

## 바이오가스 이용 기술지침 마련을 위한 연구(III) - 기술지침(안) 중심으로

문희성, 배지수, 박호연, 전태완, 이영기, 이동진<sup>†</sup>

국립환경과학원 환경자원연구부

### A Study on Establishment of Technical Guideline of the Installation and Operation for the Biogas Utilization of Power generation and Stream - Design and Operation Guideline

HeeSung Moon, Jisu Bae, Hoyeun Pack, Taewan Jeon, Younggi Lee, Dongjin Lee<sup>†</sup>

Environmental Resource Research Department, National Institute of Environmental Research

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

**ABSTRACT:** As a guideline for desulfurization and dehumidification pretreatment facility for optimizing utilization of biogas, the H<sub>2</sub>S concentration is set at 150 ppm which can be treated with iron salts, dehumidification is the optimum value for generator operation, and the relative humidity applied at the utilization of biogas in EU is set at 60 %. We have set up the generator facility guidelines to optimize utilization of biogas. The appropriate amount of biogas should be at least 90 % of the total gas generation, and the capacity of generator facility should be set at 20 ~ 30 %. In order to equalize the pressure of the incoming gas the generator, a gas equalization tank should be installed and the generator room average temperature should be kept at 45 °C or less. Since the gas is not produced at a certain methane concentration in the digester, the efficiency is lowered. Therefore, it is required to install an air fuel ratio control system according to the change in methane concentration. Therefore, it is necessary to compensate for the disadvantages of biogasification facilities of organic waste resources and optimize utilization of biogas and improve operation of facilities. This study was conducted to optimize biogas utilization of type of organic waste(containing sewage sludge and food waste, animal manure), investigate the facilities problem and propose design, operation guidelines such as pre-treatment facilities and generators.

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

**초록:** 바이오가스 이용 최적화를 위해 탈황 및 제습 전처리시설 가이드라인으로 H<sub>2</sub>S 농도는 철염으로 처리가능한 150 ppm으로 설정하고, 제습은 발전기 운전 적정수분 값이며 EU회원국에서 바이오가스 활용 시 적용하는 상대습도 60 %로 설정하였다. 국내 바이오가스 평균 온도인 31 °C에서 상대습도 60 %로 적용한다면 노점온도 22°C, 절대습도 20.57 g/m<sup>3</sup>으로 나타낼 수 있으며, 전처리 설비가 적절히 가동된다면 가이드라인에 만족하여 바이오가스의 이용이 최적화 될 것으로 사료된다.

바이오가스 이용 최적화를 위해 발전기 설비 가이드라인을 설정하고자 하였다. 바이오가스 적정 이용량으로는

<sup>†</sup> Corresponding author(e-mail : dongji7@korea.kr)

전체 가스 발생량의 90 % 이상을 이용해야하며, 발전기 시설의 용량은 여유율을 10~30 %로 설정해야 한다. 발전기에 유입가스의 압력을 균등화하기 위해서는 가스 균등조(buffer tank)를 설치하며, 발전실 평균온도는 45 °C 이하로 유지한다. 소화조에서 일정한 메탄농도로 가스가 생성되지 않아 효율이 저하되므로 메탄농도에 변화에 따른 공기연료비 제어시스템을 설치가 요구된다.

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 제시하고자 한다.

**주제어:** 병합 소화, 바이오가스, 발전, 스팀, 음식물류폐기물

### 4. 에너지수지 분석 결과

#### 4.1. 조사대상시설

전국 유기성폐자원 바이오가스화 시설을 조사하여 에너지수지를 분석하였고, 유입 폐기물은 음폐수, 음식물, 가축분뇨, 하수슬러지로 분류하였고 시설별 특성은 Table 15와 같다.

#### 4.2. 에너지수지 분석 결과

##### 4.2.1. 유입에너지

조사시설의 유입에너지 현황은 Table 16과 같으며, 음식물/음폐수의 원료유입에너지는 평균 47,458 MWh/년으로 전력소비량은 3,119 MWh/년으로 분석되었다.

##### 4.2.2. 유출에너지

조사시설의 유기성폐자원의 바이오메탄 생산 및 이용 현황은 Table 17과 같으며, 바이오메탄 이용형태 별 에너지 유출량은 Table 18과 같다.

