

고품질화 바이오가스 이용 기술지침 마련을 위한 연구(Ⅲ): 도시가스 및 수송용 - 기술지침(안) 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: Design and Operation Guideline

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: In this study, to optimize the production and utilization of biogas for organic waste resources, the precision monitoring of on-site facilities and the energy balance by facility were analyzed, and the solutions for field problems were investigated, and the design and operation guidelines for pretreatment facilities and generators were presented. Gas pre-treatment is required to solve frequent failures and efficiency degradation in operation of high quality refining facilities, and processing processes such as desulfurization, dehumidification, deoxidization, dust treatment, volatile organic compounds, etc. Since these processes are substances that are also eliminated from the high-quality process, quantitative guidelines are not presented in the gas pretreatment process, but are suggested to operate during the processing process as a qualitative guideline. In particular, dust, siloxane, and volatile organic compounds are the main cause of frequent failure of high-quality processes if they are not removed from the gas pretreatment process. Design of the biogas high-quality process. The operation guidelines provide quality standards [Methane content (including propane) of 95% or more] with 90% or more utilization of the total gas generation, two systems, and a margin of 10% or more. It also proposed installing gas equalization tank, installing thermal automatic control system for controlling equalization of auxiliary fuel, installing dehumidification device at the back of high quality for removing moisture generated in the process of gas compression, installing heat-resisting facilities to prevent freezing of facilities in winter and reducing efficiency, and installing membrane facilities in particular.

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

초 록: 본 연구에서는 유기성폐자원의 바이오가스 생산 및 이용을 최적화를 위해 현장시설의 정밀모니터링과 시설별 에너지수지를 분석하고, 현장문제 해결방안에 대해서 조사하여 전처리시설 및 발전기 등의 설계 및 운전 가이드라인을 제시하였다. 고품질화 정제설비 운영에 잦은 고장 및 효율 저하를 해결하기 위해서는 가스전처리가 필요하며, 탈황, 제습, 탈실록산, 분진 처리, 휘발성유기화합물 등의 처리공정이 있다. 이 공정들은 고품질화 공정에서도 제거되는 물질들이기에 가스 전처리에서는 정량적 가이드라인은 제시하지 않고, 정성적 가이드라인으로 처리공간에 운영하

^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)

도록 제시하였다. 특히, 분진, 실록산 및 휘발성유기화합물 등은 가스 전처리에서 제거되지 않으면 고품질화 공정의 잦은 고장의 주원인이된다. 바이오가스 고품질화 공정에 대한 설계·운전 가이드라인은 전체 가스 발생량의 90 % 이상 이용, 2계열화, 여유율 10 % 이상 감안 등이 있으며, 품질기준[메탄함량(프로판 포함) 95 % 이상]을 제시함. 또한 균등한 바이오가스 유입을 위해 가스균등조 설치, 보조연료 균등투입 제어를 위한 열량자동조절장치 설치, 가스압축과정에서 다량 발생하는 수분 제거를 위한 고품질화 후단의 제습장치 설치, 겨울철 설비의 결빙 및 효율 저하 방지를 위한 보온설비 설치, 특히 멤브레인 설비는 실내 설치 등을 제시하였다.

주제어: 혐기성소화, 바이오가스, 기술지침, 고품질화, 음식물류폐기물

4. 바이오가스를 활용한 발전 및 스팀 생산시설의 이용 기술지침(안)

본 연구에서는 유기성폐자원(음식물/음폐수, 가축분뇨, 하수슬러지) 바이오가스화 시설에 대한 현장조사 및 정밀모니터링 결과를 기반으로 바이오가스 이용을 위한 시설 설계 및 운전 인자에 대한 기술지침(안)을 제시하고자 한다.

4.1. 바이오가스 이용 시설 설계·운전 지침(안)

유기성폐자원(음식물/음폐수, 가축분뇨, 하수슬러지) 바이오가스화 시설에 대한 현장조사 및 정밀모니터링 결과를 기반으로 바이오가스 이용(발전·스팀, 도시가스·수송용 연료)을 위한 시설 설계 및 운전 인자에 대한 기술지침(안)을 제시하고자 한다.

