

바이오가스 이용 기술지침 마련을 위한 연구(I) - 현장조사 결과 중심으로

문희성, 배지수, 박호연, 전태완, 이영기, 이동진[†]

국립환경과학원 환경자원연구부

A Study on Establishment of Technical Guideline of the Installation and Operation for the Biogas Utilization of Power Generation and Stream - Results of the Field Investigation

HeeSung Moon, Jisu Bae, Hoyeun Park, Taewan Jeon, Younggi Lee, Dongjin Lee[†]

Environmental Resource Research Department, National Institute of Environmental Research

(Received: Mar. 09, 2018 / Revised: Mar. 13, 2018 / Accepted: Mar. 14, 2018)

ABSTRACT: The purpose of this study is to provide a design and operation technical guideline for meeting the appropriate design criteria to biogas utilization treating organic wastes. In accordance with the government's mid-to long-term policies on bio-gasification and energization of organic wastes, the expansion of the waste-to-energy (WTE) facilities is being remarkably promoted. However, because of the limitation of livestock manure containing low-concentration of volatile solids, there has been increased in combined bio-gasification without installing new anaerobic digestion facilities.

The characteristics and common problems of each treatment processes were investigated for on-going 11 bio-gasification facilities. The seasonal precision monitoring of chemichysics analysis on anaerobic digester samples was conducted to provide guidelines for design and operation according to the progress of biogas utilization. Consequently, Major problems were investigated such as large deviation of organic materials depending on seasons, proper dehumidification of biogas, pretreatment of hydrogen sulfide, operation of power generation and steam.

This study was conducted to optimize biogas utilization of type of organic waste(containing sewage sludge and food waste, animal manure), research the facilities problem through field investigation.

Keywords: anaerobic digestion, biogas, power generation, steam, food wastes

초 록: 본 연구는 유기성폐자원(가축분뇨, 음식물류폐기물, 음식물류폐수 등)의 바이오가스 이용에 대한 적정 설계 및 운전 기술지침서 마련하고자 현장조사와 정밀모니터링 등을 실시하였다. 정부의 중장기 바이오가스화 정책에 따라 폐자원의 자원화 시설 확충이 활발히 추진되고 있다. 하지만 생산된 바이오가스를 이용하여 발전 및 스팀으로 활용하는 시설은 효율이 아직은 저조하고 잦은 고장이 발생되고 있다.

현재 운영 중인 바이오가스화 11개소를 대상으로 바이오가스 이용 공정별 특징 및 문제점을 분석하고 혐기소화 조 현장 시료의 계절별 정밀모니터링을 실시하여 바이오가스 이용 공정 흐름에 따른 설계·운영 가이드라인을

[†] Corresponding author(e-mail : dongji7@korea.kr)

제시하였다. 현장조사 수행 결과, 바이오가스 이용 공정에서 바이오가스의 적정 제습, 황화수소 전처리, 발전 시설의 적정처리 등이 주요 문제점으로 조사되었다.

따라서 유기성폐자원의 바이오가스화 시설의 단점을 보완하고 바이오가스 이용 최적화 방안을 마련하기 위하여 현장시설에 대한 정밀조사를 실시하여 공정별 문제점들을 정리하였다.

주제어: 병합 소화, 바이오가스, 발전, 스팀, 음식물류폐기물

1. 서론

우리나라는 인구의 증가 및 도시의 산업화, 소비에 따른 축산업의 발달로 인해 하수처리 및 음식물류와 가축분뇨폐기물인 유기성폐자원의 처리규모와 발생량이 매년 증가하는 추세이다.^{1),2)} 하수슬러지의 경우, 2003년도 이후 연 4.6 % 씩 증가하고 있는 추세이고 15년 기준 전국 625개 공공하수처리시설(500 m³/d 이상)에서 약 10,527 ton/d 발생하였다.^{2),3)} 음식물폐기물의 경우, 전국 346개소에서 13,903 ton/d 처리하고 있으며,⁴⁾ 가축분뇨의 발생량은 173,304 m³/d로 돼지의 경우 91,834 m³/d 약 53 % 발생량을 나타내고 있다.⁵⁾ 돼지의 경우 분(糞) 0.87 L/두·일, 뇨(尿) 1.74 L/두·일, 세정수 2.49 L/두·일 등으로 총 5.1 L/두·일 발생되는 것으로 분석되었다.⁶⁾

음식물류와 가축분뇨 등 유기성폐자원의 육상 직매립이 2005년부터 금지되고, 2013년 런던협약에 따른 해양투기가 전면 금지되면서 유기성폐자원의 에너지원으로서 효과적으로 활용하기 위한 정책과 연구가 진행되어왔다.^{7),8)}

