

## 음식물류폐기물 자원화시설 최적화를 위한 이행지표 평가

김종환<sup>1</sup>, 박준석<sup>2</sup>, 배재근<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>서울과학기술대학교 환경공학과  
01811 서울 노원구 공릉로 232

<sup>2</sup>강원대학교 지구환경시스템공학과  
25913 강원도 삼척시 중앙로 346

(2016년 8월 23일 접수; 2016년 9월 1일 수정본 접수; 2016년 9월 2일 채택)

## Evaluation of Performance Index for Optimization of Food Waste Treatment and Recovery Facility

Jong-Hwan Kim<sup>1</sup>, Joon-Seok Park<sup>2</sup>, and Chae-Gun Phae<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering, Seoul National University of Science & Technology  
232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Korea

<sup>2</sup>Department of Earth & Environmental Engineering, Kangwon National University  
346 Joongang-ro, Samcheok-si, Gangwon-do 25913, Korea

(Received for review August 23, 2016; Revision received September 1, 2016; Accepted September 2, 2016)

### 요 약

본 연구는 음식물류폐기물 자원화시설의 최적화 이행지표를 적용하여 퇴비화시설과 사료화시설을 평가하고자 실시되었다. 2014년 현재 생활폐기물 중 음식물류폐기물은 약 27%이며, 재활용이 97.2%, 매립과 소각은 각각 0.9%와 1.9%로 미미하였다. 2014년 운영되는 음식물류폐기물 자원화시설은 총 105개소이며, 퇴비화와 사료화 시설이 각각 52개소(49.5%)와 24개소(22.9%)로 많았고, 하수병합 및 기타 시설이 29개소로 나타났다. 최적화 이행지표 평가 결과 기술성에서 사료화시설이 30점 만점 중 18.3점으로 퇴비화시설의 17.7점 보다 다소 높았으며, 환경성에서도 사료화 시설이 30점 만점 중 18.3점으로 퇴비화시설의 16.7점 보다 다소 높았다. 그러나 경제성 평가에서는 사료화시설이 40점 만점 중 25.0점을 차지하여 퇴비화시설(18.3점) 보다 크게 높은 것으로 나타났다. 기술성, 경제성, 환경성을 종합 평가한 결과에서도 100점 만점 중 사료화시설은 61.5점으로 퇴비화시설의 52.7점을 앞서는 것으로 나타났다. 이는 향후 각 지자체에서 음식물류폐기물 자원화시설 선정시 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**주제어** : 음식물류폐기물 자원화시설, 퇴비화시설, 사료화시설, 최적화 이행지표

**Abstract** : This research was performed to evaluate the food waste recovery facility using optimization performance index. In 2014, the generated amount of food waste occupied approximately 27% in total municipal solid waste. The 97.2% of the food waste was recycled and the others were treated through landfill and incineration in the portion of 0.9% and 1.9%, respectively. In food waste recovery facilities of year 2014, the composting and feed facilities were 49.5% and 22.9%, respectively. The feed facility showed higher scores in all technological, environmental, and especially economical evaluations than those of composting facility. As results of overall optimization performance index, the feed facility has higher score of 61.5 than 52.7 of composting facility. It was demonstrated that the feed facility has the advantage, compared with the composting facility.

**Keywords** : Food waste recovery facility, Composting facility, Feed facility, Optimization performance index

\* To whom correspondence should be addressed.

E-mail: phae@snut.ac.kr; Tel: +82-2-970-6617; Fax: +82-2-971-5776

doi: 10.7464/kset.2016.22.3.181 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.

## 1. 서론

폐기물 발생량이 크게 증가 하지 않은 상황에서 국내 공공 부문 폐기물 처리시설은 2002년 기준 350개소에서 2010년 725개소로 급격히 증가되었는데 대부분 시·군·구 단위로 설치 운영되어 중복 투자되거나 사업이 지연되고 부적정하게 설치되는 등 비효율적인 문제를 내재하여 왔다[1,2]. 최근 폐기물 감량과 재활용 정책이 강화되고 있고 지자체의 통합 등으로 인한 광역 행정의 효율화 추세 및 양적 확대의 점진적 둔화를 고려하여 폐기물 처리시설의 중장기 전략 방향의 전환이 요구되고 있다[1,2]. 이를 위해서는 공공 폐기물처리시설의 운영 실태에 대한 대내·외적이고 체계적인 사후 평가와 관리체계 구축이 필요한 실정이다[1,2]. 또한 폐자원 에너지화 대책의 추진, 온실가스 저감 정책의 부응 등으로 인하여 처리시설 및 방법의 고도화와 다변화가 필요한 실정이다[1,2].

폐기물 최적화 전략은 폐기물 적정처리와 폐기물처리시설의 경제적 효율성을 제고하고 에너지 효율성 및 CO<sub>2</sub> 등 환경부하 저감을 통해 사회적 민원을 감소시키고 만족을 증대하는 개념이다[1-3]. 최적화지수란 폐기물의 중간처리를 위한 처리시설 설치의 필요성과 광역화, 연계처리 등 효율화 정도를 나타내는 지수로서 최적화지수가 100일 때 최적화가 완료된 것을 의미한다[3].

폐기물 적정처리와 재정투자 효율화를 위한 최적화 방안은 시·도 권역 내에서 폐기물처리시설의 광역화·대형화·집적화, 폐기물처리시설의 질적 고도화 및 수명연장, 폐기물을 타환경기초시설과 연계처리 및 병합처리, 폐기물처리 비용절감을 위한 민간처리시설 활용, 폐기물처리시설의 가동률 제고 등을 위한 최적화기술의 적용, 유해하지 않은 생활계 폐기물과 사업장계 폐기물의 교차처리 등이 있다[3]. 이처럼 폐기물 최적화 개념을 수립하기 위해서는 먼저 해당 폐기물처리시설이 설치된 공간에서 광역화, 집적화 등을 통하여 시설의 운영·실태를 파악하고 평가하여야 한다.

