

## 일체형 2상 혐기성소화 운전효율 검토를 통한 음폐수 처리 타당성에 관한 연구

송한철<sup>\*,\*\*†</sup>, 김동욱<sup>\*\*</sup>

포스코건설<sup>\*</sup>

인천대학교 건설환경공학과<sup>\*\*</sup>

## Study on Feasibility of Integrated Two-Phase Anaerobic Digestion Using Foodwaste Water by Reviewing of Operating Efficiency

Hancheul Song<sup>\*,\*\*†</sup>, Dongwook Kim<sup>\*\*</sup>

POSCO Engineering & Construction, LTD<sup>\*</sup>

Incheon National University<sup>\*\*</sup>

(Received: Apr. 26, 2016 / Revised: May 11, 2016 / Accepted: May 13, 2016)

**ABSTRACT:** The purpose of this study was to review of technical, economical feasibilities regarding Integrated Two-Phase Anaerobic Digestion(ITPAD) method. In order for that, operation conditions and data with 24tpd capacity of operating ITPAD plant were analyzed. The result showed that VS removal efficiency was 73.7% and total amount of biogas was generated 1,239m<sup>3</sup>/day on the average that represents 54.4m<sup>3</sup>/ton-input of generation efficiency. ITPAD had advantages in terms of required area and energy for heating which were analyzed 15.9%~47%, 11.6%~17.8% lower respectively compared to Conventional Separated Two-Phase Anaerobic Digestion(CSTPAD) method. Thus, it is considered the ITPAD has comparatively high feasibility to be expanded and commercialized to dispose high concentration organic matter of waste such as food waste and its leachate.

**Keywords:** Integrated two-phase anaerobic digestion, Food waste leachate, High concentration organic matter

**초 록:** 본 연구는 음폐수를 대상으로 산발효와 메탄발효가 일체형으로 구성된 혐기성소화방식에 대한 경제적, 기술적 타당성 검토를 위함이며, 이를 위해 현재 운영 중인 24톤/일의 시설 운영현황 분석을 실시하였다. 실험 결과, 음폐수 내에 VS 기준 유기물 제거율은 73.7%로 분석되었으며, 바이오가스는 평균 1,210m<sup>3</sup>/일(54.4m<sup>3</sup>/톤-투입음폐수)이 생산되었다. 일체형 소화조는 구조 특성상 분리형 2상 소화조 대비 설치 면적과 소요 열량이 각각 15.9%~47%, 11.6%~17.8%의 절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 이상의 운전결과를 종합해보면, 분리형 소화 방식 대비 소요부지면적 축소, 시설비 절감 등의 이점이 기대되는 일체형 2상 혐기성소화 방식은 보다 상용화된 대형 플랜트의 적용 타당성이 높을 것으로 판단된다.

**주제어:** 일체형 2상 혐기성소화, 음폐수, 고농도 유기물질

## 1. 서론

1995년 생활폐기물 종량제가 시행되고, 2005년 시도 지역에 한하여 음식물류 폐기물 직매립이 전면 금지된 이후, 우리나라 음식물류 폐기물 육상처리시설 설치는 급속하게 증가하였다. 2013년 기준 환경부의 '음식물류 폐기물 처리시설 설치운영 현황'에 따르면, 가동 중지 상태인 32개 시설을 제외한 208개 음식물류 폐기물 자원화시설이 설치 운영 중이며,<sup>1)</sup> 대부분 사료화와 퇴비화 방식으로 처리되고 있다. 신규설치시설의 경우, 최근 들어 혐기성소화의 비율이 높아지는 추세이다.

음식물 처리 공정 중 발생하는 폐수는 유기물 함량이 매우 높은 고농도 폐수로서 하수 및 오수와는 달리 일반적인 수처리 공법으로는 원만한 처리가 어렵기 때문에 2013년 이전까지는 거의 대부분 해양배출에 의존하여 처리하였다.

그동안 정부는 고농도의 유기폐수인 음폐수를 오염물질로 규정하고 처리의 대상으로 간주하였으나, 최근에는 에너지화 할 수 있는 유기성 자원으로 보고 보다 경제적이거나 에너지를 얻을 수 있는 방법인 혐기성 소화공정을 이용한 바이오가스화 등으로 정책을 전환하고 있다.<sup>2)</sup> 그러나 혐기성 소화공정을 이용한 바이오가스화 과정에서 고농도의 질소와 인이 함유된 유기성 폐수(혐기성소화 탈리액)가 발생하고 있어, 이에 대한 처리문제도 함께 대두되고 있다.

