

ORIGINAL ARTICLE

유기물부하량 증가에 따른 음폐수 혐기성소화의 특성 분석

정재훈 · 정우진^{1)*} · 장순웅¹⁾ · 김진태²⁾ · 정성엽²⁾ · 양승연²⁾

경기대학교 일반대학원 환경에너지공학과, ¹⁾경기대학교 창의공과대학 환경에너지공학전공, ²⁾(주)파이브텍

Characteristics of Anaerobic Digestion using Food waste leachate under Increased Organic Loading rate

Jae-Hoon Jeung, Woo-Jin Chung^{1)*}, Soon-Woong Chang¹⁾, Jin-Tea Kim²⁾, Seong-Yeob Jeong²⁾, Seung-Youn Yang²⁾

Department of Environmental Engineering, Graduate school of Kyonggi university, Suwon 16227, Korea

¹⁾*Department of Environmental Engineering, Kyonggi university, Suwon 16227, Korea*

²⁾*Fivetek Co., Ltd, Seongnam 13202, Korea*

Abstract

Herein, the effect of changes in the organic loading rate in anaerobic digestion was evaluated. The experiment was carried out by a laboratory-scale semi-continuous stirred tank reactor, and feedstock was food-waste leached. The organic loading rate was increased by 0.5 kgVS/m³ in each phase from 1.0 kgVS/m³ to 4.0 kgVS/m³. At the end of the operation, to check the failure of the reactor, the organic loading rate was increased by 1.0 kgVS/m³ in each phase and reached 6.0 kgVS/m³. This shows that the biogas yield decreased as organic loading rate increased. Biogas production seemed to be unstable at 3.5-6.0 kgVS/m³. Moreover, biogas production dramatically fell to approximately 0 mL at 6.0 kgVS/m³, which was decided as the operation failure on the 16th day of the last phase. The result of the reactor analysis shows that the cumulation of volatile fatty acid increased as the organic loading rate increased. This seems to occur due to the decrease in pH in the reactor and led to extinction of anaerobic bacteria, which were the biogas products. Although the buffer compound (alkalinity) could prevent the decline in pH, the concentration of alkalinity was found to be lacking at a high organic loading rate.

Key words : Anaerobic digestion, Food waste leachate, Organic loading rate, VFAs

1. 서론

국내에서는 2005년 침출수 및 악취 등의 문제로 인해 유기성 폐기물의 직매립을 금지했으며, 2006년 런던협약에 따라 해양투기 또한 전면 금지됨에 따라 유기성 폐기물의 육상 처리 방안에 대한 연구가 활발해졌다(Kim and Lee., 2009). 이러한 유기성 폐기물 중

음식물류 폐기물은 쉽게 부패되는 특성과 더불어 직매립 시 악취 및 침출수 등 환경적 부하를 발생시키는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2008). 이러한 이유로 음식물류 폐기물의 90%는 퇴비화, 사료화 등의 재활용되고 있으나, 자원화 과정에서 고농도의 음식물류 폐기물 폐수(음폐수)가 지속적으로 발생하는 문제점이 지적되고 있다(Lee, 2015). 2019년 기준 국내 음식물

Received 28 November, 2022; Revised 16 December, 2022;

Accepted 20 December, 2022

*Corresponding author : Woo-Jin Chung, Department of Environmental Engineering, Kyonggi university, Suwon 16227, Korean

Phone : +82-31-249-9755

E-mail : cine23@kyonggi.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 1. Characteristics of seed sludge and feedstock

Parameter	TS (g/L)	VS (g/L)	TCOD (g/L)	SCOD (g/L)	T-N (g/L)	TAN (g/L)
Seed sludge	20.37	10.36	21.03	7.71	4.20	2.66
Food waste leached	86.2	75.6	104.7	75.4	2.8	0.37

Table 2. Experimental setting

Phase	Operation time (d)	OLR (kgVS/m ³)	HRT (d)
1	45	0.98	76.9
2	45	1.51	50.0
3	45	2.01	37.6
4	45	2.50	30.3
5	45	2.99	25.6
6	57	3.52	17.5
7	26	4.00	16.2
8	23	5.02	15.6
9	16	5.96	13.2

