

고품질화 바이오가스 이용 기술지침 마련을 위한 연구(I): 도시가스 및 수송용 - 현장조사 결과 중심으로

문희성^a, 권준화^a, 박호연^b, 전태완^c, 신선경^d, 이동진^{e†}

A Study on Establishment of Technical Guideline of the Installation and Operation for the Biogas Utilization of Transportation and City Gas: Results of the Field Investigation

HeeSung Moon^a, Junhwa Kwon^a, Hoyeon Park^b, Taewan Jeon^c, Sunkyung Shin^d, Dongjin Lee^{e†}

(Received: Mar. 8, 2019 / Revised: Mar. 11, 2019 / Accepted: Mar. 11, 2019)

ABSTRACT: Biogasification is a technology that uses organic wastes to reproduce as environmental fuels containing methane gas. Biogasification has attracted worldwide attention because it can produce renewable-energy and stable land treatment with prohibit from landfilling and ocean dumping of organic waste. Biomethane is produced by refining biogas. It is injected into natural gas pipeline or used transportation fuel such as cars and buses. 90 bio-gasification facilities are operating in 2016, and methane gas production is very low due to it is limited to organic wastes such as food waste, animal manure, and sewage sludge. There are seven domestic biomethane manufacturing facilities, and the use of high value-added such as transport fuels and city-gas through upgrading biogas should be expanded. On the other hand, the rapid biogasification of organic wastes in domestic resulted in frequent breakdowns of facilities and low efficiency problems. Therefore, the problem is improving as technical guidance, design and operational technical guidance is developed and field experience is accumulated. However, while improvements in biogas production are being made, there is a problem with low utilization. In this study, the problems of biomethane manufacturing facilities were identified in order to optimize the production and utilization of biogas from organic waste resources. Also, in order to present the design and operation guideline of the gas pretreatment and the upgrading process, we will investigate precision monitoring, energy balance and economic analysis and solutions for on-site problems by facility.

Keywords: anaerobic digestion, biogas, technical guideline, upgrading, food wastes

초 록: 바이오가스화는 유기성폐기물을 처리하는 과정에서 발생하는 메탄가스를 포함하는 환경 친화적인 연료를 생산하는 기술이다. 바이오가스화는 유기성폐기물의 해양투기 금지 이후 안정적인 육상처리일 뿐만 아니라 신재생에너지원으로 인정받으면서 세계적인 관심을 받고 있다. 최근에는 생산된 바이오가스를 고품질화하여 도시가스 및 수송용으로 이용하는 추세가 증가하고 있다. 바이오가스화 현장시설에서는 아직도 잦은 고장으로 바이오가스 생산이 저하되고, 또한 생산된 바이오가스를 효과적으로 정제하여 이용하는 것이 미흡한 실정이다. 이 연구에서는 바이오가

^a 국립환경과학원 전문위원 (Researcher, National Institute of Environmental Research)

^b 국립환경과학원 연구사 (Researcher, National Institute of Environmental Research)

^c 국립환경과학원 과장 (Director, National Institute of Environmental Research)

^d 국립환경과학원 부장 (Director General, National Institute of Environmental Research)

^e 국립환경과학원 연구관 (Senior Researcher, National Institute of Environmental Research)

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

스 생산 및 이용 시설에서의 문제점들을 파악하고, 최적으로 바이오가스를 도시가스 및 수송용으로 활용 가능하기 위한 가이드라인 및 기술지침을 마련하고자 하였다.

주제어: 혐기성소화, 바이오가스, 기술지침, 고품질화, 음식물류폐기물

1. 서론

바이오가스화는 유기성폐기물을 활용하여 메탄가스를 함유한 신재생에너지를 생산하는 기술이다. 또한 유기성폐기물의 직매립(2005)과 해양 투기(2013)가 금지되면서 바이오가스화는 안정적인 육상처리 뿐만 아니라 신재생에너지 생산까지 가능하여 전 세계적인 관심을 받고 있다. 바이오가스를 정제하여 순수 메탄으로 전환시킨 바이오메탄은 자가용과 버스 같은 수송용 연료와 도시가스 배관망으로 주입하여 이용하고 있다.