유기성폐자원의 바이오가스화는 혐기소화를 통한 메탄가스(CH₄)를 생산하는 시설로 현 상황에 대응하는 방안으로 15년도 기준 전국 61 개소의 하수처리장에서 하수슬러지 소화시설을 운영 중에 있다.^{3),9),10)}

국내 유기성폐자원의 바이오가스화 시설은 신규설치가 많이 이루어지는 반면, 시설의 메탄가스 생산량이 아직 미흡하거나 생산된 바이오가스를 이용하지 못하는 경우가 많은 실정이며, 15년도 유기성폐자원 바이오가스화 시설 중 하수슬러지를 이용한 바이오가스 발생량은 10.99 m³/ton이며, 음식물 72 m³/ton, 가축분뇨 14.84 m³/ton, 병합처리 14.51 m³/ton

을 생산하고 있어,¹¹⁾ 혐기소화효율이 미국 등 선진국 대비 약 54.2 %에 불과한 실정이다.^{12),13)}

따라서 유기성폐자원의 바이오가스화 시설의 단점을 보완하고 바이오가스 생산·이용 최적화 방안을 마련과 혐기성소화조 및 시설 운전 효율 개선 및 안정적인 운영을 도모해야한다.

본 연구에서는 유기성폐자원의 바이오가스 생산 및 이용을 최적화를 위해 현장시설의 정밀모니터링과 시설 별 에너지수지를 분석하고, 현장문제 해결방안에 대해서 조사하여 전처리시설 및 발전기 등의 설계 및 운전 가이드라인을 제시하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 연구방법 체계 및 흐름

본 연구는 유기성폐자원(하수슬러지, 음식물류, 가축분뇨 등) 바이오가스화 시설의 바이오가스 생산 및 이용(발전·스팀)을 최적화하기 위한 바이오가스화 시설에서 메탄 생산량을 극대화하고, 생산된 바이오가스를 최대한 이용할 수 있는 공정별 설계 및 운전 가이드 기술지침서를 제안하고자 한다. Fig. 1.에 나타낸 바와 같이 기초조사, 정밀모니터링, 에너지수지 분석 과정을 수행하여 최종 기술지침서(안)을 마련하였다. 또한 워크숍 및 전문가 자문회의 등 의견 수렴 과정을 거쳐 기술지침서(안)을 수정·보안하였다. 아래의 Fig. 2.는 세부 과제 진행절차를 도식화하였다.

2.2. 바이오가스화 2차년 연구수행 개요

유기성폐자원 바이오가스화 이용 기술지침서 마련에 대한 2차년 연구과제 수행 개요는 아래의 <Table 1>과 같다.

