

유기성폐자원에너지 인센티브제도 도입방안 연구(I): 바이오가스화 정밀모니터링

권준화^a, 문희성^a, 이원석^b, 이동진^{c†}

A study on the introduction of organic waste-to-energy incentive system(I): Precise monitoring of biogasification

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

(Received: Nov. 24, 2021 / Revised: Dec. 10, 2021 / Accepted: Dec. 13, 2021)

ABSTRACT: Biogasification is a technology that produces environmentally friendly fuel using methane gas generated in the process of stably decomposing and processing organic waste. Biogasification is the most used method for energy conversion of organic waste with high moisture content, and is a useful method for organic waste treatment following the prohibition of direct landfill (2005) and marine dumping (2013). Due to African Swine Fever (ASF), which recently occurred in Korea, recycling of wet feed is prohibited, and consumers such as dry feed and compost are negatively recognized, making it difficult to treat food waste. Accordingly, biogasification is attracting more attention for the treatment and recycling of food waste. Korea's energy consumption amounted to 268.41 106toe, ranking 9th in the world. However, it is an energy-poor country that depends on foreign imports for about 95.8% of its energy supply. Therefore, in Korea, the Renewable Energy Portfolio Standard (RPS) is being introduced. The domestic RPS system sets the weight of the new and renewable energy certificate (REC, Renewable energy certificate) of waste energy lower than that of other renewable energy. Therefore, an additional incentive system is required for the activation of waste-to-energy.

In this study, the operation of an anaerobic digester that treats food waste, food waste Leachate and various organic wastes was confirmed. It was intended to be used as basic data for preparing the waste-to-energy incentive system through precise monitoring for a certain period of time. Four sites that produce biogas from organic waste and use them for power generation and heavy gas were selected as target facilities, and field surveys and sampling were conducted. Basic properties analysis was performed on the influent sample of organic waste and the effluent sample according to the treatment process. As a result of the analysis of the properties, the total solids of the digester influent was an average of 12.11%, and the volatile solids of the total solids were confirmed to be 85.86%. BOD and COD_{cr} removal rates were 60.8% and 64.8%. The volatile fatty acids in the influent averaged 55,716 mg/L. It can be confirmed that most of the volatile fatty acids were decomposed and removed with an average reduction rate of 92.3% after anaerobic digestion.

Keywords: Anaerobic digestion, Biogas, Food waste, Volatile fatty acids (VFAs), Incentive system

^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)

초 록: 바이오가스화는 유기성폐기물을 안정적으로 분해하여 처리하는 과정에서 발생하는 메탄(CH₄)가스를 이용해 환경친화적인 연료를 생산하는 기술이다. 바이오가스화는 수분함량이 높은 유기성폐기물의 에너지화에 가장 많이 활용되는 방법이며, 직매립(2005) 및 해양투기(2013) 등의 금지에 따른 유기성폐기물 처리에 유용한 공법이다. 최근 국내에서 발병한 아프리카돼지열병(ASF, African Swine Fever)으로 습식사료화 재활용이 금지되고, 건조 사료화 및 퇴비화 등의 생산제품 수요처가 부정적으로 인식되면서 음식물류폐기물의 처리에 어려움을 겪고 있다. 이에, 음식물류폐기물의 처리 및 자원화를 위해 바이오가스화가 더욱 주목받고 있다.

우리나라 에너지소비 규모는 268.41 10⁶toe에 이르며 세계 9위 수준이다. 하지만 공급에너지의 약 95.8 %를 해외수입에 의존하고 있는 에너지 빈곤 국가이다. 따라서 국내에서는 신·재생에너지 공급의무화제도(RPS, Renewable energy portfolio standard)를 도입하고 있다. 국내의 RPS 제도는 다른 신재생에너지와 비교하여 폐기물에너지의 신·재생에너지 공급인증서(REC, Renewable energy certificate)의 가중치를 낮게 설정하고 있다. 따라서 폐자원에너지의 활성화를 위한 추가적 인센티브 제도가 요구된다.

본 연구에서는 음식물류폐기물, 음폐수 및 다양한 유기성폐기물이 처리되는 혐기소화조의 운영방식을 알아보고, 일정 기간의 정밀모니터링을 통해 폐자원에너지 인센티브제도를 마련하는 기초자료로써 활용하고자 하였다. 유기성 폐기물로 바이오가스를 생산하여 발전과 중질가스로 활용하는 4개소를 대상시설로 선정하였고, 현장조사 및 시료채취를 실시하였다. 채취된 유기성폐기물의 유입물 시료와 처리공정에 따른 유출물 시료의 기초 성분분석을 수행하였다. 성분분석 결과, 소화조 유입물의 총 고형물은 평균 12.11 %이며, 총 고형물 중 휘발성 고형물은 85.86 %로 확인되었다. BOD와 COD_{Cr} 제거율은 소화조의 유입·유출 대비 각각 60.8 %와 64.8 %로 나타났으며, 유입물의 휘발성지방산은 평균 55,716 mg/L로 나타났으며, 혐기소화 후 감소율이 평균 92.3 %로 대부분 분해되어 제거된 것을 확인할 수 있다.