##### 4.2.3. 에너지수지 및 효율

유기성폐자원의 조사시설 별 유입에너지와 유출에너지의 바이오메탄 생산 및 이용 현황을 분석한 결과는 Table 19와 같다. 음폐수 및 음식물 바이오가스화 시설은 80.1 % 이상의 바이오가스 전환효율을 나타냈고, 가축분뇨 바이오가스화 시설은 86.5 %, 하수슬러지 바이오가스화 시설은 22.8 ~ 57.7 %의 바이오가스 전환효율이 나타났다.

유입원료의 에너지잠재량과 소비전력 에너지를

Table 15. Outline of biogasification facilities for energy balance analysis

시설	유형	원료유입		소화액처리		바이오가스 이용			폐열이용
		주원료	부원료	소화액 처리	최종 처리	외부	내부	에너지 연계시설	
GJ	단독	음폐수	-	폐수	하수	-	스팀보일러 (음식물사료화)	-	음식물건조 폐열회수
SM	단독	음폐수	-	폐수	침출수	-	슬러지건조연료 RTO연료	슬러지 건조	온수보일러
CJ	단독	음폐수	-	폐수	하수	발전	RTO연료	-	발전 폐열회수
DM	단독	음식물	-	폐수	방류	발전	RTO연료	-	발전 폐열회수
NS	통합	가축 분뇨	음폐수	액비화	농지 환원	발전	-	-	발전 폐열회수
GS	통합	하수 슬러지	음폐수	-	하수	-	슬러지 건조연료	슬러지 건조	슬러지건조 폐열회수
BC	단독	하수 슬러지	-	-	하수	발전	슬러지 건조연료	슬러지 건조	발전 폐열회수
AS	단독	하수 슬러지	-	-	하수	발전	슬러지 건조연료	-	온수보일러

\* NS 시설은 3개월간의 운전 자료를 이용

Table 16. Status of inflow resource and energy of resource by biogasification facilities(2016)

시설	원료유입(톤/년)				원료 유입에너지(MWh/년)				전력 소비량 <sup>1)</sup>
	음식물류	가축분뇨	하수 슬러지	계	음식물류	가축분뇨	하수 슬러지	계	
GJ	77,100	-	-	77,100	32,819	-	-	32,819	1,268
SM	165,200	-	-	165,200	87,901	-	-	87,901	4,895
CJ	48,840	-	-	48,840	34,786	-	-	34,786	2,539
DM	33,092	-	-	33,092	34,326	-	-	34,326	3,772
NS	1,497	7,508	-	9,004	1,551	1,577	-	3,128	1,027
GS	34,955	-	178,677	213,632	36,219	-	47,254	83,473	N.E. <sup>2)</sup>
BC	50,700	-	552,900	603,600	24,364	-	126,954	151,318	N.E.
AS	-	-	319,331	319,331	-	-	95,581	95,581	N.E.

- 1) 바이오가스화 시설의 소비전력.
- 2) 바이오가스화 시설의 소비전력 구분 불가(Not estimated).

Table 17. Status of production and use of methane by biogasification facilities(2016)

시설	메탄생산 (천Nm <sup>3</sup> /년)	메탄 이용(천Nm <sup>3</sup> /년(MWh/년))				
		잉여가스 연소	보일러	하수슬러지 처리	탈취 소각로	발전
GJ	3,239	702	2,207	121	209	-
SM	7,770	2,733	-	4,513	523	-
CJ	2,798	1,177 <sup>1)</sup>	-	-	-	4,668 <sup>1)</sup>
DM	2,490	1,815	-	-	1,747	394
NS	245	13	-	-	-	232
GS	2,299	-	-	1,819	-	-
BC	7,909	335	-	3,502	-	3,910
AS	1,974	377	1,597	-	-	-

- 1) C시설의 메탄 이용은 MWh/년 단위임.

Table 18. Status of production energy and using energy by biogasification facilities(2016)

시설	전력 생산(MWh/년)		연소열 이용 (MWh/년)	잉여가스 연소 (MWh/년)	계 (MWh/년)
	전기	폐열			
GJ	-	-	28,022	7,759	35,781
SM	-	-	55,634	30,194	85,828
CJ	5,181	12,088	-	1,306	18,575
DM	1,304	3,043	19,302	20,052	43,701
NS	768	1,791	-	148	2,707
GS	-	-	20,098	-	20,098
BC	12,956	30,231	38,681	3,702	85,570
AS	-	-	17,641	4,161	21,802

- 주1) C시설의 메탄 이용은 MWh/년 단위임.