본 연구에서는 폐기물처리시설 중 음식물류폐기물 자원화 시설의 최적화 개념을 평가하기 위하여 음식물류폐기물의 발생 및 처리현황을 파악하고, 최적화 이행지표를 적용하여 타당성을 검증하고자 하였으며, 운영관리 정보시스템을 구축하기 위한 방안을 마련하기 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 설문조사 계획

음식물류폐기물 자원화시설을 지역 및 시설용량별로 구분한 후 선정된 자원화시설을 방문하여 설문 목적을 설명하고 지자체 담당자의 협조로 설문지를 작성하였다. 2012년 기준 음식물류폐기물 자원화시설의 전국 현황 및 설문지 대상 지자체 상황을 Table 1에 나타내었다[3]. 자원화시설은 전국 69개소의 퇴비화시설과 사료화시설 중 10개 시설을 선정하여 조사하였다. 퇴비화시설은 대·중·소 규모별로 각 2개소에서 답변을 얻었으나 사료화시설은 대규모에서는 협조를 얻지 못하였다. 설문 조사대상은 10개소로 다소 부족하다고 판단될 수 있으나 전국의 음식물류폐기물 자원화시설이 총 69개인 것을 감안한다면 약 15%를 조사한 것으로 현황 파악 및 문제점 도출에 의미 있는 결론을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

주요 설문항목은 기본현황, 기술성, 경제성, 환경성, 기타 사항으로 구성하였으며, 운영현황의 객관성을 높이기 위해 운영비 집행내용, 보수내용 및 기타사항을 추가로 조사하였다. 시설현황 및 운영기초현황에 대한 정보를 수집하기 위하여 운영담당자, 운영기관, 감독기관, 자원화방식 및 설비용량, 가동년도, 운영형태, 반입함수율, 시설명, 처리공정 등도 조사하였다.

### 2.2. 최적화 이행평가지표 설정

설문조사 결과를 바탕으로 음식물류폐기물 자원화시설 최적화 평가를 실시하기 위하여 이행평가지표를 설정하였다. 평가지표는 기술성, 경제성, 환경성 분야로 나누었으며, 각 평가항목과 내용 및 배점기준을 Table 2-4에 나타내었다[3].

기술성 평가지표는 음식물류폐기물 자원화시설의 실제 가동현황에 관련된 6가지 항목으로 구성하였다(Table 2). 가동률(%)은 음식물류폐기물 자원화시설의 계획가동일수 대비 실제가동일수 비율을 나타낸 것이며, 부하율(%)은 실제 처리되는 폐기물량을 설계시 계획폐기물 반입량으로 나눈 값으로 계획반입량 대비 실제처리비율을 나타낸다. 연간보수일수도 평가지표에 포함시켰으며, 폐기물처리량 대비 생산되는 퇴비 또는 사료와 같은 자원화물에 대한 지표(자원화물 생산율(%))도 포함시켰다. 이 밖에 폐기물처리시설용량에 소요되는

Table 1. Status of food waste recovery facility to complete a questionnaire in 2012

Item	Scale	Facility capacity (ton/d)	Nationwide	Response	Code of local government for questionnaire survey
Composting facility	Large	≥200	2	2	C1, C2
	Middle	100~<200	4	2	C3, C4
	Small	<100	45	2	C5, C6
	Sum	-	51	6	-
Feed facility	Large	≥200	3	-	-
	Middle	100 ~ <200	6	2	F1, F2
	Small	<100	9	2	F3, F4
	Sum	-	18	4	-

**Table 2.** Scoring distribution for technology evaluation of food waste recovery facility

Item (unit)	Content	A (1.0) <sup>1)</sup>	B (0.8)	C (0.6)	D (0.4)	E (0.2)
Operating rate (%)	• (real operation time / planned operation time) × 100	>100	>90~100	>80~90	>70~80	≤70
Loading rate (%)	• (real treated waste mass / planned input waste mass) × 100	>100	>90~100	>80~90	>70~80	≤70
Annual repairing day (d yr <sup>-1</sup> )	-	≤10	>10~20	>20~30	>30~40	>40
Production rate of recycled materials (%)	• (produced compost or feeds mass / treated waste mass) × 100	>40	>30~40	>20~30	>10~20	≤10
Operating personnel (person ton <sup>-1</sup> )	• number of operating personnel / Facility capacity(ton)	≤0.05	>0.05~0.10	>0.10~0.15	>0.15~0.20	>0.20
Recovery rate of solids (%)	• (solids mass in input food waste - rejected solids mass as debris - rejected solids mass with wastewater) / solids mass in input food waste) × 100	>70	>60~70	>50~60	>40~50	≤40

<sup>1)</sup> Alloted score

**Table 3.** Scoring distribution for economy evaluation of food waste recovery facility

Item	Content	A (1.0) <sup>1)</sup>	B (0.8)	C (0.6)	D (0.4)	E (0.2)
		(×10 <sup>3</sup> ₩ ton <sup>-1</sup> )				
Operating expenses	• recovery facility operating expenses / treated waste mass	>60~70	>70~80	>80~90	>90~100	>100
Labor cost	• labor expenses / treated waste mass	≤15	>15~20	>20~25	>25~30	>30
Repairing cost	• repairing expenses / treated waste mass	≤5	>5~10	>10~15	>15~20	>20
Energy sale profit	• produced energy sale profit / treated waste mass	>2.0	>1.5~2.0	>1.0~1.5	>0.5~1.0	≤0.5
Energy cost	• used energy sale profit / treated waste mass	≤5	>5~10	>10~15	>15~20	>20
Debris treatment cost	• debris treatment expenses / generated derbis mass	≤80	>80~100	>100~120	>120~140	>140
Sale profit of recycled materials	• recycled materials sales profit / produced mass of recycled materials	>20	>15~20	>10~15	>5~10	≤5
Reagent cost	• reagent cost / treated waste mass	×	≤3	>3~6	>6~9	>9
Water cost	• water cost / treated waste mass	×	≤0.5	>0.5~1.0	>1.0~1.5	>1.5

<sup>1)</sup> Alloted score

운영인원과 고품물 회수율도 지표로 선정하였다. 각 항목별 산정 값을 구하는 방법은 Table 2에 제시되어 있다.

