

유기성폐자원에너지 인센티브제도 도입방안 연구(II): 바이오가스화 물질·에너지수지

문희성^a, 권준화^a, 이원석^b, 이동진^{c†}

A study on the introduction of organic waste-to-energy incentive system(II): material and energy balance of biogasification

Hee-Sung Moon^a, Jun-Hwa Kwon^a, Won-Seok Lee^b, Dong-Jin Lee^{c†}

(Received: Nov. 24, 2021 / Revised: Dec. 21, 2021 / Accepted: Dec. 21, 2021)

ABSTRACT: In this study, to use as basic data for the organic waste resource energy incentive system, the energy efficiency is evaluated through the mass balance and energy balance calculation results of the anaerobic digester where food waste, food waste leachate and various organic wastes are treated. As a result of the mass balance analysis for 11 biogasification facilities, it was confirmed that 21.1% of process water and 25.7% of tap water were input in large amounts, excluding organic waste. Accordingly, it accounted for 87.6% of the total effluent of linked treated water. In addition, considering that 15.7% of the total input volume is converted to biogas and the average total solids (TS) is 22%, an average material conversion rate of 75% was confirmed. As a result of the energy balance analysis, the energy conversion rate was confirmed to be 78.5% on average by analyzing the biogas calorific value compared to the potential energy of the influent. The average biogas production efficiency including external energy sources for biogas production was 69.4%, and the biogas plant efficiency to which unused effluent energy was applied was 58.9% on average.

Keywords: Anaerobic digestion, Biogas, Food waste, Material balance, Energy balance, Incentive system

초 록: 본 연구에서는 유기성폐자원에너지 인센티브제도의 기초자료로 활용하고자 음식물폐기물, 음폐수 및 다양한 유기성폐기물이 처리되는 혐기소화조의 운영방식의 물질수지와 에너지수지 산정 결과를 통하여 에너지효율을 평가하고자 한다. 바이오가스화 시설 11개소의 물질수지 분석 결과 유기성폐기물을 제외한 반입물 중 공정수 21.1%, 시상수 25.7% 다량 투입되는 것을 확인하였다. 그에 따라 연계처리수의 전체 유출물의 87.6%를 차지하였다. 또한 총 유입물량의 15.7%가 바이오가스로 전환되며, 총고형물(TS)가 평균 22%임을 감안할 때 평균 75%의 물질 전환율을 확인하였다. 에너지수지 분석 결과, 유입물의 잠재에너지 대비 바이오가스 열량을 분석하여 에너지 전환율은 평균 78.5%를 확인하였다. 바이오가스를 생산하기 위한 외부에너지를 포함한 바이오가스 생산효율은 평균 69.4%이며, 미이용된 유출에너지를 적용한 바이오가스 플랜트 효율은 평균 58.9%로 나타났다.

주제어: 혐기성소화, 바이오가스, 음식물류폐기물, 물질수지, 에너지수지, 인센티브제도

^a 국립환경과학원 폐자원에너지연구과 전문위원(Researcher, Waste-to-Energy Research Division, National Institute of Environmental Research)

^b 국립환경과학원 폐자원에너지연구과 과장(Director, Waste-to-Energy Research Division, National Institute of Environmental Research)

^c 국립환경과학원 폐자원에너지연구과 연구관(Senior Researcher, Waste-to-Energy Research Division, National Institute of Environmental Research)

† Corresponding author(e-mail: dongj7@korea.kr)

1. 서론

한국은 음식문화가 다양한 반찬 문화이고, 국물요리가 많아 잔반이 많이 발생한다. 이에 따라 대표 유기성폐기물인 음식물류폐기물이 전체 폐기물 발생량의 24.7% 정도로¹⁾ 가정, 식당, 집단급식소, 등에서 다량 발생된다.