고려한 바이오가스 생산효율은 음식물류 폐기물의 바이오가스화 시설에서 72.2 %이상을 나타냈으며, CJ, SM시설의 바이오가스 생산효율이 105.0 %와

95.2 %로 높게 평가되었다. 특히 GJ시설의 경우 이론적으로 불가능한 109.0 %의 전환효율을 보였으며, 이러한 현상은 유입 음식물류 폐기물의 원료성상

Table 19. Energy balance and efficiency energy by biogasification facilities(2016)

시설	유입(MWh/년)		유출(MWh/년)		수지(%)	효율(%)		
	원료유입 에너지 (A)	소비전력 (B)	에너지 이용 <sup>1)</sup> (C)	미이용 <sup>2)</sup> (D)	에너지 수지 <sup>3)</sup> (A+B)-(C+D)	바이오가스 전환 효율 <sup>4)</sup> (C+D)/A	바이오가스 생산 효율 <sup>5)</sup> (C+D)/(A+B)	플랜트 효율 <sup>6)</sup> C/(A+B)
GJ	32,819	1,268	28,022	7,759	-1,694.10	109	105	82.2
SM	87,901	4,895	55,637	30,194	6,964.70	97.6	92.5	60
CJ	34,786	2,539	29,600	1,306	6,419.60	88.8	82.8	49.3
DM	34,326	3,772	7,459	20,052	10,587.40	80.1	72.2	19.6
NS	3,128	1,027	2,558	148	1,449.00	86.5	65.1	61.6
GS	83,473	N.E. <sup>7)</sup>	25,395	-	-	30.4	-	-
BC	151,318	N.E.	83,664	3,702	-	57.7	-	-
AS	95,581	N.E.	17,641	4,161	-	22.8	-	-

주1) 바이오가스 이용 전력생산 및 열 생산 이용 에너지.  
 주2) 잉여가스 연소에 의한 미이용 바이오가스 에너지.  
 주3) 바이오가스 시설의 에너지 수지(“+”는 바이오가스로 전환되지 않고 소화액으로 배출되는 미분해 유기물의 에너지 잠재량을 의미, “-”는 외부로부터 추가 유입된 전력 등의 소비 에너지량을 의미).  
 주4) 유입 유기성 폐자원의 에너지 전환비율.  
 주5) 소비전력 등 투입에너지를 고려한 바이오가스 생산 효율.  
 주6) 소비전력 등 투입에너지를 고려한 바이오가스 이용 효율(바이오가스 미이용 제외).  
 주7) 바이오가스화 시설의 소비전력 구분 불가(Not estimated).

변이에 따른 유입에너지량의 과소평가 또는 바이오 가스 생산량의 과다측정으로 유량 계측기 오류에서 기인한 것으로 판단된다.

4.2.4. 문제점 및 개선 방안

유기성폐자원 바이오가스화 시설의 에너지수지 분석은 에너지전환 효율과 시설의 효율을 평가할 수 있는 중요한 수단으로 활용 가능하나, 바이오 가스 생산량의 과다 측정된 CJ시설과 같은 오류를 줄이기 위해서 유입원료의 성분분석 및 생산된 바이오가스의 유량계측의 표준화가 요구된다.

또한 하수슬러지 혐기소화 시설 및 음식물 폐기물 사료화 등 연계하는 복합시설의 경우, 시설내 사용전력이 통합적으로 계측되고 있어, 바이오가스화 시설 내 전력사용량을 확인하는데 어려움이 있다.

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

본 연구에서는 유기성폐자원(음식물/음폐수, 가축

분뇨, 하수슬러지) 바이오가스화 시설에 대한 현장 조사 및 정밀모니터링 결과를 기반으로 바이오가스 이용을 위한 시설 설계 및 운전 인자에 대한 기술지침(안)을 제시하고자 한다.

5.1. 바이오가스 이용 시설 설계·운전 지침(안)

5.1.1 바이오가스 이용 시설 설계시 전체적용 사항

바이오가스 유량계는 발생량과 이용량이 측정될 수 있도록 각각 설치해야하며, 소화조에서 바이오 가스 발생 직후 및 바이오가스 이용 시설 직전에 바이오 가스 유량계를 설치하여야 한다. 이 유량계는 주기적으로 유지보수 및 정도관리가 되어져야 한다. 또한 이 유량계는 Nm<sup>3</sup>(0 °C, 1기압)로 측정되거나 환산되어져야 한다.

바이오가스 이용은 소내 자체 이용, 발전 및 스팀 이용, 고질화 이후에 수송용 및 도시가스 이용 등이 있으며, 특히 하수처리장 내에서 발생한 바이오가스는 하수슬러지를 건조 연료화 및 소각 에너지원 용도로 사용하는 것도 에너지 이용면에서 효율적이라

고 하겠다.