4.1.1. 바이오가스 이용 시설 설계시 전체적용 사항

바이오가스 유량계는 발생량과 이용량이 측정될 수 있도록 각각 설치해야하며, 소화조에서 바이오가스 발생 직후 및 바이오가스 이용 시설 전단에 바이오가스 유량계를 설치하여야 한다. 이 유량계는 주기적으로 유지보수 및 정도관리가 되어져야 한다. 또한 이 유량계는 $\text{Nm}^3(0\text{ }^\circ\text{C}, 1\text{기압})$ 로 측정되거나 환산되어져야 한다.

바이오가스 이용은 소내 자체 이용, 발전 및 스팀 이용, 고품질화 이후에 수송용 및 도시가스 이용 등이 있으며, 특히 하수처리장 내에서 발생한 바이오가스는 하수슬러지를 건조 연료화 및 소각 에너지 원 용도로 사용하는 것도 에너지 이용면에서 효율적이라고 하겠다.

바이오가스화 시설에 대한 에너지수지 분석은 유기성 폐자원의 에너지 전환효율 및 플랜트 효율을 체계적으로 최적화하고 향상 시킬 수 있는 수단으로 수행되어야 한다.

바이오가스 생산량은 유입물에 따라서 지역별, 계절별, 요일별 배출 특성이 상이함을 감안하여 예측되어야 한다. 바이오가스화 시설은 지역별, 유입물 물성별, 계절별, 공법별 특성이 다를 수 있으므로 이 지침서에서 제시하는 내용과 상이할 경우는 지자체(민간 시설의 경우는 시공사)에서 전문가 자문회의 또는 위원회 등을 거쳐서 별도로 적용할 수 있다.

4.1.2. 공정별 설계·운전 가이드라인 종합

바이오가스 이용(발전·스팀, 도시가스·수송용 연료) 공정에는 바이오가스 저장, 정제, 이용하는 공정이 해당되며, 그 정제 과정에는 탈황, 제습, 탈실록산, 분진제거 등이 포함된다. 자세한 공정별 설계 및 운전 가이드라인은 아래에 Table 15 ~ 25와 같다.

Table 15. Desulfurization Pre-treatment System Planning and Operational Considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비고
1) 미적정처리로 가스 이용 설비에 고장	<ul style="list-style-type: none"> ☞ 황화수소 농도를 150 ppm 이하[발전시] ☞ 탈황처리 권장 [보일러 이용시] ☞ 탈황처리 권장[고품질화 : 도시가스, 수송 등으로 활용시] 	
2) 사전처리 미흡 및 처리비 과다	<ul style="list-style-type: none"> ☞ 소화조 내에 철염에 의한 화학적 처리 ☞ 소화조 내(소화조 구조가 가능할 경우)에서 생물탈황 실시 	권장사항
3) 처리효율 저조	<ul style="list-style-type: none"> ☞ 건식 탈황 - 충분한 흡착제 양과 체류시간 필요 ☞ 습식 탈황 - 적정 약품사용량 필요 	권장사항
4) 탈황제의 교체주기 짧음	☞ 탈황제의 교체주기를 6개월로 함	권장사항
5) 특수지역(예, 수도권) 대기배출허용농도 미흡	☞ 특수지역의 대기배출허용기준 준수	

Table 16. Dehumidification Pre-treatment System Planning and Operational Considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비고
1) 수분 미처리로 가스 이용 설비에 저해	<ul style="list-style-type: none"> ☞ 발전시 : 측정 위치 - 발전기 유입전(가스균등조 전단) 상대습도 60 % 이하 ☞ 보일러 이용시 : 별도의 처리 농도 없음 ☞ 고품질화 시 : 제습처리 권장[단, 워터스크러빙 방식은 처리 제외] 	
2) 사전 처리 장치 미흡	☞ 간이 제습장치(워터트랩) - 3단 설치 필요	

Table 17. Dust Pre-treatment System Planning and Operational Considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비고
1) 바이오가스내 분진으로 전처리 및 발전기 처리효율 저조	☞ 분진 제거 설비 설치(습식탈황시 불필요, 발전 이용 없이 보일러만 이용시 불필요, 고품질화 설비에서는 분진처리 2단 이상 필요)	