국내의 음식물류폐기물 자원화 정책은 크게 사료화, 퇴비화, 에너지화로 구분되어진다. 사료화는 적은 에너지를 추가하여 음식물류폐기물의 상태 그대로의 재사용하여 혐기성소화 또는 퇴비화 공정보다 환경에 미치는 영양이 낮은 것으로 알려져 있다.²⁾

하지만 최근 한국의 가축사육 농가에서 음식물류폐기물 사료가 선호되지 않고, 아프리카돼지열병(ASF, African Swine Fever)과 같은 전염병의 원인으로³⁾ 수요가 적어져 사료화 재활용이 감소추세이다.⁴⁾ 또한 가축분뇨퇴비 및 유박 중심으로 한 유기질비료의 정부지원책과,⁵⁾ 음식물폐기물류 퇴비의 부정적인 인식으로 인해 퇴비화 재활용이 감소되는 추세이다.⁶⁾

이에, 음식물류폐기물의 처리 및 자원화를 위해 바이오가스화가 더욱 급격히 주목받고 있다. 국내의 바이오가스화는 기술지침서⁷⁾와 운영시설의 노하우 축적 등으로 시설 설계, 운영 등의 문제점에 대해 보완과정을 거쳐왔다. 또한 환경부는 바이오가스 생산 및 이용으로 탄소중립 및 메탄감축을 선도하기 위해 2021년 통합바이오가스화 시설 8곳을 설치 지원하는 등⁸⁾ 유기성폐기물 처리 및 바이오가스 생산에 지원을 강화하고 있다.

안정적으로 생산된 바이오가스를 활용하는 방법은 스팀(열에너지), 발전, 중질가스 고질화로 구분되며, 각 공정에 따른 장단점이 존재하여 이를 보완하고, 폐자원 에너지의 활성화를 위한 인센티브제도가 요구되고 있다.

본 연구에서는 폐자원에너지의 인센티브제도(안)을 마련하기 위하여 국내에 운영 중인 바이오가스화 시설을 대상으로 연구를 수행하였으며, 바이오가스의 이용에 따라 발전 4개소, 스팀 2개소, 중질가스 5개소를 대상시설로 선정하였다. 물질수지와 에너지수지 산정 결과를 통하여 에너지효율을 평가하여 인센티브제도의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 물질수지분석

바이오가스화 시설의 물질수지를 산정하기 위하여 현장조사로 수집한 시설 운영 자료와 앞서 수행된 기초분석 자료가 활용되었다. Fig. 1과 같이 유기성폐기물 투입량, 공정수 및 시상수 사용량 등이 유입으로 산입하였고, 혐잡물, 탈수케이크, 연계처리수, 바이오가스 생산량 등을 유출로 산출하여 시설의 물질수지를 산정하였다.

2.1.1. 바이오가스 생산량 산정

현장조사를 통해 수집된 바이오가스 발생량(0℃, 1기압)과 폐기물 유입량을 이용하여 “폐기물 톤당 바이오가스 발생량($m^3/ton\ waste$)”을 산정하였다. 이에 현장조사 시 분석한 바이오가스의 메탄과 이산화탄소의 함량을 적용하여 바이오가스화 시설의 “무게단위의 바이오가스 생산량($ton\ biogas/day$)”을 산정하여 물질수지에 적용하였다. 바이오가스 생산량의 부피를 무게단위로 산정하는 방식은 Fig. 2와 같다.

2.1.2. 바이오가스 수분량 산정

Fig. 3의 온도에 따른 포화수증기량 그래프를 이용하여 바이오가스의 수분 함량을 산정하였다. 소화조 내의 평균 온도를 35℃로 가정하였을 때, 바이오가스 내 포화수증기량은 $39.583\ g/m^3$ 으로 확인되었으며 바이오가스 생산량 중 수분 함량으로 물질수지에 적용하였다.

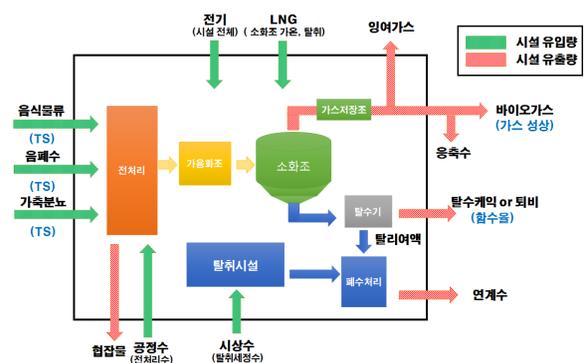


Fig. 1. Mass balance diagram of biogasification facilities.