류 폐기물 발생량은 14,314 톤/일로, 생활계 폐기물 중 약 24.7%를 차지하고 있다(Lee and Bae, 2022). 또한 2014년 기준 13,222 톤/일에 비해 8.3% 증가하였으며, 지속적으로 증가할 것으로 예상되고 있다(Ministry of Environment, 2020). 발생한 음식물류 폐기물의 퇴비화 또는 사료화를 위해서는 염분 제거가 필수적이나, 이 과정에서 세척수와 더불어 음식물을 함유한 수분 등이 음폐수로 발생되고 있다(Yeo, 2016). 2016년 기준 음식물류 폐기물 처리시설에서 발생한 음폐수는 총 55,102 톤/일로, 공공시설에서 약 56%, 민간시설에서 약 44%의 비율로 처리되고 있는 것으로 조사되었다(Cho and Oh, 2022). 이러한 음폐수를 공공수역에 방류하기 위해서는 하수처리장 등에서 처리가 필요하다, 일반 폐수에 비해 유기물 함량이 매우 높아 민간업체에서 방류수질에 준수한 처리가 어려운 실정이다(Ministry of Environment, 2007).

혐기성소화는 음폐수와 같은 고농도의 유기성폐기물을 이용하여 메탄을 생성할 수 있는 공정으로써 경제적인 비용절감, 대체 에너지 생산(메탄가스) 등의 이점을 가진 기술로 알려져 있다(Kim et al., 2013). 국내에서는 주로 해외의 혐기성공법을 기반으로 한 시설이 적용 및 운영되고 있으나, 해외에서 인정받은 공법임에도 불구하고 국내 시설에서의 운전상의 미숙, 투입 폐

기물의 성상차이 등에 의해 소화효율 저하 및 가동 중지 등 운전상에 문제가 발생하고 있다(Jeon and Lee, 2018). 또한 국내를 포함한 대부분의 해외 기술은 가수분해, 가축분뇨 등 유기물 함량이 다소 낮은 폐수를 대상으로만 기술이 정립되어 있어 국내 음폐수 특성에 적합한 최적 모델 및 안정적인 운전기술의 확보 수준은 부실한 실정이다(Song and Kim, 2016). 혐기성소화 공정에 음식물류 폐기물 또는 음폐수 등과 같은 고농도 유기물질이 유입될 경우 예상되는 문제점은 유입 부하변동에 따른 소화조 내 미생물의 활성도 저하로, 이러한 영향은 유기물 분해를 저하, 바이오가스 생산성 저하 등 운영 실패에 직결될 수 있는 문제가 있다(Ministry of Environment, 2015). 특히 혐기성소화 공정에서 반응조 용적(m³) 당 유기물의 양(kg COD 또는 kg VS)을 의미하는 유기물 부하량(Organic Loading Rate, OLR)은 공정 설계의 중요 요소로 고려되는 인자로서, 국내 운영기술 부족으로 인한 문제의 대부분이 급격한 OLR의 증가에 따른 운영 실패로 지적되고 있다(Sung et al., 2018). OLR은 유기물의 체류시간을 의미하는 수리학적 체류시간(Hydraulic Retention Time, HRT)과도 밀접한 관계를 맺고 있다(Eum, 2009). 혐기성소화의 과정은 가수분해, 산 발효, 메탄발효 단계로 구분되며, 각 단계에서 요구되는

