0	1.0	0.90	0.4
LF_S1	0.02	0.8	0.89	0.6	0	1.0	0	1.0	0.86	0.4
Mean	0.04	0.8	0.89	0.6	0	1.0	0	1.0	0.33	0.8

0.00003 TOE/Nm³, 전기사용량은 0.098 kW/Nm³ (0.002 ~ 0.160 kW/Nm³)으로 조사되었다(Table 7) [8,9]. 환경기준 위반은 LE_L1만 2회/년이었고 나머지는 위반 건이 없는 것으로 나타났다. 또한 상수 사용량은 평균 0.5 L/Nm³ (0 ~ 2.7 L/Nm³)이었으며, 지하수와 재이용수는 모든 시설에서 사용하지 않는 것으로 나타났다[8,9]. 황산화물과 질산화물의 배출농도는 11 ~ 294 ppm(평균 153 ppm)과 18 ~ 49 ppm(평균 34 ppm)이었으나 7개소 중 답변을 거부한 곳이 5개소나 되었다. 약품사용에 있어서는 LE_L1이 H₂SO₄와 NaOH를 소량 사용하고 있을 뿐 대부분의 시설들에서는 약품을 거의 사용하지 않는 것으로 나타났다.

3.5. 종합 평가

앞에서 논의된 기술성, 경제성, 환경성에 대하여 점수로 부과된 자료(Table 4 ~ 7 참조)를 바탕으로 매립시설 및 매립기

스 에너지화시설에 대하여 종합 평가를 실시하였다. 종합평가 점수는 기술성, 경제성, 환경성에 대하여 가중치를 균등하게 부여한 경우, 각 40%, 30%, 30%로 설정한 경우, 그리고 각 30%, 40%, 30%로 설정한 경우의 세 가지로 분석하였다. 환경부에서 매년 실시되는 폐기물 처리시설 설치·운영실태 평가에서는 기술성, 경제성, 환경성에 대한 가중치를 40%, 30%, 30%로 설정하고 있으며[7], 앞선 연구에서는 기술성, 경제성, 환경성에 대한 가중치를 30%, 40%, 30%로 설정한 바 있다[12,16]. 평가점수는 다음과 같이 산정하였다[9,12]. 예를 들어, LF_L1 매립시설에 대한 기술성의 경우 8가지 평가항목 평균 점수와 균등가중치(100/3)를 고려한 총 점수는 $(1.0 + 0.2 + 0.4 + 1.0 + 0.6 + 0.2 + 0.2 + 0.2) / 8 \times 100/3 = 15.8$ 점으로 계산된다. 이와 같이 하여 종합평가표(Table 8)를 완료하였으며[8,9], 파악하기 쉽도록 Figure 2에도 나타내었다. 기술성, 경제성, 환경성에 대한 방사형 삼각분석도(Figure 2)에서

Table 7. Environment evaluation of landfill gas energy facility [8,9]