- ▶ 폐기물 톤당 바이오가스 발생량($\text{Nm}^3/\text{ton}_{\text{waste}}$):
 $\text{바이오가스 발생량}(\text{Nm}^3/\text{day}) / \text{폐기물 유입량}(\text{ton}_{\text{waste}}/\text{day})$
- ▶ 바이오가스내 메탄 함량($\text{kg}_{\text{CH}_4}/\text{ton}_{\text{waste}}$):
 $\text{바이오가스 발생량}(\text{Nm}^3/\text{ton}_{\text{waste}}) \times \text{메탄 함량} \times 16 \text{ g/mol} \div 22.4 \text{ L/mol}$
- ▶ 바이오가스내 이산화탄소 함량($\text{kg}_{\text{CH}_4}/\text{ton}_{\text{waste}}$):
 $\text{바이오가스 발생량}(\text{Nm}^3/\text{ton}_{\text{waste}}) \times \text{이산화탄소 함량} \times 44 \text{ g/mol} \div 22.4 \text{ L/mol}$
- ▶ 1 ton 음식물류폐기물 처리 시 바이오가스 생산량($\text{kg}_{\text{biogas}}/\text{ton}_{\text{waste}}$):
 $\text{바이오가스내 메탄 함량} + \text{바이오가스내 이산화탄소 함량}$
- ▶ 일일 바이오가스 생산량($\text{ton}_{\text{biogas}}/\text{day}$):
 $1 \text{ ton 음식물류폐기물 처리시 바이오가스 생산량}(\text{kg}_{\text{biogas}}/\text{ton}_{\text{waste}}) \times \text{폐기물발생량}(\text{ton}_{\text{waste}}/\text{day}) \div 1000$

Fig. 2. Method for calculating biogas production.

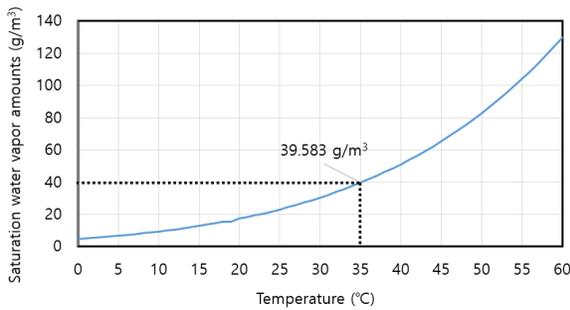
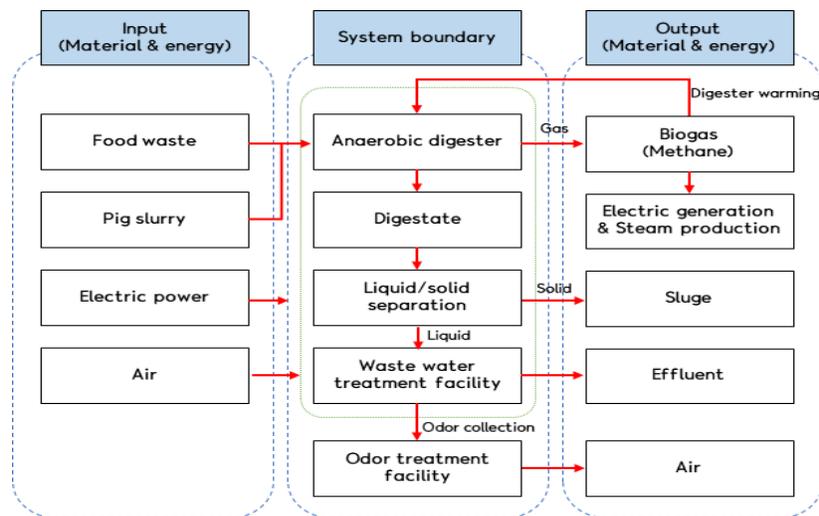


Fig. 3. Graph of saturation water vapor amounts.

2.2. 에너지수지 분석

바이오가스화 시설의 에너지수지는 Fig. 4을 바탕으로 현장조사를 통해 수집된 시설운영 자료를 활용하여 산정하였다.⁹⁾ 유입에너지(input)는 소화조 유입물(유기성폐자원)과 시설 운영을 위한 전기에너지, 보조연료로 산입하였다. 선행연구에서의 정밀모니터링을 통해 측정된 4개소의 유입물 에너지는 각각의 유입물의 발열량으로 산입하였으며, 그 외 대상시설은 평균 발열량을 산입하여 에너지수지 산정에 활용하였다. 유출에너지(output)는 바이오가스와 탈수케이크, 탈리여액, 연계처리수 등을 산입하였다. 각 시설의 바이오가스 메탄 함량에 따른 발열량을 계산하여 유출에너지로 산출하였다. Table 1는 유입, 유출의 각 항목에 따른 고위발열량을 나타낸 것이다.