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

바이오가스 생산량은 유입물에 따라서 지역별, 계절별, 요일별 배출 특성이 차이함을 감안되어 예측되어야 한다.

바이오가스화 시설은 지역별, 유입물 물성별, 계절별, 공법별 특성이 다를 수 있으므로 이 지침서에

서 제시하는 내용과 상이할 경우는 지자체(민간 시설의 경우는 시공사)에서 전문가 자문회의 또는 위원회 등을 거쳐서 별도로 적용할 수 있다.

5.1.2 공정별 설계 · 운전 가이드라인 종합

바이오가스 이용 공정에는 바이오가스 저장, 정제, 이용하는 공정이 해당되며, 그 정제 과정에는 탈황, 제습, 탈실록산, 분진제거 등이 포함된다. 자세한 공정별 설계 및 운전 가이드라인은 아래에 Table 20~ Table 27과 같다.

Table 20. Desulfurization pre-treatment system planning and operational considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비고
1) 미적정처리로 가스 이용 설비에 고장	☞ 황화수소 농도를 150 ppm 이하[발전시] ☞ 별도 제한 농도 없음[보일러 이용시]	
2) 사전처리 미흡 및 처리비 과다	☞ 소화조 내에 철염에 의한 화학적 처리 ☞ 소화조 내(소화조 구조가 가능할 경우)에서 생물 탈황 실시	권장사항
3) 처리효율 저조	☞ 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 21. Dehumidification pre-treatment system planning and operational considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비고
1) 수분 미처리로 가스 이용 설비에 저해	☞ 발전시 : 측정 위치 - 발전기 유입전(가스균등조 전단) 상대습도 60 % 이하 ☞ 보일러 이용시 : 별도의 처리 농도 없음	
2) 사전 처리 장치 미흡	☞ 간이 제습장치(위터트랩) - 3단 설치 필요	

Table 22. 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)	

Table 23. Disiloxane pre-treatment system planning and operational considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비고
1) 하수처리장에서 발전 설비 고장	☞ 실록산 처리기준 : 4 mg/N <sup>3</sup> m	하수 슬러지 국한
2) 실록산 처리 효율 저조	☞ 적정 공극 크기 이하 처리제 및 처리설비 사용 필요, 충분한 체류시간 필요	

Table 24. Generation system planning and operational considerations

문 제 점	GUIDE LINE 제시	비 고																		
1) 적정 가스이용량 저조	☞ 전체 가스발생량의 90 % 이상 이용																			
2) 유지보수 곤란 및 가동률 저조	☞ 발전설비 2계열 이상 설치. 단, 150 Kw 이하는 제외	권장 사항																		
3) 발전기의 시설 용량 부족	☞ 발전기 시설 용량은 여유율을 10~30 %로 함																			
4) 바이오가스 품질 저하	<table border="1"> <thead> <tr> <th>항 목</th> <th>단 위</th> <th>허 용 기 준</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CH<sub>4</sub></td> <td>%</td> <td>50 % 이상</td> </tr> <tr> <td>H<sub>2</sub>O</td> <td>g/m<sup>3</sup>%</td> <td>상대습도 60 %</td> </tr> <tr> <td>H<sub>2</sub>S</td> <td>ppm</td> <td>150 이하</td> </tr> <tr> <td>실록산</td> <td>mg/N<sup>3</sup>m</td> <td>4 이하</td> </tr> <tr> <td>분 진</td> <td>μg/N<sup>3</sup>m</td> <td>10 이하</td> </tr> </tbody> </table>	항 목	단 위	허 용 기 준	CH <sub>4</sub>	%	50 % 이상	H <sub>2</sub> O	g/m <sup>3</sup> %	상대습도 60 %	H <sub>2</sub> S	ppm	150 이하	실록산	mg/N <sup>3</sup> m	4 이하	분 진	μg/N <sup>3</sup> m	10 이하	
	항 목	단 위	허 용 기 준																	
	CH <sub>4</sub>	%	50 % 이상																	
	H <sub>2</sub> O	g/m <sup>3</sup> %	상대습도 60 %																	
	H <sub>2</sub> S	ppm	150 이하																	
	실록산	mg/N <sup>3</sup> m	4 이하																	
분 진	μg/N <sup>3</sup> m	10 이하																		
5) 발전기 유입 가스의 압력 균등화	☞ 가스 균등조(buffer tank) 설치																			
6) 환기 부적절	☞ 발전실 평균 온도는 45 °C 이하																			
7) 메탄 농도 변화에 따른 효율 저조	☞ 메탄 농도 변동에 따른 공기연료비 자동제어 설치																			
8) 배출가스 제어 미흡	☞ 대기보전법, 수도권대기보전특별법의 배출가스 허용 기준 준수																			
9) 송배전 장치 설치 미흡	☞ 송배전 장치는 전기안전법 준수																			
10) 적용 관련법규의 미확립	☞ 바이오메탄 연료 품질기준(대기환경보전법 시행규칙 별표 33, KS M 2890) 도시가스사업법에 시설·기술·검사 기준 등																			
11) 안전설비 미흡	☞ 연료공급장치에는 역화방지시설과 수동잠금밸브 (연료공급배관 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 25. 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 26. 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 27. 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 이격바이오가스 저장조로부터 20 m 이상 이격시간당 가스발생량의 200 % 이상으로 계획	