Code of landfill gas energy facility	Energy independence rate		Fuel use		Electricity use		Violation frequency of environmental standards		Tap water use	
	Data (%)	Score	Data (TOE/Nm ³)	Score	Data (kW/Nm ³)	Score	Data (No./yr)	Score	Data (L/Nm ³)	Score
LE_L1	960	1.0	0.00002	1.0	0.120	0.8	2	0.8	2.7	0.6
LE_L2	1,118	1.0	0.00003	1.0	0.150	0.8	0	1.0	0.2	1.0
LE_S1	42,082	1.0	0.00000	1.0	0.002	1.0	0	1.0	0.0	1.0
LE_S2	2,117	1.0	0.00001	1.0	0.060	1.0	0	1.0	0.0	1.0
LE_S3	872	1.0	0.00003	1.0	0.160	0.8	0	1.0	0.0	1.0
LE_S4	-	0.2	-	0.2	-	0.2	0	1.0	0.0	1.0
LE_S5	-	0.2	-	0.2	-	0.2	0	1.0	0.3	1.0
Mean	9,430	0.8	0.00002	0.8	0.098	0.7	0.3	1.0	0.5	0.9
Code of landfill gas energy facility	Groundwater use		Recycled water use		Sulfuric oxides		Nitric oxides		Polymer	
	Data (L/Nm ³)	Score	Data (L/Nm ³)	Score	Data (ppm)	Score	Data (ppm)	Score	Data (mL/m ³)	Score
LE_L1	0	0.2	0	0.2	294	0.6	18	0.8	0	1.0
LE_L2	0	0.2	0	0.2	-	0.2	-	0.2	0	1.0
LE_S1	0	0.2	0	0.2	-	0.2	-	0.2	0	1.0
LE_S2	0	0.2	0	0.2	-	0.2	-	0.2	0	1.0
LE_S3	0	0.2	0	0.2	11	1.0	49	0.2	0	1.0
LE_S4	0	0.2	0	0.2	-	0.2	-	0.2	0	1.0
LE_S5	0	0.2	0	0.2	-	0.2	-	0.2	0	1.0
Mean	0	0.2	0	0.2	153	0.4	34	0.3	0	1.0
Code of landfill gas energy facility	Al ₂ SO ₄		FeCl ₂		H ₂ SO ₄		NaOH		Note	
	Data (mL/m ³)	Score	Data (mL/m ³)	Score	Data (mL/m ³)	Score	Data (mL/m ³)	Score		
LE_L1	0	1.0	0	1.0	0.0030	1.0	0.013	1.0	-	
LE_L2	0	1.0	0	1.0	0.0000	1.0	0.000	1.0	-	
LE_S1	0	1.0	0	1.0	0.0000	1.0	0.000	1.0	-	
LE_S2	0	1.0	0	1.0	0.0000	1.0	0.000	1.0	-	
LE_S3	0	1.0	0	1.0	0.0000	1.0	0.000	1.0	-	
LE_S4	0	1.0	0	1.0	0.0000	1.0	0.000	1.0	-	
LE_S5	0	1.0	0	1.0	0.0000	1.0	0.000	1.0	-	
Mean	0	1.0	0	1.0	0.0004	1.0	0.002	1.0	-	

실선(solid line)은 균등 가중치를 부여한 경우, 은선(dashed line)은 각각 40%, 30%, 30%의 가중치를 부여한 경우, 그리고 점선(dotted line)은 각각 30%, 40%, 30%의 가중치를 부여한 경우를 나타낸다.

기술성, 경제성, 환경성에 대한 균등 가중치, 각 40%, 30%, 30% 가중치, 각 30%, 40%, 30% 경우 각 항목별 점수는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(Figure 2). 따라서 이후 고찰에서는 가중치 방법에 대한 고려 없이 서술하였다.

매립시설은 기술성에서 대·중규모가 14.8~19.7점과 14.3~19.0점으로 소규모(9.8~13.0점) 보다 다소 높은 점수를 받았고, 환경성은 대·소규모가 21.3~23.7점과 20.8~23.1점으로 중규모의 17.6~19.6점 보다 다소 높았다(Table 8, Figure 2)

[8,9]. 그러나 경제성에서는 대·중규모가 22.0~29.3점과 20.5~27.3점으로 소규모의 6.0~8.0점 보다 큰 격차를 보이며 뚜렷하게 높은 점수를 평가받았다[9,10]. 기술성, 경제성, 환경성에 대한 종합점수는 대·중·소규모가 각각 63.0~65.4점, 57.1~59.2점, 38.6~40.6점으로 규모별 큰 차이를 나타내었는데 이는 경제성 부분 평가가 가장 큰 영향을 미쳤기 때문이다[9,10]. 결론적으로 매립시설의 전체적 운영에 있어서는 규모에 따른 기술성, 환경성은 큰 차이가 없으며, 경제성에서 가장 뚜렷한 차이를 보였다.

