

Pilot Scale 일체형 2상 혐기성소화에서의 음폐수 처리효율 평가

송한철^{*,**†}, 김동욱^{**}

포스코건설^{*}
인천대학교 건설환경공학과^{**}

Treatment Efficiency Evaluation of Integrated Two-Phase Pilot-Scale Anaerobic Digestion Using Food Waste Leachate

Hancheul Song^{*,**†}, Dongwook Kim^{**}

POSCO Engineering & Construction, LTD^{*}
Incheon National University^{**}

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

ABSTRACT: In the Integrated Two-Phase Anaerobic Digestion (ITPAD) process, acid and methane fermentation take place in one reactor, which has advantages to cope with organic load variation and reduce foot-print required, compensating disadvantages of Conventional Separated Two-Phase Anaerobic Digestion (CSTPAD). In the present work, organic matter degradation efficiency and biogas generation amount and other performance parameters of the ITPAD fed with food waste leachate were analyzed. In addition, feasibility study on the ITPAD method was performed by comparing its digestion efficiency with that of the CSTPAD. Organic matter alteration and biogas generation of the integrated method were examined for approximately 130 days based on the 5ton/day scaled pilot plant. Experiment results revealed that organic matter removal rate was 80% for mean food waste leachate input amount of 4.1m³/day. The biogas generation rate was 63.0m³ per ton of food waste leachate input, corresponding to the input VS amount of 0.724m³/kg-VS_{added}, and methane content of generated biogas was approximately 61.3%. The ITPAD has a comparable or higher organic matter removal efficiency compared to the conventional separated two-phase anaerobic digestion method. Consequently, the ITPAD method has a great need to commercialize a food waste leachate treatment technology against highly concentrated organic waste leachate.

Keywords: Integrated two phase anaerobic digestion, Conventional separated two-phase anaerobic digestion, Food waste leachate, Pilot plant

초 록: 일체형 2상 혐기성소화 방식은 기존 분리형 2상 혐기성소화의 단점을 보완할 수 있는 기술로 산발효조와 메탄발효조가 병합된 형태의 일체형으로 구성되어 유기물 부하변동 대처 용이, 설치부지면적 감소 등의 이점이 있다. 본 연구는 음폐수를 기질로 일체형 2상 혐기성소화의 유기물 분해효율 및 바이오가스 생산량 등에 대한 실험을 실시하여 기존 분리형 2상 혐기성소화와의 효율 비교를 통해 대규모 플랜트 설치의 타당성 여부를 검토하였다. 5ton/일 규모의 Pilot Plant를 구성하여 약 130일 간 소화조 내 유기물 변화, 바이오가스 생산량 및 메탄함량 등의 실험을 실시하였다. 실험 결과, 평균 음폐수 투입량은 4.1m³/일이었으며, 이때 VS 제거효율

† Corresponding Author (e-mail: ox2050@empal.com)

은 약 77%로 나타났다. 바이오가스는 평균적으로 투입 음폐수 ton당 약 $63.0\text{m}^3(0.724\text{m}^3/\text{kg-VS}_{\text{added}})$ 가 발생되었으며, 메탄함량은 약 61.3%로 분석되었다. 일체형 2상 혐기성소화는 기존 산발효조와 메탄발효조가 분리된 소화방식과 유기물 제거 측면에서 다소 높게 나타났다. 결과적으로 일체형 2상 혐기성소화 방식은 충분히 고농도 유기성 폐수인 음폐수 처리에 있어서 상용화가 가능하다는 결론을 내릴 수 있었다.