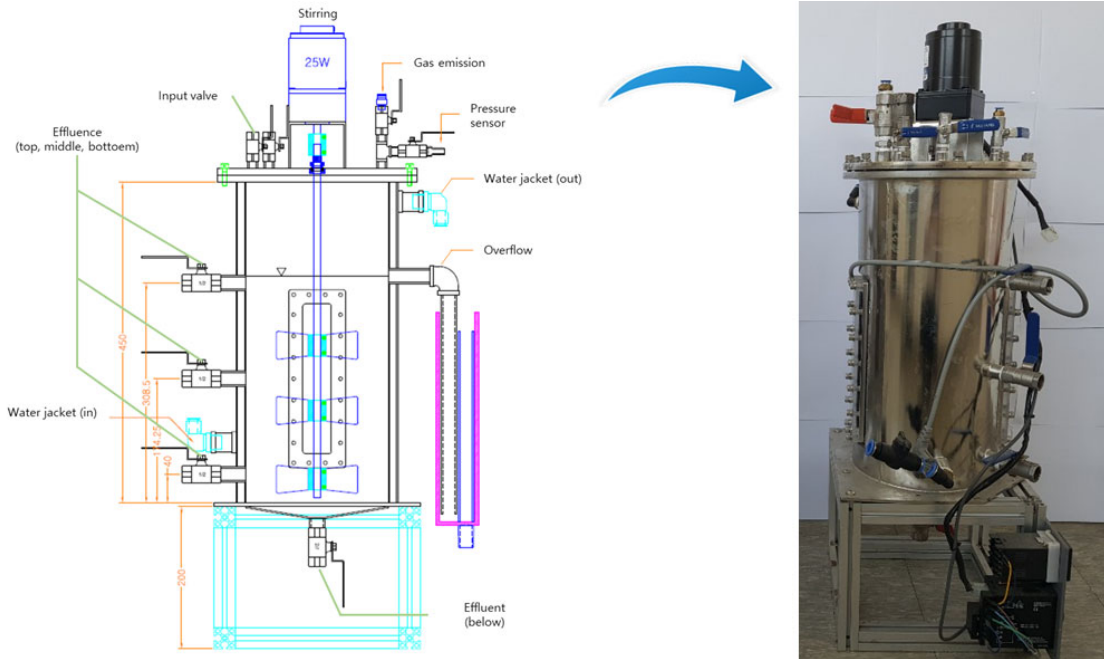


Fig. 1. Design of lab. scale semi-continuous stirred tank reactor.

미생물의 생리적 특징 및 영양적 요구성이 상이한 것으로 알려져 있다(Alexiou et al., 1994). 그 중 가수분해 단계는 율속단계(rate limiting step)으로, 유기물이 투입된 후 분해되기까지 충분한 시간이 필요한 단계로 알려져 있다(Eastman and Ferguson, 1981; Li and Koike, 1992). 혐기성소화 운영 중 OLR이 증가할수록 HRT는 감소하며, 이러한 짧은 HRT는 유기물을 충분히 분해시키지 못하고 휘발성 지방산(Volatile Fatty Acid, VFA)의 축적을 야기하는 것으로 알려져 있다(Kim and Lee, 2022). 이렇게 축적된 VFA는 급격한 pH의 감소를 일으켜, 혐기성 미생물의 활동성 저하 또는 사멸까지 일으키며 운영 실패로 이어질 수 있다(Zhang et al., 2014).

이에, 본 연구에서는 고농도 유기물을 함유한 음폐수를 대상으로 유기물 부하량의 증가에 따른 반응조 내부의 변화 및 운영 불안정/실패가 유발되는 고부하 운영 결과를 연구하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 원료 및 식종 슬러지

본 연구에서 사용된 원료는 인천 S 바이오가스 플랜트로 유입되는 음폐수를 사용하였으며, 반응기 식종을 위한 식종 슬러지 또한 해당 플랜트의 소화슬러지를 채취하여 사용하였다. 채취한 원료 및 식종 슬러지의 이화학적 특성은 아래 Table 1과 같다.

2.2. 실험실 규모 반응기

유기물 부하량에 따른 혐기성소화의 특성 평가를 위하여 실험실 규모 semi-continuous stirred tank reactor (working volume: 10 L)를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험은 중온(35±2℃) 조건으로 운영되었으며, 반응조 내의 균질화를 위해 30 rpm에서 지속적으로 교반하였다. 반응조 상부에는 바이오가스 발생량 및 가스 성분 분석을 위해 10 L Tedler bag을 연결하여 가스를 포집하였다.