고상 및 액상의 유입·유출물의 발열량 분석 방법으로는 건조시료를 Bomb열량계(LECO AC500)를 이용하여 유럽연합 Characterization of sludges Determination of calorific value(DIN EN 15170)와 원소분석을 통한 듀롱식 측정하였다. 바이오가스의 열량은 16~28 MJ/m^{3,10)}이며, 본 연구에서는 메탄함량을 측정하여 열량 평균 5,897 kcal/kg으로 환산하였다.



Source: 이동진 (2018)

Fig. 4. Energy balance analysis model.

Table 1. Outline of Energy Balance Analysis Calculation

(Unit: kcal/kg)

Criteria		High heating value	
Inflow (A)	Digester Inflow	4,795	
	Average	DM Inflow	4,654
		GY Inflow	4,647
		CJ Inflow	4,967
		DJ Inflow	4,910
Outflow (B)	Biogas average	5,897	
	Digestive tank cake average	3,205	
	Supernatant liquid average	2,076	
	Waste water average	507	

3. 결과 및 고찰

3.1. 현장조사 결과

운영 중인 바이오가스화 시설 11개소를 대상으로 현장조사를 실시하였다. 검증시설 JJ, GJ, IC, BN의 현장조사는 연구결과에 의해 산정된 에너지효율 및 인센티브(안)를 검증하기 위해 수행되었다. 현장조사를 통해 수집된 시설 운영 자료는 2018년을 기준으로 조사되었으며, 시설의 운영 상황에 따라 일부 조정되었다. 대상시설의 현장조사 결과 일부를 Table 2에 나타내었다.

3.2. 물질수지 분석 결과

3.2.1. 물질수지 분석 유입물 결과

각 시설에 투입되는 유기성폐기물의 종류와 반입량을 검토하였으며, 각 시설의 설비 특성에 따라 공정수, 시상수의 유입을 확인하였다. 일반적으로 음식물류폐기물의 전처리(파봉·파쇄)를 위하여 공정수가 투입되며, DJ 시설의 경우 공정수 대신 음폐수로 그 역할을 대체하였다. 공정수는 소화조로 유입되어 처리되었으며, 시상수는 연계처리수로 처리되었다. 하수슬러지가 투입되는 YY 시설은 음식물류폐기물

Table 2. Results of Biogasification Facilities in the Field Investigation

Facility	Treatment materials*	Type of digester	Amount of Inflow waste (ton/day)	Amount of biogas production (m ³ /day)	Utilization**
DM	FW	Dry	92.8	11,964.0	Electricity
NS	FW+FWL+LM	Dry + Wet	181.5	8,693.9	Electricity
CJ	FWL	Wet	144.3	12,519.8	Electricity
JJ	FW+FWL	Wet	289.7	34,706.5	Electricity
OS	FW+LM	Wet	120.3	9,346.3	Steam
GJ	FW+FWL	Wet	241.3	11,040.8	Steam
GY	FW+FWL+LM	Wet	183.8	16,813.1	Biogas
DJ	FW+FWL	Wet	328.3	30,933.2	Biogas
YY	FW+SS	Wet	1,196.9	28,007.1	Biogas
IC	FWL	Wet	436.3	37,647.9	Biogas
BN	FW	Wet	18.2	2,564.4	Biogas

* FW: Food Waste, FWL: Food Waste Leachate, * LM : Livestock Manure , * SS : Sewage Sludge,

** Biogas: External supply

※ Operation period(All facility): 2018. 01. 01. ~ 12. 31.(365 days), exception(DM: 92 days, JJ: 140 days)

의 전처리를 위해 공정수가 투입되었으며, 수분함량이 높은 하수슬러지의 탈수 과정이 소화전 유입 전 처리로 수행되었음을 확인하였다. Table 3은 바이오가스화 시설의 물질수지를 위한 유입데이터 결과를 나타내었다.