주제어: 일체형 2상 혐기성소화, 기존 분리형 2상 혐기성소화, 음폐수, 파일럿 장치

1. 서론

우리나라 음식물류 폐기물은 2014년 기준 하루 13,221ton이 발생되었으며, 약 97%가 사료화, 퇴비화 및 혐기성소화 등의 방식으로 자원화되었다¹⁾. 국내 음식물류 폐기물은 물리적 특성상 함수율이 대략 80~85%이상으로 높고 염분함량이 높아 자원화를 위한 탈수 또는 염분저감을 위한 세수 등의 공정이 불가피하다. 이러한 이유로 음식물 자원화시설에서는 전처리(협잡물 제거 및 파쇄 등) 공정과 염분제거 공정을 통해 고농도의 유기성 폐수가 발생되며, 이를 총칭하여 음폐수라 한다. 음폐수의 평균 화학적산소요구량(COD)은 약 150,000 mg/L(수도권매립지공사 2007년 성상분석 결과)에 달하는 고농도 폐수로 방치할 경우, 심각한 하천·토양 오염을 유발할 수 있다. 일반적으로 음폐수는 고형물 분리공정을 거쳐 5%의 부유물질을 포함한 폐수로 배출되게 되며 공공수역 방류를 위해서는 하수 처리장에서 처리되어야 하나 방류수 수질 기준 준수부담으로 인하여 음폐수 처리를 기피하고 있는 실정이며 공공시설 발생 음폐수 위주로 처리하고 있고 민간처리 위탁업체의 경우, 주로 비용이 저렴한 해양배출로 처리하였으나, 2013년 이후 해양투기가 전면 금지됨에 따라 전량 육상처리로 전환되었다²⁾.

현재 국내 연간 음폐수 발생량은 2014년 기준 약 8,274ton/일이 발생되며, 이중 하수처리장과의 연계처리량은 6,034ton/일로 가장 많은 비율을 차지한다¹⁾. 음폐수 해양배출 금지에 따른 육상처리로의 전환을 계기로 다수의 지자체는 음폐수 육상처리 체계 구축을 위해 많은 노력을 기울였으며, 이에 따라 음폐수와 같은 고농도 유기성폐수 처리에 적합한 혐기성소화를 신규로 설치하는 사례가 증가하는 추세이다.

음폐수는 축산 분뇨, 하수 슬러지와 같은 다른 유기성 폐자원에 비해 단기간의 바이오가스 생산량이 2~3배 이상 높아 혐기성소화를 통한 에너지화방식의 원료로 사용이 적합하다³⁾. 그러나 우리나라를 포함한 대부분의 유럽선진국은 하수슬러지 및 가축분뇨 등 국내 음폐수 대비 유기물 함량이 다소 낮은 폐수를 대상으로만 기술개발 및 시설 설치가 주류를 이루어왔기 때문에 현재까지도 국내 음폐수 특성에 적합한 바이오가스 생산에 있어서 최적 모델 개발 및 안정적인 운전 기술 확보 수준은 미비한 상태이다. 따라서 혐기성소화를 중심으로 하는 효율적인 음폐수 육상처리 체계 구축을 위해서는 안정적인 시설 운영관리를 위한 설계 및 운전인자의 확립이 요구된다.

음식물 또는 음폐수와 같이 유기물함량이 높은 기질의 혐기성소화 시 예상되는 문제점 중 가장 큰 부분은 유입 기질 부하변동에 따른 소화조 내 미생물의 활성도 저하이다⁴⁾. 이는 결과적으로 유기물 분해효율을 저하시키며, 바이오가스 생산에도 직결된다는 점에서 미생물의 성장 환경을 최적의 조건으로 유지하는 것은 혐기성소화에 있어서 매우 중요한 운전 인자라고 판단된다.

본 연구의 일체형 2상 혐기성소화 방식은 메탄발효조 내부에 산발효조가 위치하고 있는 형태로서 각 반응조가 분리된 2상 혐기성소화와는 달리 하나의 소화조 내에서 기질 이송, 혼합이 되므로 산발효와 메탄발효 기질이 교류되는 지점에서 Buffer Zone이 형성되는 특징이 있다. Buffer Zone은 최초 투입된 음폐수 내 유기물 부하변동 및 산생성 단계의 환경 변화(유기산 증가, pH 저하 등) 등에 따른 미생물 활성 저하의 완충 역할을 하게 된다⁵⁾. 따라서 일체형 2상 혐기성소화는 기존 분리형 2상 혐기성소화가 가지고 있는 유기물 부하변동에 따른 효율

저하를 개선한 방식으로 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 음폐수를 기질로 하는 일체형 2상 혐기성소화의 유기물 제거효율, 바이오가스 생산량, 그리고 미생물 군집분석을 통해 일반적인 2상 분리형 방식과의 비교 분석을 실시하였으며, 이를 통한 일체형 2상 혐기성소화 방식의 상용화 가능성 여부를 검토하였다.