경제성 평가지표는 Table 3와 같이 톤당 운영비, 인건비, 보수비용, 에너지 판매수익, 에너지 사용비용, 이물질 처리비용, 자원화 생산물 판매수익, 약품비, 용수사용비용의 9가지 항목으로 구성하였다. 톤당 운영비, 인건비, 보수비용, 에너지 사용비용의 경우 용량별, 지자체 운영방법별로 상이하므로 이번 평가를 통해 운영비 표준화 및 적정 운영비 산출이 가능할 것으로 판단된다. 또한 운영 중 발생하는 에너지 및 자원화 생산물 판매를 통해 발생하는 수익을 평가하여 처리시설의 효율성 및 자원화 생산물 활용방안 등 유용한 기초자료도 확보할 수 있다.

환경성 평가지표는 에너지 사용량, 톤당 폐수발생 및 용수 사용량, 수질오염물질 배출농도, 약품사용량으로 대별하여 준비하였다(Table 4). 에너지 사용량은 에너지 자립률, 톤당 연료량 및 전기사용량, 그리고 환경위반횟수 평가로 구성되었고, 물 관련 부분에서는 처리되는 폐기물 톤당 폐수발생량

과 상수, 지하수, 재이용수 사용량을 평가하고자 하였다. 수질오염물질 농도와 약품사용량의 각 해당 내용은 Table 4에 자세히 제시되어 있다. 환경성 평가에서는 처리과정에서 사용되는 에너지, 톤당 폐수발생 및 용수사용량, 약품비와 환경오염물질 발생을 평가할 수 있어 향후 음식물류폐기물 자원화시설 설치시 유용한 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 음식물류폐기물 발생, 처리 및 자원화시설 현황

음식물류폐기물은 가정이나 식당에서 배출되는 음식물 쓰레기, 식품의 제조와 유통과정 등에서 발생하는 식품 찌꺼기 등을 의미한다[4]. 음식물류폐기물은 미생물에 의하여 분해 가능한 유기물을 다량 포함하고 있어 유기성 폐기물로 분류된다[4]. 우리나라 음식물류폐기물은 수분함량이 70~80%로 높고 가연분 함량이 높아 부패성이 높으며, 염분 농도가 0.5~2.0%(습윤기준)로 슬러지나 축산분뇨와 같은 유기성 폐기

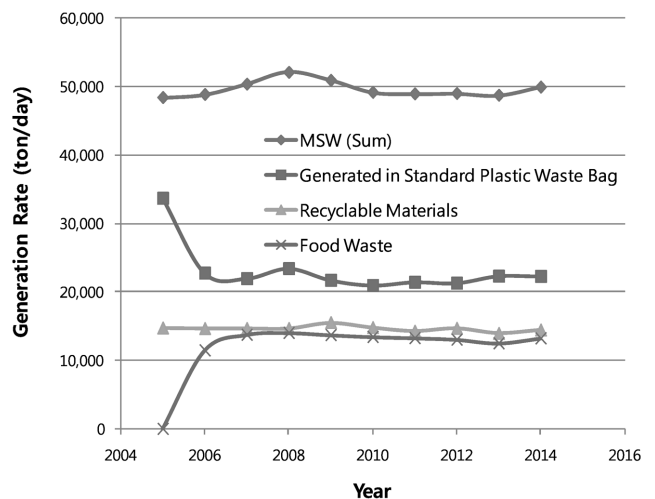
**Table 4.** Scoring distribution for environment evaluation of food waste recovery facility

Item	Content	A (1.0) <sup>1)</sup>	B (0.8)	C (0.6)	D (0.4)	E (0.2)	
Energy	Energy independence rate (%)	• total energy production (TOE) / total energy use (TOE)	>8	>6~8	>4~6	>2~4	≤2
	Fuel use (TOE ton <sup>-1</sup> )	• amount of used fuel (TOE) / amount of treated waste(ton)	≤0.01	>0.01~0.02	>0.02~0.03	>0.03~0.04	>0.04
	Electricity use (kW ton <sup>-1</sup> )	• amount of used electricity (kW) / amount of treated waste (ton)	≤20	>20~40	>40~60	>60~80	>80
	Violation of environmental standards (No. yr <sup>-1</sup> )	• Annual violation frequency	×	1~5	6~10	11~15	>15
Water (m <sup>3</sup> ton <sup>-1</sup> )	Generated wastewater	• amount of generated wastewater (m <sup>3</sup> ) / amount of treated waste(ton)	≤0.5	>0.5~1.0	>1.0~1.5	>1.5~2.0	>2.0
	Use tap water	• amount of used tap water (m <sup>3</sup> ) / amount of treated waste (ton)	≤0.2	>0.2~0.4	>0.4~0.6	>0.6~0.8	>0.8
	Used ground water	• amount of used ground water (m <sup>3</sup> ) / amount of treated waste(ton)	>0.8	>0.6~0.8	>0.4~0.6	>0.2~0.4	≤0.2
	Used recycled water	• amount of used recycled water (m <sup>3</sup> ) / amount of treated waste (ton)	>0.8	>0.6~0.8	>0.4~0.6	>0.2~0.4	≤0.2
Water pollutant (mg L <sup>-1</sup> )	BOD	• Tested concentration	≤2,000	>2,000~4,000	>4,000~6,000	>6,000~8,000	>8,000
	COD		≤5,000	>5,000~10,000	>10,000~15,000	>15,000~20,000	>20,000
	SS		≤5,000	>5,000~10,000	>10,000~15,000	>15,000~20,000	>20,000
	T-N		≤500	>500~1,000	>1,000~1,500	>1,500~2,000	>2,000
	T-P		≤50	>50~100	>100~150	>150~200	>200
Reagent (L ton <sup>-1</sup> )	Polymer	• Amount of used reagent (L) / amount of treated waste(ton)	×	≤0.5	>0.5~1.0	>1.0~1.5	>1.5
	Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		×	≤1	>1~2	>2~3	>3
	FeCl <sub>2</sub>		×	≤2	>2~4	>4~6	>6
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		×	≤5	>5~10	>10~15	>15
	NaOH		×	≤10	>10~20	>20~30	>30