3.2.2. 물질수지 분석 유출물 결과

바이오가스화 시설의 유출물은 바이오가스, 바이오가스 내 수분, 헹잡물, 소화슬러지 탈수케이크, 탈리여액, 연계처리수로 분류하였으며, 시설의 특성에 따라

액비, 퇴비 등이 배출되는 시설도 확인 할 수 있었다. 일부 음폐수가 단독으로 투입되는 시설은 헹잡물이 거의 발생되지 않았고, 연계처리수 대신 액비를 생산하는 시설도 확인하였다. 음식물류폐기물을 처리하는 시설 중 JJ와 GJ 시설은 음식물류폐기물을 소화조 유입 전단에서 탈수하여 탈수 음식물을 제외한 음폐수만 소화조에 유입하는 것을 확인하였다. Table 4는 바이오가스화 시설의 물질수지를 위한 유출데이터 결과를 나타내었다.

Table 3. Input Data for Estimating Mass Balance of Biogasification Facilities

Facility	Inflow (ton/day)						Total Inflow (ton/day)
	FW	FWL	LM	SS	process water	tap water	
DM	92.8	-	-	-	-	88.2	181.0
NS	16.6	31.1	133.7	-	0.1	-	181.6
CJ	-	144.2	-	-	23.6	22.9	190.8
JJ	215.8	73.9	-	-	180.8	93.1	563.5
OS	82.0	-	38.3	-	91.6	-	211.8
GJ	241.3	-	-	-	20.9	34.2	296.5
GY	127.0	52.6	4.2	-	147.0	134.5	465.3
DJ	161.9	166.4	-	-	-	152.4	480.7
YY	183.4	-	-	1,013.5	125.9	-	1,322.8
IC	-	436.3	-	-	-	155.8	592.0
BN	18.2	-	-	-	14.6	30.2	62.9

* FW: Food Waste, FWL: Food Waste Leachate, * LM : Livestock Manure , * SS : Sewage Sludge,

Table 4. Output Data for Estimating Mass Balance of Biogasification Facilities

Facility	Outflow (ton/day)							Total outflow (ton/day)
	Biogas	Moisture in biogas	Contaminants (foreign matter)	Digestive tank cake	waste water	Dehydrated food waste	Liquid fertilizer	
DM	14.2	0.5	9.3	6.7	150.4	-	-	181.0
NS	9.9	0.3	0.6	4.7	-	-	166.0	181.6
CJ	14.5	0.5	-	8.3	167.6	-	-	190.8
JJ	40.6	1.4	15.6	8.8	398.8	98.3	-	563.5
OS	10.7	0.4	14.2	1.2	185.4	-	-	211.8
GJ	12.6	0.4	10.6	2.7	188.6	81.5	-	296.5
GY	20.5	0.7	9.9	24.4	409.8	-	-	465.3
DJ	37.6	1.2	13.3	28.6	400.0	-	-	480.7
YY	33.1	1.1	16.0	68.0	1,204.6	-	-	1,322.8
IC	43.6	1.5	-	30.4	516.5	-	-	592.0
BN	1.6	0.2	1.2	0.3	59.6	-	-	62.9

3.2.3. 물질수지 분석 종합 결과

각 시설의 유입물과 유출물의 정상 비율을 검토하기 위하여 총 유입과 총 유출을 100 %로 산정하여 물질수지를 산정하였다. Table 5는 유입물과 유출물의 정상 비율을 나타낸 것으로 유입물인 공정수 투입량이 평균 21.1 %, 시상수 투입량이 25.7 %에 달하는 것을 확인하였다. 유출물의 정상 비율을 나타낸 것이다. 연계처리수를 포함한 유출물에서 약 5.9 %가 바이오가스로 산정되었으며, 연계처리수의 비율이 87.6 %로 과량을 차지하고 있음을 확인할 수 있다.

유입폐기물에 따른 바이오가스 발생량을 검토하기 위해, 음식물류폐기물을 전처리 및 탈수하여 퇴비·사료화 시설로 배출된 탈수음식물은 물질수지의 유입량에서 제외하였으며, 탈수과정에서 발생한 음폐수만 폐기물의 유입량으로 적용하였다. 유입되는 유기성폐기물은 음식물류폐기물을 기준으로 환산하였다. 유기성폐기물 원 별 총 고형분(TS)을 고려하여 음식물류폐기물의 유입을 1로 가정하였을 때, 음폐수는 0.6, 축산분뇨는 0.125, 하수슬러지는 0.1로 가정하여 유입량을 산출하였다. Table 6와 같이 유출물의 합