2. 실험 방법 및 장치

본 실험의 방법 및 장치에 대한 개요를 [Table 1]에 나타내었다. HRT는 25일로 하였으며, 유효용적은 산발효 20m³, 메탄발효 100m³으로 음폐수 처리 규모는 5ton/일로 계획하여 장비를 설계·제작하였다.

2.1 실험 방법

실험에 사용한 기질은 경기도 K시에 위치한 음식물 퇴비화시설에서 발생하는 음폐수로 하였다. 소화조 구조는 혐기성소화조 내에 산발효조가 위치하는 일체형으로 제작되었으며, 완전혼합 반응조(CSTR) 형태의 중온 소화방식(33°C~36°C)을 적용하였다. 분석 대상은 초기 투입된 음폐수와 일체형 2상 혐기성소화조 유출수의 TS, VS, TCOD_{Cr}, SCOD_{Cr}, 분석을 통해 유기물 제거율을 산정하였으며, 그 외 T-N, T-P 등의 농도 및 제거율을 분석하여 전체적인 폐수처리 효율을 검토하였다. 모든 분석은 수질오염공정시험법 및 Standard Methods에 따라 분석하였으며, 유기물질(VS) 제거 당 바이오가스 생산효율, 그리고 생산 바이오가스 내 메탄

함량은 현장설치 된 가스분석기기를 이용하여 분석하였다.

혐기성미생물 분석에 있어서는 총 2개의 domain set, 4개의 order set, 2개의 family set 및 3개의 genus set를 이용하여 미생물 동정을 모니터링 하였으며, 총 11종의 QPCR set 중 일부는 Yu et al. (2005), Lee et al. (2009), Heilig et al. (2002), Frake-Whittle et al. (2009)에서 보고된 set를 인용하였다.

QPCR set는 16S rRNA 유전자 서열을 RDP 데이터베이스에서 확보하였으며, Primrose 소프트웨어를 이용하여 후보 primer 및 probe 서열을 탐색하고, 그 결과를 최종적으로 RDP의 probe match 기능을 이용하여 in silico 검증하였다. 끝으로 유기물 분해효율, 가스발생량 등의 분석결과를 I시 음폐수 분리형 2상 혐기성소화시설과 환경부 가이드라인에 제시된 수치를 비교하여 본 일체형 2상 혐기성소화의 음폐수 혐기성소화 효율성을 검토하였다.

5ton/일 처리규모 Pilot 플랜트의 운전조건으로서는 플랜트의 가동률을 고려하여 일평균 4.1ton의 음폐수를 2시간당 1회, 총12회 간헐 분할 주입하였으며, 이에 소화조 유기물질 투입률(OLR)은 4.3kg-VS/m³·일로 하였다. 가온에너지는 1차로 바이오가스를 활용하여 온수보일러를 통해 간접 순환식 열교환기를 사용하여 가온하였으며 2차 예비로 LNG를 사용하였다.

2.2 실험 장치

다음 [Fig. 1]은 본 Pilot Scale 실험을 위해 설계·제작된 일체형 2상 혐기성소화조의 단면도이다.

Table 1. Summary of Integrated Two Phase-Pilot Scale Anaerobic Digestion Method using Food Waste Leachate

Process	Integrated Two Phase Digester	Digester Type	CSTR
Effective Volume	Acid Digester 20m ³ , Anaerobic Digester 100m ³	Temperature	33~36°C
Substrate	Food Waste Leachate	Inoculum	Anaerobic Digester Sludge
HRT	25 days	Organic Loading Rate	4.3kg VS/m ³ ·day
Analysis Items	TS, VS, TCOD _{Cr} , SCOD _{Cr} , T-N, T-P, Biogas(Generation m ³ /day, CH ₄ Ratio(%)), Anaerobic Microorganism		

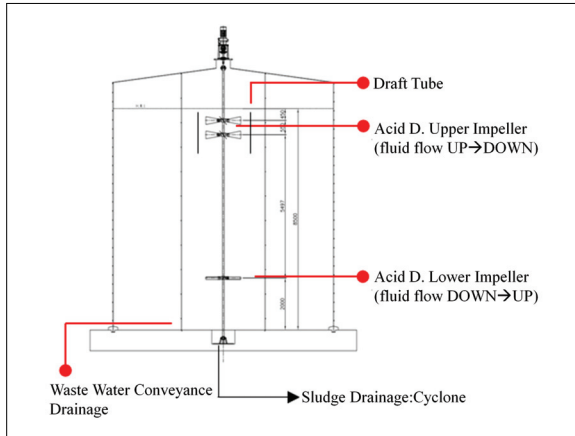


Fig. 1. Cross-Sectional View of Experiment Apparatus for Integrated Two-Phase Anaerobic Digestion Method.