매립가스 에너지화시설도 기술성에서 대·소규모가 19.2~25.6점과 17.8~23.7점, 환경성에서 23.1~25.7점과 21.3~23.7점으로 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 경제성 부분에서

Table 8. Overall evaluation of landfill facility and landfill gas energy facility [8,9]

Code of facility		Technology		Economy		Environment		Overall	
		Score	Avg.	Score	Avg.	Score	Avg.	Score	Avg.
Landfill facility	LF_L1	15.8 ^{a)}	16.4	26.7	24.4	24.0	23.7	66.5	64.5
		19.0 ^{b)}		24.0		21.6		64.6	
		14.3 ^{c)}		32.0		21.6		67.9	
	LF_L2	15.8	19.7	22.2	22.0	24.0	21.3	62.1	63.0
		19.0	14.8	20.0	29.3	21.6	21.3	60.6	65.4
		14.3		26.7		21.6		62.6	
	LF_L3	17.5		24.4		23.1		65.1	
		21.0		22.0		20.8		63.8	
		15.8		29.3		20.8		65.9	
	LF_M1	15.0	15.8	28.9	22.8	22.7	19.6	66.6	58.2
18.0		26.0		20.4		64.4			
13.5		34.7		20.4		68.6			
LF_M2	16.7	14.3	16.7	27.3	16.4	17.6	49.8	59.2	
	20.0		15.0		14.8		49.8		
	15.0		20.0		14.8		49.8		
LF_S1	10.8	10.8	6.7	6.7	23.1	23.1	40.6	40.6	
	13.0	13.0	6.0	6.0	20.8	20.8	39.8	39.8	
	9.8	9.8	8.0	8.0	20.8	20.8	38.6	38.6	
Overall mean		15.3	-	20.9	-	22.2	-	58.4	-
		18.3		18.8		20.0		57.2	
		13.8		25.1		20.0		58.9	
Landfill gas energy facility	LE_L1	18.7	21.3	30.0	27.8	26.2	25.7	74.9	74.8
		22.4		27.0		23.6		73.0	
		16.8		36.0		23.6		76.4	
	LE_L2	24.0	25.6	25.6	25.0	25.2	23.1	74.8	73.7
		22.8	19.2	23.0	33.3	22.7	23.1	74.5	75.6
		21.6		30.7		22.7		75.0	
	LE_S1	21.3	19.7	24.4	20.9	25.7	23.7	71.5	64.3
		25.6		22.0		23.1		70.7	
		19.2		29.3		23.1		71.7	
	LE_S2	24.0	23.7	26.7	18.8	25.7	21.3	76.4	63.8
		28.8		24.0		23.1		75.9	
		21.6		32.0		23.1		76.7	
	LE_S3	20.0	17.8	21.1	25.1	27.1	21.3	68.3	64.2
24.0		19.0		24.4		67.4			
18.0		25.3		24.4		67.8			
LE_S4	18.7	17.8	11.1	21.1	20.0	20.0	49.8	55.8	
	22.4		10.0		18.0		50.4		
	16.8		13.3		18.0		48.1		
LE_S5	14.7	17.8	21.1	25.3	20.0	18.0	55.8	54.6	
	17.6		19.0		18.0		54.6		
	13.2		25.3		18.0		56.5		
Overall mean		20.2	-	22.9	-	24.3	-	67.3	-
		24.2		20.6		21.9		66.7	
		18.2		27.4		21.9		67.5	

^{a)} Equal weighted score

^{b)} Weighted score of 40% for technology, 30% for economy, and 30% for environment

^{c)} Weighted score of 30% for technology, 40% for economy, and 30% for environment

는 27.8 ~ 33.3점과 18.8 ~ 25.1점으로 보다 큰 차이를 나타내었다(Table 8, Figure 2). 그러나 규모에 따른 경제성 평가 점

수 차이는 매립가스 에너지화시설이 매립시설 보다 크지는 않았다.