스웨덴은 정부의 정책지원에 따라 바이오메탄으로 대중버스를 운행하고 있으며, 2030년까지 15TWh의 바이오가스 에너지 생산하여, 수송용 연료로 12TWh, 산업현장에서 3TWh를 이용하는 것을 목표로하였다¹⁾. 유럽의 바이오메탄 제조시설은 바이오가스 정제공법의 기술발달과 상용화로 2011년 187개소에서 2016년 497개소로 빠르게 성장하였다²⁾. 특히 독일의 경우 바이오메탄 제조시설을 197개소 운영하고 있으며, 천연가스 배관망에 주입하고 있다²⁾.

국내에서는 2016년 90개소의 바이오가스화 시설이 운영 중이며, 음식물폐기물, 가축분뇨, 하수슬러지와 같은 유기성폐기물을 국한하기 때문에 메탄가스의 생산량이 매우 낮다³⁾. 2016년 바이오가스 생산량은 304,293 천m³이며, 발전, 보일러 등으로 240,557 천m³을 이용하였다³⁾.

국내 바이오메탄을 제조하는 시설은 7개소로 바이오가스 고품질화를 통한 수송용 연료 및 도시가스 생산 등 바이오가스의 고부가가치 이용 초기단계이다. 반면, 유기성폐기물의 바이오가스화가 급격히 추진되면서 시설의 잦은 고장과 효율 저하와 같은 문제점들이 나타났다. 바이오가스화 시설의 문제점을 개선하기 위해 현장의 기술 축적 및 기술 진단 및 설계, 운전 기술지침서 등의 집중관리 방안을 마

련하였다. 그 결과, 바이오가스 생산의 개선은 이루어지고 있는 반면, 생산된 바이오가스에 대한 이용이 저조하여 이에 대한 대책이 시급하다.

본 연구에서는 유기성폐기물의 바이오가스 생산 및 이용을 최적화하기 위해 현장조사 통한 바이오메탄 제조시설의 문제점을 파악하였다. 또한 가스전처리 공정 및 고품질화 공정 등의 설계 및 운전 가이드라인을 제시하고자 정밀모니터링, 에너지수지 및 경제성 분석, 현장문제 해결방안에 대해서 조사하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 연구방법 체계 및 흐름

본 연구는 유기성폐기물(하수슬러지, 음식물·음폐수, 가축분뇨 등)을 활용한 바이오가스(Raw Biogas) 가스 전처리 설비 운영과 고품질(Upgrading) 정제를 통한 바이오메탄(Biomethane) 생산 및 이용(수송용·도시가스) 최적화 방안을 마련하고자 하였다. 바이오가스 생산시설에서 메탄 생산량을 극대화하고, 소화조에서 생산된 바이오가스의 이용 효율성을 높이기 위한 가스 전처리 설비와 고품질 정제 공정별 설계 및 운전 기술지침서를 제안하고자 한다.

또한 바이오메탄의 수송용 연료 및 도시가스 배관망 주입 활성화를 위한 지원방안을 제안하고자 한다.

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 기초조사, 정밀모니터링, 에너지수지·경제성 분석 과정을 수행하여 최종 기술지침서(안)를 마련하였다. 또한 워크숍 및 전문가 자문회의 등 의견 수렴과정을 거쳐 기술지침서(안)을 수정·보안하였다. 아래의 Fig. 2는 세부 과제 진행절차를 도식화하였다.