유기물 함량이 COD 기준 약 100,000mg/L~200,000 mg/L이며, 자연계에 심각한 환경영향을 초래할 수 있는 영양염류(T-N, T-P)가 매우 높은 음폐수는 2013년 해양배출 금지를 계기로 육상처리로의 체계 전환이 이루어지고 있으며, 전술하였지만, 그 중심에는 고농도 유기성 폐수 처리에 적합한 혐기성소화 방식이 주류를 이루고 있다. 하지만, 혐기성소화가 고농도 폐수처리에 적합하고 음폐수 자체가 타 유기성 폐수 대비 바이오가스 생산율이 높음에도 불구하고 현재까지 국내 설치된 음폐수 혐기성소화 시설 중 장기간에 걸쳐 꾸준한 안정성을 보여주는 운영 사례를 찾기는 어려운 실정이다.<sup>3)</sup> 이는 현재까지 음폐수 특성을 적절히 반영한 최적화 된 운전기술이 미확립되었으며, 소화 방식에 있

어서도 기존의 획일화된 방식에 의존하였기 때문으로 판단된다.

일반적으로 적용되고 있는 혐기성소화 방식은 산발효와 메탄발효가 하나의 반응조에서 일어나는 단상 방식, 두 단계를 서로 분리하여 개별 반응조에서 일어나는 2상 방식으로 나뉜다. 본 연구의 주제인 일체형 2상 혐기성소화 방식은 일반적인 단상과 2상 방식을 병합한 형태로 하나의 반응조 안에서 내통과 외통을 분류된 공간에서 각각 산발효와 메탄발효가 일어나게 된다. 이러한 소화조 구조를 통해 산발효조와 메탄조 사이의 슬러지 교류가 발생하여 Buffer Zone이 형성되며, 낮은 pH의 산발효조 미생물군에 의한 메탄발효조 pH Shock을 방지하고 전체 혐기소화 공정의 효율, 유기물 분해와 메탄생성 효율을 개선시킨다. 아울러 Buffer Zone을 통해 충분한 체류시간이 확보되므로 급격한 유기물 변동에 의한 유기물 활성도 저해를 최소화 시킬 수 있는 이점이 있다.

본 연구는 기존 음폐수 혐기성소화 방식의 단점을 보완할 수 있는 구조의 일체형 2상 혐기성소화 방식에 대한 유기물 제거 및 바이오가스 생산효율성 검토를 실시하였다. 검토는 현재 설치 운영중인 24톤/일 규모의 음폐수 일체형 2상 혐기성소화시설에서의 소화 전후 유기물 제거율, 바이오가스 생산량 등의 분석을 통해 진행하였다.

## 2. 시설개요 및 운전효율 검토방법

### 2.1 일체형 2상 혐기성소화 개요

일체형 2상 혐기소화조의 계통도는 Fig. 1과 같으며, 본 방식은 최초 투입되는 음폐수가 산발효조 상부로 투입되어 수위가 높아지고 이로 인해 압력이 형성되어 공급되어진 만큼 산발효조 하부의 통수구를 통해 메탄발효조로 슬러지가 이동되는 구조이다. 메탄발효조 상부에는 유출수 라인이 있어 산발효조로 투입된 만큼의 메탄발효조 슬러지가 소화조 외부로 배출된다.

본 방식은 기존 혐기소화 시스템, 단상과 이상 소화조의 장점을 결합한 기술로서 단상 소화조시설의

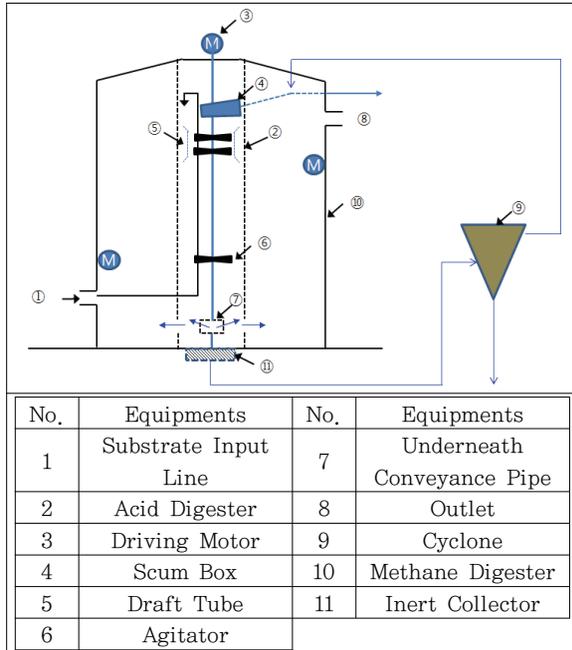


Fig. 1. Schematic diagram of integrated Two-Phase anaerobic digestion.