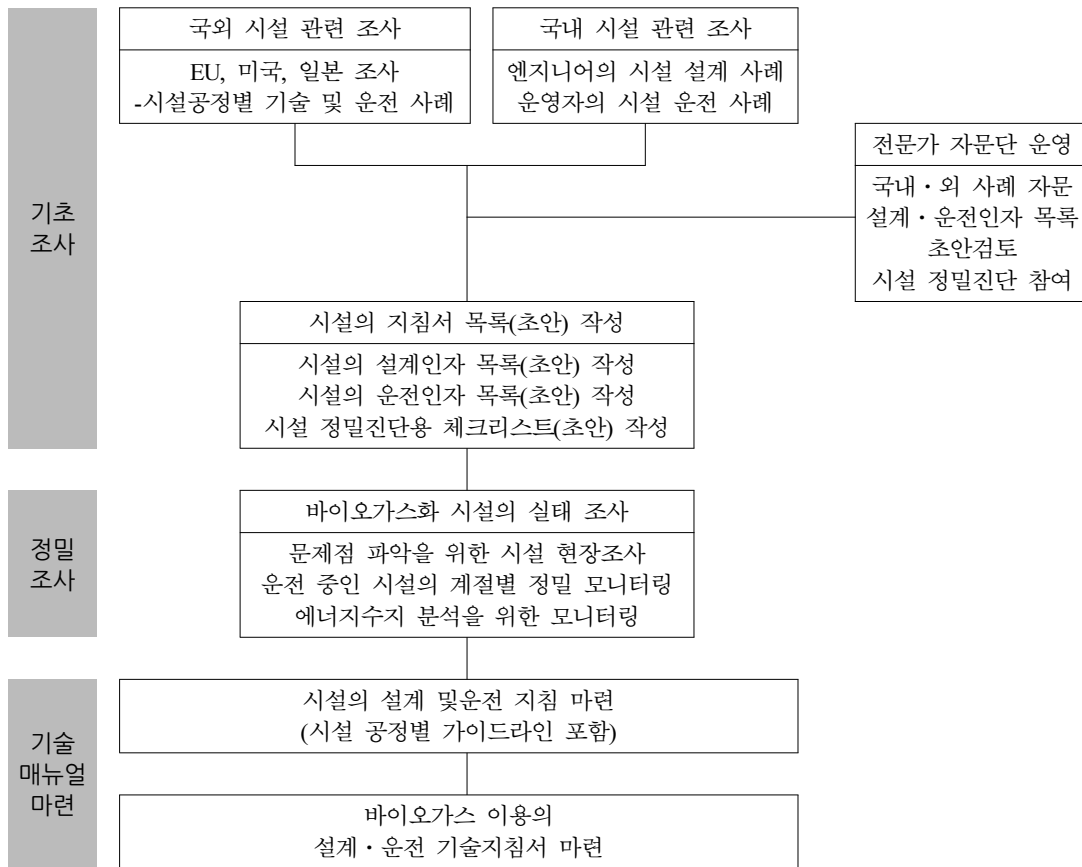


Fig. 1. Outline of research methods.

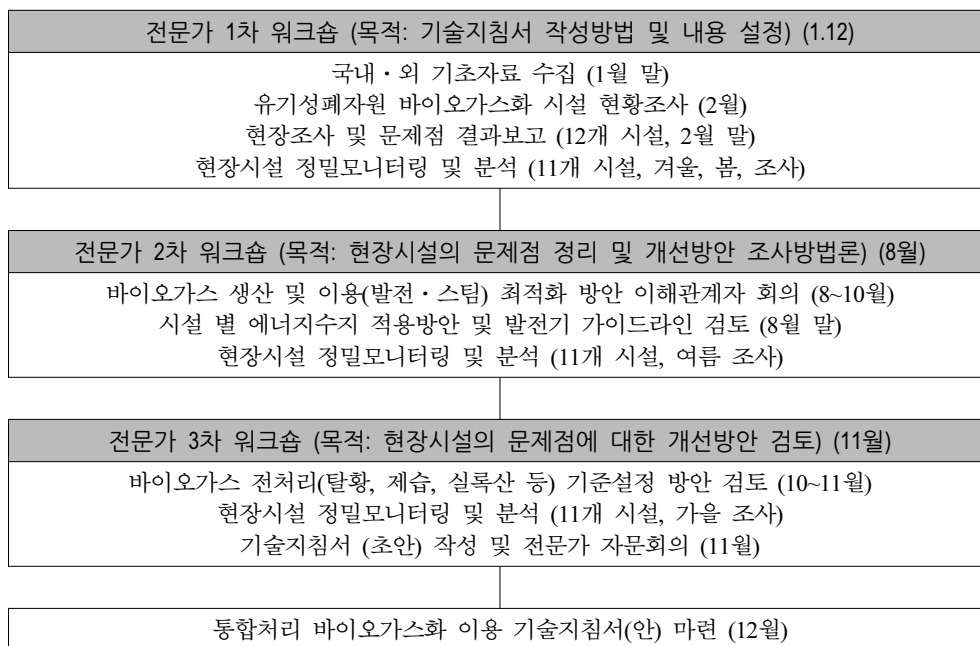


Fig. 2. Flow diagram of research methods.

Table 1. Overview of 2nd year conducted research

Title of research	Year	Contents
유기성폐자원 고효율	1차 (2017)	바이오가스 이용 기술지침서, 발전 및 스팀 중심으로
바이오가스화를 위한 최적 운영방안 연구	2차 (2018)	바이오가스 이용 기술지침서, 수송용 및 도시가스용 중심으로

2.3. 현장조사

하수슬러지와 음식물류폐기물 (또는 음폐수), 가축분뇨를 단독 또는 병합처리하는 바이오가스화 시설에 대한 기초자료 수집 및 운전현황을 파악하기 위하여 현장조사를 실시하였다. 바이오가스 생산 및 이용공정의 설계·운전 사항에 대한 특징 및 문제점을 조사하기 위해 전국 12개 시설 (동대문, 청주,

전주, 수도권매립지, 광주 유택, 고창, 정읍, 논산, 안산, 서울 서남, 군산, 부천)을 대상으로 현장조사를 수행하였다. 현장조사 개요는 <Table 2>와 같다.

2.4. 정밀모니터링

현장조사 대상 시설 중 설비 고장으로 고창에 축분 바이오가스화시설을 제외한 11개소를 선정하여 기술지침서(안) 마련을 위한 기초분석과, 바이오가스 분석을 실시하였다. 음식물/음폐수 단독처리 시설 5개소(동대문, 청주, 전주, 수도권매립지, 광주 유택), 가축분뇨 병합처리 시설 2개소 (정읍, 논산), 하수슬러지 단독 및 병합처리 시설 4개소 (안산, 서울 서남, 군산, 부천)을 대상으로 시설의 특성을 반영한 소화조 유입, 유출 등의 사계절 샘플링을 진행하였다. 바이오가스 이용 가이드라인 수치를 제시하기