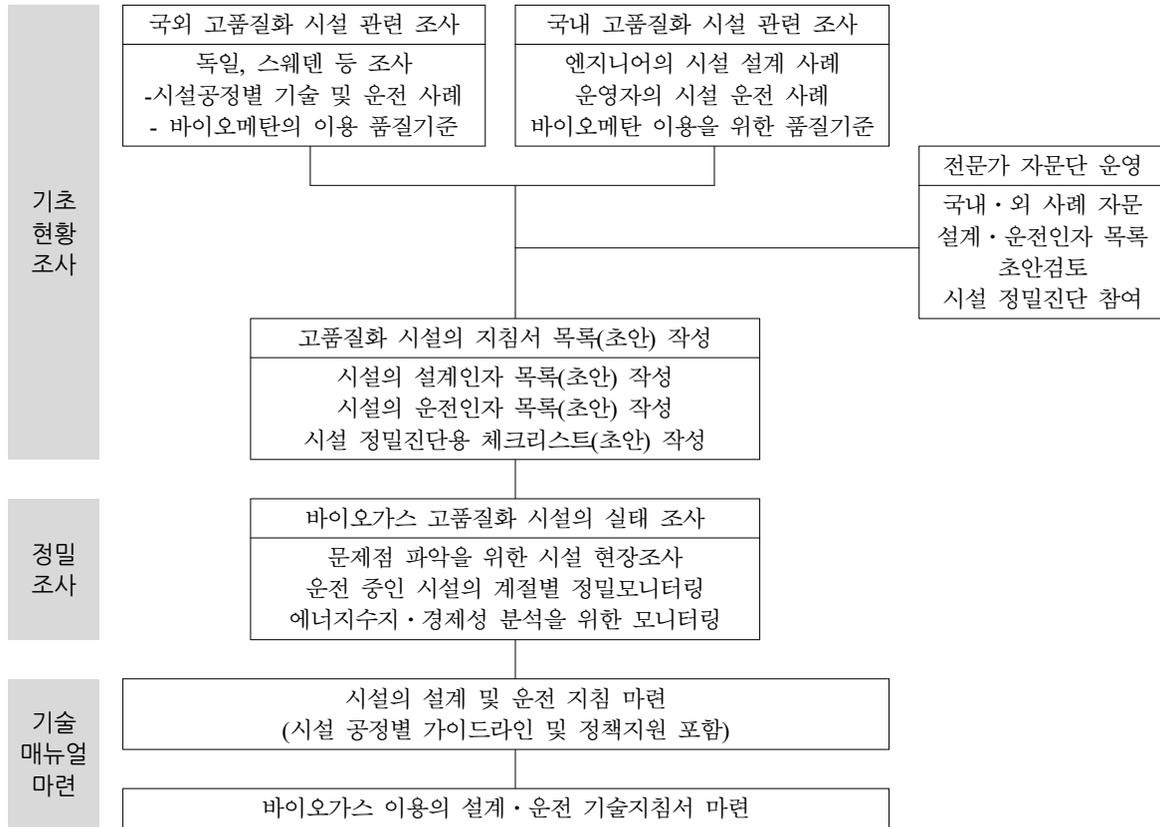


Fig. 1. Outline of research methods.