주제어: 혐기성소화, 바이오가스, 음식물류폐기물, 휘발성지방산(VFAs), 인센티브제도

1. 서론

바이오가스화는 혐기성 소화를 통해 메탄이 포함된 바이오가스를 생산하는 기술로 풍력, 태양광 등의 에너지원과 더불어 신재생에너지로 각광받고 있다. 바이오가스화는 수분함량이 높은 유기성폐기물의 에너지화에 가장 많이 활용되는 방법이며, 직매립(2005) 및 해양투기(2013) 등의 금지에 따른 유기성폐기물 처리에 유용한 공법이다.¹⁾ 국내의 바이오가스화는 시설 설계, 운영 등의 문제점에 대해 보완 과정을 거쳐 유기성폐기물 처리 및 바이오가스 생산 안정화 단계에 접어들었다.²⁾ 최근 국내에서 발병한 아프리카돼지열병(ASF, African Swine Fever)으로 습식사료화 재활용이 금지되고, 건조 사료화 및 퇴비화 등의 생산제품 수요처가 부정적으로 인식되면서 음식물류폐기물의 처리에 어려움을 겪고 있다. 이에, 음식물류폐기물의 처리 및 자원화를 위해 바이오가스화가 더욱 주목받고 있다.

우리나라 에너지소비 규모는 268.41 10⁶toe에 이

르며 세계 9위 수준이다.³⁾ 하지만 공급에너지의 약 95.8 %를 해외수입에 의존하고 있는 에너지 빈곤 국가이다.⁴⁾ 따라서 국내에서는 신·재생에너지 수급을 위해 매년 정해진 비율만큼의 신재생에너지를 의무적으로 공급하도록 규정하는 신·재생에너지 공급의무화제도(RPS, Renewable energy portfolio standard)를 도입하고 있다. RPS제도에 따른 공급의무자는 신·재생에너지 공급인증서(REC, Renewable energy certificate)를 구매하여 의무공급량을 충당할 수 있다. REC 발급기준은 전력공급량(MWh)에 가중치를 곱한 값이며, 공급의무자가 이행실적으로 1 REC 제출 시 이행실적 1 MWh로 간주된다. 가중치는 산업통상자원부 고시 「신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영지침」에 따라 각 에너지원별 차등 적용되어 시행되고 있다. 국내에서는 폐기물에너지를 이용한 발전에 대하여 폐기물처리과정에서 추가적으로 생성된 에너지로 인식하는 경향이 있어, 폐기물에너지에 부여된 가중치(0.25~1.0)는 태양광(0.5~1.6)이나 풍력(1.2~2.5) 등 다른 에너지원에 비하여 현저히 낮은

편다. 따라서 폐자원에너지의 활성화를 위한 추가적 인센티브제도가 요구된다.

본 연구에서는 유기성폐기물에서 기인한 폐자원에너지의 인센티브제도 도입을 위해 바이오가스화 시설의 소화조에 대한 기초자료 수집 및 운전현황을 파악하였다. 폐자원에너지 중 바이오가스를 활용하는 방법으로는 스팀(열에너지), 발전, 중질가스, 고질화로 구분되며, 각 공정에 따른 장단점이 존재한다. 대상시설은 바이오가스를 생산하여 발전과 중질가스로 활용하는 4개소를 선정하였고, 현장조사 및 시료채취를 실시하였다. 채취된 유기성폐기물의 유입물 시료와 처리공정에 따른 유출물 시료의 기초 성분분석을 수행하였다. 공정별 정밀모니터링을 통해 인센티브제도의 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 대상시설

혐기성 소화를 통해 생산된 바이오가스의 활용을 평가하고, 인센티브제도의 기초자료를 확보하기 위해 대상시설을 선정하였다. 시설의 운영이 안정적이며, 생산된 바이오가스를 발전 또는 중질가스로 외부에 판매하고 있는 시설 중, 혐기성소화조에서 음식물류폐기물(또는 음폐수), 가축분뇨 등을 단독 또는 병합으로 처리하는 4개소를 선정하였다. 대상시설의 개요는 Table 1과 같다.