Table 5. Material Ratio of Input and Output

Facility	Inflow (ton/day)						Total inflow (ton/day)	Outflow (ton/day)						Total outflow (ton/day)
	FW	FWL	LM	SS	process water	tap water		Biogas	Moisture in biogas	Contaminants	Digestive tank cake	waste water	Dehydrated food waste	
DM	51.3	-	-	-	-	48.7	100	7.8	0.3	5.1	3.7	83.1	-	100
NS	9.2	17.1	73.7	-	0	-	100	5.4	0.2	0.3	2.6	-	91.5	100
CJ	-	75.6	-	-	12.4	12	100	7.6	0.3	-	4.3	87.8	-	100
JJ	25.3	15.9	-	-	38.9	20	100	8.7	0.3	3.3	1.9	85.7	-	100
OS	38.7	-	18.1	-	43.2	0	100	5.1	0.2	6.7	0.6	87.5	-	100
GJ	74.3	-	-	-	9.7	15.9	100	5.9	0.2	4.9	1.3	87.7	-	100
GY	27.3	11.3	0.9	-	31.6	28.9	100	4.4	0.1	2.1	5.3	88.1	-	100
DJ	33.7	34.6	-	-	-	31.7	100	7.8	0.3	2.8	5.9	83.2	-	100
YY	13.9	-	-	76.6	9.5	-	100	2.5	0.1	1.2	5.1	91.1	-	100
IC	-	73.7	-	-	-	26.3	100	7.4	0.3	-	5.1	87.2	-	100
BN	28.9	-	-	-	23.2	48	100	2.5	0.2	2	0.5	94.8	-	100
AVG.	33.6	38.0	30.9	76.6	21.1	25.7	100.0	5.9	0.2	3.2	3.3	87.6	91.5	100.0

Table 6. Output Results of Biogas, Junk, Cake According to Tof Input Waste

Facility	Inflow(%)				Total Inflow (%)	Outflow(%)		
	FW	FWL	LM	SS		Biogas	Contaminants	Digestive tank cake
DM	100	-	-	-	100	15.2	10	7.2
NS	26.8	30.1	43.1	-	100	15.9	0.9	7.6
CJ	-	100	-	-	100	16.7	-	9.5
JJ	-	100	-	-	100	35.4	13.5	7.7
OS	94.5	-	5.5	-	100	12.3	16.4	1.4
GJ	-	100	-	-	100	13.2	11.1	2.8
GY	79.8	19.8	0.3	-	100	12.9	6.2	15.4
DJ	61.8	38.2	-	-	100	14.4	5.1	10.9
YY	64.4	-	-	35.6	100	11.6	5.6	23.9
IC	-	100	-	-	100	16.6	-	11.6
BN	100	-	-	-	100	8.7	6.8	1.6
AVG.	-	-	-	-	100	15.7	8.4	9.1

계를 100 %로 나타냈을 때, 이런 경우에 음식물류폐기물의 혐기 소화를 통해 발생하는 바이오가스는 평균 15.7 %로 나타났다.

3.3. 에너지수지 분석결과

3.3.1. 에너지수지 분석 유입물 결과

대상시설의 유입에너지 현황은 Table 7과 같으며, 각 유입 항목을 에너지량으로 전환하기 위하여 열량(kcal)으로 환산하였다. 유입되는 유기성폐기물의 에

너지량은 현장조사를 통해 채취한 소화조유입 시료를 적용하였다. DM 시설은 소화조 내 총고형물(TS) 조절을 위해 소화슬러지와 탈수케이크를 소화조로 재순환하는 특성을 확인하여 별도 적용하였다.

3.3.2. 에너지수지 유출물 분석 결과

대상시설의 유출에너지 현황은 Table 8과 같다. 각 유출 항목을 에너지량으로 전환하기 위하여 열량(kcal)으로 환산하였다. 현장조사를 통해 실시된 가스 성상

Table 7. Inflow Energy of Biogasification Facilities(2018)

Facility	Inflow energy(kcal)				Total
	Organic waste	Electricity	Circulation Sludge*	ETC (LPG, Oil)	
DM	72,601,595	11,910,512	11,834,347	-	96,346,454
NS	72,249,382	-	5,485,890	-	77,735,272
CJ	83,832,784	-	5,489,245	-	89,322,030
JJ	209,373,171	-	15,653,940	-	225,027,111
OS	103,841,013	-	9,196,206	-	113,037,219
GJ	88,787,087	-	8,527	63,770,513	152,566,128
GY	124,231,371	-	29,618,506	2,489,701	156,339,578
DJ	192,097,094	-	19,970,811	865,890	212,933,797
YY	237,610,750	-	6,495,261	-	244,106,012
IC	253,562,686	-	9,756,160	-	263,318,846
BN	18,123,512	-	2,346,715	-	20,470,228