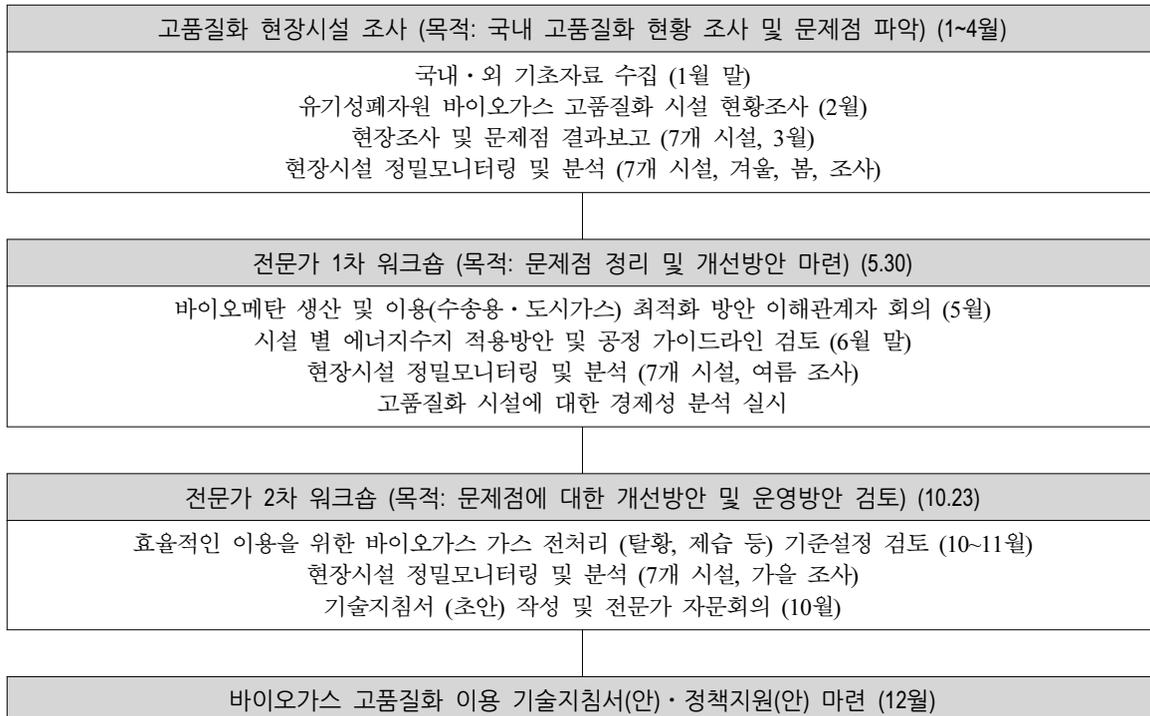


Fig. 2. Flow diagram of research methods.

2.2. 바이오가스화 2차년 연구수행 개요

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

2.3. 현장조사

하수슬러지와 음식물류폐기물 (또는 음폐수), 가축분뇨 등을 단독 또는 병합 처리하는 소화조 및 고품질 정제시설에 대한 기초자료 수집 및 운전현황을 파악하기 위하여 현장조사를 실시하였다. 바이오가스 생산 및 이용공정과 고품질 정제설비의 설계·운전 사항 등에 대한 특징 및 문제점을 조사하기 위해 전국 7개 시설 (의정부, 홍천, 원주, 충주, 대구, 중랑, 수도권매립지)을 대상으로 현장조사를 수행하였다. 현장조사 개요는 Table 2와 같다.

2.4. 정밀모니터링

수송용·도시가스용으로 이용되는 바이오메탄 생산시설의 소화조 및 가스 전처리 설비와 고품질 정제설비 기술지침서(안)을 마련하기 위한 소화조 유·출입 폐기물(슬러지) 기초분석과, 소화조에서 생산되는 바이오가스 분석을 실시하였다. 음식물/음폐수 단독

처리 시설 5개소(의정부, 원주, 수도권매립지, 충주, 대구), 가축분뇨 병합처리 시설 1개소 (홍천), 하수슬러지 병합처리 시설 1개소 (중랑)를 대상으로 시설의 특성을 반영한 소화조 유입, 유출 등의 사계절 샘플링을 진행하였다.

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 분석하였다. 또한 혐기성소화조의 운전상태 점검지표로 사용되는 휘발성지방산(VFAs)을 분석하였다.

2.4.1. 삼성분 분석법

폐기물공정시험기준⁴⁾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.

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

Table 1. Overview of 2nd Year Conducted Research

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

Table 2. Outline of Biogasification Upgrading Facilities in the Field Investigation

No.	Facility	Treatment materials	Mixing ratio (%)	Design capacity (ton/d)	Utilization
1	의정부 음식물류폐기물 자원화시설	FWL	-	120	City-gas
2	원주시 유기성폐기물 처리 자동차연료화 시설	FWL, FW	46.8 : 53.2	170	Transportation Fuel
3	수도권매립지 침출수처리장 혐기소화처리시설	FWL	-	830	Transportation Fuel
4	충주 음식물 바이오에너지센터	FW, FWL	87.7 : 12.3	80	City-gas
5	대구 상리 음식물류폐기물 처리시설	FW	-	300	Transportation Fuel
6	홍천군 자원순환형 가축분뇨 공공처리 자원화 시설	AM, FW, FWL	88 : 6 : 6	100	City-gas
7	서울시 중량물재생센터	SS, FWL, HE	48 : 3 : 49	10,200	City-gas

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

총고형물, $TS(\%) = 100 - \text{수분}(\%)$

가연분 $(\%) = TS(\%)$

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

2.4.2. COD_{Cr}, 질소 (TN, NH₃-N), 인 (TP, PO₄-P), 휘발성지방산

COD_{Cr}은 수질오염공정시험기준의⁵⁾ 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 수질오염공정시험기준에 근거하여 분석을 실시하였다.

휘발성지방산은 GC-FID를 이용한 기기분석⁶⁾과 황산을 이용한 적정법⁶⁾ (이하 수분석법)에 따라 실험을 수행하였다. 기기분석은 Standard method 5560 D. gas chromatographic method 4.a에 근거하여 Diethylether 액상 시약으로 전처리 된 용액을 추출하고 GC 기기(GC-FID, Agilent 6890, USA)를 이용하여 분석하였다. 수분석은 원심분리기로 분리한 상등액을 취하여 분석을 실시하였다.