2.2. 정밀모니터링

대상시설의 정밀모니터링은 Fig. 1과 같이 소화조 유입·유출 및 탈수케이식, 탈리여액, 연계처리수의 분석과 소화조에서 생산되는 바이오가스의 분석을 실시

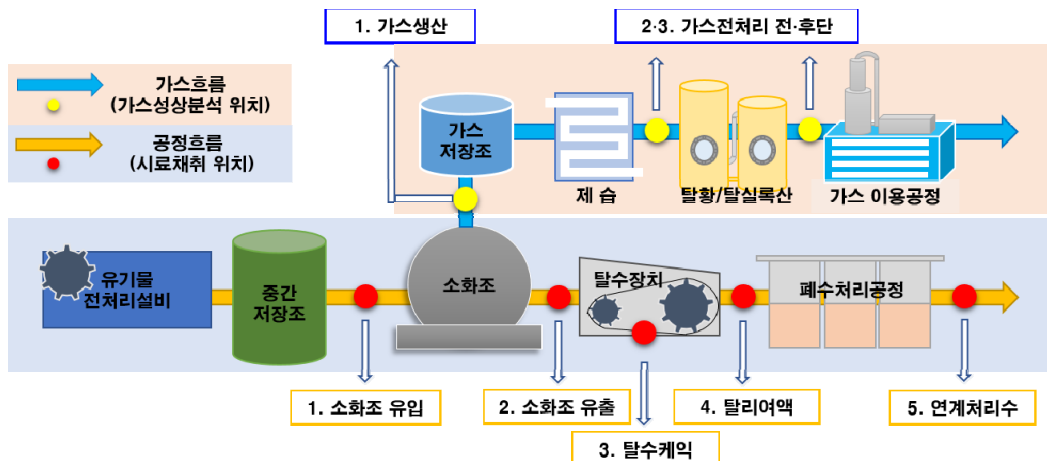


Fig. 1. Sampling points for estimating the mass balance of biogasification upgrading facility.

Table 1. Outline of Biogasification Upgrading Facilities in the Field Investigation

No.	Facility	Treatment materials*	Mixing ratio (%)	Design capacity (ton/d)	Utilization
1	DM	FW	100%	92.8	Electricity
2	CJ	FWL	100%	144.3	Electricity
3	GY	FW, FWL, AM	69%, 29%, 2%	183.8	Biogas**
4	DJ	FW, FWL	50%, 50%	328.3	Biogas**

* FW: Food Wastes, FWL: Food Waste Leachate, LM: Livestock Manure,

** Biogas: External supply

하였다. 소화조에 투입되는 유기물의 농도 및 성상에 의한 소화조 상태 및 운영을 확인하기 위하여 3개월마다 시료채취 및 분석을 수행하였다. 다만, 대상시설이 실제 운영되는 시설이기 때문에 현장의 상황에 따라 시료채취가 불가능한 시기가 있어 각 시설별 3~4회 시료채취 및 분석을 수행하였다.

2.2.1. 기초분석

기초분석을 위해 대상 시설의 혐기성소화조 유입 폐기물, 유출 슬러지, 슬러지 탈수케이크, 탈리여액, 연계처리수의 시료채취를 수행하였다. 분석 항목으로는 삼성분(수분, 가연분, 회분), 원소분석(C, H, N, S), 생물학적 산소요구량(BOD, Biochemical Oxygen Demand), 화학적 산소요구량(CODcr, Chemical Oxygen Demand), 총질소(TN, Total Nitrogen), 암모니아성 질소(NH₃-N), 총인(TP, Total Phosphorus)을 분석하였다. 또한 혐기성 소화조의 운전상태 점검지표로 사용되는 휘발성지방산(VFAs)을 분석하였다.

2.2.2. 삼성분 분석법

폐기물공정시험기준에 명시된 수분 및 고형물-중량법(ES 06303.1a)에 근거하여 시료의 수분, 고형물의 양(무게 % 기준)을 나타내었다. 산출된 수분과 총 고형물(TS, Total Solids) 함량을 강열감량 및 유기물 함량-중량법(ES 06301.1b)의 내용을 활용한 아래 계산식에 적용하여 가연분(VS, Volatile Solid)과 회분(FS, Fixed Solid)의 함량을 산정하였다.

$$\begin{aligned} \text{수분 (\%)} &= \text{총고형물, TS (\%)} \\ &= \frac{\text{건조후시료의 시료의 무게}}{\text{건조 전 시료의 무게}} \times 100 \end{aligned}$$

$$\text{가연분, VS (\%)} = \text{TS (\%)} \times$$

$$\frac{\text{강열 전 건조시료의 무게} - \text{강열 후 건조시료의 무게}}{\text{강열 전 건조시료의 무게}} \times 100$$

$$\text{회분, FS (\%)} = \text{TS (\%)} - \text{VS (\%)}$$

2.2.3. BOD, CODcr, 질소(TN, NH₃-N), 인(TP)

BOD는 수질오염공정시험기준의 생물화학적 산소요구량(ES 04305.1)에 준하여 분석하였고, CODcr은 화학적 산소요구량-적정법-다이크롬산칼륨법(ES 04315.3), 총 질소는 자외선/가시선 분광법-산화법(ES 04363.1), 암모니아성 질소는 자외선/가시선 분광법(ES 04355.1), 총 인은 자외선/가시선 분광법(ES 04362.1), 부유물질(ES 04303.1)로 모두 수질오염공정시험기준에 근거하여 분석을 실시하였다.

