

매립지 주입을 위한 음폐수 산발효 시 반응기 형태와 체류시간에 따른 특성

문광석 · 김재형 · 구혜민 · 임준혁 · 김낙주 · 장원석* · 박대원†
서울과학기술대학교 에너지환경대학원, *한국지역난방공사 기술연구소
(2014년 8월 2일 접수, 2014년 9월 10일 수정, 2014년 9월 12일 채택)

Characteristics of Anaerobic Acid Fermentation with Food waste leachate by Reactor Type of Retention Time for Landfill Site Injection

Kwangseok Moon · Jaehyung Kim · Hyemin Koo · Junhyuk Lim
Nakjoo Kim · Wonseok Chang* · Daewon Pak†

Graduate School of energy and Environment, Seoul National University of Technology & Science

*District Heating Technology Research Institute, Korea District Heating Corp

(Received 2 August 2014, Revised 10 September 2014, Accepted 12 September 2014)

요약

본 연구에서는 매립가스 증대를 위한 음폐수의 원활한 주입을 위해 혐기성 산발효 전처리를 수행하였으며 이를 통해 점도 감소와 유기산 생산량을 확인하여 매립지 주입을 위한 최적조건을 확인하고자 하였다. 산발효 후 음폐수 가용화율은 약 15% 증가함을 보였고 체류시간의 변화와 반응기형태를 달리 한 결과 큰 차이를 보이지는 않았다. 반응기형태에 따라 점도변화를 확인한 결과 상향류식 반응기에서 76.95±3.27%로 완전혼합반응기에 비해 약 11.38% 높은 점도 저감효율을 보였으며, VFA 생산에서는 체류시간을 3일에서 5일로 증가 시 2.01배(상향류식 반응기), 1.76배(완전혼합반응기) 높은 경향을 보였다. 이는 상향류식 반응기의 경우 고정층담체의 스크린 역할로 분자량이 작은 물질에 비해 큰 물질들이 상대적으로 반응기에 체류하는 시간이 길어져 효율이 높은 것으로 사료된다.

주요어 : 음폐수, 산발효, 메탄, 전처리, 매립가스

Abstract - In order to increase landfill gas (LFG) production with food waste leachate, this study was confirmed to be acidogenetic conditions for landfill site injection. Thereby, it was conducted for acidogenetic treatments to determine the decrease in viscosity and VFA production. After acidogenesis treatments, solubility of food waste leachate increased approximately 15%, and as a result, UASB and CSTR were similar by reactor type using the change of retention time. Based on the result of the change in viscosity by reactor type, efficiency of UASB showed approximately 11.38% of higher decrease in viscosity as 76.95±3.27% vs. CSTR. Also, VFA production showed the higher increase of 2.01 times (UASB) and 1.76 times (CSTR) respectively at the point of increasing retention time from 3 to 5 days. From the above results, efficiency of UASB in a reactor was relatively higher because large molecular lead to longer retention time than small molecular due to having screen effect in the fixed media.

Key words : Food waste leachate, Acidogenesis, Methane, Pre-treatment, Landfill gas

†To whom corresponding should be addressed.
The Graduate School of Energy and Environment,
Seoul National University of Science and Technology
Tel : 02-970-6595 E-mail : daewon@seoultech.ac.kr

1. 서 론

화석연료의 고갈과 지구온난화로 인해 세계적으로 화석연료를 대안할 수 있는 신재생에너지 생산 연구에 박차를 가하고 있다[1]. 이에 우리나라에서도 2030년까지 수급에너지원 중 신재생에너지원의 비율(11%)의 증대를 목표로 하는 「2차 국가에너지 기본계획」의 수립을 통해 에너지안보 제고에 힘쓰고 있으며[2], 이와 더불어 다양한 정책을 통해 신재생에너지 시장의 상승효과를 유도하고 있다. 또한, 환경부에서는 폐기물에너지화 대책 수반의 일환으로 「폐기물 에너지화 종합대책」을 통해 매립지 내 폐기물의 에너지화 방안을 적극 추진 중에 있다[3]. 2008년 기준 매립폐기물 25,436톤/일 중 에너지화 가능한 폐기물은 12,885톤/일로 약 50%를 차지하고 있는 것으로 발표되고 있으며 또한, 폐기물매립지에서 발생하는 매립가스(land fill gas; LFG)는 주성분이 메탄으로 아주 우수한 에너지원으로 평가되어 높은 이용가치로 인해[4], 미국, 유럽국가 및 우리나라에서 LFG 활용 시설을 건설·운영 중에 있고 활발한 연구가 진행되고 있다.