혐기성소화 방식은 산발효 공정과 메탄발효공정이 하나의 반응조에서 일어나는 단상구조 또는 두 개의 반응조를 통해 분해 단계가 이루어지는 2상 구조로 나뉘는데 본 연구에서 주제로 다루는 일체형 2상 혐기성소화조는 내부에 산발효공정과 메탄발효공정을 구획화하여 외관상으론 단상구조, 내부 구조상으로 이상 소화형식을 취하고 있다(D 5m×H 6.5m).

3. 결과 및 고찰

3.1 유입 음폐수 처리량 및 성상

5ton/일 규모의 일체형 2상 혐기성소화 Pilot Scale 실험에의 약 130일 동안의 운전기간 중 처리 대상 음폐수 평균 유입처리량은 4.1m³/일이었으며, 유입수의 항목별 평균 유입성상에 대한 분석 결과는 [Table 2]에 나타내었다.

분석 항목별 평균값과 범위를 보면, pH 4.6 (3.6~5.4), 유입온도 23.1°C (18.3~28.8°C), TS 109,707 mg/L (95,443~129,333mg/L), VS 87,982mg/L (72,500~111,854mg/L), 그 외 TCOD_{Cr} 123,802 mg/L(90,136~143,387mg/L), SCOD_{Cr} 58,699mg/L (52,407~73,116mg/L), T-N 2,533mg/L(1,960~3,125mg/L), T-P 405mg/L(210~688mg/L)로 분석되었다.

Table 2. Properties of Input Food Waste Leachate

Items	Mean	Min.	Max.
Temp. (°C)	23,1	18,3	28,8
pH	4.6	3.6	5.4
TS(mg/L)	109,707	95,443	129,333
VS(mg/L)	87,982	72,500	111,854
TCOD _{Cr} (mg/L)	123,802	90,136	143,387
SCOD _{Cr} (mg/L)	58,699	52,407	73,116
T-N(mg/L)	2,533	1,960	3,125
T-P(mg/L)	405	210	688

3.2 유입 음폐수 내 오염물질 제거효율

약 130일의 실험기간 동안 분석된 음폐수 투입 기준 대비 소화조 유출수의 온도, pH와 함께 COD, VS 등의 유기물 제거효율을 [Table 3]에 나타내었다. 일체형 2상 혐기성소화조에 유입된 음폐수의 경우, TS 65%, VS 77%의 제거효율을 보였으며, 그때 유출수의 농도는 각각 38,449mg/L, 20,309mg/L로 분석되었다. 그 외 TCOD_{Cr} 74%, SCOD_{Cr} 76%, T-N 16%, T-P 57%의 제거율을 보였으며 각각의 농도는 32,586mg/L, 13,819mg/L, 2,119mg/L, 173mg/L로 분석되어, 용존성 오염물질은 대부분 제거된 것으로 나타났다.

혐기성소화에 있어서 미생물에 의한 T-N 제거율은 미미하며, 대부분 NH⁴⁺ 형태의 영양분으로만 이용된다. 또한 T-P 역시 미생물에 의한 제거는 미미한 수준이지만, 본 실험에서의 T-P 제거율은 57%로 나타났다. 이는 혐기성미생물에 의한 분해로 불수는 없으며, 물리화학적 결정반응 및 화합물 형성

Table 3. Removal Efficiency of Organic Matter

Items	Input	Output	Removal Rate(%)
Temp. (°C)	23,1	33,6	-
pH	4.6	7.5	-
TS(mg/L)	109,707	38,449	65
VS(mg/L)	87,982	20,309	77
TCOD _{Cr} (mg/L)	123,802	32,586	74
SCOD _{Cr} (mg/L)	58,699	13,819	76
T-N(mg/L)	2,533	2,119	16
T-P(mg/L)	405	173	57

에 의한 농도 저감인 것으로 판단된다. 각 분석 항목에 대한 시간에 따른 변화를 [Fig. 2~6]에 나타내었다.