2.2.4. 휘발성지방산(VFAs)

휘발성지방산은 HPLC(High Performance Liquid Chromatography)를 이용한 기기분석으로 수행하였다.⁵⁾ 원심분리한 시료의 상등액을 희석하고, 0.45 μm 실린지 필터를 이용해 여과하여 전처리하였다. HPLC 기기(HPLC-DAD, Agilent 1200, USA)를 이용하였으며, 분석 조건은 Table 2와 같이 설정하였다. 휘발성지방산의 종류는 Lactic acid, Acetic acid, Propionic acid, Iso-butyric acid, Butyric acid 5종으로 나누어 분석하였다.

2.2.5. 원소 함량 분석

대상 시료를 105 °C로 4시간 이상 완전 건조시켜 수분을 제거한 후, 입경 0.05 mm 이하의 미세분말 상태로 분쇄하여 C, H, N, S의 원소 함량(%)을 분석하였다(원소분석기, Leco Co. 628 series, 2012).

Table 2. Analysis Condition of HPLC

Operation	Conditions	note
Analytical column	Aminex HPX-87H	Isocratic condition
Oven temp. (°C)	50	
Mobile phase (M)	0.05	Sulfuric acid
Flow rate (ml/min)	0.6	
Detection UV range (nm)	210	

3. 결과 및 고찰

3.1. 국내 바이오가스 생산 및 이용 현황

2017년도 국내 유기성폐자원에서 바이오가스를 생산·이용하는 시설은 총 98개소로 음식물류폐기물/음폐수 21개소, 가축분뇨 7개소, 하수슬러지 35개소, 통합처리 35개소이다. 2017년도 바이오가스화 설비에 서 유기성폐자원 처리실적으로는 총 23,421 천톤/년으로 조사되었으며, 음식물류폐기물 1,218 천톤/년, 가축분뇨 152 천톤/년, 하수슬러지 12,150 천톤/년, 병합처리 9,901 천톤/년으로 처리되었다.²⁾

바이오가스 생산량은 Fig. 2와 같이 매년 증가하는 추세이며, 자체 사용량이 가장 많은 것으로 나타났다. 이는 유기성폐기물의 안정적인 처리와 외부에너지 절감 효과를 가져올 수 있다. 또한 중질가스, 고질화와 같은 외부공급의 증가율이 가장 높게 나타났으며, 발전의 증가세가 가장 완만하게 나타났다. 미활용되는 잉여가스량은 안정적인 가스 이용 운영으로 점차 감소하는 추세이다.²⁾

Table 3에 바이오가스 이용률을 나타내었다. 바이오가스의 이용은 발전, 외부공급, 자체이용으로 이용률은 생산량 321,062 천m³/년의 83.5%에 이르는 268,027 천m³/년이다. 미활용 가스량 53,034 천m³/년은 단순연소로 처리되었다. 이는 계절적, 기술적인 원인으로 인해 불규칙하게 발생하거나 시설 정비 시 발생하는 잉여 바이오가스를 단순 연소한 것으로 나타났다. 음식물류폐기물의 바이오가스 시설은 바이오가스 외부공급(중질가스 및 고품질화) 이용 비중이 39.3%로 가장 높았으나, 미활용으로 연소 처리되는 바이오가스

의 비중이 28.8%로 확인되어 이용 활성화 방안이 요구된다.²⁾

3.2. 대상시설의 바이오가스 생산 및 이용 현황

대상시설은 혐기성소화조에서 음식물류폐기물(또는 음폐수), 가축분뇨 등을 단독 또는 병합으로 처리하는 4개소를 선정하였다. 선정된 대상시설은 시설 운영이 안정적이며, 생산된 바이오가스를 발전 또는 중질가스로 외부에 판매되고 있다. 시설 별 운영현황은 Table 4와 같다.

3.3. 정밀모니터링 시설 기초분석 결과

3.3.1. 삼성분 및 유기물 분해율

대상시설에서 채취한 시료의 삼성분 결과를 Table 5에 명시하였다. 유입물에 대한 총 고형물(TS)은 평균 12.11%이며, 휘발성고형물(VS)는 평균 10.40%로 나타났다. 유입물의 총 고형물 중 휘발성고형물이 85.86%로 나타났다. Fig. 3은 휘발성고형물 기준으로 유기물 분

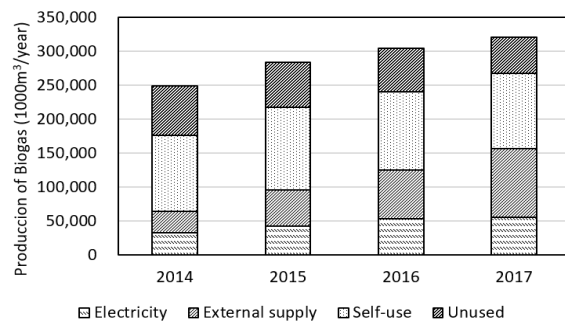


Fig. 2. Biogas usage by year.