Table 2. Outline of biogasification facilities in the field investigation

No.	Facility	Treatment materials	Mixing ratio (FW(L):SS)	Design capacity (ton/d)
1	동대문 환경자원센터 (발전, 자체이용, 기타단순처리)	FW	-	98
2	청주 바이오가스화 시설 (발전, 자체이용, 기타단순처리)	FWL	-	200
3	전주 종합리사이클링타운 (발전)	FW	-	300
4	수도권매립지 바이오가스화시설 (자체이용, 기타단순처리)	FWL	-	500
5	광주 바이오가스화 유택사업소 (자체이용, 기타단순처리)	FW, FWL	-	258
6	고창 축분 바이오가스화시설 (발전, 기타단순처리)	AM	-	50
7	정읍 바이오가스화시설 (발전)	FWL, AM	0.3 : 0.7	100
8	논산계룡축산농협 (발전, 기타단순처리)	FWL, AM	0.3 : 0.7	150
9	안산하수운영사업소 (발전, 자체이용, 기타단순처리)	SS	-	794
10	서울 서남물재생센터 (발전, 외부판매, 자체이용, 기타단순처리)	FWL, SS	0.033 : 0.967	7,949
11	군산공공하수처리장 (자체이용)	SS, FWL	0.18 : 0.82	150
12	부천하수운영사업소 (자체이용, 기타단순처리)	SS, FWL	0.3 : 0.7	4,205

* SS: 하수슬러지, FW: 음식물류폐기물, FWL: 음식물류폐기물 폐수 (이하 음폐수), AM: 분뇨

위해 메탄가스 발생량과 가스성분 함량과 수분함량을 조사하였다.

2.4.1. 기초분석

바이오가스의 기초분석을 진행하기 위한 슬러지 샘플링은 혐기성소화조 유입과 유출 원액, 소화슬러지 탈리여액(연계처리수 등)을 진행하였으며, 기초 분석 항목으로는 삼성분(수분, 가연분, 회분), 원소 분석(C, H, N, S), 영양성분(단백질, 탄수화물, 지방), 화학적 산소요구량(CODcr), 질소(TN, NH₃-N), 인(TP, PO₄-P)을 분석하였고, 혐기성 소화조의 운전상태 점검지표인 휘발성지방산(VFAs)을 도출하였다.

2.4.1.1. 삼성분 분석법

폐기물공정시험기준¹⁴⁾에 명시된 수분 및 고형물-중량법(ES 06303.1)에 근거하여 시료의 수분, 고형물의 양 (무게 % 기준)을 나타내었다. 산출된 수분과 총 고형물 (TS) 함량을 강열감량 및 유기물 함량-중량법(ES 06301.1b)의 내용을 활용한 아래 계산식에 적용하여 가연분 (VS)과 회분 (FS)의 함량을 산정하였다.

$$\begin{aligned} \text{수분 (\%)} &= \frac{\text{건조 전 시료의 무게} - \text{건조 후 시료의 무게}}{\text{건조 전 시료의 무게}} \times 100 \end{aligned}$$

$$\text{총고형물, TS (\%)} = 100 - \text{수분 (\%)}$$

$$\begin{aligned} \text{가연분 (\%)} &= \text{TS (\%)} \\ &\times \frac{\text{강열 전 시료의 무게} - \text{강열 후 시료의 무게}}{\text{강열 전 시료의 무게}} \times 100 \end{aligned}$$

2.4.1.2. 영양성분 (탄수화물, 단백질, 지방) 분석법
식품공정시험법¹⁵⁾ (제 7. 일반시험법, 1.1.3.1 나. 단백질 분석기를 이용하는 방법; 1.1.5.1.1. 에테르추출법)을 바탕으로 단백질과 지방을 분석하였다. 탄수화물은 식품공정시험법¹⁵⁾ (제 7. 일반시험법, 1.1.4 탄수화물)에 근거하여 다음의 식과 같이 수분, 회분, 지방과 단백질 함량 분석 값을 이용하여 도출하였다.

$$\text{탄수화물} = 100 - (\text{수분} + \text{회분} + \text{지방} + \text{단백질})$$

2.4.1.3. CODcr, 질소 (TN, NH₃-N), 인 (TP, PO₄-P), 휘발성지방산

CODcr은 수질오염공정시험기준의¹⁶⁾ 화학적 산소요구량-적정법-다이크롬산칼륨법(ES 04315.3)에 준하여 분석하였고, 암모니아성 질소는 자외선/가시선 분광법(ES 04355.1), 총 질소는 자외선/가시선 분광법-산화법(ES 04363.1), 인은 총 인 자외선/가시선 분광법(ES 04362.1), 인산염인 자외선/가시선 분광법-아스코빈산환원법(ES 04360.2)로 모두 수질오염공정시험기준에¹⁶⁾ 근거하여 분석을 실시하였다.