## 6. 결론

본 연구에서는 유기성폐자원인 음식물/음폐수, 가축분뇨, 하수슬러지 폐기물로 바이오가스 생산 및 이용에 최적화 방안을 마련하고자 현장조사, 정밀모니터링, 미생물분석과 시설 별 에너지수지 분석을 수행하였다. 현장의 문제점과 생산되는 바이오가스 성상 분석 및 소화조 전후 성상 분석 결과를 바탕으로 바이오가스 시설의 전처리 및 발전기시설에 대한 설계 및 운영 기술지침(안)을 제안하고자 한다.

1. 전국 12개소 유기성폐자원 바이오가스화 시설을 대상으로 현장조사를 실시하였다. 생산된 바이오가스를 이용하기 위한 가스 전처리 시설인 탈황설비는 바이오가스 내 황화수소( $H_2S$ )가 수분( $H_2O$ )과 결합하여 황산( $H_2SO_4$ )을 생산하게 되고, 이는 발전기 내부부품을 마모 및 부식시켜 가동중단을 유발하므로 주요관리가 요구된다. 발전기 설비의 요구 상대습도는 약 60%이며 초과하는 시설이 다수 존재하고 있다. 실록산은 나노size로 하수처리장에서 주로 발생하며, 발전기와 내부설비에 쌓이게 되어 발전기 가동이 멈추거나 효율이 저하의 원인이 된다. 바이오가스를 이용하는 발전기의 경우 유지보수의 정해진 기간이 확실하지 않고, 외부전문가의 유지보수가 요구된다.
2. 바이오가스화 탈황 및 제습 전처리 시설 별 바이오가스 성상을 분석하였다. 현재 탈황처리과정으로 소화조 내에 철염을 투입하는 DM, JJ, JE, SN시설의 경우 소화조 후단에서  $H_2S$ 의 농도가 평균 2,000 ~2,500 ppm 이상일 때 반입되는 유기성폐자원의 종류와 상관없이 약 55~195 ppm으로 낮게 측정되었다. 황화수소 전처리를 통해 JJ, SM, NS, SM, AS 시설은 평균 94%의 효율을 보였으며, GJ, BC, GS 시설은 보일러를 활용한 소각 방식으로 탈황효율이 미흡한 것으로 나타났다. 제습 전처리를 통해 DM, CJ, SM, JE, NS시설은 절대습도 기준 평균 약 47%의 제습효율을 보였으며, CJ시설의 경우 74.8%의 제습효율을 보였다.
3. 전국 11개소 유기성폐자원 바이오가스화 시설