Table 3. Biogas Production and Utilization from Organic Waste(2017)⁶⁾

(Unit: 1,000m³/year)

Type of Organic waste resources	Production	Usage				Unused (Incineration)
		Total	Type of usage			
			Electricity	External supply	Self-use	
Food waste	97,381	75,691	18,388	38,254	19,049	21,690
Manure	1,545	1,456	1,451	-	5	89
Sewage sludge	105,383	87,122	12,514	29,346	45,262	18,261
Combined	116,753	103,758	23,486	33,003	47,269	12,994
Total	321,062 (100%)	268,027 (83.5%)	55,839 (17.4%)	100,603 (31.3%)	111,585 (34.8%)	53,034 (16.5%)

해율을 나타낸 것이다. 각 시설의 평균 유기물 분해율은 평균 78.38 %로 나타났다.

Fig. 4는 소화조 유입(in), 유출(out), 탈리여액(cw), 연계처리수(ww)의 수분(moisture), 잔류성고형물(FS), 휘발성고형분(VS)의 비율을 나타낸 것이다. 혐기소화로 휘발성고형분의 함량이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

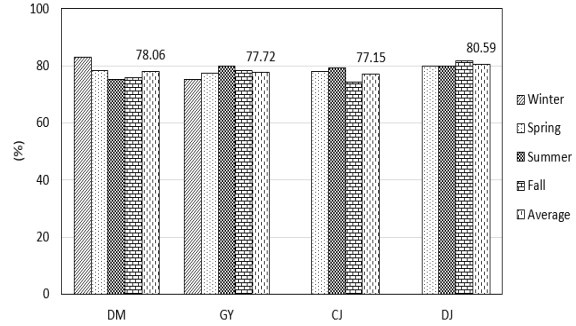


Fig. 3. VS removal rate of biogasification facilities.

Table 4. Outline of Biogasification Facilities

(Unit: Nm³/day)

Facility	Usage	Production	Unused	Used	Type of Usage	
					Electricity (kW/day)	Biogas (Nm ³ /day)
DM	Electricity	11,964	1,410	8,817	15,348	-
CJ		12,766	997	5,293	10,017	-
GY	Biogas*	19,522	5,344	14,177	-	14,177
DJ		30,933	5,298	24,935	-	24,935

* Biogas: External supply

Table 5. Results of Moisture and Solids Contents

Sample ^a	Moisture (%)	TS (%)	FS (%)	VS (%)	VS/TS (%)	
DM	in	83.02	16.98	2.40	14.57	85.71
	out	82.83	17.17	7.42	9.75	56.78
	cake	72.55	27.45	12.22	15.23	55.66
	cw	97.99	2.01	1.06	0.95	46.16
	ww	97.92	2.08	1.97	0.10	5.11
GY	in	92.10	7.90	1.12	6.78	85.79
	out	97.44	2.56	1.05	1.51	59.13
	cake	76.50	23.50	7.42	16.09	68.68
	cw	98.52	1.48	0.75	0.73	48.98
	ww	99.30	0.70	0.62	0.07	9.94
CJ	in	88.88	11.12	1.55	9.57	86.05
	out	96.38	3.62	1.44	2.18	60.13
	cake	82.74	17.26	3.89	13.38	77.71
	cw	98.01	1.99	1.05	0.94	40.66
	ww	99.27	0.73	0.59	0.14	19.92
DJ	in	87.58	12.42	1.75	10.68	85.87
	out	96.37	3.63	1.56	2.06	56.88
	cake	75.40	24.60	9.80	14.81	60.31
	cw	97.54	2.46	1.09	1.37	55.82
	ww	98.89	1.11	0.89	0.21	18.14
평균 in	87.89	12.11	1.71	10.40	85.86	
평균 out	93.25	6.75	2.87	3.88	58.23	

^a in: Organic wastes inflow, out: Organic waste outflow, cake: Digestive tank cake, cw: Spematant liquid, ww: Waste water