기존의 LFG 이용 기술은 포집·이용을 통해 전력생산 및 열원이용에 관한연구를 시작되었으며 최근에는 Pohland[5]의 침출수 순환에 의한 매립지안정화 연구를 기반으로 매립지를 대규모 바이오리액터로 인식하여 매립지에서 생산되는 매립가스 이용과 침출수이용 등에 관한 연구들이 생산유럽, 미국, 호주, 일본 등 다양한 선진국가에서 진행되어 왔다[6-11]. 매립지 이용 기술은 현재까지 완벽한 규명이 이루어지지 않고 장기간에 걸친 연구결과들이 필요하지만 매립가스 적용에 따른 이점들이 매우 높아 다양하게 적용되고 있다. LFG 발생량은 온도, 수분함량 등의 다양한 내외 부조건에 의해 변화를 보이며 특히, LFG발생량 증대를 위한 침출수 순환율은 라이시미터 연구를 통해 매립폐기물 부피당 2.7-30% 시 최적효율을 보인다고 발표된바 있다[12-14]. 앞선 연구들은 대부분 매립지 조기안정화와 매립폐기물내 내부탄소원을 통해 생산된 매립가스 이용기술들로 폐기물매립지의 안정화 이후에는 LFG생산이 극히 저조하므로 이를 이용한 발전·열원이용 효율이 저하될 것으로 사료된다. 특히, 국내 폐기물 매립지로 반입되는 폐기물의 성상은 최근 음식물쓰레기와 하수슬러지 등과 같은 유기성 폐기물의 반입금지조치로 서서히 소각재와 건설폐기물

과 같은 무기성 폐기물로 점유율이 변해가고 있어 [15], 매립지 폐기물 조성의 변화로 LFG 발생량에 영향을 미칠 것으로 예상되어지고 있다. 또한, 폐기물 매립지에 대한 혐오적인 이미지와 지역 이기주의의 팽배 등에 의해 신규 매립지의 확보는 어려운 실정에 있어 매립지에서 발생하는 LFG량도 점차 줄어들 것으로 예상된다.

이에 매립가스 생산량 증대를 위해 유기성폐기물(음식물류폐기물, 슬러지)을 매립지에 주입하는 다양한 기술들이 연구가 진행되고 있는 추세에 있다 [16-20]. 특히, 음식물쓰레기 폐수(음폐수) 등 유기물을 주입 시 고형물의 함량과 점도에 의해 주입관 주변이 막히는 폐색현상에 의해 운영상 어려움이 보고되고 있으며 이는 침출수와의 희석 등에 의한 방법으로 매립지 주입성에 관한 연구들이 진행되어 왔다.

이에 본 연구에서는 사용종료 매립지 내 매립가스 생산을 위해 음폐수를 주입하고자 음폐수에 전처리방법으로써 혐기성 산발효를 이용하고 이를 통해 전처리된 음폐수의 물리화학적 성상을 확인하여 매립지 주입을 위한 적용가능성을 확인하고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

2-1. 실험재료

본 연구에서는 서울시 도봉음식물중간처리장의 음식물쓰레기 처리시설에서 음식물쓰레기를 분리 및 탈수하는 과정에서 발생하는 음폐수를 수거하여 사용하였으며, 음폐수의 성상분석 결과는 Table 1과 같다. 음폐수에 포함된 입자가 큰 고형물을 제거하기 위해 체거름(200 mesh)후 냉장 보관하여 2일 이내에 사용하였다. 산발효 식종균은 서울시 중량물재생센터의 소화슬러지를 이용하였다.