유기물 부하량은 각 phase별로 0.5 kgVS/m³씩 증가시켰으며, 최소 1.0 kgVS/m³에서 4.0 kgVS/m³까지 증가시켰다. 또한 운영이 실패하는 고부하 구간을 확인하기 위해 OLR 4.0 kgVS/m³ 이후 1.0 kgVS/m³씩 증가시켜 최종적으로 최대 6.0 kgVS/m³까지 운영하였다.

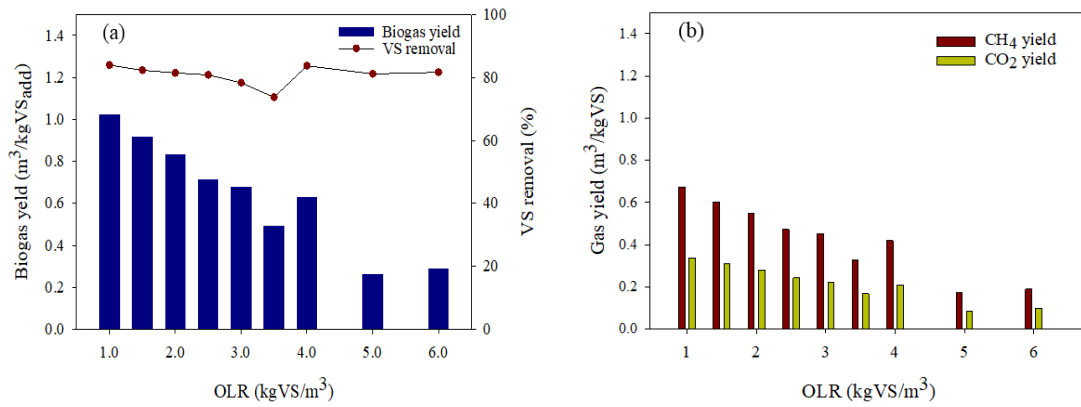


Fig. 2. Result of (a) biogas yield and (b) CH₄ and CO₂ yield.

Table 3. Result of TAN and FAN analysis

OLR (kgVS/m ³)	Analysis result			
	TS (g/L)	VS (g/L)	TAN (g/L)	FAN (mg/L)
1.0	22.60±1.16	12.24±0.78	2.7±0.1	192.9±61.0
1.5	24.31±1.48	13.38±1.08	2.6±0.1	167.9±47.1
2.0	24.14±1.69	14.11±1.36	2.5±0.1	140.9±52.3
2.5	26.17±6.96	14.49±1.33	2.5±0.1	124.6±46.6
3.0	26.15±2.24	16.43±2.29	2.4±0.2	91.4±49.3
3.5	33.91±12.58	19.62±3.34	2.3±0.2	50.4±48.9
4.0	25.32±1.30	12.83±1.08	2.0±0.1	98.7±38.7
5.0	24.67±2.69	14.81±2.82	2.0±0.1	40.0±58.1
6.0	23.73±2.02	14.44±2.05	1.9±0.1	54.7±62.0

3. 결과 및 고찰

3.1. OLR에 따른 바이오가스 발생량

본 연구에서는 OLR의 변화에 따라 혐기성소화의 운영 특성을 분석하기 위해 실험실 규모 반응기를 이용하여 단계적으로 OLR을 증가시켜 운영하였다. 혐기성소화의 원료로는 음폐수를 사용하였으며, 각 phase에 따라 OLR을 0.5 kgVS/m³씩 증가시켜 1.0~4.0 kgVS/m³의 범위에서 OLR을 증가시켰다. 또한 고부하에서의 운영 특성을 평가하기 위하여 OLR 4.0 kgVS/m³ 이후 OLR을 1.0 kgVS/m³씩 증가시켜 최종적으로 6.0 kgVS/m³까지 증가시켰다.