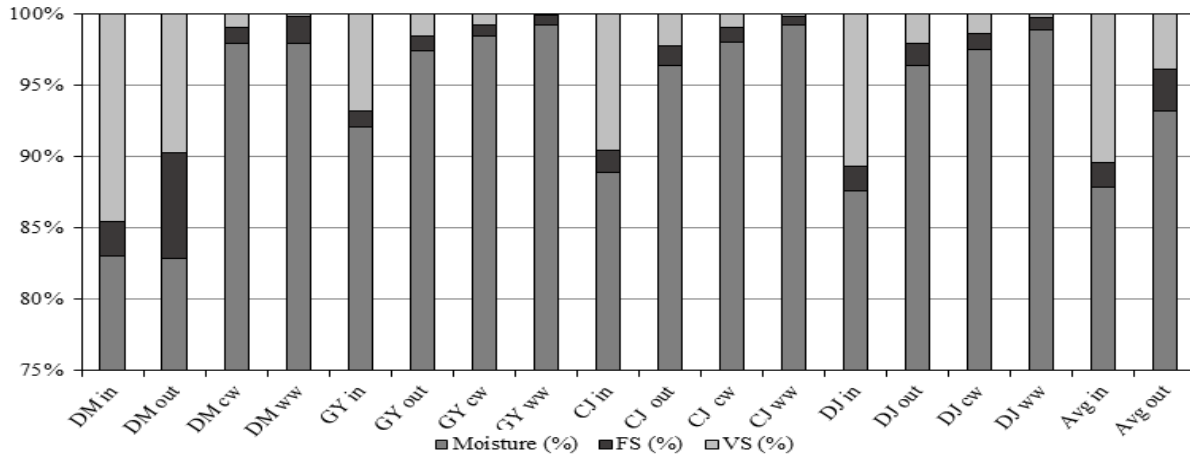


Fig. 4. Results of moisture contents, FS and VS.

3.3.2. BOD, COD_{cr}

Table 6는 정 밀모니터링 시설의 생물학적 산소요구량(BOD)와 화학적 산소요구량(COD_{cr})의 분석 결과

Table 6. Concentration of BOD and COD_{cr} in Biogasification Facilities

Sample	BOD	COD _{cr}
DM	in	54,301
	out	27,757
	cake	91,597
	cw	6,900
	ww	224
GY	in	46,665
	out	15,131
	cake	22,822
	cw	6,608
	ww	323
CJ	in	60,824
	out	17,974
	cake	67,366
	cw	10,721
	ww	310
DJ	in	54,483
	out	23,846
	cake	43,454
	cw	10,848
	ww	954

* in: Organic wastes inflow, out: Organic waste outflow, cake: Digestive tank cake, cw: supernatant liquid, ww: waste water

이다. 각 시설의 유입물과 유출물을 분석한 결과, BOD와 COD_{cr}의 제거율을 Fig. 5에 나타내었다. BOD의 제거율은 평균 60.8 %로 나타났으며, COD_{cr} 제거율은 평균 64.8 %로 나타났다.

3.3.3. 질소(TN, NH₃-N), 인(TP)

Table 7은 정밀모니터링 시설의 TN, NH₃-N, TP의 분석 결과를 나타낸 것이다. 암모니아는 단백질을 함유한 폐기물의 혐기성 분해 시 생성되는 물질로, 혐기소화조 내부에서 고농도로 유지될 경우에 pH에 따라 독성을 미칠수 있는 저해 인자이다.⁶⁾ 총 질소는 소화조 유입 평균 4,843 mg/L, 유출 평균 7,460 mg/L로 유입 대비 유출이 54%의 증가율을 보였다. 암모니아성 질소는 단백질의 혐기성 분해에 의해 증가하는 양상을 나타내었다.

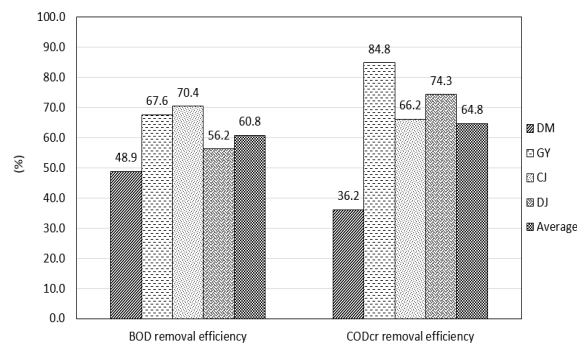


Fig. 5. Removal efficiency of BOD and COD_{cr}.

3.3.4. 휘발성지방산(VFAs)

정밀모니터링 시설의 소화조 유입과 유출의 휘발성지방산(VFAs)를 분석하였다. 유기성폐기물의 산발효단계에서 생산된 VFAs는 메탄생성의 수율을 높일

수 있다. 하지만 4,000 mg/L 이상의 VFAs 는 메탄균의 활동을 저해하여 오히려 메탄생성을 억제하게 된다.⁷⁻⁹⁾ Table 8-11에 계절별 VFAs 분석결과를 나타냈다. 전반적으로 가을에 유입되는 유기성폐기물의 VFAs