Table 18. Disiloxane Pre-treatment System Planning and Operational Considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비고
1) 하수처리장에서 발전 설비 고장	☞ 실록산 처리기준 : 4 mg/Nm ³ [하수슬러지 처리시에 국한하며, 분진제거와 겸용으로 사용 가능]	
2) 실록산 처리 효율 저조	☞ 적정 공극 크기 이하 처리제 및 처리설비 사용 필요, 충분한 체류시간 필요	

Table 19. Volatile Organic Compounds(VOCs) Treatment System Planning and Operational Considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비고
1) 도시가스 품질 기준 초과하는 VOC 발생	☞ [고품질화] 도시가스로 이용시 VOC 처리를 할 필요 있음(다만, 탈실록산, 분진 제거 공정과 겸용으로 사용 가능)	

Table 20. Biogas Holder Planning and Operational Considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비고
1) 바이오가스 저장조 용량 부족	☞ 일 가스발생량의 1/4 저장용량 확보 (최소 3시간 이상)	

Table 21. Planning and Operational Considerations on All Kinds of Biogas Use

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비 고
적정 가스이용량 저조	☞ 전체 가스발생량의 90 % 이상 이용	
유지보수 곤란 및가동율 저조	☞ 2계열 이상 설치	권장사항
시설 용량 부족	☞ 시설 용량은 여유율을 10 % 이상 감안	
유입 가스의 압력 균등화	☞ 가스 균등조(buffer tank) 설치	권장사항

Table 22. Generation System Planning and Operational Considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시			비 고
	항 목	단 위	허 용 기 준	
1) 바이오가스 품질 저하	CH ₄	%	50 이상	
	H ₂ O	%	상대습도 60	
	H ₂ S	ppm	150 이하	
	실록산	mg/Nm ³	4 이하	
	분 진	μg/Nm ³	10 이하	
2) 환기 부적절	☞ 발전실 평균 온도는 45 °C 이하			
3) 메탄 농도 변화에 따른 효율 저조	☞ 메탄 농도 변동에 따른 공기연료비 자동제어설치			
4) 배출가스 제어 미흡	☞ 「대기보전법」, 수도권대기보전특별법의 배출가스 허용기준 준수			
송배전 장치 설치 미흡	☞ 송배전 장치는 전기안전법 준수			
6) 안전설비 미흡	☞ 연료공급장치에는 역화방지시설과 수동잠금밸브 (연료 공급배관 입구에 가스유출 방지) 설치 ☞ 발전기 접지는 전기안전법 준수 ☞ 윤활유 유출시 화재방지 위하여 윤활유 배관은 엔진의 고온부와 격리하여 설치 ☞ 발전기의 응급상황(냉각수온, 윤활유 압력, 배기온도 등) 신호체계 구축			권장 사항

Table 23. Boiler(Furnace) System Planning and Operational Considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비고
1) 배출 가스 제어 미흡	☞ 대기보전법, 수도권대기보전특별법의 배출가스 허용기준 준수	권장사항

Table 24. Flare Stack Planning and Operational Considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비고
1) 잉여가스연소기 설치기준 및 용량 미설정	☞ 단위공정 및 설비의 외면으로부터 10 m 이상 이격 바이오가스 저장조로부터 20 m 이상 이격시간당 가스발생량의 200 % 이상으로 계획	

5. 결론

본 연구에서는 유기성폐자원인 음식물/음폐수, 가축분뇨, 하수슬러지 폐기물로 바이오가스 생산 및 이용에 최적화 방안을 마련하고자 현장조사, 정밀도 니터링과 시설 별 에너지수지 분석을 수행하였다. 현장의 문제점과 생산되는 바이오가스 성분 분석 및

소화조 전후 성분 분석 결과를 바탕으로 도시가스 및 수송용 연료 이용과 바이오가스의 전처리 및 고품질화 시설에 대한 설계 및 운영 기술지침(안)을 제안하고자 한다.