<sup>1)</sup> Alloted score

물에 비하여 수분, 가연분, 염분이 높은 특성을 가진다[5,6]. 환경부에서 매년 발간하는 ‘전국 폐기물 발생 및 처리현황’에 따르면 생활폐기물은 2005년 48,398 ton d<sup>-1</sup>에서 2008년 52,072 ton d<sup>-1</sup>까지 증가하였다가 2010년 이후 다소 감소하여 안정화 되면서 2014년에는 49,915 ton d<sup>-1</sup>이 발생하였다(Figure 1)[7]. 생활폐기물 중 음식물류폐기물은 2006년부터 별도로 분리하여 집계하고 있으며, 2006년 11,463 ton d<sup>-1</sup>에서 2008년까지 14,026 ton d<sup>-1</sup>로 증가하였으나 이후 감소하기 시작하여 2014년 13,222 ton d<sup>-1</sup>이 발생되었다(Figure 1)[7]. 2014년 현재 생활폐기물 중 음식물류폐기물은 약 27% 정도를 차지하고 있다.

음식물류폐기물의 처리방법에는 소화, 소각 및 탄화 등이 있으며 음식물류 폐기물 발생량의 대부분은 사료화와 퇴비화에 의존하고 있다[8]. 음식물류폐기물의 소각처리 시에는 수분함량이 높고 발열량이 낮아 소각온도 저하에 따른 보조연료 추가가 필요하고, 매립처리 시에는 다량의 침출수가 발생



**Figure 1.** Generation rate of municipal solid waste in Korea (Year of 2005~2014).

**Table 5.** Status of food waste recovery facility in 2012 / 2014

Local gov-ernment	Total (number)	Number of compost-ing facility	Number of feed facility	Num-ber of others	Facility capacity (ton d <sup>-1</sup> )
Nationwide	98 / 105	51 / 52	18 / 24	29 / 29	6,694 / 8,449
Seoul	4 / 5	- / 1	3 / 3	1 / 1	1,050 / 1,358
Busan	3 / 3	- / 1	- / -	3 / 2	420 / 420
Daegu	1 / 2	- / 1	- / -	1 / 1	200 / 500
Incheon	4 / 4	2 / -	2 / 4	- / -	598 / 650
Gwangju	1 / 3	- / -	1 / 2	- / 1	150 / 490
Daejeon	1 / 3	1 / 3	- / -	- / -	100 / 165
Woolsan	3 / 3	1 / -	- / -	2 / 3	300 / 320
Gyeonggi	22 / 25	11 / 13	5 / 7	6 / 5	1,655 / 2,176
Gangwon	11 / 9	9 / 5	1 / 1	1 / 3	230 / 165
Chungbuk	4 / 4	2 / 1	1 / 2	1 / 1	227 / 195
Chungnam	9 / 8	7 / 6	1 / 1	1 / 1	216 / 236
Jeonbuk	5 / 5	3 / 5	- / -	2 / -	367 / 367
Jeonnam	7 / 8	5 / 5	- / -	2 / 3	233 / 250
Gyeongbuk	10 / 9	4 / 3	2 / 2	4 / 4	316 / 286
Gyeongnam	10 / 11	3 / 5	2 / 2	5 / 4	468 / 715
Jeju	3 / 3	3 / 3	- / -	- / -	156 / 156

하여 지하수를 오염시키는 등 2차 환경오염을 발생시키며 부패로 인한 악취·유해가스 발생으로 매립지 관리를 어렵게 하는 등 매립지의 안정화를 지연시킨다[4]. 음식물류폐기물과 같은 유기성 폐기물을 이용한 퇴비 또는 사료의 생산은 그만큼 비료나 사료의 생산을 줄일 수 있으므로 화석연료의 사용과 같은 온실가스 배출을 간접적으로 줄일 수 있는 환경친화적 방법이다[9]. 환경부에서는 2005년부터 음식물류폐기물의 직매립을 금지하고 별도 분리수거하여 사료화, 퇴비화 등의 방법으로 재활용하도록 하고 있다[10,11]. 음식물류폐기

물의 자원화 방안 중 사료화는 음식물류폐기물의 성상이 균일할 수 있도록 분리수거가 가능하고 대량으로 배출되는 곳에서 가능한 반면 주택과 같이 성상이 이질적인 곳에서는 퇴비화가 적합하다[10]. 2014년 기준 음식물류폐기물 발생량의 97.2%가 재활용의 방법으로 처리되었으며, 매립과 소각으로 처리되는 양은 각각 0.9%와 1.9%로 미미하였다[7].

설문조사가 이루어졌던 2012년과 2014년 기준 현재 운영되고 있는 음식물류폐기물 자원화시설을 Table 5에 나타내었다[3]. 2014년 운영되는 시설은 총 105개소이며, 퇴비화와 사료화 시설이 각각 52개소(49.5%)와 24개소(22.9%)로 가장 많았고, 하수병합 및 기타 시설이 29개소로 나타났다. 자원화 방식별 지자체 분포를 살펴보면 퇴비화 및 사료화 시설은 경기도에서 각각 13개소와 7개소로 가장 많이 집중되어 있다. 음식물류폐기물 자원화시설의 전체 시설용량은 8,449 ton d<sup>-1</sup>로 집계되었다. 일처리 용량을 살펴보면 경기 2,176 ton d<sup>-1</sup>, 서울 1,358 ton d<sup>-1</sup>, 인천 650 ton d<sup>-1</sup>로 수도권 지역의 시설용량은 전체 시설용량의 약 50%를 차지하는 것으로 조사되었다[12]. 민간처리시설에서는 습식사료화 시설이, 공공처리시설에서는 호기성 퇴비화 시설이 주를 이루고 있다[8].