실험실 규모 반응기 운영 결과, 부하량 1.0-3.0

kgVS/m³(저부하 구간)에서의 바이오가스 수율은 각각 1.022±0.022, 0.915±0.144, 0.831±0.142, 0.712±0.103, 0.679±0.127 m³ / kgVS로, OLR이 증가할수록 바이오가스 수율이 감소하는 경향을 나타내었으나, 비교적 안정적인 운영 결과를 나타내었다. 반면, 부하량 3.5 kgVS/m³ 이상에서의 운영에서는 바이오가스 수율이 불안정한 결과를 나타냈다. 또한 phase 6, 7, 8에서 장기간 운영함에 따라 각각 57일차, 26일차, 23일차에 바이오가스 발생량이 0 mL에 수렴하였다. 특히 최대 부하량 6.0 kgVS/m³에서는 바이오가스 발생량이 점차 감소하여 최종적으로 0 mL에 가깝게 관측되어 16일차에 운영 실패로 판단하고 중단하였다. 해당 구간에서의 바이오가스 수율은 각각 0.491±0.204, 0.629±0.167, 0.261±0.122,

Table 4. Result of OLR performance

OLR (kgVS/m ³)	Analysis result			
	VFA (g/L)	pH	Alkalinity (mg/L)	VFA/Alk.
1.0	0.45±0.11	7.86±0.07	12.4±1.7	0.037±0.008
1.5	0.73±0.26	7.79±.070	11.5±2.4	0.063±0.020
2.0	1.05±0.42	7.73±0.09	10.7±2.5	0.095±0.035
2.5	1.40±0.70	7.69±0.09	9.7±3.2	0.134±0.066
3.0	1.46±0.53	7.52±0.16	9.9±1.6	0.144±0.051
3.5	2.23±1.22	7.16±0.40	8.2±1.7	0.275±0.150
4.0	1.75±0.49	7.64±0.16	7.0±0.5	0.249±.074
5.0	3.87±2.00	6.45±1.03	5.8±1.1	0.708±0.386
6.0	3.86±2.40	6.82±0.87	6.0±0.9	0.686±0.456

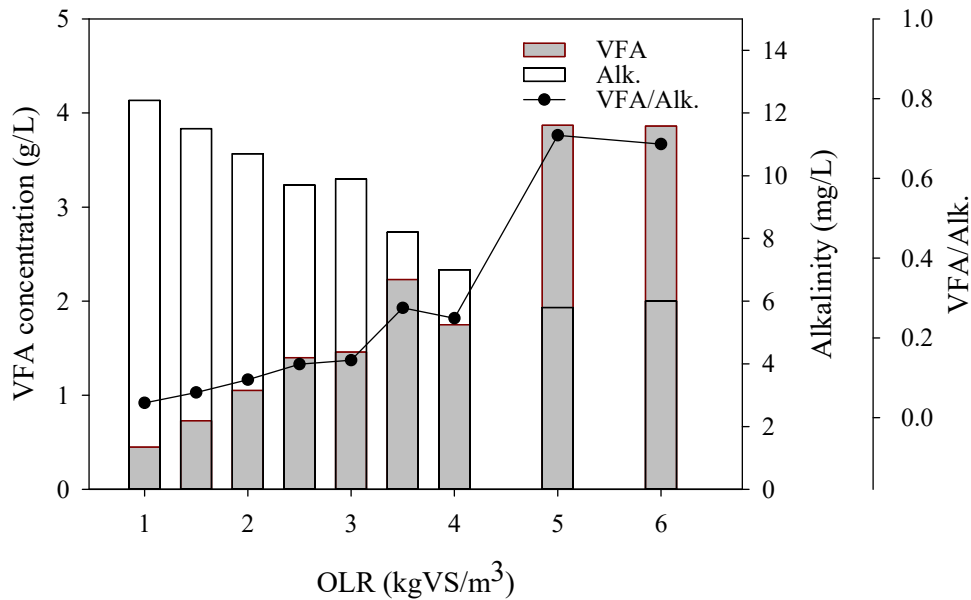


Fig. 3. Trend of VFA and Alk, VFA/Alk. change.