2.4.3. 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).

2.5. 바이오가스 분석

바이오가스 이용 가이드라인 수치를 제시하기 위해 메탄가스 발생량, 황화수소, 암모니아 등 가스성분 함량과 상대습도, 절대습도 등 수분함량을 조사하였다.

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 위

해 배출가스의 노점온도(dew point temperature) 및 절대습도(absolute humidity)와 가스온도 및 상대습도(relative humidity)를 측정하였다.

2.5.1. 이론적 메탄가스 발생량

유기성폐자원은 바이오가스화 과정에서 최종적으로 이산화탄소와 메탄으로 전환된다. 유기물의 구성원소 (C, H, O, N)로 부터 발생하는 메탄가스 발생량은 Tchobanoglous et al. (1993)⁷⁾의 화학적 양론식 <Eq-1>을 이용하여 산정한다.

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

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)

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

2.5.2. 실제 현장 메탄가스 수율

7개소 정밀모니터링 시설의 2017년 운전기간 자료를 수집하여 실제 현장에서 발생하는 메탄가스 발생량을 산정하였다. 또한 실제 데이터와 이론적 메탄가스 발생량을 비교하여 시설의 운전 효율을 점검하였다.

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

유기성폐자원은 혐기성분해를 통해 메탄(CH₄), 이산화탄소(CO₂), 산소(O₂), 황화수소(H₂S), 암모니아(NH₃) 등 여러 성상으로 바이오가스화가 된다. 바이오가스에 대부분의 성상은 메탄과 이산화탄소이며, 이를 측정

하기 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.

2.5.4. 수분 함량(노점온도, 절대습도, 상대습도)

소화조에서 발생한 바이오가스는 많은 양의 수증기를 포함하고 있으며, 수송용 및 도시가스 배관망에 주입하기 위해서는 모두 적절한 제습설비가 요구되어진다. 고품질 정제설비에는 모두 냉각기를 이용한 제습을 통해 수분이 제거된다. 제습효과 및 바이오가스 효율화 분석을 위해 노점계(S505 Sensor)를 이용하여 고품질 정제설비 전단에서의 수분을 정하였다. 또한, 시설 지점 별 바이오가스의 노점온도(°C)와 절대습도(g/m³), 가스온도(°C)에 따른 상대습도(%)를 측정하였다.

2.6. 분자생물학적 균유전체(Metagenome) 분석

계절 별 소화조 내 미생물 균유전체의 양상을 확인하고자 분자생물학적 시퀀싱 (Sequencing) 분석을 실시하였다. 정상 운전상태의 정밀모니터링 대상 시설 중 7개소의 혐기소화조 유출액에 존재하는 박테리아와 고세균 (Archaea)의 염기 서열을 증폭/추출하여 rRNA 데이터베이스와 상동성을 비교하였다.

3. 연구결과

3.1. 현장조사 결과

운영 중인 유기성폐자원 바이오가스 고품질화 시설 7개소를 대상으로 현장조사를 실시한 결과, 수송용 및 도시가스 배관 주입용을 위한 고품질화 과정으로 분류하였다. Fig. 3과 같이 최초 혐기소화조에서 발생하는 바이오가스(raw biogas)를 탈황 및 제습하는 가스 전처리 공정(pre-treatment system)과 바이오메탄(biomethane)으로 정제하기 위한 고품질화 정제 공정(upgrading system)으로 구분되어 진다. 현장조사 결과, 바이오가스 가스전처리 및 고품질화 공정 별 특징과 문제점을 나타냈다. 또한 바이오메탄 활성화를 위한 현장에서의 의견을 정리하였고, Table 3과 같이 요약하였다.

3.2. 가스 전처리 공정(pre-treatment system) 특징 및 문제점

3.2.1. 탈황 전처리

바이오가스의 성분인 황화수소와 수분이 결합하여 황산이 되며, 결합된 황산이 고품질화 정제설비 등에 마모와 부식을 유발한다. 따라서 현장조사 된 모든 시설이 소화조에 철염을 투입하여 황화수소 농도를 1,000 ppm 이하로 관리하고 있는 것을 확인하였다.

바이오가스 내 황화수소 제거를 위한 탈황(건식, 습식)설비를 가동하는데 있어 용량, 충전제에 따른 제거효율, 교체주기와 같은 운영자료가 미비하여 운영에 어려움이 있다.