운전편의성, 에너지절약성, 시설 간편성 등과 이상 소화조의 유기물분해 및 바이오가스 생산 효율성 등을 결합한 기술로서 이상소화조의 높은 효율과 단상 소화조의 운전 편의성 등의 장점을 갖는다. 아울러 혐기소화 반응 시 발생하여 운전 트러블을 발생시키는 스크임을 제어하는 기술과 협잡물을 제거하는 설비가 적용되어 타 소화방식에 비해 운전의 안정성이 보다 향상된 방식이다.

### 2.2 시설개요

일체형 2상 혐기성소화의 운전 효율을 위한 대상 시설은 수도권매립지 실증화단지내 24톤/일 규모로 설치되었다. 운전 효율 검토는 최초 시운전 이후 약 11개월 간 실시하였으며, 일체형 혐기성소화조의 유기물 제거효율 및 바이오가스 생산 효율, 그리고 혐기미생물 개체수 및 다양성 분석평가를 실시하였다. 본 연구의 검토 대상 시설 및 분석방법 개요를 Table 1에 나타내었다.

본 시설의 처리대상은 인천환경공단 청라사업소에서 발생하는 음폐수이다. 시간당 음폐수 투입은 시설 용량 24톤/일에 부합하도록 시간당 약 1.0m<sup>3</sup>를 연속적으로 공급하였으며, 이에 따른 유기물 부

Table 1. Summary of Operation Data for Integrated Two-Phase Anaerobic Digestion using Food Waste Leachate

Items	Design Criteria
Substrate	Food waste leachate
Input	1.0m <sup>3</sup> /h (continuous)
Stirring Speed	Acid Digestion 10 rpm Methane Digestion 1,000 rpm
Throughput	24m <sup>3</sup> /day
OLR	2.3kg VS/m <sup>3</sup> · day
Temp.	35°C~39°C
pH	Acid Digestion 5~6 Methane Digestion 7~8
HRT	25 days - Acid:90m <sup>3</sup> /24m <sup>3</sup> · day = 3.75days - Methane:510m <sup>3</sup> /24m <sup>3</sup> · day = 21.25days
Fuel for Heating	Primary : Heat from Biogas Generator Secondary : LNG

하량은 2.3kg VS/m<sup>3</sup> · 일로 계획하였다. 운전온도는 35°C~39°C를 유지하였으며, 메탄발효조 내 HRT는 25일로 계획하였다. 본 시설은 소화조 가운을 위한 연료는 일차적으로는 혐기성소화 시 발생된 바이오가스 발전 시 배출되는 폐열을 이용하였으며, 부족 열원에 대해서는 추가적으로 도시가스(LNG)를 이용하였다.

본 일체형 2상 혐기성소화 플랜트의 공정 구성은 다음 Fig. 2.와 같으며, 크게 4단계의 공정으로 이루어져 있다.

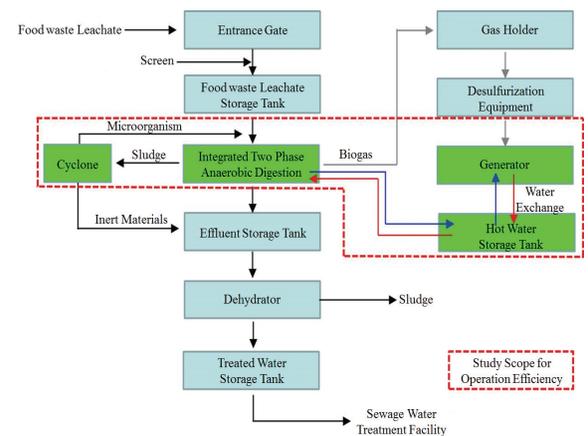


Fig. 2. Process of Integrated Two-Phase Anaerobic Digestion.