0.289±0.192 m³/kgVS로 확인되었다. 채소 폐기물을 대상으로 OLR에 따른 혐기성소화의 영향을 연구한 Babae and Shayegan(2011)은 OLR 1.4, 2.0, 2.75 kgVS/m³·d의 3 단계로 증가시키며 연속 운전한 결과, 바이오가스 발생량이 각각 33.3, 27.6, 21.3 L/d로, OLR이 증가함에 따라 바이오가스 발생량이 감소하는 경향을 보였다고 밝혔다. 또한 해당 연구에서는 바이오 가스 내 메탄함량이 약 60%로 관측되던 OLR 2.0

kgVS/m³·d에서 OLR 2.75 kgVS/m³·d로 증가함에 따라 49.7% 이하로 감소하였다고 보고하였다. 본 연구와 유사한 결과로, Nagao et al.(2012)은 음식물류 폐기물을 이용한 single-stage continuously stirred tank reactor의 운영 중 OLR 3.7 kgVS/m³·d (0~50 일차)에서 5.5 kgVS/m³·d로 증가시켰을 때, 초기 바이오 가스 발생량이 증가하였으나, 55일차 이후 급격히 감소하며 60일차에 바이오가스 생산이 멈추는 결과를 확

인하였다. 이렇듯, 대부분의 연구에서는 음식물류 폐기물 또는 도시형 유기성 폐기물의 적정 OLR 운영 범위를 1~4 kgVS/m³·d로 제시하고 있다(Mata-Alvarez and Llabres, 1992; Cho and Park, 1995; Zhang et al., 2007).

3.2. VFA 및 Alk. 분석

본 연구에서는 운영 실패의 원인을 파악하기 위해 각 phase마다 반응기 내부의 소화슬러지를 채취하여 이화학적 분석을 수행하였다. 특히 혐기성소화 운영 시 주요 문제로 제시되고 있는 TAN 및 FAN, VFAs 및 Alk.의 농도의 변화에 주목하였다. 그러나, TAN 및 FAN의 경우, 저부하 구간(1.0~3.0 kgVS/m³) 및 고부하 구간(3.5~6.0 kgVS/m³)에서 안정적인 운영 농도로 제시되고 있는 TAN > 4.2 g/L 및 FAN > 500 mg/L의 범위에 부합하는 것으로 확인되었다(Kabdasl et al., 2000; Duan et al., 2012). 이러한 결과를 바탕으로 음폐수를 이용한 혐기성소화에서 TAN 및 FAN의 영향은 미비한 것으로 판단되었다.

반면, OLR이 증가함에 따라 VFA의 농도가 지속적으로 증가하는 경향을 확인하였다. 특히 고부하 구간에서는 OLR 6.0 kgVS/m³에서 최대 9.06 g/L로 고농도의 VFA 축적이 확인되었으며, 이에 따라 pH 5.55까지 감소하는 결과를 나타내었다. 이는 L. Martín-Gonzalez et al.(2013)이 수행한 유기성 도시폐기물의 혐기성소화에서 제시된 VFA의 한계 농도 3.0 g/L 이상으로 확인되었다, pH 또한 Lier et al.(1997)이 제시한 6.5~7.8의 범위 이하로 매우 낮은 것으로 확인되었다. 특히 VFA/Alk ratio는 최대 1.647로 관찰되어, 이러한 급격한 pH 변화를 완화시킬 완충물질(Alk)이 부족한 것으로 나타났다. Li et al.(2014)은 혐기성소화 운영에 있어 적정 VFA/Alk ratio의 범위는 0.2~0.3이라 주장하였으나, 본 연구에서는 적정 범위보다 8배 이상 높은 수치로 확인되었다.

4. 결론

본 연구에서는 음폐수를 이용한 혐기성소화 과정에서 OLR이 증가함에 따라 소화조 내부의 인자 변화(TS, VS, VFA, Alk., pH 등)를 관찰하였다. 실험은 실험실 규모의 semi-continuous stirred tank를 이용하여 진행되었으며, OLR 1.0 kgVS/m³부터 4.0 kgVS/m³까