**3.2. 기술성 평가**

본 논문에서는 조사 자료에 따라 부과된 점수는 제시된 Table 6~9를 참조하는 것으로 하고[3] 주로 실제 조사된 자료를 중심으로 고찰하기로 하였다. 부과된 점수는 종합평가시 활용될 것이다. 전체적으로 퇴비화 시설의 가동률은 전부 95% 이상을 나타내어 상대적으로 사료화 시설보다 다소 높은 것으로 나타났다(Table 6). 사료화 시설의 경우 F3, F4와 같은 소규모 시설에서는 86%로 다소 낮았지만 중규모(F1, F2)에서는 100% 이상의 높은 가동률을 나타내었다. 그러나 가동률과 상이하게 계획유입량 대비 실제 처리되는 부하율은 시설별, 규모별 일관성을 보기는 어려웠다. 대규모인 퇴비화 시설 중 한 곳(C2)과 사료화 시설 한 곳(F4)의 부하율은 50%대로 매

**Table 6.** Technology evaluation of food waste recovery facility

Local government code	Operating rate		Loading rate		Repairing day		Production rate of recycled materials		Operating personnel		Recovery rate of solids	
	Data (%)	Score	Data (%)	Score	Data (d yr <sup>-1</sup> )	Score	Data (%)	Score	Data (Person ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (%)	Score
C1	103.0	1.0	96.4	0.8	0	1.0	9.8	0.2	0.14	0.6	39.3	0.2
C2	109.6	1.0	57.5	0.2	23	0.6	5.3	0.2	0.08	0.8	13.4	0.2
C3	100.0	0.8	99.9	0.8	10	1.0	16.8	0.4	0.13	0.6	26.1	0.2
C4	96.5	0.8	101.4	1.0	35	0.4	0.1	0.2	0.12	0.6	0.4	0.2
C5	100.0	0.8	116.5	1.0	0	1.0	6.2	0.2	0.14	0.6	18.7	0.2
C6	104.0	1.0	94.7	0.8	0	1.0	4.8	0.2	0.16	0.4	14.6	0.2
F1	104.0	1.0	85.7	0.6	0	1.0	8.9	0.2	0.10	0.8	44.9	0.4
F2	102.0	1.0	74.5	0.4	-	0.2	12.0	0.4	0.04	1.0	72.3	1.0
F3	86.3	0.6	104.6	1.0	30	0.6	33.6	0.8	0.23	0.2	56.0	0.6
F4	86.3	0.6	50.6	0.2	5	1.0	8.5	0.2	0.17	0.4	48.2	0.4

**Table 7.** Economy evaluation of food waste recovery facility

Local government code	Operating expenses		Labor cost		Repairing cost		Energy sale profit		Energy cost	
	Data (₩ ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (₩ ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (₩ ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (₩ ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (₩ ton <sup>-1</sup> )	Score
C1	62,772	1.0	15,751	0.8	13,783	0.6	0	0.2	11,187	0.6
C2	96,771	0.4	27,038	0.4	18,768	0.4	0	0.2	13,226	0.6
C3	104,600	0.2	19,502	0.8	22,158	0.2	0	0.2	15,486	0.4
C4	81,666	0.6	-	0.2	-	0.2	0	0.2	-	0.2
C5	78,125	0.8	16,656	0.8	468	1.0	0	0.2	12,187	0.6
C6	82,258	0.6	19,817	0.8	26,776	0.2	0	0.2	9,921	0.8
F1	70,824	0.8	14,275	1.0	15,374	0.4	0	0.2	25,169	0.2
F2	85,391	0.6	26,929	0.4	12,963	0.6	0	0.2	3,731	1.0
F3	69,513	1.0	22,204	0.6	4,543	1.0	0	0.2	14,296	0.6
F4	66,729	1.0	32,432	0.2	16,891	0.4	0	0.2	14,225	0.6

Local government code	Debris treatment cost		Sale profit of recycled materials		Reagent cost		Water cost			
	Data (₩ ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (₩ ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (₩ ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (₩ ton <sup>-1</sup> )	Score		
C1	-	0.2	4,604	0.2	0	0.2	598	0.6		
C2	79,765	1.0	0	0.2	8,850	0.4	1,872	0.2		
C3	0	1.0	0	0.2	2,728	0.8	1,556	0.2		
C4	-	0.2	6,030	0.4	14,893	0.2	0	1.0		
C5	352,941	0.2	0	0.2	8,750	0.4	625	0.6		
C6	-	0.2	10,964	0.6	10,805	0.2	0	1.0		
F1	0	1.0	23,805	1.0	8,806	0.4	0	1.0		
F2	16,325	1.0	0	0.2	257	0.8	371	0.8		
F3	41,983	1.0	0	0.2	0	1.0	456	0.8		
F4	145,454	0.2	0	0.2	0	1.0	675	0.6		

**Table 8.** Environment evaluation of food waste recovery facility (a)

Local government code	Energy							
	Energy independence rate		Fuel use		Electricity use		Violation frequency of environmental standards	
	Data (%)	Score	Data (TOE ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (kW ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (No. yr <sup>-1</sup> )	Score
C1	0	0.2	0.0220	0.6	74.7	0.4	-	0.2
C2	0	0.2	0.0220	0.6	98.8	0.2	2	0.8
C3	0	0.2	0.0020	0.8	10.5	1.0	-	0.2
C4	0	0.2	0.0150	0.8	67.8	0.4	-	0.2
C5	0	0.2	0.0170	0.8	75.0	0.4	-	0.2
C6	0	0.2	0.0230	0.6	103.1	0.2	-	0.2
F1	0	0.2	0.0390	0.4	74.8	0.4	0	1.0
F2	0	0.2	0.0380	0.4	29.4	0.8	0	1.0
F3	0	0.2	0.0060	0.8	12.2	1.0	-	0.2
F4	0	0.2	0.0160	0.8	47.2	0.6	0	1.0