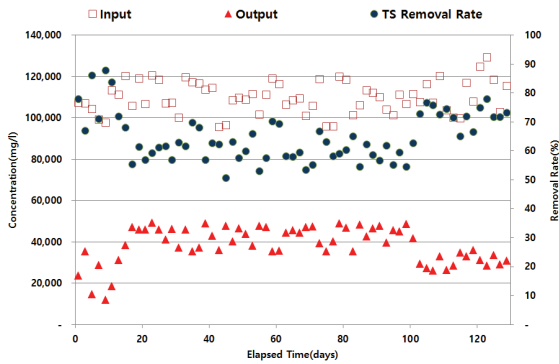


Fig. 2. Variation of TS and Removal Rate with Operation Time.

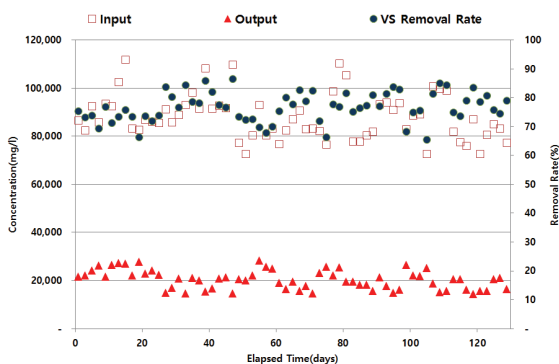


Fig. 3. Variation of VS and Removal Rate and Removal Rate with Operation Time.

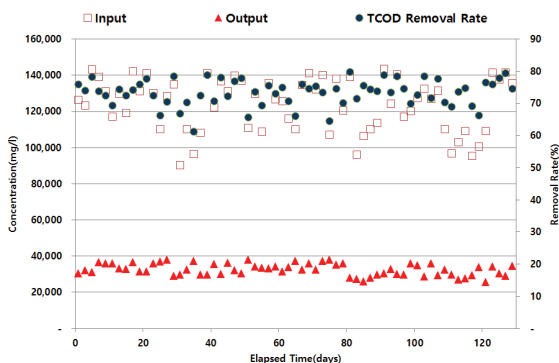


Fig. 4. Variation of TCOD_{Cr} and Removal Rate with Operation Time.

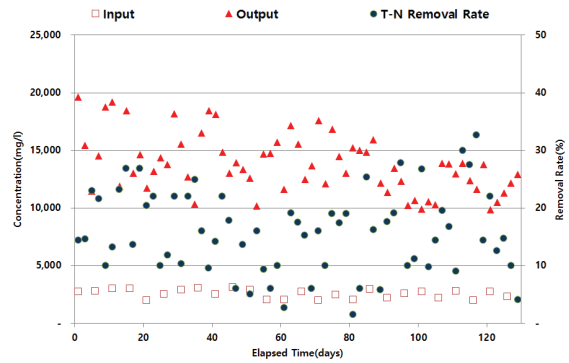


Fig. 5. Variation of T-N and Removal Rate with Operation Time.

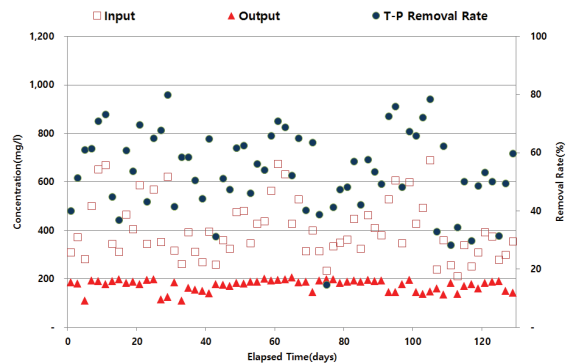


Fig. 6. Variation of T-P and Removal Rate with Operation Time.

3.3 바이오가스 생산량

혐기성소화에 있어서 유기물의 종류에 따라 발생하는 가스량은 차이가 있으나, 일반적으로 가스량은 평균 $0.48 \text{ m}^3\text{-CH}_4/\text{kg-VS}$ 정도에서 나타난다. 실제 운전 시에는 $0.5 \sim 0.6 \text{ m}^3\text{-CH}_4/\text{kg-VS}$ 이상의 가스발생량이 나타나는 경우도 있다. 가스 조성은 메탄가스가 50~60%, 나머지는 이산화탄소와 기타 미량원소들로 구성된다.