휘발성지방산은 GC-FID를 이용한 기기분석¹⁷⁾과 향산을 이용한 적정법¹⁸⁾ (이하 수분석법)에 따라 실험을 수행하였다. 기기분석시 Standard method 5560 D. gas chromatographic method 4.a에 근거하여 Diethylether 액상 시약으로 전처리된 용액을 추출하고 GC 기기 (GC-FID, Agilent 6890, USA)를 이용하여 분석하였다. 수분석시 원심분리기로 분리한 상등액을 취하여 분석을 실시하였다.

2.4.1.4. 원소 함량 분석

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

2.4.2. 바이오가스 분석

바이오가스의 메탄 발생량과 성상 및 수분함량을 조사하기 위한 가스포집은 소화조 후단, 탈황설비 후단 및 제습설비 후단에서 실시하였으며, 성상 측정값은 메탄(CH₄), 이산화탄소(CO₂), 산소(O₂), 황화수소(H₂S), 암모니아(NH₃)이며, 수분함량 측정을 위해 배출가스의 노점온도(dew point temperature) 및 절대습도(absolute humidity)와 가스온도 및 상대습도(relative humidity)를 측정하였다.

2.4.2.1. 이론적 메탄가스 발생량

유기성폐자원은 바이오가스화 과정에서 최종적으로 이산화탄소와 메탄으로 전환된다. 유기물의 구

성 원소 (C, H, O, N)로 부터 발생되는 메탄가스 발생량은 Tchobanoglous et al. (1993)¹⁹⁾의 화학적 양론식 <Eq-1>을 이용하여 산정한다.

$$C_aH_bO_cN_d + \left(\frac{4a-b-2c-3d}{4}\right)H_2O \rightarrow \left(\frac{4a+b-2c-3d}{8}\right)CH_4 + \left(\frac{4a-b+2c+3d}{8}\right)CO_2 + dNH_3 \quad <Eq-1>$$

투입된 기질이 전량 메탄과 이산화탄소 등의 바이오가스로 전환된다고 가정하였을 때, 아래의 식 <Eq-2>로 이론적 메탄가스 발생량을 산정할 수 있다. 본 연구에서는 유입물의 영양성분 분석 값을 활용하여 정밀모니터링 대상 시설의 이론적 메탄가스 발생량을 도출하였다.

이론적 메탄가스 발생량 (STP · L CH₄/g VS)

$$= \frac{22.4 \left(\frac{4a+b-2c-3d}{8}\right)}{12a+b+16c+14d} \quad <Eq-2>$$

2.4.2.2. 실제 현장 메탄가스 수율

11개소 정밀모니터링 시설의 2016년 운전기간 자료를 수집하여 실제 현장에서 발생하는 메탄가스 발생량을 산정하였다. 또한 실제 데이터와 이론적 메탄가스 발생량을 비교하여 시설의 운전 효율을 점검하였다.

2.4.2.3. 가스성분 함량 (CH₄, CO₂, O₂, H₂S, NH₃)

유기성폐자원은 혐기성분해를 통해 메탄(CH₄), 이산화탄소(CO₂), 산소(O₂), 황화수소(H₂S), 암모니아(NH₃) 등 여러 성상으로 바이오가스가 된다. 바이오가스에 대부분의 성분은 메탄과 이산화탄소이며, 이를 측정하기 위해 BIOGAS 5000 (Geotechnical Instruments (UK))을 사용하였고, 각 항목의 측정 범위 및 오차범위는 CH₄: 0~70 % ±0.5 %(vol), CO₂: 0~60 % ±0.5 %(vol), O₂: 0~14 % ±1.0 %(vol), H₂S: 0~10,000 ppm ±5.0 %(오차범위), NH₃: 0~1,000 ppm ±1.0 %(오차범위)이다.

2.4.2.4. 수분 함량 (노점온도, 절대습도, 상대습도)

소화조에서 발생한 바이오가스는 많은량의 수증기를 포함하고 있으며, 제습효과 및 바이오가스 효율화 분석을 위해 노점계(S505 Sensor)를 이용하여

Table 3. Outline of energy balance analysis calculation

구분	항목		산출기준	비고
유입 (A)	유입 에너지 (A1)	음식물	고위발열량 : 4,818.8 kcal/kg ¹⁾	
		음폐수	고위발열량 : 4,818.8 kcal/kg ²⁾	
		가축분뇨	고위발열량 : 4,516.0 kcal/kg ³⁾	양돈
		하수슬러지	고위발열량 : 2,855.0 kcal/kg ¹⁾	농축슬러지
	소비전력(A2)		범위 : 전처리 및 바이오가스 생산 설비	
유출 (B)	유출 에너지	이용(B1)	고위발열량 : 9,500.0 kcal/kg	발전, 보일러 등
		미이용(B2)	고위발열량 : 9,500.0 kcal/kg	잉여가스 연소
에너지수지			- 플랜트 에너지수지 : A-B “+” : 혐기소화조에서 미분해 된 유출 혐기소화액 중의 유기물의 잠재에너지를 의미 “-” : 유기성폐자원의 에너지화 과정에서 소비되는 전기에너지 등을 의미	
에너지효율			에너지 전환 효율(%) : B/A1×100 플랜트 에너지 효율(%) : B/A×100	