1. 고품질화 바이오가스 시설(7개)에 대한 현장조사 결과, 가스 전처리, 고품질화, 바이오메탄 이용 등 공정에서 문제점이 조사되었다. 가스전처리

Table 25. Planning and Operational Considerations of Upgrading Process

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비고																																																			
1) 바이오가스 고품질화 설비 시설 전체 사항	☞ 『바이오가스제조사업 제조소의 시설·기술·검사기준 [KGS FP 553 2017, 산업통상자원부 승인시 2017.1.9.]]』에 적용																																																				
2) 수송용 품질 기준미흡	☞ 대기환경보전법 시행규칙 별표 33. 자동차연료, 첨가제 또는 촉매제의 제조기준 준수 - 단, 메탄 함량을 메탄 함량(프로판 포함)으로 개정 중																																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>항 목</th> <th>단 위</th> <th>허 용 기 준</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CH₄</td> <td>부피 %</td> <td>95.0 이상</td> </tr> <tr> <td>H₂O</td> <td>mg/Nm³</td> <td>32 이하</td> </tr> <tr> <td>황분(S)</td> <td>ppm</td> <td>10 이하</td> </tr> <tr> <td>불활성가스 (CO₂, N₂ 등)</td> <td>부피 %</td> <td>5.0 이하</td> </tr> </tbody> </table>	항 목	단 위	허 용 기 준	CH ₄	부피 %	95.0 이상	H ₂ O	mg/Nm ³	32 이하	황분(S)	ppm	10 이하	불활성가스 (CO ₂ , N ₂ 등)	부피 %	5.0 이하																																					
항 목	단 위	허 용 기 준																																																			
CH ₄	부피 %	95.0 이상																																																			
H ₂ O	mg/Nm ³	32 이하																																																			
황분(S)	ppm	10 이하																																																			
불활성가스 (CO ₂ , N ₂ 등)	부피 %	5.0 이하																																																			
3) 가스압축기의 오일 찌꺼기 제거 미흡	☞ 오일 제거 설비(멤브레인, 활성탄 등) 설치 필요(수분, 먼지 등 제거와 겸용 가능)																																																				
4) 도시가스용 품질 기준 미흡	☞ 산업통상자원부 고시 제2015-287호 - 도시가스용 바이오가스에 대한 별도 품질기준 협의 중 (열량 및 웨버지수 변경, 특히, 부취농도 제외 등)																																																				
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>항목</th> <th>단위</th> <th>기준</th> <th>관련규격</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>열량</td> <td>MJ/m³</td> <td>도시가스기준 제2종1항 (사도공급정약최대1060kcal/m³ 최소930kcal/m³)</td> <td rowspan="2">KSISO 6876</td> </tr> <tr> <td>웨버지수</td> <td>MJ/m³</td> <td>5275-5777 (1200-1330kcal/m³)</td> </tr> <tr> <td>전위량</td> <td>ng/m³</td> <td>30 이하</td> <td rowspan="2">KSISO 19739</td> </tr> <tr> <td>부취농도</td> <td>ng/m³</td> <td>4-30(THF-THD) 3-13(MS-THF-THD)</td> </tr> <tr> <td>이산화탄소</td> <td>mol-%</td> <td>25 이하</td> <td rowspan="3">KSISO 6874-6</td> </tr> <tr> <td>산소</td> <td>mol-%</td> <td>0.3 이하(LPG: Air: 10 이하)</td> </tr> <tr> <td>질소</td> <td>mol-%</td> <td>1.0 이하(LPG: Air: 35 이하)</td> </tr> <tr> <td>탄화수소 이슬점</td> <td>-</td> <td>-5°C 이하 up to 7Pa (LPG: Air: -5°C 이하 up to 0.7Pa)</td> <td>KSISO 6570 KSISO 11150 KSISO 23874</td> </tr> <tr> <td>수분이슬점</td> <td>-</td> <td>-12°C 