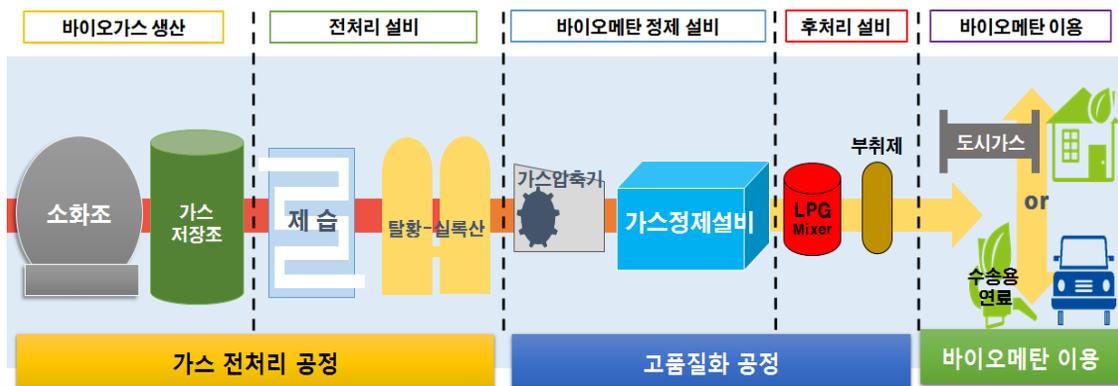


Fig. 3. Plant process chart for classification of biomethane manufacturing facility(example).

3.2.2. 제습 전처리

고품질화 정제설비의 운영 특성상 가스압축기를 이용하여 높은 압력(9 bar)으로 바이오가스가 압축된다. 도시가스 배관에 주입과 수송용 연료로 사용하기 위한 고압압축과정에서 바이오가스 내에 수증기가 많이 응축되어 발생하므로 운영편리성을 위해 사전에 전처리 제습이 요구되어진다.

3.2.3. 실록산 전처리

하수슬러지는 세제에 포함된 계면활성제의 규소 성분이 다량 포함되어 흡착제와 멤브레인 등의 공극을 막아 고품질화 정제효율을 감소시키고 교체주기가 빨라지게 되므로 실록산 전처리를 통한 관리가 요구된다.

Table 3. Problems of Operation in Field Investigation of Biogasification Facilities and Upgrading Systems

구분	특징 및 문제점
가스 전처리 공정	<ul style="list-style-type: none"> • 탈황 전처리 <ul style="list-style-type: none"> - 바이오가스 내 황화수소로 인한 고품질화 정제설비 등 마모 및 부식을 유발, 소화조에 철염을 투입하여 황화수소 농도를 1,000 ppm 이하로 유지 - 탈황(건식, 습식)설비운영에 용량, 충전제에 따른 효율, 주기와 같은 운영자료가 미비 • 제습 전처리 <ul style="list-style-type: none"> - 고품질화 정제설비에 수증기가 많이 응축되어 운영편리성을 위한 제습 요구 - 흡착법, 멤브레인 고품질화 정제효율이 저하되어 제습처리 요구 • 실록산 전처리 <ul style="list-style-type: none"> - 실록산이 고품질화 공정의 공극을 막아 정제효율을 감소 및 교체주기가 빨라짐 • 기타 전처리 <ul style="list-style-type: none"> - 반입폐기물 저류조를 설비하여 일정한 성분으로 투입물을 유지 - 가축도축부산물물의 절단, 분쇄 등의 전처리가 어려워 잦은 시설고장의 원인이 됨
고품질화 공정	<ul style="list-style-type: none"> • 흡수법 (Water Scrubbing) <ul style="list-style-type: none"> - 용매의 용해도 차이를 이용하여 메탄(CH₄) 분리하는 원리 - 화학약품 투입이 없어 친환경적으로 운영이 가능, 폐수처리공정이 요구됨. - 겨울철 외기온도에 따라 용해도 차이가 생겨 운영효율 저감 및 설비규모가 큼 • 흡착법 (Pressed Swing Absorption) <ul style="list-style-type: none"> - 제올라이트, 탄소분자체(CMS)를 이용하여 CO₂를 흡착하여 메탄(CH₄)을 농축하는 원리 - 고농도 H₂S 처리를 위해 별도의 탈황시설이 요구되며, 흡착제 성능 보장을 위한 수분제어 요구 - 흡수법에 비해 시설운영비가 약 1.2배 정도 높음 • 막분리법_멤브레인 (Membrane) <ul style="list-style-type: none"> - 기체분리 시 상변화가 없어 에너지측면에서 효율적으로 운영가능 - 타 고질화 공정에 비해 설치비가 약 60% 저렴하고, 소규모 장소에서 운영이 가능 • 바이오메탄 정제 공정 <ul style="list-style-type: none"> - 정제되는 가스의 재순환, 단계추가를 통해 메탄순도를 향상 - 가스압축기(9 bar) 공정을 통해 응축되는 수분 제거를 위해 워터트랩 및 기액분리기 설비 - 불일정한 바이오가스 생산량으로 인해 고품질화 공정 내 인버터 형식의 모터 사용과 가스 유량 조절을 위한 가스균등조(buffer tank) 설치
바이오메탄 이용	<ul style="list-style-type: none"> • 도시가스 배관망 주입 <ul style="list-style-type: none"> - 액화된 부취제 취급에 따른 관리·운영이 까다롭고, 소규모 생산시설에서 부취농도 기준에 부합하기가 어려움. - 도시가스 공급규정에 따라 제조된 바이오메탄에 LPG 약 8% 혼합하여 발열량 10,400 kcal/m³을 만족하여야만 공급이 가능(운영비의 약 20%) • 수송용 연료 <ul style="list-style-type: none"> - 계절에 따른 가스 생산량 차이 및 수요수량 예측을 통해 용량 및 운영계획 마련 요구 - 대형차량에 원활한 운행을 위한 연량 보전으로 LPG 혼합