주1) 제4차 전국 폐기물통계조사(환경부, 2013).
 주2) 음폐수의 측정발열량은 음식물과 동일한 것으로 간주함.
 주3) 가축분뇨 고품질연료 제품의 품질 등급 기준 마련 연구(환경부, 2013).

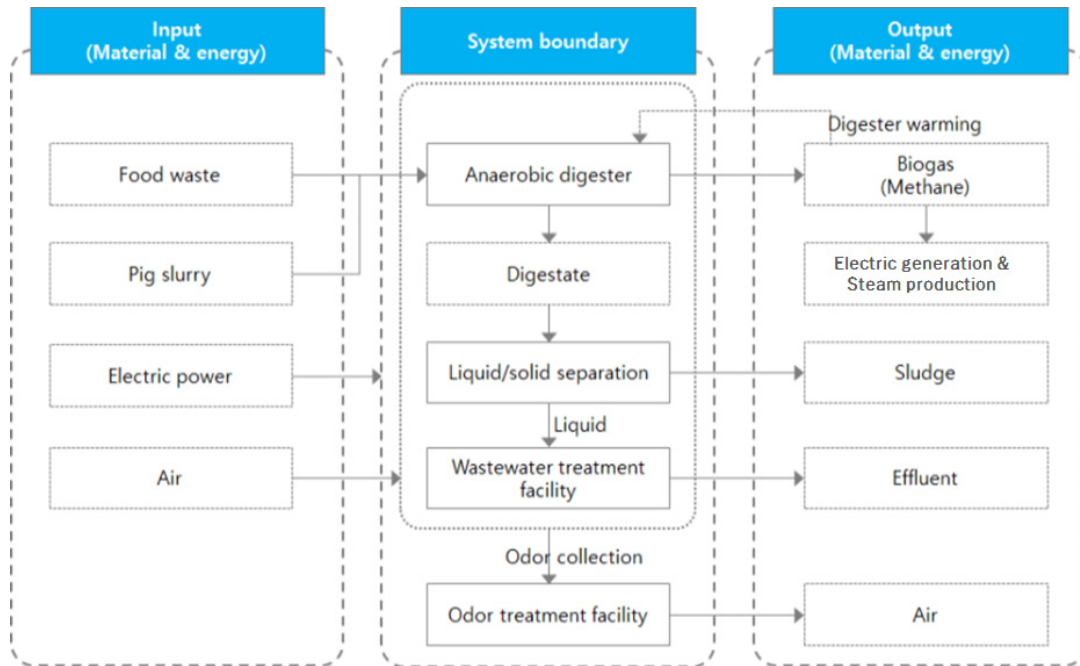


Fig. 3. Energy balance analysis model.

시설 지점 별 바이오가스의 노점온도(°C)와 절대습도(g/m³), 가스온도(°C)에 따른 상대습도(%)를 측정하였다.

2.4.3. 분자생물학적 균유전체 (Metagenome) 분석

계절 별 소화조 내 미생물 균유전체의 양상을 확인하고자 분자생물학적 시퀀싱 (Sequencing) 분석을 실시하였다. 정상 운전상태의 정밀모니터링 대상 시설 중 11개소의 혐기소화조 유출액에 존재하는 박테리아와 고세균 (Archaea)의 염기 서열을 증폭/추출하여 rRNA 데이터베이스와 상동성을 비교하였다.

2.4.4. 에너지수지분석

유기성폐자원 바이오가스화 8개의 시설에 대해서 에너지수지를 분석하고자 하였으며, 에너지수지 분석은 Fig. 3.과 같이 다양한 유기성폐자원의 원료 유입에서 기원하는 유입에너지와 바이오가스화 설비 운전을 위한 전력 소비에너지를 유입에너지로 설정하였으며, 유출에너지는 혐기소화를 통한 바이오 메탄의 잠재에너지와 혐기소화조에서 유출되는 미분

해 유기물의 잠재에너지로 산정하고자 하였다.

바이오가스화의 에너지수지 분석기준으로 유입원료에서 기원하는 유입에너지는 유입원료의 고위발열량을 기준으로 산정하였으며, 유출에너지는 생산 바이오가스 중 메탄의 고위발열량을 기준으로 하여 산정하였다. 바이오가스 시설의 에너지수지 분석기준으로는 바이오가스 발전에 의한 전력 생산을 고려하여 전기에너지(Wh)를 기준 단위로 산출하였다.