본 실험에서 분석된 시간 및 유기물 분해에 따른 바이오가스 생산량, 그리고 메탄함량 결과를 [Fig. 7~9]에 나타내었다. 실험 결과를 보면, 유기물질(VS) 일일 평균투입량은 356 kg VS 였으며, VS 평균제거율 77%를 보임에 따라 일일 평균제거량은 273 kg VS 로 분석되었다. 이에 따른 바이오가스 생산효율은 평균적으로 $63.04 \text{ m}^3/\text{ton-음폐수}_{\text{added}}$, $0.724 \text{ m}^3/\text{kg-VS}_{\text{added}}$ 이었으며, 유기물질 제거에 따

라서는 0.904m³/kg-제거VS의 바이오가스 생산효율을 나타내었다. 생산된 바이오가스 내 메탄함량은 평균 61.3%(52.2~68.4%)로 분석되었다.

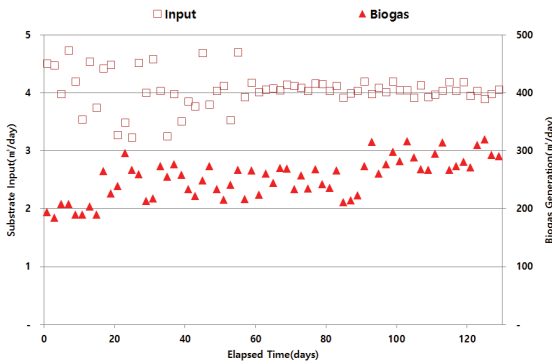


Fig. 7. Input Food Waste Leachate and Biogas Generation Amounts with Operation Time.

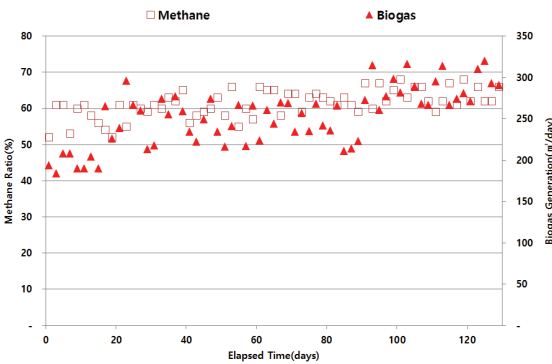


Fig. 8. Methane Contents and Biogas Generation Amounts with Operation Time.

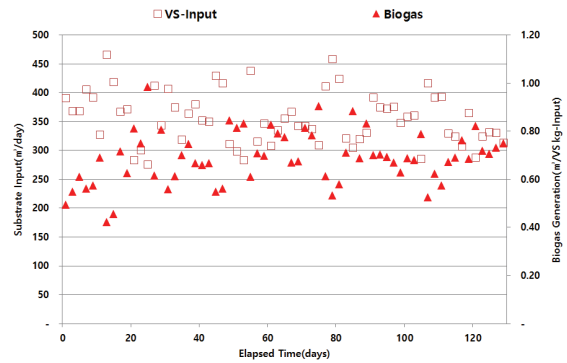


Fig. 9. VS Removal and Biogas Generation Amounts with Operation Time.

3.4 혐기성소화 미생물 군집 분석

일반적으로 혐기성소화의 효율 여부는 산발효와 메탄발효 단계에 존재하는 미생물군과 상관관계가 있다. 따라서 본 연구에서는 혐기성소화에 대표적으로 존재하는 미생물군에 대한 종다양성 및 개체수에 대한 분석을 실시하였으며, 그 결과를 분리형 2상 혐기성소화 시설에서의 처리수 내 미생물군 특성과 비교 분석하여 다음 [Table 4]에 나타내었다.