3.2.4. 기타 전처리(먼지, 휘발성유기화합물 등 처리 시설)

반입폐기물 저류조가 없는 경우 투입되는 폐기물의 반입시간이 달라지고, 일정한 성상으로 투입물을 유지하기 힘들어 가스 발생량의 기복이 발생한다. 고품질화 설비의 효율보장을 위해 전처리 단계에서 먼지와 휘발성유기화합물 처리가 요구된다.

3.3. 고품질화 정제 공정(upgrading system)의 특징 및 문제점

바이오메탄을 제조하기 위한 고품질화 정제 시스템은 메탄 순도를 약 97%까지 향상시키기 위해 흡수법, 흡착법, 막분리법 등의 공정을 이용한다. 이와 같은 고품질화 정제 설비는 메탄회수율 90%, 메탄 순도 97%까지 가능하지만 두 기준을 동시에 만족하기는 어려워 정제된 가스를 재순환 또는 같은 공정을 3~4 단계 거치게 하여 메탄 순도를 향상시키고 있다.

고품질화 정제 공정에 9bar 이상의 가스 압축기를 운영하는 과정에서 바이오가스 내 수증기가 기압 차이로 인한 응축현상으로 응축수가 많이 발생하므로 고품질화 공정 내에 워터트랩과 기액분리기 등이 운영되어야 한다.

바이오가스의 특성상 생산량이 일정하지 않기 때문에 고품질화 설비 운영에 어려움이 있다. 이를 해결하기 위해 설비 투자비는 다소 비싸지만 운영비용 감소를 위한 인버터 형식의 모터가 도입되어야 한다. 또한 고품질화 정제설비 앞단에 가스 균등조(buffer tank)를 설치하여 가스유량을 일정하게 조절하며 온도차이로 인한 수증기 응축으로 수분이 제거되도록 한다.

3.4. 바이오메탄 이용에 관한 특징 및 문제점

3.4.1. 도시가스 배관망 주입

바이오메탄을 도시가스 배관망에 주입하기 위해서는 “도시가스의 품질기준 등에 관한 고시(산업통상자원부 고시 제2015-287호)”를 만족하여야 한다. 한국가스기술공사에서 바이오메탄 제조시설의 가스 품질기준을 조사하였을 때, 불합격 판정에 약 50%가 부취제 항목을 차지할 정도로 관리하기가 까다

로운 것으로 조사되었다.

부취제란 일종의 방향 화합물로 무취인 천연가스에 첨가하여 냄새로서 가스 누출여부를 확인하게 해주는 물질이다. 부취제 종류에 따라 4-30 mg/m³ (TBM+THT), 3~13 mg/m³ (MES+DMS+TBM+THT)으로 관리되고 있다.