Table 2. Analysis Items and Methods for Substrates(Input and Output)

Items		Methods	Times
Target	Analysis		
Analysis at all times	pH, Temp., Amount of Materials, Biogas Generation	Field Analyzer	Regular Basis
Input	TS, VS, TCODCr, SCODCr, T-N, T-P, TVFA	Standard method(Korea)	94
Output	TS, VS, TCODCr, SCODCr, T-N, T-P, TVFA	Standard method(Korea)	94
Biogas	CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S	Multi-Gas Analyzer(MX-6 iBRID)	186

공정은 투입 및 전처리공정, 혐기성소화 공정, 바이오가스 정제활용 공정, 후처리공정으로 나눌 수 있으며 운전효율 검토 범위는 스크림제어설비가 장치된 일체형 2상 혐기성소화조를 이용한 음폐수 바이오가스화 시설, 싸이클론을 이용한 혐잡물 제거와 동시에 혐기미생물 반응이 가능한 시설, 생산된 바이오가스를 이용한 전력생산 및 폐열 이용시설(소화조 가운데시설)로 구성되어 있다.

## 2.2 운전효율 검토방법

대상 시설의 운전상태 그리고 반입되는 음폐수와 소화조에서 배출되는 처리수의 유기물 제거효율, 바이오가스 생산량 등의 분석 개요를 Table 2에 나타내었다.

pH, 온도, 바이오가스 생산량 등 분석이 용이하며, 단기간에 분석이 이루어지는 항목들은 현장계측기 및 분석기기를 활용하여 상시 측정하였다. 혐기성소화 처리효율은 유입 음폐수와 각 발효조 유출수를 대상으로 TS, VS, TCODCr, SCODCr, T-N, T-P, TVFA의 항목에 대해 수질오염공정시험법 및 Standard Method(USA)를 이용하여 분석하였다.

## 3. 연구 결과 및 고찰

### 3.1 유입 음폐수 성상

본 시설로 유입되는 음폐수의 오염물질 성상은 Table 3과 같다. 대상 시설은 음식물 건식사료화 공정의 발생 음폐수로 탈수과정에서 발생하는 폐수와 건조 등의 기타 공정에서 발생하는 응축수로 구

Table 3. Properties of Input Food waste Leachate

Items	Mean	Min.	Max.
Temp.(°C)	8.3	1.3	22.2
pH	4.4	2.4	5.8
TS(mg/L)	61,338	32,890	93,940
VS(mg/L)	51,931	27,570	83,670
TCODCr(mg/L)	103,996	52,891	152,177
SCODCr(mg/L)	61,500	35,737	77,577
T-N(mg/L)	2,903	2,703	3,103
T-P(mg/L)	350	250	450
VFA(mg/L)	12,296	7,845	20,126

성되어 있다. 따라서 음폐수 내 유기물 농도는 타 사례와 비교하여 다소 낮은 것으로 분석되었으며, 음식물이 일부 동결되어 반입되는 동결기에 비해 하절기가 발생량 및 유기물 농도가 일반적으로 높게 나타나는 것으로 조사되었다. 음폐수의 반입 온도는 대기 온도에 영향을 받아 1.3°C에서 22.2°C로 측정되었다. 유기물의 농도는 CODCr과 TS, VS, 유기산 수치를 통해 분석하였다. TS 중 VS 가 차지하는 비율이 약 85%로 전체 고형분 중 유기물 함량이 높아 생물학적 분해에 따른 메탄가스 생산성은 비교적 유리한 것으로 판단되었다.

반면, TCOD 중 SCOD 함량이 50%로 대부분의 부유성 유기물을 띄고 있는데 이로 미루어 음폐수 전처리 공법 및 효율이 혐기성소화 효율을 결정짓는 중요한 요소로 작용할 것으로 판단된다.

### 3.2 유입 음폐수 내 유기물질 제거효율

본 일체형 2상 혐기성소화시설로 반입된 음폐수와 소화조에서 배출된 처리수와 유기물 제거효율

Table 4. Removal Efficiency of Organic Matter

Items	Input	Output	Removal Rate(%)
TS(mg/L)	61,338	20,740	66.2
VS(mg/L)	51,931	13,645	73.7
TCODCr(mg/L)	103,996	27,707	73.4
SCODCr(mg/L)	61,500	15,375	75.0
VFA(mg/L)	12,296	4,513	63.3

VFA 농도에 대한 분석결과는 Table 4와 같다. 유기물 제거효율은 TS 66.2%, VS 73.7%의 제거효율을 보였으며, 그때 유출수의 농도는 TS 20,740mg/L, VS 13,645mg/L로 분석되었다. 그 외 TCODCr, SCODCr의 제거율은 73.4%, 75.0%로 각각의 농도는 27,707mg/L, 15,375mg/L로 분석되었다.