Local government code	Water							
	Generated wastewater		Tap water use		Ground water use		Recycled water use	
	Data (m <sup>3</sup> ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (m <sup>3</sup> ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (m <sup>3</sup> ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (m <sup>3</sup> ton <sup>-1</sup> )	Score
C1	0.85	0.8	0.76	0.4	0.00	0.2	0.0	0.2
C2	1.03	0.6	0.46	0.6	0.00	0.2	0.0	0.2
C3	0.68	0.8	0.04	1.0	0.00	0.2	0.0	0.2
C4	1.36	0.6	0.00	1.0	0.97	1.0	0.0	0.2
C5	1.56	0.4	0.20	1.0	0.56	0.6	0.0	0.2
C6	1.58	0.4	0.00	1.0	0.91	1.0	0.0	0.2
F1	1.41	0.6	0.40	0.8	1.02	1.0	0.0	0.2
F2	0.83	0.8	0.28	0.8	0.34	0.4	0.0	0.2
F3	0.64	0.8	0.45	0.6	0.00	0.2	0.0	0.2
F4	1.06	0.6	0.25	0.8	0.00	0.2	0.0	0.2

**Table 9.** Environment evaluation of food waste recovery facility (b)

Local government code	Water pollutant concentration									
	BOD		COD		SS		T-N		T-P	
	Data (mg L <sup>-1</sup> )	Score	Data (mg L <sup>-1</sup> )	Score	Data (mg L <sup>-1</sup> )	Score	Data (mg L <sup>-1</sup> )	Score	Data (mg L <sup>-1</sup> )	Score
C1	-	0.2	25,467	0.2	11,926	0.6	2,285	0.2	365.0	0.2
C2	4	1.0	97	1.0	22	1.0	-	0.2	-	0.2
C3	-	0.2	-	0.2	90,000	0.2	-	0.2	-	0.2
C4	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2
C5	-	0.2	300	1.0	-	0.2	780	0.8	45.0	1.0
C6	6,300	0.4	3,100	1.0	395	1.0	-	0.2	-	0.2
F1	8,000	0.4	2,300	1.0	518	1.0	258	1.0	70.0	0.8
F2	91,000	0.2	83,000	0.2	91,000	0.2	-	0.2	-	0.2
F3	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2
F4	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2

Local government code	Reagent use									
	Polymer		Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		FeCl <sub>2</sub>		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		NaOH	
	Data (L ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (L ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (L ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (L ton <sup>-1</sup> )	Score	Data (L ton <sup>-1</sup> )	Score
C1	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
C2	0.49	0.8	3.39	0.2	0.00	1.0	0.00	1.0	14.66	0.6
C3	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
C4	1.71	0.2	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0	38.48	0.2
C5	0.46	0.8	0.00	1.0	9.37	0.2	0.00	1.0	12.50	0.6
C6	0.95	0.6	0.00	1.0	1.50	0.8	0.00	1.0	21.11	0.4
F1	1.01	0.4	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0	10.01	0.6
F2	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
F3	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0
F4	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0	0.00	1.0

우 낮게 나타났다. 연간보수일수는 C4(퇴비화 시설)와 F3(사료화 시설)에서 각각 35일과 30일로 가장 높았다. 연간보수일수는 지자체 시설별로 큰 차이를 보였는데 이는 시설의 노후화 정도에 따른 차이 때문일 수 있을 것으로 생각된다. 음식물류폐기물 처리를 위한 톤당 운영인원은 약 0.13명으로 시설규모나 시설 종류에 따른 차이는 거의 없었다. 고품질 회수율은 퇴비화시설의 평균 고품질 회수율이 20%미만으로 사료화시설의 약 55%보다 상대적으로 낮은 값을 보였고, 특히 C4는 0.4%로 고품질 회수가 거의 되지 않는 것으로 나타났다.

### 3.3. 경제성 평가

경제성 평가 항목 중 음식물류폐기물 톤당 운영비를 살펴보면 평균 약 8만원 정도가 소요되는 것으로 조사되었다(Table 7). 그러나 시설별로 살펴보면 퇴비화시설은 약 84천원으로 사료화시설의 73천원보다 높게 나타나 운영비 면에서는 사료화시설이 퇴비화시설보다 유리하였다. 전체 자원화시설의 톤당 평균 인건비는 약 22천원이었으며, 사료화시설이 약 24천원으로 퇴비화시설의 약 20천원보다 다소 높았으나 큰 차이는 없었다. 톤당 보수비는 자원화시설 전체가 약 15천원 정도

로 나타났으나, 시설별로는 퇴비화시설(약 16천원)이 사료화시설(약 12천원)보다 높았다. 운영비, 인건비, 보수비를 살펴보면 전반적으로 사료화시설보다 퇴비화시설에서 더 많은 비용이 소요되는 것으로 평가되었다.

생산 에너지를 판매한 이익 부분 평가에서 두 자원화시설 모두 아직까지는 에너지 판매수익이 전혀 없는 것으로 평가되었다. 습식사료화시설과 호기성 퇴비화 시설에 집중된 재활용 방식은 음식물류 폐기물의 자원화 비율을 낮추며 제품의 부가 가치를 떨어뜨리는 문제를 일으킨다[8]. 에너지 사용에서는 톤당 비용이 전체적으로 약 13천원이었으나, 사료화 시설이 약 14천원으로 퇴비화시설의 약 12천원 보다 많은 에너지가 소요되는 것을 알 수 있었다(Table 7).