이하 up to 7Pa (LPG: Air: -12°C 이하 up to 0.7Pa)</td> <td>KSISO 10101-3 KSISO 18453</td> </tr> <tr> <td>암모니아</td> <td>ng/m³</td> <td>ND</td> <td>KSISO 7366</td> </tr> <tr> <td>할로겐화물</td> <td>ng/m³</td> <td>10 이하</td> <td>KSIEC 61619</td> </tr> <tr> <td>실록산</td> <td>ng/m³</td> <td>10 이하</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>가황수소공인 이산화탄소</td> <td>mol-%</td> <td>1.0 이하</td> <td>KSISO 6874-6</td> </tr> </tbody> </table>	항목	단위	기준	관련규격	열량	MJ/m ³	도시가스기준 제2종1항 (사도공급정약최대1060kcal/m ³ 최소930kcal/m ³)	KSISO 6876	웨버지수	MJ/m ³	5275-5777 (1200-1330kcal/m ³)	전위량	ng/m ³	30 이하	KSISO 19739	부취농도	ng/m ³	4-30(THF-THD) 3-13(MS-THF-THD)	이산화탄소	mol-%	25 이하	KSISO 6874-6	산소	mol-%	0.3 이하(LPG: Air: 10 이하)	질소	mol-%	1.0 이하(LPG: Air: 35 이하)	탄화수소 이슬점	-	-5°C 이하 up to 7Pa (LPG: Air: -5°C 이하 up to 0.7Pa)	KSISO 6570 KSISO 11150 KSISO 23874	수분이슬점	-	-12°C 이하 up to 7Pa (LPG: Air: -12°C 이하 up to 0.7Pa)	KSISO 10101-3 KSISO 18453	암모니아	ng/m ³	ND	KSISO 7366	할로겐화물	ng/m ³	10 이하	KSIEC 61619	실록산	ng/m ³	10 이하	-	가황수소공인 이산화탄소	mol-%	1.0 이하	KSISO 6874-6
항목	단위	기준	관련규격																																																		
열량	MJ/m ³	도시가스기준 제2종1항 (사도공급정약최대1060kcal/m ³ 최소930kcal/m ³)	KSISO 6876																																																		
웨버지수	MJ/m ³	5275-5777 (1200-1330kcal/m ³)																																																			
전위량	ng/m ³	30 이하	KSISO 19739																																																		
부취농도	ng/m ³	4-30(THF-THD) 3-13(MS-THF-THD)																																																			
이산화탄소	mol-%	25 이하	KSISO 6874-6																																																		
산소	mol-%	0.3 이하(LPG: Air: 10 이하)																																																			
질소	mol-%	1.0 이하(LPG: Air: 35 이하)																																																			
탄화수소 이슬점	-	-5°C 이하 up to 7Pa (LPG: Air: -5°C 이하 up to 0.7Pa)	KSISO 6570 KSISO 11150 KSISO 23874																																																		
수분이슬점	-	-12°C 이하 up to 7Pa (LPG: Air: -12°C 이하 up to 0.7Pa)	KSISO 10101-3 KSISO 18453																																																		
암모니아	ng/m ³	ND	KSISO 7366																																																		
할로겐화물	ng/m ³	10 이하	KSIEC 61619																																																		
실록산	ng/m ³	10 이하	-																																																		
가황수소공인 이산화탄소	mol-%	1.0 이하	KSISO 6874-6																																																		
5) 열량 조절 가능 미흡	☞ 열량자동조절장치 설치(즉, LPG 투입량 조절)	권장사항																																																			
6) 고질화 후 수분 조절 미흡	☞ 고질화 후단에 필요시 제습 장치 설치 필요	권장사항																																																			
7) 고질화 설비의 결빙 및 효율 저하	☞ 고질화 설비의 보온 설치 필요(멤브레인은 실내설치 권장)																																																				