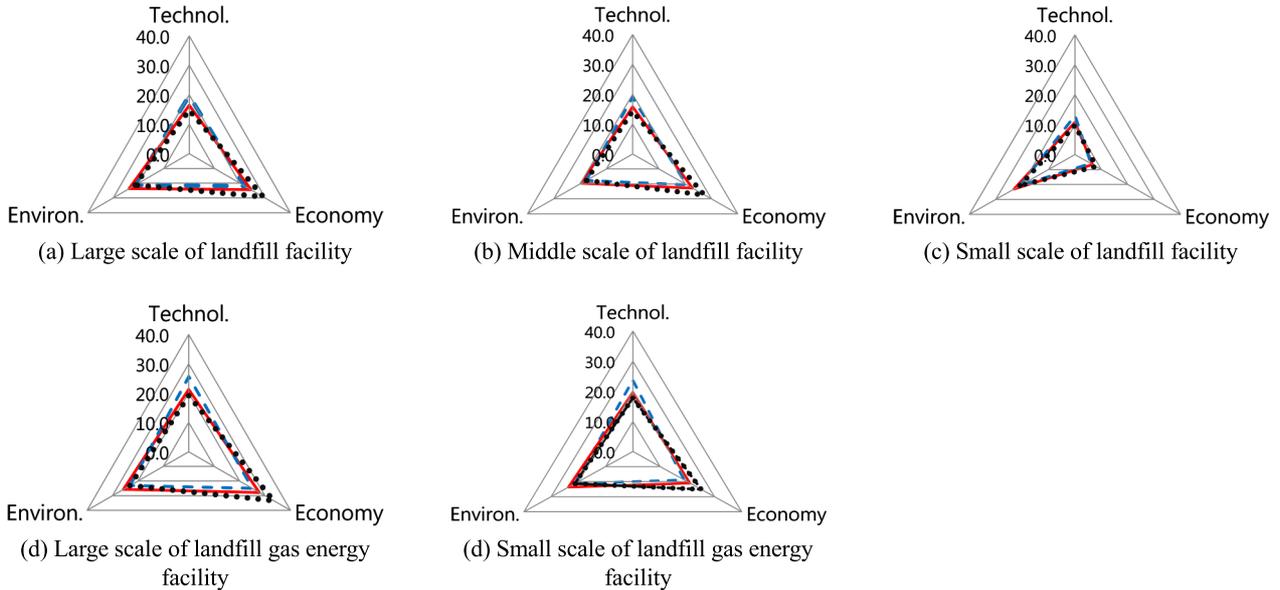


Figure 2. Overall evaluation of landfill facility and landfill gas energy facility with scale (solid line = an equal weighted score; dashed line = a weighted score of 40% for technology, 30% for economy, and 30% for environment; dotted line = a weighted score of 30% for technology, 40% for economy, and 30% for environment)

4. 결론

본 연구에서는 설문조사를 통하여 매립시설과 매립가스 에너지화시설의 기술성, 경제성, 환경성을 평가하고자 실시되었으며, 얻어진 결론은 다음과 같다.

생활폐기물, 사업장배출시설계폐기물(지정폐기물 제외), 건설폐기물의 연도별 매립 처리율 추이를 검토한 결과 생활계폐기물은 2005년 이후 꾸준히 감소추세를 나타내다가 2012년부터 약 15%로 안정화 수준에 이르렀으며, 최근 사업장배출시설계폐기물과 건설폐기물의 매립 처리율은 각각 약 15%와 2%를 나타내었다. 이들 폐기물의 전체적인 매립처분률은 2010년 이후 10% 미만을 나타내어 큰 변화를 나타내지는 않고 있다.

기술성, 경제성, 환경성에 대하여 가중치를 균등하게 부여한 경우, 각 40%, 30%, 30%로 설정한 경우, 그리고 각 30%, 40%, 30%로 설정한 경우의 세 가지로 종합평가 점수를 분석한 결과 가중치에 따른 각 항목별 점수는 큰 차이가 없었다.