이물질 톤당 처리비용을 평가한 결과 퇴비화시설이 약 144천원으로 사료화시설의 약 51천원 보다 월등히 높은 것으로 나타났다. 두 시설의 평균 처리비용은 약 91천원이었다. 자원화물(퇴비 또는 사료)을 판매하여 얻은 수익 면에서는 전체 평균 약 4.5천원이었고, 사료화시설이 약 6천원으로 퇴비화시설의 3.6천원보다 높았다. 음식물류폐기물 톤당 약품비는 퇴비화시설이 약 7.7천원으로 사료화시설의 약 2.3천원보다

높아 약 3배의 약품비를 지출하는 것으로 나타났다. 용수사용비에서도 퇴비화시설이 약 0.8천원으로 사료화시설(약 0.4천원)보다 더 많은 용수를 사용하고 있는 것으로 평가되었다 (Table 7).

3.4. 환경성 평가

환경성 평가를 위하여 에너지 사용량, 톤당 폐수발생 및 용수사용량, 수질오염물질 배출농도, 약품사용량으로 대별하여 실시하였다. 에너지사용량에서는 4가지 항목을 평가하였다 (Table 8). 먼저 두 시설 모두 경제성 평가에서 에너지 판매수익이 없는 것처럼 에너지 자립률은 전혀 없는 것으로 평가되었다. 음식물류폐기물 톤당 연료사용량은 사료화시설(0.025 TOE ton<sup>-1</sup>)이 퇴비화시설(0.017 TOE ton<sup>-1</sup>) 보다 다소 높았으나 크게 차이 나지는 않았다. 톤당 전기사용량에서는 퇴비화시설이 71.7 kW ton<sup>-1</sup>으로 사료화시설의 40.9 kW ton<sup>-1</sup> 보다 높았다. 환경위반 횟수 조사에서는 많은 지자체에서 답변을 꺼려 응답을 하지 않았으나 C2에서만 2회 yr<sup>-1</sup>으로 답변하였고, F1, F2, F4에서는 위반한 횟수가 없다고 답하였다.

시설 운영 과정에서 발생하는 폐수발생량을 평가한 결과 퇴비화시설과 사료화시설에서 각각 1.18 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>과 0.99 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>을 발생시키는 것으로 나타났다(Table 8). 퇴비화시설과 사료화시설은 상수사용량에서도 각각 0.24 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>과 0.35 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>, 지하수사용량에서는 0.41 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>과 0.34 m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>으로 나타났다. 그러나 아직까지 두 시설 어느 곳도 재이용수를 사용하는 곳은 없었다.

시설 운영 과정에서 배출되는 5가지 주요 오염물질에 대하여 평가한 결과 BOD, COD, SS는 사료화시설이 퇴비화시설 보다 월등히 높은 것으로 나타났으며, T-N, T-P에서는 반대로 퇴비화시설이 사료화시설 보다 높은 것으로 평가되었다 (Table 9). 음식물류폐기물의 퇴비화 과정 중 T-N의 변화를 살펴본 연구에서는 숙성퇴비의 초기 3.70%이었던 것이 20주차에 4.32%까지 증가하였다가 점점 감소하여 28주차에는 3.75%가 되었다[13]. 약품사용량에서는 전반적으로 퇴비화시설이 사료화시설 보다 높은 것으로 조사되었다.

3.5. 종합 평가

앞에서 논의된 기술성, 경제성, 환경성에 대하여 점수로 부과된 자료(Table 6~9 참조)를 바탕으로 퇴비화시설과 사료화시설에 대하여 종합 평가를 실시하였다[3]. 점수는 기술성, 경제성, 환경성에 대하여 가중치를 각각 30%, 40%, 30%로 설정하여 다음과 같이 산정하였다. 예를 들어, 기술성의 경우 평가항목은 6가지이므로 1항목당 5점을 만점으로 배정하였으며, C1의 경우 기술성에서 6가지 항목의 총합이 1.0 + 0.8 + 1.0 + 0.2 + 0.6 + 0.2 = 3.8로 여기에 배점 5를 곱하면 19가 된다. 이와 같이 하여 Table 10에 종합 평가를 완료하였으며, 파악하기 쉽도록 Figure 2에도 나타내었다. 기술성과 환경성에서 사료화시설이 퇴비화시설 보다 높은 점수를 나타내고 있으나 큰 차이는 없었다. 그러나 경제성에서는 사료화시설이 퇴비화시설 보다 확연히 높은 점수를 보이고 있다. 이 세

Table 10. Overall evaluation of food waste recovery facility

Local government code	Technology (30) <sup>1)</sup>		Economy (40)		Environment (30)		Overall (100)	
	Score	Average	Score	Average	Score	Average	Score	Average
C1	19	17.7	20	18.3	16	16.7	55	52.7
C2	15		17		49			
C3	19		18		54			
C4	16		14		45			
C5	19		21		58			
C6	18		20		55			
F1	20	18.3	27	25.0	21	18.3	68	61.5
F2	20		25		63			
F3	19		28		64			
F4	14		20		51			
Average	17.9		21.0		17.3		56.2	