공정에서는 탈황, 제습, 먼지, 실록산, 휘발성유기화합물 등에 대한 전처리 부족으로 고품질화 설비에 대한 효율 저하 및 잦은 고장 등을 유발하였다. 고품질화 공정에서는 바이오가스 비균등 유입, 보조연료 비균등 투입, 압력 증대 시 수분 다량 발생, 겨울철 설비 결빙 및 효율 저하 등 문제점이 있다. 바이오메탄 이용 공정에서는 도시가스 및 수송용 연료 이용시 불합리한 품질기준 부분이 있었다.

2. 바이오가스의 전처리 및 고품질화 공정을 위한 기초조사 결과, 바이오가스 발생량은 톤당 71.9 Nm³, 0.63 Nm³CH₄/kgVS 으로 높게 나타났다. 메탄, 이산화탄소, 황화수소, 암모니아, 수분이슬점 등 각각 농도는 소화조 직후에서 65.5 %, 36.6 %, 949 ppm, 411 ppm, 27.9 °C 이고, 고품질화에 투입 가스에서 64.0 %, 36.7 %, 117 ppm, 13.2 ppm, 25.8 °C 이고, 고품질화 이후 바이오메탄 이용 가스에서는 97.5 %, 2.1 %, 0.3 ppm, 0 ppm, -12 °C 등이다.

3. 바이오가스화 시설에 대한 정밀모니터링 결과, 유기물분해율은 평균 66.3 %으로 음식물류폐기물에 대해 약 77~85 % 정도이고, 가축분뇨 63.4 %, 하수슬러지 40.5 %이었다. 혐기소화 이후에 TN, TP는 각각 4,052 mg/L, 428 mg/L, 휘발성지방산은 평균 1,870 mg/L으로 안정적 소화를 보였다. C/N비는 11.4이었으며, 하수슬러지의 C/N비만 7.9로 탄소성분 부족으로 나타났다.
4. 에너지수지 분석 결과, 음식물류폐기물(SDG) 시설에서 유입물을 바이오가스로 전환하는 전환효율이 78.2 %, 가축분뇨(HC) 시설에서 62.4 %로 높게 나타났다. 바이오가스 전환 효율에서 소비전력량을 제외한 바이오가스 생산 효율은 음식물류폐기물 시설에서 77.0 %, 가축분뇨 시설에서 58.2 %로 나타났고, 생산된 바이오가스에서 미이용분을 제외한 플랜트 효율은 음식물류폐기물 시설에서 72.0 %, 가축분뇨 시설에서 52.4 %로 나타났다.
5. 고품질화 정제설비 운영에 잦은 고장 및 효율 저하를 해결하기 위해서는 가스전처리기가 필요하며, 탈황, 제습, 탈실록산, 분진 처리, 휘발성 유기화합물 등의 처리공정이 있다. 이 공정들은 고품질화 공정에서도 제거되는 물질들이기에 가스 전처리에서는 정량적 가이드라인은 제시하지 않고, 정성적 가이드라인으로 처리공정 간에 운영하도록 제시하였다. 특히, 분진, 실록산 및 휘발성유기화합물 등은 가스 전처리에서 제거되지 않으면 고품질화 공정의 잦은 고장의 주원인이 된다.
6. 바이오가스 고품질화 공정에 대한 설계·운전 가이드라인은 전체 가스 발생량의 90 % 이상 이용, 2계열화, 여유율 10 % 이상 감안 등이 있으며, 품질기준[메탄함량(프로판 포함) 95 % 이상]을 제시함. 또한 균등한 바이오가스 유입을 위해 가스균등조 설치, 보조연료 균등투입 제어를 위한 열량자동조절장치 설치, 가스압축과정에서 다량 발생하는 수분 제거를 위한 고품질화 후단의 제습장치 설치, 겨울철 설비의 결빙 및 효율 저하 방지를 위한 보온설비 설치, 특히 멤브레인 설비는 실내 설치 등을 제시하였다.

편집자 주

이 특집원고는 총 3편으로 구성되어 있으며, 1편은 유기물자원화 27권 1호에, 2편은 27권 2호에 게재되었습니다.

사사

본 논문은 2018년도 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행된 연구임(NIER-2018-01-01-044)

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 G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil, Integrated solid waste management, McGraw-Hill. (1993).
- 8 S.K. Khanal, 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 Y. Hong-Wei, D.E. Brune, Anaerobic co-digestion

- of algal sludge and waste paper to produce methane, *Journal of Bioresource Technology*. (2007).
- 11 Y. Chen, J. Cheng, K.S. Creamer, Inhibition of anaerobic digestion process: a review, *Journal of Bioresource Technology*. (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. (2008).
- 14 Shuangya Chen, Xiuzhu Dong, *Proteiniphilum acetatigenes* gen. nov., sp. nov., from UASB reactor treating brewery wastewater, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. (2005).
- 15 Imachi, *Pelotomaculum thermopropionicum* gen. nov., sp. nov., anaerobic, thermophilic, syntrophic propionate-oxidizing bacterium, *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. (2002).