본 시설에 대한 운전효율 검토 기간 중 음폐수의 유기물 농도는 COD 기준 52,891mg/L~152,177mg/L로서 약 100,000mg/L 이상의 차이를 보여 제거율 또한 COD 기준 44%~88% 편차를 보이는 것으로 나타났다.

음폐수에 포함된 유기산은 평균 12,296mg/L 이나 농도편차는 7,845mg/L~20,126mg/L로 큰 편차를 보였으며, 이는 소화조 투입 전 외기영향에 따른 유기물 분해로 인한 결과로 해석된다. 일반적으로 음폐수에 포함된 다양한 유기물들은 산발효과정을 거치면서 고분자에서 저분자로, 저분자에서 최종적으로 다양한 유기산으로 분해되는데 여름철 유기산 발생이 활발히 일어나는 계절적 특성에 따라 이같이 높은 편차를 보인 것으로 판단된다. Fig. 3부터 Fig. 6 까지 실험 기간에 따른 유기물 제거효율 분석 결과를 나타내었다.

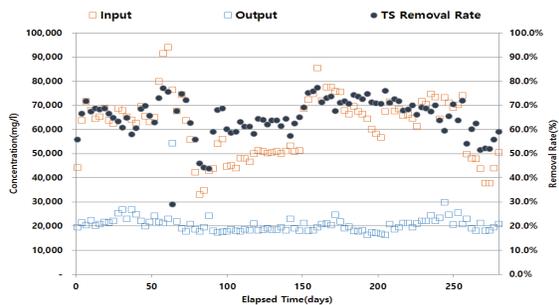


Fig. 3. Variation of TS and Removal Rate with Increasing Operation Time.

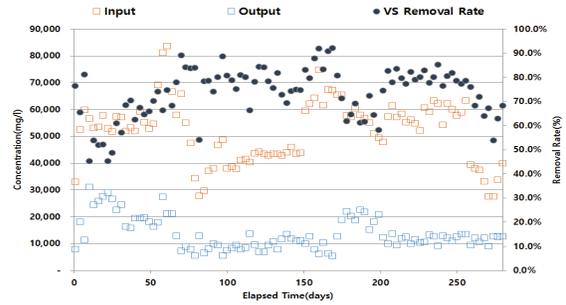


Fig. 4. Variation of VS and Removal Rate and Removal Rate with Increasing Operation Time.

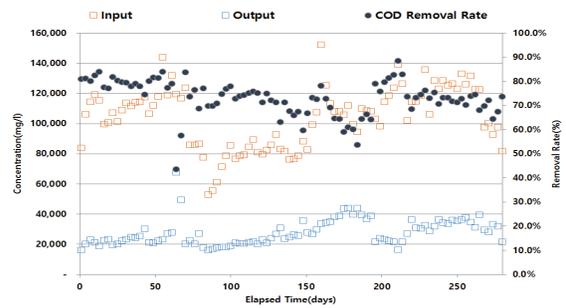


Fig. 5. Variation of TCODcr and Removal Rate with Increasing Operation Time.

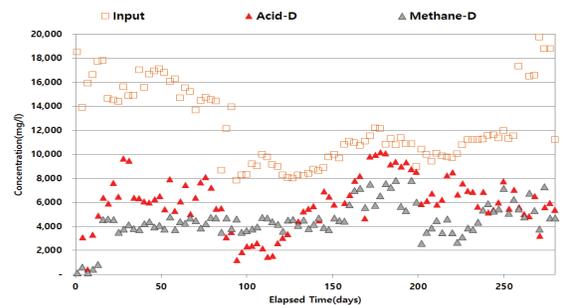


Fig. 6. Variation of VFA and Removal Rate with Increasing Operation Time.

### 3.3 바이오가스 생산효율

본 시설로 반입된 음폐수량 및 그에 따른 유기물 부하량(OLR), 그리고 바이오가스 발생특성을 분석한 결과를 Table 5에 나타내었다.