바이오메탄 제조사업소의 경우 천연가스 제조사업소의 비해 규모가 매우 작고, 액화상태인 부취제를 기화시켜 주입하는데 있어 품질기준의 기준농도 범위가 매우 좁아 만족하기가 어려운 것으로 조사되었다. 또한 액화상태의 부취제를 운영 및 관리에 있어 누출에 대한 안전 불안요소가 큰 것으로 조사되었다.

부취제는 폭발의 위험성은 없지만 소량이라도 누출이 될 경우, 가스냄새와 동일하여 주민들의 불안감을 고조시키고, 나아가 시설운영에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

조사된 시설에서 제조되는 바이오메탄의 메탄함량은 약 97%이며, 발열량은 약 9,200 kcal/m³으로 조사되었다. 도시가스 품질기준에서 명시하는 열량기준은 각 지역별 도시가스 공급규정 기준에 따라 조금씩 차이 있지만 약 10,400 kcal/m³으로 조사되었다. 따라서 부족한 열량을 만족하기 위하여 LPG (Liquefied Petroleum Gas)를 약 7~8% 혼합하고 있다. 혐기성소화를 통해 생산되는 메탄은 최대 열량이 약 9,500 kcal/m³이므로 품질기준 만족을 위해서 LPG 혼합이 계속되어야 한다.

3.4.2. 수송용 연료

바이오메탄을 정제하는 시설과 주입설비의 예로는 Fig. 4와 같이 운영된다. 수송용 연료로 제조하는 사업장의 경우, 계절별로 바이오가스 생산량이 기복이 있기 때문에 운영계획을 세워야 하며, 수요차량 수량을 조사하여 시설 용량 및 바이오메탄 제조량을 계획해야 된다. 특히 버스와 같은 대형차량의 경우, 바이오메탄 만으로 필요 열량을 만족시키지 못하는 경우가 발생하여 LPG 혼합 비율을 조정해야 된다.



Fig. 4. Whole view of biomethane manufacturing(water scrubbing) facilities and fuel charging stations.

편집자 주

이 특집원고는 총 3편으로 구성되어 있으며, 2편과 3편은 유기물자원화 27권 2호에 게재될 예정입니다.

사 사

본 논문은 2018년도 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행된 연구임(NIER-RP2018-230)

References

1. National Biogas Strategy(Energigas Sverige), National Biogas Strategy 2.0, (2018).
2. EBA, European biomethane map infrastructure for biomethane production 2018, (2018).
3. Ministry of Environment, 2016 The status of waste generation and treatment in Korea. (2018).
4. Ministry of Environment, Official testing method on wastes, Korea. (2017).
5. Ministry of Environment, Official testing method on water, Korea. (2015).
6. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (USA), Standard methods for the examination of water and wastewater. (1998).
7. Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S., Integrated solid waste management, McGraw-Hill. (1993).
8. Khanal, S.K., Anaerobic biotechnology for bioenergy production principles and applications, Wiley-Blackwell. (2008).
9. Korea Gas Safety Corporation, Research on the establishment plan of proper quality standard of alternative natural gas for the generation of electricity, Korea. (2010).
10. Yen, H. W., 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).
11. Chen, Y., Cheng, J., Creamer, K. S., "Inhibition of anaerobic digestion process: a review", *Journal of Bioresource Technology*, 99(10), pp. 4044~4064. (2008).
12. National Institute of Environmental Research, Translation of guidelines for biogas production and use in Germany, Korea. (2014).
13. Muyzer, G., "The ecology and biotechnology of sulphate-reducing bacteria", *Nature Reviews Microbiology*, 6(6), pp. 441~454. (2008).
14. Chen, S., and Dong, X., "Proteiniphilum acetatigenes gen. nov., sp. nov., from UASB reactor treating brewery wastewater", *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 55, pp. 2257~2261. (2005).
15. Imachi, H., Sekiguchi, Y., Kamagata, Y., Hanada, S., Ohashi, A., and Harada, H., "Pelotomaculum thermopropionicum gen. nov., sp. nov., anaerobic, thermophilic, syntrophic propionate-oxidizing bacterium", *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 52, pp. 1729~1735. (2002).