본 Pilot Scale 실험의 경우 메탄생성균인 MBT (*Methanobacteriales*), MMB (*Methanomicrobia*), MSL (*Methanosarcinales*) 등의 혐기성미생물이 다양하게 존재하고, 개체수 또한 월등한 수치를 보였다. 하지만, 본 실험의 처리대상 음폐수와의 대조 분석을 위해 실시한 G시 음폐수 에너지화 실증화시설(분리형)에서 채취한 음폐수 분석결과, 수소자화

Table 4. Number of Microorganism Group and Species Diversity

Digester	Number of Microorganism Group (copy/mL)									
	BAC		ARC		MBT		MMB		MSL	
Integrated Acid	1.2E+08	±0.8E+09	6.9E+08	±2.4E+06	3.09E+07	±0.8E+05	2.48E+08	±3.7E+06	9.88E+07	±2.6E+06
Integrated Methane	8.7E+07	±1.5E+08	5.3E+08	±2.7E+06	7.59E+07	±1.6E+06	6.95E+08	±1.2E+06	7.58E+07	±3.5E+04
Separated Acid	1.3E+08	±0.0E+00	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Separated Methane	8.1E+08	±2.6E+08	3.9E+08	±2.2E+07	3.0E+07	±1.8E+06	2.9E+08	±3.0E+07	ND	ND

[Note] 1. BAC : bacteria Acidogenic, ARC : Archaea Methanogen
 MBT : *methanobacteriales*, MMB : *methanomicrobiales*, MSL : *methanosarcinales*
 2. Data for Separated Digester : Foodwaste Leachate Biogas Plant in G city

성메탄생성균인 MBT 및 MMB는 분석되었으나 초산자화성메탄생성균인 MSL이 발견되지 않았다. 이는 상당히 시사하는 바가 큰데, MSL이 우점시 바이오가스 생성량과의 상관관계를 성립하였는데 이는 바이오가스 플랜트를 운영하는데 중요한 요소로 여겨진다.

G시 음식물자원화시설은 음식물 건식 사료화공법으로 운전되며 이에 K시 발생 음폐수보다 유기물질 함량이 높게 나타났다. G시 음폐수 에너지화 실증화설비는 50°C~55°C의 고온 혐기성소화로 운전되며, 혐기성소화조 유출수질(COD기준) 또한 제거율이 높은 것으로 분석되었다. 그러나, 음폐수 유입 ton 당 바이오가스 발생량은 자체 보고자료에 의하면 25~30m³/ton으로 본 실험에서 측정된 바이오가스량에 미치지 못하는 것으로 조사되었다. 이는 혐기성소화미생물중 메탄생성균의 종류 및 개체수와 바이오가스 생성량의 상관관계가 명확히 존재함을 의미하고 있으며, 추후 연구에서는 이에 대한 상관관계 검증이 필요하다고 판단된다.

3.5 환경부 기준 및 타 사례 비교

본 연구의 분석결과와 환경부 지침(음식물류폐기물 바이오가스화시설 기술지침서, 2015), 유사시설(I시 음폐수 혐기성소화, 분리형 2상)과의 운전결과를 비교 검토하여 [Table-5]에 나타내었다. 검토 결과, 혐기성소화조의 안정화 상태를 가늠할 수 있는 소화조 배출수의 pH는 일체형 7.5, 유사사례 7.6로 큰 차이가 없었다. VS와 TS 제거율은 일체형

Table 5. Comparison of Integrated and Separated Digestion

Items	Integrated Digestion	Separated Digestion	Guideline
pH	7.5	7.6	7.0~8.0
OLR (kg VS/m ³ ·day)	3.5	2.5	1.5~4.0
VS Removal(%)	76.9	74.5	65%
TS Removal(%)	64.8	60.7	-
Biogas(m ³ /ton)	63.04	65.1	-
Biogas(m ³ /kgVS)	0.724	1.11	0.30~0.48
CH ₄ Content	61.3	63.1	60

이 분리형보다 다소 높은 결과를 보였으며, 환경부 지침 상 기준인 65%를 상회하는 것으로 나타났다.

바이오가스 생산량에 있어서는 분리형 65.1m³/ton, 일체형 63.04m³/ton로 분리형이 약간 높게 나타났다. 투입 유기물질량에 비례한 가스량 역시 분리형이 일체형 보다는 다소 높은 것으로 나타났다. 끝으로 바이오가스 내 메탄함량은 일체형 61.3%, 분리형 63.1%로 이 역시 분리형이 다소 높은 결과를 보였다.