- 을 대상으로 정밀모니터링을 실시하였다. 사계절 평균으로 정밀모니터링 결과를 정리하였을 때, 유기성폐자원 별 효율성 분석에서 유기성분해율은 VS기준 음식물/음폐수는 68.2%(DM 제외 76.8%), 가축분뇨는 66.8%, 하수슬러지의 경우 46.2%로 전체 평균 58.8%이며, CODcr 기준 음식물/음폐수는 59.5%, 가축분뇨는 51.0%, 하수슬러지의 경우 6.33%로 분석되었다. 유기성폐기물 별 유입물의 VS농도는 음식물/음폐수가 9.1%, 가축분뇨가 7.6%, 하수슬러지가 4.5%로 가장 낮았으며, 원소분석시 평균 C/N비는 음식물/음폐수 유입 10.5, 유출 4.5이고, 가축분뇨 유입 11.2, 유출 8.9이며, 하수슬러지 유입 7.6에서 6.7로 나타났다. 시설의 안정성 분석에서 혐기소화조 유출의 VFAs는 기기분석 결과 음식물/음폐수 수분석 3,798 mg/L, 기기분석 2,418 mg/L이며, 가축분뇨 수분석 3,911mg/L, 기기분석 3,641 mg/L이고, 하수슬러지의 수분석 637 mg/L, 기기분석 297 mg/L로 분석되어 기기분석 값이 더 낮게 분석되었다.
4. 유기성폐자원의 시설 별 유입에너지와 유출에너지의 메탄생산 및 이용현황을 에너지수지 분석하였다. 바이오가스 전환율은 음식물/음폐수 시설은 80.1%이며, 가축분뇨 시설은 86.5%, 하수슬러지 시설은 22.8~57.7%로 가장 낮게 분석되었다. 유입원료의 생산효율로는 음식물/음폐수 시설이 72.2% 이상으로 나타났으며, 일부 유입에너지의 과소평가 및 바이오가스 생산량 과다측정으로 이론적으로 불가능한 수치가 분석되었다. 따라서 에너지수지 분석은 에너지전환 효율과 시설 효율을 평가할 수 있는 중요한 수단이지만 정확한 측정을 위한 유량계측 표준화 및 설비 별 전력사용량을 확인할 수 있는 전력계측 표준화작업이 요구된다.
  5. 바이오가스 이용최적화를 위해 탈황 및 제습 전처리시설 가이드라인을 설정하고자 하였다. 전처리 전후 바이오가스 성상을 분석한 결과 철염 및 탈황(건식, 습식)을 이용하여 전체 시설의  $H_2S$  평균은 560 ppm으로 측정되었으며, 저감효율이 90% 이상인 경우 약 40 ppm 까지

감소할 수 있는 것을 확인하였다. 특히 소화조 내에 철염을 투입하면 처리효율 약 93 %이며, 평균 150 ppm까지 감소하는 것을 확인하였다. 제습의 경우 노점온도를 적용한 절대습도와 가스온도에 따른 상대습도를 분석하였으며, 제습설비가 유지보수가 잘되어 가동 중인 시설의 노점온도는 14℃ 절대습도는 12.6 g/m<sup>3</sup>이며, 상대습도는 35 %로 측정되었다. 따라서 바이오가스 이용 최적화를 위해 탈황 및 제습 전처리시설 가이드라인으로 H<sub>2</sub>S 농도는 철염으로 처리가능 한 150 ppm으로 설정하고, 제습은 발전기 운전 적정수분 값이며 EU회원국에서 바이오가스 활용 시 적용하는 상대습도 60 %로 설정하였다. 국내 바이오가스 평균 온도인 31 ℃에서 상대습도 60 %로 적용한다면 노점온도 22℃ 절대습도 20.57 g/m<sup>3</sup>으로 나타낼 수 있으며, 전처리 설비가 적절히 가동된다면 가이드라인에 만족하여 바이오가스의 이용이 최적화 될 것으로 사료된다.

6. 바이오가스 이용최적화를 위해 발전기 설비 가이드라인을 설정하고자 하였다. 바이오가스 적정이용량으로는 전체 가스 발생량의 90 %이상을 이용해야하며, 발전기 시설의 용량은 여유율을 10~30 %로 설정해야 한다. 발전기에 유입 가스의 압력을 균등화하기 위해서는 가스 균등조(buffer tank)를 설치하며, 발전실 평균온도는 45 ℃이하로 유지한다. 소화조에서 일정한 메탄농도로 가스가 생성되지 않아 효율이 저하되므로 메탄농도에 변화에 따른 공기연료비 제어 시스템을 설치가 요구된다.

### 편집자 주

이 특집원고는 총 3편으로 구성되어 있으며, 1, 2편은 유기물자원화 26권 1호에 게재되었습니다.

### 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. Lee, C. Y., Chung, W. J. and Kim, J. T., "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. Hong, J. S. and Kim, H. G., "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 biogasification 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. Jarrell, K. F., Saulnier, M. and Ley, A., "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. Yen, H. W. and Brune, D. E., "Anaerobic co-digestion of algal sludge and waste paper to produce methane", Journal of Bioresource Technology, 98(1), 130~134. (2007).
23. Chen, Y., Cheng, J. and Creamer, K. S., "Inhibition of anaerobic digestion process: a review", Journal of Bioresource Technology, 99(10), pp. 4044~4064. (2008).
24. Khanal, S. K., 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).