<sup>1)</sup> weighted score

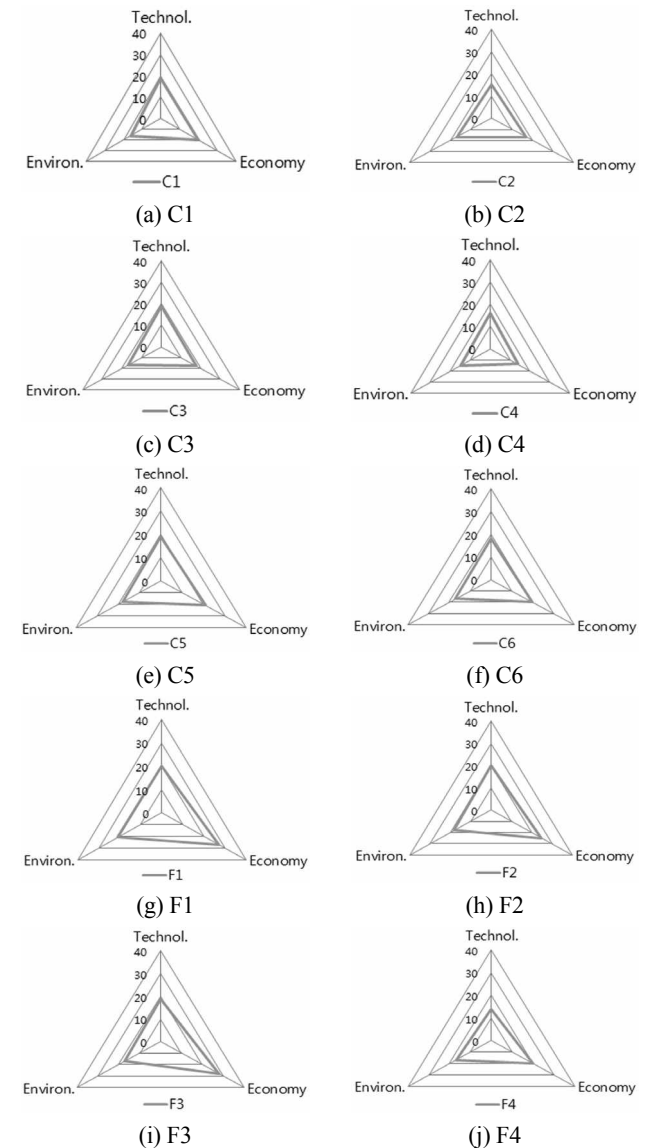


Figure 2. Overall evaluation of food waste recovery facility.



가지를 종합하였을 때에도 사료화시설의 종합 점수는 61.5점으로 퇴비화시설의 52.7점 보다 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 향후 지자체에서 음식물류폐기물 자원화시설을 선정할 때에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 음식물류폐기물 자원화시설의 최적화 이행지표를 적용하여 퇴비화시설과 사료화시설을 평가하고자 실시되었으며, 얻어진 결론은 다음과 같다.

2014년 기준 음식물류폐기물 발생량의 97.2%가 재활용의 방법으로 처리되었으며, 매립과 소각으로 처리되는 양은 각각 0.9%와 1.9%로 미미하였다. 2014년 운영되는 음식물류폐기물 자원화시설은 총 105개소이며, 퇴비화와 사료화 시설이 각각 52개소(49.5%)와 24개소(22.9%)로 가장 많았고, 하수병합 및 기타 시설이 29개소로 나타났다.

최적화 이행지표 평가 결과 기술성에서 사료화시설이 30점 만점 중 18.3점으로 퇴비화시설의 17.7점 보다 다소 높았으며, 환경성에서도 사료화시설이 30점 만점 중 18.3점으로 퇴비화시설의 16.7점 보다 다소 높았다. 그러나 경제성 평가에서는 사료화시설이 40점 만점 중 25.0점을 차지하여 퇴비화시설(18.3점) 보다 크게 높은 것으로 나타났다. 기술성, 경제성, 환경성을 종합 평가한 결과에서도 100점 만점 중 사료화시설은 61.5점으로 퇴비화시설의 52.7점을 크게 앞서는 것으로 나타났다. 이는 향후 각 지자체에서 음식물류폐기물 자원화시설 선정시 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### References

1. Samcheok City, "Report on Feasibility Estimation for Land-fill Site Optimization and Integrated Management," Report, December (2012).
2. Ministry of Environment, "Optimization Strategy of Solid Waste Treatment Facility for Reasonable Solid Waste Treatment and Efficient Financial Investment," Report, February (2011).
3. Korea Environment Corporation, "Operation and Management Status of Solid Waste Treatment Facility in Local Government," Report, December (2012).
4. Kang, B. M., Hwang, H. U., Kim, J. H., Yang, Y. W., and Kim, J. Y., "Study on Reutilization with Aerobic Microbes of Organic Food Waste Leachates," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **33**(1), 54-59 (2011).
5. Ahn, S.-S., "Study on the Support Policy for the Efficient Recycling System of Food Wastes," Ph. D. Dissertation, Kangwon National University, Chuncheon (2005).
6. Ryu, S.-H., "Policy Direction about Food Garbage Reutilization Technology Process," Master's Dissertation, Dongshin University, Naju (2007).
7. Ministry of Environment · Korea Environment Corporation, "Generation and Treatment Status of Municipal Solid Waste in Nationwide (2014)," Annual Report (2015).
8. Kim, N. C., Kim, Y. T., Lee, H. J., Kim, M. A., Moon, Y. C., and Paik, S., "A Study on the Characteristic Analysis of Composting of Food Waste Added with Wood Biomass Generated in City," *J. Korean Soc. Environ. Analysis*, **17**(4), 215-222 (2014).
9. Seo, J. Y., "Vermicomposting of Sludge from Milk Processing Industry (MPS)," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **34**(7), 488-494 (2012).
10. Oh, J., and Lee, H., "An Exploration on Food Waste Management of Local Governments," *J. Korean Soc. Environ. Eng.*, **38**(3), 101-109 (2016).
11. Choi, C. W., Jeong, Y. S., Lee, J. W., and Kim, W. J., "Analysis and Problem of Food Waste Recycling Policy," *National Policy Study*, **27**(2), 263-288 (2013).
12. <http://search.me.go.kr/>(Ministry of Environment homepage), Status of Installation and Operation for Food Waste Treatment Facility, Annual Report (2013, 2015).
13. Seo, J. Y., "Physico-Chemical Changes of Curing Compost from Food Wastes," *Korean J. Environ. Agric.*, **16**(2), 166-169 (1997).