세 가지 가중치 방법을 이용하여 매립시설에 대한 기술성, 경제성, 환경성에 대한 종합평가 결과 기술성에서 대·중규모가 14.8~19.7점과 14.3~19.0점으로 소규모(9.8~13.0점)보다 다소 높은 점수를 받았고, 환경성은 대·소규모가 21.3~23.7점과 20.8~23.1점으로 중규모의 17.6~19.6점보다 다소 높았다. 그러나 경제성에서는 대·중규모가 22.0~29.3점과 20.5~27.3점으로 소규모의 6.0~8.0점보다 큰 격차를 보이며 뚜렷하게 높은 점수를 평가받았다. 기술성, 경제성, 환경성에 대한 종합점수는 대·중·소규모가 각각 63.0~65.4점, 57.1~59.2점, 38.6~40.6점으로 규모별 큰 차이를 나타내었는데 이는 경제성 부분 평가가 가장 큰 영향을 미쳤기 때문인 것으로 평가되었다. 매립가스 에너지화시설도 기술성에서 대·

소규모가 19.2~25.6점과 17.8~23.7점, 환경성에서 23.1~25.7점과 21.3~23.7점으로 시설 규모별로 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 경제성 부분에서는 27.8~33.3점과 18.8~25.1점으로 보다 큰 차이를 나타내었다.

결론적으로 매립시설과 매립가스 에너지화시설의 운영평가에 가장 큰 영향은 미치는 인자는 상대적으로 기술성과 환경성보다 경제성인 것으로 나타났다.

감사

본 연구는 한국환경공단(2012)과 2016년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비(관리번호-620160096)로 연구하였으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Ko, J.-Y., Phae, C.-G., Do, I.-H., and Park, J.-S., "Evaluation of Landfilling Method of Organic Sludge from Mix of Pre-treated Organic Sludge and Municipal Solid Waste," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **30**(3), 278-285 (2008).
2. <http://library.me.go.kr/>, 2016 White Paper of Environment (assessed date : May 21, 2018).
3. Lee, I.-S., and Kang, H.-Y., "A Review on the Direction of the Framework Act on Resource Circulation for Establishing a Resource Circulation Society," *J. Korean Inst. Resour. Recycl.*, **25**(6), 82-91 (2016).
4. Feng, S. J., and Zheng, Q. T., "A Two-dimensional Gas Flow Model for Layered Municipal Solid Waste Landfills," *Computers and Geotech.*, **63**, 135-145 (2015).
5. Chun, S.-K., "The Analysis of Main Factors Which Impact

- on Operation Rate and Power Production of Landfill Gas Power Plant,” *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **38**(3), 128-134 (2016).
6. Ministry of Environment, Feasibility Investigation for LFG Recycling Work of Local Government, Report, Jun (2009).
 7. Ministry of Environment and Korea Environment Corporation, Installation and Operation Status of Solid Waste Treatment Facility in 2015, Report, December (2016).
 8. Korea Environment Corporation, “Operation and Management Status of Solid Waste Treatment Facility in Local Government,” Report, December (2012).
 9. Kim, J.-H., “A Study on the Evaluation of Operational Suitability through the Analysis of Operation Status of Waste Treatment Facilities,” Ph.D Dissertation, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, 2017.
 10. Lee, J.-H., “A Study on the Weighting Methods of Location Selection Factors: Focussed on Information Measure Technique & AHP Technique,” Master Thesis, Anyang University, Anyang, 2009.
 11. Park, H.-J., “A Study on the Optimum Method Selection Using Matrix Analysis,” *J. Korean Inst. Information & Commun. Eng.*, **18**(4), 913-919 (2014).
 12. Kim, J.-H., Park, J.-S., and Phae, C.-G., “Evaluation of Performance Index for Optimization of Food Waste Treatment and Recovery Facility,” *Clean Technol.*, **22**(3), 181-189 (2016).
 13. Ministry of Environment · Korea Environment Corporation, Generation and Treatment Status of Municipal Solid Waste in Nationwide, Annual Report (2013, 2016).
 14. <http://www.law.go.kr/>, Solid Waste Management Law (assessed date : May 21, 2018).
 15. <http://www.law.go.kr/>, Enforcement Regulation for Conservation of Groundwater Quality (assessed date : May 21, 2018).
 16. Kim, J.-H., Park, J.-S., and Phae, C.-G., “Evaluation of Operation Status for Incineration Facility Using Performance Index,” *J. Korean Oil Chemists' Soc.*, **33**(3), 507-520 (2016).