바이오가스 발생특성을 정리하면, 평균적으로 54.4m<sup>3</sup>/톤-투입 음폐수, 1.56m<sup>3</sup>/kg-제거 VS, 0.75m<sup>3</sup>/kg-제거COD의 바이오가스 생산효율을 보였다. 음폐수 내 유기물질을 이용하여 발생한 평균

Table 5. Result of Biogas Generation

Items		Mean	Min.	Max.
Input(ton/day)		23.1	6.6	31
OLR	kg VS/day	1,189	349	6,921
	kg COD/day	2,364	692	4,569
Biogas	m <sup>3</sup> /day	1,210	169	1,661
	m <sup>3</sup> /ton(input)	54.4	5.6	106
	Methane(%)	58.5	16.5	73.2
	m <sup>3</sup> /COD(rem.)	0.75	0.11	2.73
	m <sup>3</sup> /VS(rem.)	1.56	0.15	5.28

바이오가스는 1,210m<sup>3</sup>/일(169~1,661m<sup>3</sup>/일)로 이며, 복합가스 측정기(MX-6 iBRID)를 통해 측정된 바이오가스 내 메탄함량은 평균 58.5%(16.5%~73.2%)로 측정되었다.

본 시설에서의 바이오가스의 발생특성 비교를 위해 음폐수 및 음식물을 처리대상으로 하는 분리형 2상 혐기성소화시설들의 바이오가스 발생량을 조사하여 Table 6에 나타내었다. 각 시설별 음폐수의 유기물 농도 및 소화 특성에 따른 가스 발생량이 일부 상이함을 감안하더라도 본 시설은 타 시설 대비 상대적으로 높은 바이오가스 발생량을 보이는 것으로 나타났다. 시간에 따른 바이오가스 발생량 및 메탄함량 변화 분석 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다.

실험 초기 약 30일간의 소화조 안정화 기간 중에는 가스발생량과 메탄함량이 다소 불규칙적인 추이를 보였지만, 이후부터는 비교적 안정적인 가스 발생특성을 보이는 것으로 나타났다.

Table 6. Comparison of Biogas Generation with Similar Plants

Plants		Capacity (tpd)	Biogas Generation(m <sup>3</sup> /ton-Input)				
			2007	2008	2009	2010	2011
Separated Two-Phase Plant	S district, Seoul	500	-	-	-	-	15.5
	Y district, Daegu	50	4.2	5.0	5.3	7.5	9.0
	Y district, Incheon	250	34.4	28.5	27.6	11.1	16.0
	S district, Incheon	700	-	9.4	29.5	25.3	34.2
	K district, Gwangju	160	16.5	24.7	15.6	13.0	20.9
	A district, Gyeongbuk	45	6.3	5.3	5.3	5.3	5.3
	A district, Gyeonggi	160	-	-	-	4.4	2.0
	U district, Gyeonggi	150	-	-	-	-	44.7
Integrated Two-Phase Plant		24	54.4				

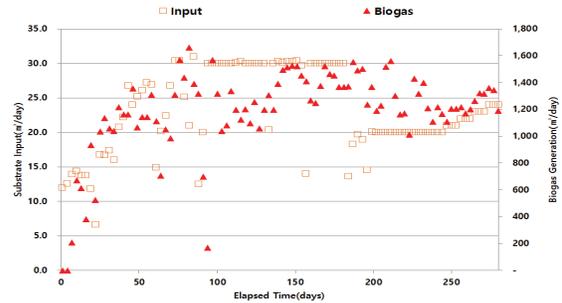


Fig. 7. Input Food Waste Leachate and Biogas Generation Amounts with Increasing Operation Time.

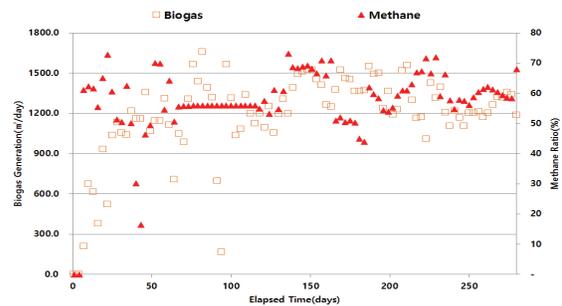


Fig. 8. Methane Contents and Biogas Generation Amounts with Increasing Operation Time.