3. 연구결과

3.1. 현장조사 결과

운영 중인 유기성폐자원 바이오가스화 시설 11개소를 대상으로 현장조사를 실시한 결과, 바이오가스 이용을 위한 공정 별 특징과 문제점은 Table 4.와 같다.

Table 4. Problems of operation in field investigation of biogasification facilities

공정 설비	문제점 정리
제습 공정	<ul style="list-style-type: none"> • 제습기는 온도 차를 이용한 칠러로 바이오가스 수분 제거 (20 mL/m³ 이하로 관리되며, 약 90 % 제습 효과) • 발전기 유입부분에 워터트랩과 유사한 장치를 설치하여 수분 제거해야함 • 수분은 이송배관 중간에 워터트랩으로 제거 • 가스여과기, 제습설비 (칠러) 2기, 워터트랩 등으로 바이오가스 수분 제거 • 발전기 유입 전 바이오가스의 상대습도 50~60 %로 조정 • 바이오가스 이송배관이 길어 자연제습됨
탈실록산 공정	<ul style="list-style-type: none"> • 황성탄 탱크에서 실록산을 비롯한 황, 칼슘 등 제거 (황성탄 교체는 2달/회 주기로 실시하며 연 1억 5천의 비용 소모) • 황화수소가 낮으면 황성탄 장치에서 실록산도 잘 제거되지만 황화수소 농도가 높으면 황성탄 설비에서 황화수소를 제거하느라 실록산 제거에 어려움을 겪음 • 하수에 포함된 세제의 계면활성제에 규소 성분이 다량 포함되어 있어 하수슬러지에는 실록산 농도가 높으며 발전기 운전에 영향을 미침 • 발전기 재접하시 바이오가스에 포함된 실록산으로 인해 발전기의 부속 밸브가 제대로 밀봉되지 않아 블로우다운 현상이 발생되어 배기가스 누출 및 밸브 파손 유발 • 실록산 제거설비의 내부 충전재는 6개월 주기로 교체 • 실록산은 약 40 ppm에서 제거 후 검출 농도 약 0.1~1.0 ppm
발전 공정	<ul style="list-style-type: none"> • 바이오가스에 분진 등 불순물이 많아 발전기 엔진 내연기관의 내구연한이 단축되고 잦은 보수 필요 • 발전기 Overall은 정해진 시기가 없으므로 내시경을 이용한 상시 관찰로 실린더의 상태 및 마모율을 파악하여 Overall 시기를 결정 • 발전기의 평균 가동율 75 %로 잦은 고장 • 현재 발전기 가동 중지 상태 (연속 가동을 실시하였을 때 크랭크 축이 파손되어 발전기 운전 중지) • 발전기는 630 kW/h 규모이며, 탈황 과정에서 소모되는 약품 및 전력량이 많아 유지관리와 경제성 측면에서 전력 생산이 효율적이지 못하므로 발전기 가동 중지 • 엔진오일에 물이 혼합되어(제습이 충분히 안되어) 발전기 내부 펌프로 유입될 경우 고장 문제 발생 • 발전기를 유지보수하거나 Overall할 경우 한전의 전력을 사용 (연간 26,356 kWh) • 국산 발전기는 유지보수가 용이하나, 외산은 유지보수가 시간이 많이 걸리고 소요비용도 몇배임 • 발전기 크랭크에 수분이 유입되어 고장 발생 • 발전기 A/S는 자체 유지보수(윤활유 및 필터 교체 등)와 Overall (3,000~4,000 시간 가동을 기준으로 Overall 실시) 연 2회로 실시 • 발전기 배출가스는 2개월에 1회 주기로 자가 측정 실시 (NOx 위주로) • 배출가스 온도는 300 °C 이하로 배출함-보일러 연도 배출온도 기준에서 규제함 • 엔진 연소방식은 이론 공연비식 (배출가스 중 무산소 공기량 대비 연료량)과 립변 운전 (배출가스 중 산소 포함 공기량 대비 연료량)으로 구분되며 Thermal NOx 100~1,500 ppm을 90~100 % 제거 가능 • 산화환원 촉매가 비금속 (백금, 플래티늄, 오듐 등)으로 표면 코팅되어 있으므로 외부 마모시 교체 필요 → 피독 방지 • 흡기밸브의 간극을 주기적으로 관찰하여 엔진 부품의 마모를 사전에 예측할 수 있음 • 공연비를 기계식으로 조정하는 것도 있지만, 최근에는 공기량에 따른 연료량을 자동으로 조절 가능한 설비를 적용하는 추세임 • 엔진오일은 엔진오일 열화 현상을 분석하여 사전에 교체 예정주기 설정 • 발전기 가동시간 500 시간을 기준으로 4,800 만원/년의 유지관리 비용 소모 • 발전기 매전단가 기준 금액은 150 원/kW이며, 매전단가 감소시 발전기 운전에 대한 경제성 측면에 상응하여 운전 중지로 이어질 수 있음 • 발전기 Overall 후 첫 가동 시작시 LNG를 주입하여 예열·시험 운전한 후 바이오가스 공급 • 발전기 일일 운전은 매일 통제실에서 관리 기록 중 • 발전기 유입 전 승압 블로워로 바이오가스의 유동적인 발생량에 대비하여 공급량 조절 • 발전기 유지보수는 외주 관리로 월 2회 주기로 실시 • 일별 바이오가스 발생량에 변동이 클 경우, 발전기를 교대 운전함