이상의 결과를 정리하면, 일체형과 분리형의 유기물 부하량에 있어서 일체형이 3.5kg VS/m³·day로 분리형 2.5kg VS/m³·day 보다는 다소 높고 대상 기질의 농도와 운전조건이 서로 상이하여 정확한 대조군 비교는 다소 어렵지만, 전체적으로 음폐수 내 유기물 제거 측면에서는 대등한 효율을 보이는 것으로 나타났다. 아울러 VS제거율, 바이오가스 발생량 등의 본 실험 결과는 환경부 지침상 제시된 주요 설계운전인자를 모두 만족하는 것으로 분석되어 일체형 2상 혐기성소화의 음폐수 처리효율성은 긍정적인 것으로 판단된다.

4. 결론

본 일체형 2상 혐기성소화 Pilot Scale 실험의 종합 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 평균 음폐수 투입량은 4.1m³/일이었으며, 이때 유기물 제거효율은 약 76.9%로 나타났다.
2. 바이오가스는 평균적으로 투입 음폐수 ton당 약 63.04m³ (0.724 m³/kg-VS_{added})가 발생되었으며, 메탄함량은 약 61.3%로 분석되었다.
3. 본 실험에서 바이오가스 발생량은 일반적으로 음식물 및 음폐수 혐기성소화 시 설계기준으로 참고하는 문헌상 발생 범위인 0.30~0.48 m³/kg-VS_{added}을 상회하는 수치이며, 메탄함량 역시 평균 범위 수준인 것으로 나타났다.
4. 각 발효조 내 미생물 군집 특성에 있어서 메탄 생성이 기인하는 주요 미생물군의 종류와 개체수는 일반적인 2상 혐기성소화조 보다 더 많은 것으로 나타났다.

이상의 실험 결과를 정리하면, 일체형 2상 혐기

성소화는 기존 산발효조와 메탄발효조가 분리된 소화방식 대비 유기물 제거 효율은 다소 높게 나타났으며, 바이오가스 생산량은 분리형이 보다 높게 분석되었다. 반면, 안정적인 소화조 내 미생물 활성 조건 유지를 위한 미생물 종류와 개체수는 분리형 보다 유리한 것으로 나타났다. 결과적으로 본 연구에서 다루는 일체형 2상 혐기성소화 방식은 충분히 고농도 유기성 폐수인 음폐수 처리에 있어서 상용화가 가능하다는 결론을 내릴 수 있으며, 지금까지의 분석 결과는 Scale Up 플랜트의 설계·제작 인자로 사용 가능하다고 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 Eco-Star Project 폐자원에너지화 및 Non-CO₂ 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 Oceans and Fisheries, "Time-limited accepted standards of ocean dumping for wastewater and sludges" (2013).
3. Kim, Y. M., "Foodwaste Leachate Treatment", DICER Report, Topic Review. (2009).
4. Ministry of Environment, "Technical Guideline for Food waste Anaerobic Digestion Plant" (2015).
5. Park, B. S., "Introduction of Biogas Technology for Integrated Two-Phase Anaerobic Digestion Using Foodwaste Leachate", Posco ENG, 27, pp. 26.
6. Ike, M., Inoue, D., Miyano, T., Liu, T. T., Sei, K., Soda, S., and Kadoshin, S., "Microbial population dynamics during startup of a full-scale anaerobic digester treating industrial food waste in Kyoto eco-energy project", *Bioresource Technology*, 101, pp. 3952~3957 (2010).
7. Mata-Alvarez, J. Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes, *IWA*, pp. 159~160 (2003).
8. Hobson, P. N. and Wheatley, A. D., *Anaerobic digestion (Modern theory and practice)*, Elsevier applied science, pp. 17~21, 52~53 (1993).
9. Kim, S.-H. and Sung, S., "Co-digestion of waste glycerol with swine manure", *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 18(2), pp. 71~75. (2010).
10. Sophonsiri, C. and Morgenroth, E., "Chemical composition associated with different particle size fractions in municipal, industrial, and agricultural wastewaters", *Chemosphere*, 55(5), pp. 691~703. (2004).
11. Kim, S. H., Han, S. K., Yoon, K. H., Shin, H. S., "Hydrogen Production Research in Continuous Anaerobic Digestion Process", *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 11(1), pp. 70~76. (2003).