### 3.4 소화조 가온 열원 사용량

본 일체형 2상 혐기성소화시설은 LNG 와 바이오 가스발전기에서 나오는 폐열을 가온에너지로 활용하였다. 바이오가스 발전기는 25kWh 용량의 발전기 2대를 운전하고 있으며 전단의 탈황설비를 거쳐 바이오가스 내 H<sub>2</sub>S 농도를 100ppm 수준으로 감소시켜 발전에 이용한다. 아래 Table 7은 바이오가스

Table 7. Amount of Biogas usage

Items	Mean	Min.	Max.
Total Generation(m <sup>3</sup> /d)	1,210	168.5	1,661
Generator(m <sup>3</sup> /d)	293.6	-	507
Power Production(kWh/d)	339.9	-	480
LNG Usage(m <sup>3</sup> /d)	51.4	6.4	173.4

[Note] '-' : Not used biogas for generation

생산량 및 발전기에 사용된 양, 생산 전력량, 가운을 위해 소요된 LNG량을 정리한 내용이다.

바이오가스 발전기 운전 효율 검토기간 중 생산된 바이오가스량은 일일 평균 1,210m<sup>3</sup>이며, 이중 294m<sup>3</sup>가 평균적으로 발전에 사용되었다. LNG 사용량은 동절기 또는 온도가 급락하는 시기에 간헐적으로 사용하였으며, 평균 51.4m<sup>3</sup>/d를 바이오가스 대체 연료원으로 이용하였다.

실험 기간 중 소화조 정비 및 가스 저장설비 보수를 제외한 대부분의 기간은 바이오가스 발전기를 통해 발생하는 폐열을 활용하여 소화조 가운을 실시하였고, 평균적으로 10m<sup>3</sup> 미만의 LNG가 소요되어 바이오가스 이용에 따른 높은 에너지 절감효과를 얻을 수 있었다.

또한 바이오가스 발전기를 통해 일일 340kWh의 전력이 생산되어 소내 전력으로 대체되었다. 비록 자체 발전은 발전기의 효율 및 바이오가스의 메탄 농도에 의해 결정되기 때문에 현 상황에서 본 시설의 전력생산량 및 외부가운에너지 사용 및 절감효과를 정확히 판단할 수는 없으나, 실험 기간 중 분석된 LNG 사용량 결과를 근거로 본다면, 바이오가스 발전기 가동 여부에 따라 높은 에너지 절감 효과가 있는 것으로 조사되었다.

### 3.5 분리형 대비 일체형 2상소화 경제성 비교

본 연구에서 검토한 일체형 2상 혐기성소화와 분리형 2상 혐기성소화와의 설치 면적과 소요 열량과의 비교 분석 결과를 다음 Table 8에 나타내었다. 분리형 2상 소화의 소요 면적 및 열량값은 현재 설치·운영 중인 유사사례와 '음식물류폐기물 바이오가스화시설 기술지침서, 환경부(2015)' 상 소화조 설계기준을 참고하였다. 동일한 양의 기질을 처리하는데 있어서 일체형 2상 소화조의 면적 및 부피를

Table 8. Comparison of Economic according to Digester Volume

Items	Volume	Integrated	Separated	Reduction Rate (%)
Area (m <sup>2</sup> )	H=1.1D	65.6	78	15.9
	H=0.7D	65.6	98.9	33.7
	H=0.5D	65.6	123.8	47
Energy (kcal/h)	H=1.1D	28,143	31,818	11.6
	H=0.7D	28,143	32,923	14.5
	H=0.5D	28,143	34,254	17.8

일정하다고 가정하는 경우, 분리형 2상 소화조는 15.9%~47%가 증가하는 것으로 나타났으며, 동일한 방식으로 일체형과 분리형 소화조에 공급되는 열량 비교 검토시 분리형 소화조는 11.6%~17.8%가 증가하는 것으로 분석되었다.

일반적으로 음폐수 혐기성소화에 적용되는 분리형 2상 혐기소화기술은 산발효조와 메탄발효조 각기 구성하여 설계된 체류시간동안 처리된 후 기계적 압송에 의하여 후속 공정으로 기질이 이송된다. 이에 따라 기질의 이송라인시설, 예비펌프를 포함한 이송펌프가 필요하며, 공정의 특성에 따라서는 buffer tank를 두기도 한다. 산발효조의 운전온도는 통상 고온 혹은 중온으로 운전하는 경우가 대부분이므로 내부의 가운시설은 필수이며, 직접가운식의 경우 스팀주입라인, 간접가운식의 경우 순환펌프 및 가운배관, 열교환기 등의 시설, 글라스울 혹은 미네랄울 등의 재질을 동반하는 탱크 외부보온 시설도 필요하다. 이는 이송펌프 및 배관, buffer tank의 소요부지까지 고려한다면 2배가 넘는 부지가 필요하게 되고 이는 혐기소화시설을 compact化 하는데 저해요소로 작용하게 된다.