지 0.5 kgVS/m³씩 단계적으로 증가시켰다. OLR 4.0 kgVS/m³ 이후에는 운영 실패 단계를 확인하기 위하여 OLR을 1.0 kgVS/m³씩 증가시켜 최종적으로 6.0 kgVS/m³까지 증가시켰다. 반응조 운영 결과, 저부하 구간(1.0~3.0 kgVS/m³)에서의 운영은 바이오가스 수율 및 소화조 내부의 주요 인자가 비교적 안정적으로 확인되었다. 그러나 부하량이 증가할수록 바이오가스 수율이 점차 감소하는 경향을 나타냈다. 고부하 구간(3.5~6.0 kgVS/m³)에서는 바이오가스 수율이 불안정한 것으로 확인되었다. 특히 최대 부하인 6.0 kgVS/m³에서는 바이오가스 발생량이 점차 감소하여 0 mL에 가깝게 발생함에 따라 16일차에 운영 실패로 판단하고 운영을 중단하였다. 이러한 고부하 구간에서는 반응조 내부에 VFA의 축적이 확인되었으며, pH가 감소하는 현상이 발생하였다. 또한 OLR이 증가함에 따라 급격한 pH 변화를 방지하는 Alkalinity의 농도가 감소하였으며, 결과적으로 VFA/Alk ratio가 최대 1.647로 최적 운영조건으로 알려진 0.2~0.3의 범위를 크게 벗어난 것으로 확인되었다. 따라서, 본 연구에서는 음폐수의 최적 운영 부하를 2.5~3.0 kgVS/m³로 선정하였으며, 그 이상의 부하량에서는 운영이 불안정해지고 실패할 수 있을 것으로 판단하였다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 상하수도 혁신 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (과제번호 2021002690003)

REFERENCES

- Alexiou, I. E., Anderson, G. K., Evison, L. M., 1994, Design of pre-acidification reactors for the anaerobic treatment of industrial wastewaters, *Water Science & Technology*, 29(9), 199-204.
- Babae, A., Shayegan, J., 2011, Effect of Organic Loading Rates (OLR) on production of methane from anaerobic digestion of vegetables waste, *World Renewable Energy Congress, Journal of Bioenergy Technology*, Linkoping, Sweden, 411-417.
- Cho, J. K., Park, S. C., 1995, Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food wastes, *Journal of Bioresource Technology*, 52(3), 245-253.