Table 7. Nitrogen and Phosphorus Contents of Biogasification Facilities

Facility	TN (mg/L)		NH ₃ -N (mg/L)		TP (mg/L)	
	in	out	in	out	in	out
DM	5,817	11,101	473	3,782	966	1,121
GY	3,867	6,381	414	1,829	547	993
CJ	4,864	5,913	470	3,161	590	348
DJ	4,822	6,446	562	3,360	709	201
Average	4,843	7,460	480	3,033	703	666

Table 8. Results of VFAs on Winter

Facility	Sample	Lactic (mg/L)	Acetic (mg/L)	Propionic (mg/L)	Iso-butyric (mg/L)	Butyric (mg/L)	Total (mg/L)
DM	In	22,604	6,601	5,134	0	1,806	36,145
	Out	72	157	259	0	0	488
GY	In	22,914	2,825	1,323	0	0	27,062
	Out	0	1,839	149	0	0	1,988

Table 9. Results of VFAs on Spring

Facility	Sample	Lactic (mg/L)	Acetic (mg/L)	Propionic (mg/L)	Iso-butyric (mg/L)	Butyric (mg/L)	Total (mg/L)
DM	In	21,509	4,042	2,848	0	0	28,399
	Out	10,604	796	0	0	0	11,400
GY	In	41,811	5,779	2,007	0	0	49,597
	Out	2,403	1,896	0	0	0	4,299
CJ	In	19,835	4,070	2,398	0	0	26,303
	Out	193	1,998	0	0	0	2,191
DJ	In	35,477	52,019	0	0	0	87,496
	Out	79	945	2,455	0	0	3,479

Table 10. Results of VFAs on Summer

Facility	Sample	Lactic (mg/L)	Acetic (mg/L)	Propionic (mg/L)	Iso-butyric (mg/L)	Butyric (mg/L)	Total (mg/L)
DM	In	32,223	5,297	3,970	0	0	41,490
	Out	80	0	0	0	0	80
GY	In	23,375	6,682	0	0	0	30,057
	Out	0	1,530	0	0	0	1,530
CJ	In	37,149	5,970	3,377	686	0	47,182
	Out	0	953	0	0	0	953
DJ	In	37,443	6,132	3,676	0	0	47,251
	Out	0	0	2,707	1,140	0	3,847

Table 11. Results of VFAs on Fall

Facility	Sample	Lactic (mg/L)	Acetic (mg/L)	Propionic (mg/L)	Iso-butyric (mg/L)	Butyric (mg/L)	Total (mg/L)
DM	In	56,288	8,835	6,888	2,710	0	74,721
	Out	577	656	0	0	0	1,233
GY	In	2,807	40,222	0	1,182	6,329	50,540
	Out	0	4,905	0	0	0	4,905
CJ	In	70,964	18,831	6,503	926	0	97,224
	Out	0	3,803	1,106	0	0	4,909
DJ	In	87,132	13,446	7,864	1,183	0	109,625
	Out	253	1,365	6,158	2,238	0	10,014

농도가 높게 나타났다. Fig. 6는 혐기성 소화에 따른 VFAs 감소율을 나타낸 것으로 정밀모니터링 시설의 VFAs 감소율은 평균 93.2 %으로 나타났다.

3.3.5. 원소 함량

Fig. 7는 정밀모니터링 시설의 원소분석 결과를 나타낸 것이다. 원소분석을 통한 사계절 평균 탄소 함량은 소화조 유입 45.08 %, 소화조 유출 30.69 %로 나타났다. 높은 탄소함량은 바이오가스 생성에 도움을 주는 것으로 판단된다. C/N 비는 Fig. 8과 같이 소화조 유입 9.99, 유출 6.87로 나타났다.

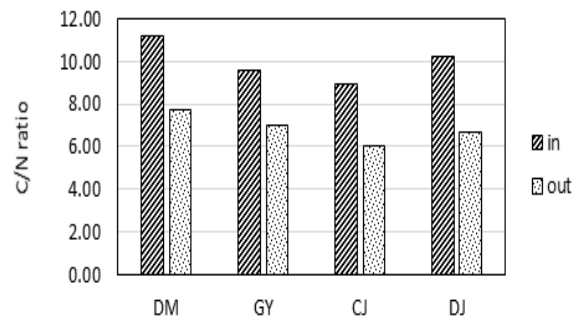


Fig. 8. Results of C/N ratio in biogasification facilities.

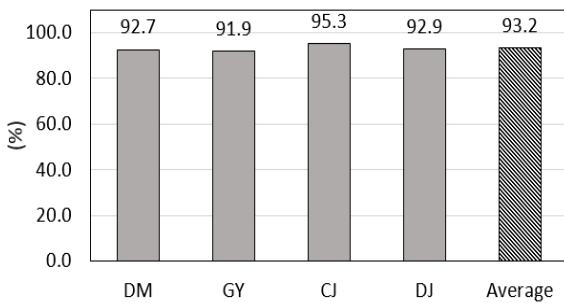


Fig. 6. VFAs removal efficiency in biogasification facilities.