* Circulation Sludge: Digestive Sludge or Digestive tank cake

Table 8. Outflow Energy of Biogasification Facilities(2018)

Facility	Outflow energy (kcal)				Total	Energy budget (kcal) Inflow-Outflow
	Biogas	Digestive tank cake	Compost/Liquid fertilizer	Waste water		
DM	71,117,672	4,204,831	-	2,126,831	77,449,335	18,897,119
NS	51,534,258	3,279,743	14,608,228	-	69,422,230	8,313,041
CJ	75,232,616	3,892,346	-	311,016	79,435,979	9,886,051
JJ	186,988,723	6,140,796	-	5,920,036	199,049,556	25,977,555
OS	54,224,330	31,401,799	-	2,752,193	88,378,322	24,658,897
GJ	64,783,471	1,884,107	-	2,799,696	69,467,275	83,098,852
GY	92,413,424	17,804,585	3,808,941	1,325,706	115,352,656	40,986,921
DJ	174,102,201	21,871,903	-	3,095,484	199,069,589	13,864,208
YY	164,730,272	47,451,607	-	17,881,835	230,063,715	14,042,297
IC	226,263,127	18,282,825	-	7,667,248	252,213,201	11,105,645
BN	14,528,629	209,345	-	884,739	15,622,714	4,847,513

분석 결과를 적용하여 각 시설별 바이오가스의 에너지량을 산출하였다. 또한 정밀모니터링을 통해 채취한 소화슬러지, 탈수케이크, 탈리여액의 발열량을 측정하여 에너지량을 산출하였으며, 연계처리수는 원소분석을 통한 듀롱식을 이용하여 에너지량을 산출하였다.

3.3.3.에너지수지 분석 종합 결과

대상시설의 유입에너지와 생산된 바이오가스의 이용량을 검토하기 위해 Table 9과 같이 나타내었다. 바이오가스 생산량에서 바이오가스 이용은 발전, 스팀, 중질가스로 이용되거나 시설 내부사용이며, 바이오가스 미이용은 잉여가스로 연소 처리되는 바이오가스이다.

Table 9. Energy Balance for Biogas Energy Use(2018)

Facility	Inflow energy(gcal)					Outflow energy (gcal)		
	Organic waste	Circulation Digestive tank cake	Electricity	ETC (LPG, Oil)	Total	Used Biogas	Unused biogas	Total
	[A]		[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]
DM	72.60	11.91	11.83	-	96.35	62.74	8.38	71.12
NS	72.25	-	5.49	-	77.74	41.09	10.45	51.53
CJ	83.83	-	5.49	-	89.32	69.24	5.99	75.23
JJ	209.37	-	15.65	-	225.03	137.40	49.59	186.99
OS	103.84	-	9.20	-	113.04	44.45	9.78	54.22
GJ	88.79	-	0.01	63.77	152.57	54.48	10.30	64.78
GY	124.23	-	29.62	2.49	156.34	85.01	7.40	92.41
DJ	192.10	-	19.97	0.87	212.93	140.97	33.13	174.10
YY	237.61	-	6.50	-	244.11	151.96	12.77	164.73
IC	253.56	-	9.76	-	263.32	220.93	5.33	226.26
BN	18.12	-	2.35	-	20.47	10.05	4.48	14.53

Table 10. Efficiency Calculation of Biogasification Facilities

Criteria		Conversion efficiency (%)		Production efficiency (%)		Plant efficiency (%)	
Facility	Usage	Total outflow/ Inflow organic waste[G]/[A]	AVG.	Total outflow/ Total inflow [G]/[D]	AVG.	(Total outflow- unused)/ Total inflow [E]/[D]	AVG.
DM	Electricity	84.2	83.6	73.8	76.9	65.1	64.2
NS		71.3		66.3		52.9	
CJ		89.7		84.2		77.5	
JJ		89.3		83.1		61.1	
OS	Steam	52.2	62.6	48.0	45.3	39.3	37.5
GJ		73.0		42.5		35.7	
GY	Biogas	74.4	80.7	59.1	73.1	54.4	63.2
DJ		90.6		81.8		66.2	
YY		69.3		67.5		62.3	
IC		89.2		85.9		83.9	
BN		80.2		71.0		49.1	
AVG.				78.5		-	