- Cho, K. M., Oh, S. E., 2022, Behavior of hydrogen and organic acids in anaerobic digestion of food wastewater, *New & Renewable Energy*, 18(2), 9-17.
- Duan, N., Dong, B., Wu, B., Dai, X., 2012, High-solid anaerobic digestion of sewage sludge under mesophilic conditions: feasibility study, *Journal of Bioresource Technology*, 104, 150-156.
- Eastman, J. A., Ferguson, J. F., 1981, Solubilization of particulate organic carbon during the acid phase of anaerobic digestion, *Water Pollution Control Federation*, 53(3), Part I, 352-366.
- Eum, T. K., 2009, The variation of treatment efficiency of anaerobic digestion in low temperature according to hydraulic shock loading, *Journal of Korean Society of Water Science and Technology* 17(3), 37-44.
- Jeon, S. B., Lee, B. H., 2018, Evaluation of efficiency according to reactor structure in anaerobic digestion of food waste leachate, the Korea Society of Waste Management Spring Conference, Wonju-si, Korea, 142.
- Kabdasl, I., Tunay, O., Ozturk, I., Yilmaz, S., Arikan O., 2000, Ammonia removal from young landfill leachate by magnesium ammonium phosphate precipitation and air stripping, *Journal of Water Science & Technology*, 41(1), 237-240.
- Kim, D. H., Shin, H. S., Oh, S. E., 2008, Treatment of food waste leachate and biogas production by two-stage anaerobic digestion system, *Journal Of Korea Society Of Waste Management*, 25, 716-722.
- Kim, H. J., Lee, W. B., Mo, K., Park, S. Y., Kim, M. I., 2013, Evaluation of the influence factor at anaerobic co-digestion of foodwaste water and with distillery waste water, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers Conference*, Gangwon-do Province, Korea, 2996-2999.
- Kim, K. S., Lee, S. M., 2009, Management strategy for the prohibition of ocean Dumping of sewage sludge in 2011, *Journal of Seoul Studies*, 9(3), 3-21.
- Kim, Y. S., Lee, C. Y., 2022, Effects of increasing the organic loading rate on anaerobic digestion with food waste, *Journal of Korea Society of Waste Management*, 39(4), 315-323.
- Lee, S. J., 2015, Anaerobic co-digestion of food waste leachate and sewage sludge, MS. Dissertation, Konkuk University, Seoul-si, Korea.
- Lee, S. Y., Bae, J. H., 2022, The effects of agitation method on the food waste leachate treatment efficiency of an anaerobic digester, *Journal of Korea Society of Waste Management*, 39(5), 440-450.
- Li, L., He, Q., Wei, Y., He, Q., Peng, X., 2014, Early warning indicators for monitoring the process failure of anaerobic digestion system of food waste, *Journal of Bioresource Technology*, 171, 491-494.
- Li, Y. Y., Noike, T., 1992, Upgrading of anaerobic digestion of waste activated sludge by thermal pretreatment, *Water Science & Technology*, 26(3-4), 857-866.
- Lier, J. V., Rebac, S., Lettinga, G., 1997, High-rate anaerobic wastewater treatment under psychrophilic and thermophilic conditions, *Journal of Water Science and Technology*, 35(10), 199-206.
- Martin-Gonzalez, L., Font, X., Vicent, T., 2013, Alkalinity ratios to identify process imbalances in anaerobic digesters treating source-sorted organic fraction of municipal wastes, *Biochemical Engineering Journal*, 76, 1-5.
- Mata-Alvarez, J., Llabres, P., 1992, Anaerobic digestion of the barcelona central food market organic wastes: experimental study, *Journal of Bioresource Technology*, 39, 39-48.
- Ministry of Environment, 2007, Comprehensive measures for land treatment and energy conversion of wastewater generated by food waste treatment facilities, Sejong special self-governing city, Korea.
- Ministry of Environmen, 2015, Technical guidelines for biogasification facilities for food waste, No. 11-1480000-001416-01, Sejong special self-governin g city.
- Ministry of Environment, 2020, National waste generation and treatment status at 2019, No. 11-1480000-001552-10, Sejong special self-governing city, Korea.
- Nagao, N., Tajima, N., Kawai, M., Niwa, C., Kurosawa, N., Matsuyama, T., Yusoff, F. M., Toda, T., 2012, Maximum organic loading rate for the single-stage wet anaerobic digestion of food waste, *Journal of Bioresource Technology*, 118, 210-218.
- Song, H. C., Kim, D. W., 2016, Treatment efficiency evaluation of integrated two-phase pilot-scale anaerobic digestion using food waste leachate, *Journal of the Korea Organic Resources Recycling Association*, 24(2), 51-58.
- Sung, N. C., Kwon, M. J., Jung, J. H., Choi, Y. I., 2018, A Study on the amount of VFAs in the mixing ratio of livestock and food waste in anaerobic water Treatment System, *Journal of Korean Society of Water Science and Technology*, 26(2), 93-99.
- Yeo, K. H., 2016, Trends in land treatment of food waste leachate, Korea Environmental Industry and Technology Institute, Seoul, Korea.
- Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., Tan, T., 2014, Reviewing

the anaerobic digestion of food waste for biogas production, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 383-392.

Zhang, R., El-Mashad, H. M., Hartman, K., Wang, F., Liu,

G., Choate, C., Gamble, P., 2007, Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion, *Journal of Bioresource Technology*, 98(4), 929-935.

-
- Ph.D candidate. Jae-Hoon Jeung,
Department of Environmental Engineering, Graduate school of Kyonggi university
jhoonjeung@nate.com
 - Assistant professor. Woo-Jin Chung
Department of Environmental Engineering, Kyonggi university
cine23@kyonggi.ac.kr
 - Professor. Soon-Woong Chang
Department of Environmental Engineering, Kyonggi university
swchang@kyonggi.ac.kr

-
- CEO. Jin-Tea Kim
Fivetek Co., Ltd
jin85@fivetek.com
 - Department manager. Seong-Yeob Jeong
Fivetek Co., Ltd
jsyene@fivetek.com
 - Director. Seung-Youn Yang
Fivetek Co., Ltd
neosya@fivetek.com