Table 4. Continue

공정 설비	문제점 정리
보일러 공정	<ul style="list-style-type: none"> • 보일러 전단계는 음압으로 관리하여 바이오가스가 외부 누출되는 것을 방지하고 후단부는 양압으로 설정하여 배가스가 자연적으로 연돌 배출되도록 설계 • 혐기소화조 가운은 하수슬러지 건조시설의 배기가스 폐열 회수만으로는 부족 (하절기에는 남고 동절기에는 부족) • 황화수소는 탈황 처리 후단부 가스분석시 1,000 ppm - 보일러는 황화수소의 직접적인 영향을 받지 않으나 바이오가스 이송배관 및 밸브의 부식 현상 발생 • 보일러 연료로 LNG 사용시 황화수소 10 ppm으로 배출 - 이전에는 혐기소화조 가운용 보일러가 경유를 같이 사용하였음 • 수동식 밸브로 보일러의 공연비 조절

편집자 주

이 특집원고는 총 3편으로 구성되어 있으며, 2편은 다음 페이지에 계속되며, 3편은 유기물자원화 26권 2호에 게재될 예정입니다.

References

1. Ministry of Environment, A study on the expansion plans of integrated digestion for feces and urine and sewage. (2014).
2. Ministry of Environment, 2015 The status of waste generation and treatment in Korea. (2016).
3. Ministry of Environment, 2015 The status of sewage. (2016).
4. Ministry of Environment, 2016 The status of food waste treatment facilities. (2014).
5. Ministry of Environment, 2015 The status of livestock manure in Korea. (2017).
6. Ministry of Environment, Research of estimate unit load for livestock. (2008).
7. Gyeonggi Research Institute, A study on waste management for prohibiting ocean dumping. (2013).
8. Ministry of Environment, Economic analysis of waste-to-energy project. (2008).
9. C. Y. Lee, W. J. Chung, and J. T. Kim, "A study on the development trends of wastewater sludge treatment technology", Journal of the Korean Geo-Environmental society, 17(8) pp. 5~15. (2016).
10. J. S. Hong, and H. G. Kim, "Analysis of R&D investment of waste reduce, recycle and energy recovery technology", Journal of energy engineering, 21(3), pp. 315~324. (2012).
11. Ministry of Environment, Result of evaluation operations management for public sewage treatment facility. (2011).
12. Ministry of Environment, 2014 Status of organic waste energy utilization facilities. (2014).
13. National Assembly Budget Office, The problems and improvement project of installation to bio-gasification facility for organic waste-An economic feasibility. (2012).
14. Ministry of Environment, Official testing method on wastes. (2012).
15. Ministry of Food and Drug Safety, Official food testing method General testing method. (2017).
16. Ministry of Environment, Official testing method on water. (2015).
17. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (USA), Standard methods for the examination of water and wastewater, 22. (1998).
18. National Institute of Environmental Research, Translation of guidelines for biogas production and use in Germany. (2014).
19. Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S., Integrated solid waste management, McGraw-Hill.

- (1993).
20. National Institute of Environmental Research, Guidelines for operation management of food waste biogasification facilities. (2014).
21. K.F. Jarrell, M. Saulnier, A. Ley, "Inhibition of methanogenesis in pure cultures by ammonia, fatty acids and heavy metals, and protection against heavy metal toxicity by sewage sludge", *Journal of Microbiology*, 33, pp. 551-555. (1987).
22. Y. Hong-Wei, and D. E. Brune, "Anaerobic co-digestion of algal sludge and waste paper to produce methane", *Journal of Bioresource Technology*, 98(1), pp. 130-134. (2007).
23. Y. Chen, J. Cheng, K.S. Creamer, Inhibition of anaerobic digestion process: a review, *Journal of Bioresource Technology*, 99(10), 4044-4064. (2008).
24. S.K. Khanal, *Anaerobic biotechnology for bioenergy production principles and applications*, Wiley-Blackwell. (2008).
25. Korea Gas Safety Corporation, Research on the establishment plan of proper quality standard of alternative natural gas for the generation of electricity. (2010).