총 바이오가스 생산량에서 잉여가스 연소로 처리되는 바이오가스 미이용률은 평균 15.3 %로 확인되었다. 대상시설의 바이오가스 전환효율, 생산효율, 플랜트 효율을 Table 10을 이용하여 검토하였다. 바이오가스 전환효율은 유입폐기물 에너지가 바이오가스로 전환되는 효율이며, 대상 시설은 평균 78.5 %로 나타났다. 바이오가스 생산효율은 유입에너지에 내부시설 운영에 필요한 에너지에 추가하여 바이오가스를 생산하는 효율이며, 대상 시설 평균 69.4 %로 나타났다. 바이오가스 플랜트 효율은 유출에너지에서 미이용 가스를 제외한 바이오가스 이용효율로 바이오가스 이용 부문에 따라 발전 64.2 %, 스팀 37.5 %, 중질가스 63.2 %로 나타났다.

4. 유입에너지에 바이오가스 생산 시 사용되는 외부에너지원(전기, LPG 등)을 포함한 바이오가스 생산효율은 평균 69.4 %로 나타났다. 유출에너지에 미이용 에너지를 제외한 바이오가스 플랜트효율은 평균 58.9 %이다.

사 사

본 논문은 2019년도 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행된 연구임(NIER-2019-01-01-080)

4. 결 론

본 연구는 폐자원에너지 생산 및 이용의 효율을 높이기 위한 폐자원에너지 인센티브제도(안)을 마련하기 위하여 수행되었다. 폐자원에너지 인센티브(안)은 에너지 이용형태별로 에너지효율을 감안하여 산정되었으며, 에너지효율을 산정하기 위하여 물질수지, 에너지수지 분석을 실시하였다. 물질·에너지수지 분석 대상시설은 발전 4개소, 스팀 2개소, 중질가스 5개소로 총 11개소이며, 혐기소화를 통해 생산한 바이오가스를 에너지원으로 이용하는 시설을 선정하였다.

1. 바이오가스 시설(11개소)에 대한 물질수지 결과, 유입물에 공정수 및 시상수 등이 각각 21.1 %, 25.7 %로 다량 투입되는 것으로 파악되었으며, 그에 따라서 연계처리수가 전체 유출물의 87.6 %를 차지하였다.
2. 또한, 총 유입물량의 15.7 %가 바이오가스로 생산되고 있으며, 음식물류폐기물의 총 고형분(TS)이 전체의 18~25 %(평균 약 22 %) 임을 감안할 때 고형분의 62.8~87.2 %(평균 75.0 %)가 바이오가스로 전환되었다.
3. 에너지효율 분석 결과, 유입물의 에너지 대비 바이오가스로의 전환되는 에너지인 바이오가스 전환효율은 평균 78.5 %이다.

References

1. Ministry of Environment (MOE), “National waste generation and disposal status in 2019”. (2020).
2. Ramy, S., Erasmus, K. H. J. Zu E., Kim, M. H., Andrew, B. and Abir Al, T., “Environmental and health impacts of using food waste as animal feed: a comparative analysis of food waste management options”, *Journal of Cleaner Production*, 140, pp. 871~880. (2017).
3. Wardley, R. C., Andrade, C. M. and Black, D. N., “African swine fever virus Brief review”, *Archives of Virology*, 76, pp. 73~90. (1983).
4. Minster of Environment (MOE), “Enforcement Rule of the Wates Control Act”, Article 14-3. (2019).
5. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), “Fertilizer Control Act”, Article 7. (2020).
6. Oh, Y. J., “We do not accept poor fertilizer made from food waste” in Goesan, Chungbuk, Hankyoreh, [web site] <http://www.hani.co.kr/arti/area/chungcheong/974531.html> [accessed date; 2021.12.13.]. (2020).
7. National Institute of Environmental Research(NIER), “Technical guidelines for integrated biogasification facilities -food wastes, sewage sludge, livestock manure”. (2017).
8. Minster of Environment (MOE), Korea, “Minister of

- Environment, on-site inspection of biogas facility”. (2021).
9. National Institute of Environmental Research (NIER), “Optimal operation of biogas production and utilization of organic waste(II) -part of transportation Gas and city gas”. (2018).
10. International Energy Agency(IEA), “Outlook for biogas and biomethane-Prospects for organic growth”. (2020).