이에 일체형 2상 혐기소화반응조는 상기 설비가 필요치 않아 초기설치비의 원가절감이 가능하며, 소요부지 또한 줄일 수 있으므로 혐기소화시설을 compact化 하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 4. 결론

약 300일간 실시한 일체형 2상 혐기성소화 Scale Up 플랜트 운전 효율 검토 결과를 정리하면 다음과

같다.

1. 검토기간 중 음폐수 처리량은 일평균 23.1톤으로 운전 효율 검토기간 중 약 2,171톤의 음폐수를 처리하였다.
2. 음폐수 내에 부유물질(TS, VS), COD 농도는 각각 61,338mg/L, 20,740mg/L, 103,996mg/L이며, 각 항목에 대한 처리효율은 각각 66.2%, 73.7%, 73.4%로 분석되었다.
3. 바이오가스는 평균 1,210m<sup>3</sup>/일 생산되었으며, 이는 음폐수 톤당 54.4m<sup>3</sup>의 생산효율을 보이는 것이다. 바이오가스의 메탄함량도 58.5%로 통상 문헌상에서 제시되는 바이오가스 발생특성 범위 내에 있는 것으로 분석되었다.
4. 생산되는 바이오가스는 25kWh 바이오가스 발전기를 통해 전력 생산에 이용되었다. 운전 효율 검토기간 중 바이오가스 발전기를 운전하여 일 평균 약 339.9kWh의 전력을 생산하였으며, 발전기 폐열은 대부분 소화조 가온 및 소내 활용분으로 이용되었다.
5. 일체형 2상 혐기성소화 방식은 플랜트 설치를 위한 소요 면적과 소화조 가온을 위한 열량 측면에 있어서 분리형 2상 혐기성소화 방식 대비 유리한 것으로 분석되었다.

이상의 운전결과를 종합해보면, 분리형 소화 방식 대비 소요부지면적 축소, 시설비 절감 등의 이점이 기대되는 일체형 2상 혐기성소화 방식은 유기물 처리효율, 바이오가스 생산량, 그리고 안정적인 시설운영 측면에서 분리형 2상 혐기성소화 방식과 큰 차이가 없는 것으로 검토되어 보다 상용화된 대형 플랜트로의 적용 타당성이 높을 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 환경부 Eco-Star Project 폐자원 에너지화 및 Non-CO<sub>2</sub> 온실가스 사업단의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## References

1. Ministry of Environment, "Current State of Food waste Recycling Facilities in Korea"(2008~2013).
2. Ministry of Environment, "The First Master Plan for Recycling of Resource"(2011).
3. Ministry of Environment, "Technical Guideline for Food waste Anaerobic Digestion Plant"(2015).
3. Shelton D., and Tiedje, J. M., "General method for determining anaerobic biodegradation potential", *Applied and Environmental Microbiology*, 47, pp. 850~857. (1984).
4. APHA-AWWA-WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Waste water*, 21th edition, American Public Health Association, Washington, DC., USA (2005).
5. Ministry of Food and Drug safety in Korea, *Korean Food Standards Codex*, (2009).
6. Owen, W. F., Stuckey, D. C., Healy, J. B., Young, Jr. L. Y., and McCarty, P. L., "Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity", *Water Research*, 13(6), pp. 485~492. (1979).
7. Sun, Y., Wang, D., Yan, J., Qiao, W., Wang, W., and Zhu, T., "Effects of lipid concentration on anaerobic co-digestion of municipal biomass wastes", *Waste Management*, (2013). <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.07.018>
8. Palatsi, J., Laureni, M., Andr, M. V., Flotats, X., Nielsen, H. B., and Angelidaki, I., "Strategies for recovering inhibition caused by long chain fatty acids on anaerobic thermophilic biogas reactors", *Bioresource Technology*, 100, pp. 4588~4596. (2009).
9. Ministry of Environment, "2014 Waste production and disposal in Korea", pp. 174~324. (2015).
10. Shin, H. S., "Anaerobic digestion treatment of food waste", *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 8(2), pp. 7~13. (2000).