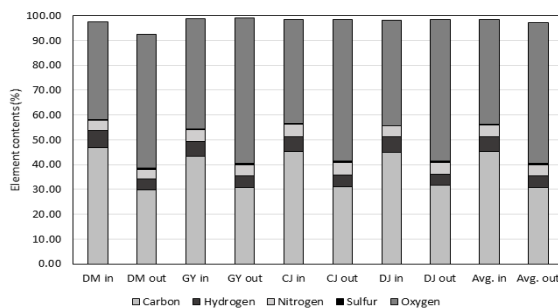


Fig. 7. Results of elemental contents.

4. 결론

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, 경제성 분석하였다. 정밀모니터링 대상시설은 음식물류폐기물, 음폐수, 축산분뇨를 혐기성소화를 이용하여 단독 또는 복합처리 하는 시설로 선정하였다. 선정된 대상시설에서 생산된 바이오가스는 발전 2개소와 중질가스로 2개소로 활용되고 있다. 본 논문에서는 대상시설의 정밀모니터링을 통하여 운영 평가와 에너지수지 및 물질수지 산정에 요구되는 기초자료 마련을 위한 유입물, 유출물의 기초 성분 분석을 수행하였다. 결론은 다음과 같다.

1. 국내의 바이오가스화 시설은 2017년 기준 총 98개소로, 바이오가스 생산량이 지속적으로 증

가하는 추세이다. 바이오가스화 시설의 운영은 안정화되었지만 생산된 바이오가스의 이용이 아직 미흡하여 전체 생산량의 16.5 %인 53,034 천m³/년(2017)에 달하는 바이오가스가 미활용 잉여가스로 단순 연소 처리되었다. 신재생에너지 지원정책을 통해 바이오가스 산업 활성화를 위한 인센티브제도의 마련이 필요하다.

2. 정밀모니터링 결과, 대상 시설의 유입물 총 고형물은 평균 12.11 %이며, 총 고형물 중 휘발성 고형물이 85.86 %로 나타났다. 대상시설의 유기물 분해율은 평균 78.38 %로 나타났다. BOD와 COD_{Cr} 제거율은 소화조의 유입·유출 대비 각각 60.8 %와 64.8 %로 나타났으며 모든 처리공정을 거친 연계처리수에서는 대부분 제거 되었음을 확인하였다. 총 질소는 혐기소화반응에 의해 소화조의 유입·유출 대비 평균 54.1 %의 증가율을 나타내었다.
3. 대상시설에 유입되는 유기성폐기물의 휘발성 지방산은 평균 55,716 mg/L로 나타났으며, 혐기 소화 후 감소율이 평균 92.3 %로 대부분 분해되어 제거된 것을 확인할 수 있다. 휘발성지방산의 농도는 가을철이 가장 높게 나타났다. 유입되는 유기성폐기물의 C/N비는 9.99로 나타났으며, 소화조 유입물과 유출물의 탄소함량은 각각 45.08 %와 30.69 %로 나타났다.

사 사

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였습니다.(NIER-2019-01-01-80)

References

1. Ministry of Trade, Industry and Energy, “New& renewable energy white paper”. (2020).
2. Ministry of Environment, “Current status of biogasification facilities for organic waste resources”. (2017).
3. World Energy Balances, IEA. (2016).
4. Korea Energy Handbook, Korea energy management corporation p. 17. (2015).
5. Sa, L., Oliveira, M. Cammarota, M. Matos, and Leitao, A. V. “Simultaneous analysis of carbohydrates and volatile fatty acids by HPLC for monitoring fermentative biohydrogen production”, international journal of hydrogen energy, pp. 15177~15186. (2011).
6. Khanal, S. K., Anaerobic biotechnology for bioenergy production principles and applications, Wiley-Blackwell, pp. 56~57. (2008).
7. Chen, Y. J. and Cheng, K.S., “Creamer, Inhibition of anaerobic digestion process: a review”, Journal of Bioresource Technology, 99, pp. 4044~4064. (2008).
8. Hong-Wei, Y. and Brune, D.E., “Anaerobic co-digestion of algal sludge and waste paper to produce methane”, Journal of Bioresource Technology, 98(1), pp. 130~134. (2007).
9. Siegert, I., and Banks, C., “The effect of volatile fatty acid additions on the anaerobic digestion of cellulose and glucose in batch reactors”. (2005).
10. National Biogas Strategy(Energigas Sverige), “National Biogas Strategy 2.0”. (2018).
11. Korea Gas Safety Corporation, Research on the “Establishment plan of proper quality standard of alternative natural gas for the generation of electricity, Korea”. (2010).
12. EBA, “European biomethane map infrastructure for biomethane production 2018”. (2018).