Table 1. Characteristics of food waste leachate

Characteristics	Average
pH	4.57±0.04
Conductivity (ms/cm)	13.17±1.67
Salinity (%)	0.515±0.064
TCODcr (mg/L)	104,843±27,299
SCODcr (mg/L)	63,408±7,960
Total solid (mg/L)	102,588±41,242
Suspended solid (mg/L)	70,275±43,381
Volatile Solid (mg/L)	89,525±38,714
Volatile Suspended Solid (mg/L)	64,500±40,093

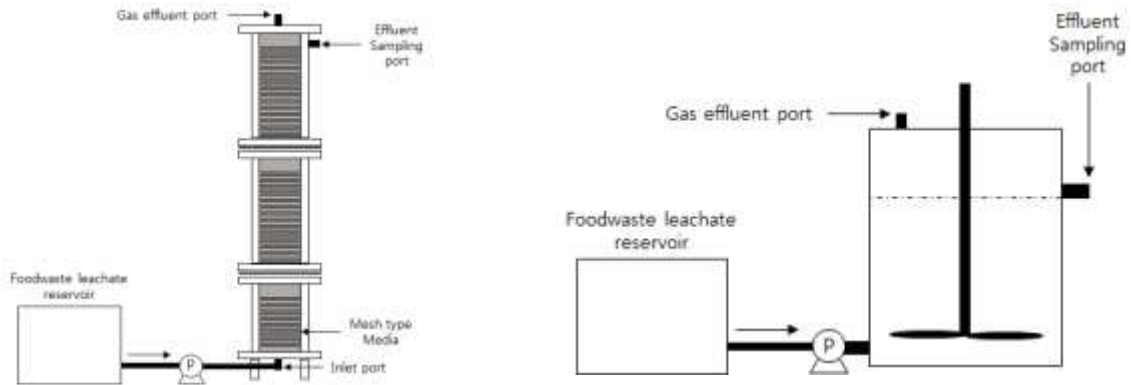


Fig. 1. Pre-treatment diagram (process) of food waste (left:UASB, right:CSTR)

2-2. 산발효 연속식 실험

산발효 연속식 실험은 상향류식 주입형태와 완전 혼합형태의 반응기를 이용하여 음식물 전처리 특성을 각각 비교하기 위해 총부피 10L(유효부피 5 L), 아크릴재질로 제작하였다. 실험초기 혐기성소화슬러지로 반응기를 유효부피 용량만큼 채운 후 질소로 충분히 치환하여 음식물 주입펌프를 체류시간(3일, 5일)에 맞게 설정하여 음식물을 연속적으로 주입하였다. 낮은 pH의 음식물을 반응기에 지속주입 시 pH의 저하가 우려되어 이를 방지하기 위해 음식물 저장탱크에서 3N-NaOH를 이용하여 pH 9-10으로 적정된 후 반응기에 주입하였다[21]. 연속식 주입형태의 반응기는 150 rpm의 일정한 속도로 교반시켜 운전하였으며 발생하는 가스는 wet gas meter와 연결하여 배출 가스량 측정과 반응기 내 혐기성 조건을 유지시켰다. 상향류식 반응기내부에는 망형(15 ppi)담체를 고정시켜 제작하였다.

2-3. 분석방법

연속운전 후 반응기외부로 유출되는 시료를 약 2-3 일 간격으로 채취하여 각 항목들을 분석하였다. TS, VS, SS, VSS, SCODcr, TCODcr은 모두 standard methods[22]를 기준으로 시행하였으며, pH는 pH미터(UB-5, Denver instrument, USA), 점도측정은 brookfield사의 DV series를 이용하였다. Volatile fatty acids(VFAs)는 flame ionization detector(FID) 검출기가 장착된 Gas Chromatography (Acme 6000 series, Younglin, Korea)를 이용하여 분석하였다. 이때 컬럼은 Innowax (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)를 사용하였으며, 오븐온도는 40°C에서 10분간 유지 후

210°C까지 20°C/min으로 승온 후 최종온도에서 2분간 유지하였다. 주입구 및 검출부의 온도는 각각 220°C, 250°C로 설정하였다. 운반기체로는 헬륨가스를 이용하였다. VFAs 중 측정항목은 acetic acid, propionic acid, butyric acid, Iso-butyric acid, valeric acid 등을 대상으로 하였으며, VFAs의 정량을 위해 표준물질(Volatile free acid mix, Sigma-Aldrich)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 체류시간에 따른 음식물 가용화율

전처리된 음식물을 매립지로 주입하여 메탄생성을 높이기 위해서는 전처리된 음식물의 유기물의 함량과 더불어 메탄생성균의 기질이용성 증대가 필요하다. 본 연구에서는 채취된 음식물을 혐기성 산발효 전처리를 통해 유기물의 함량유지와 기질이용성을 검토하기 위해 가용화율을 확인하고자 하였다. 각각의 반응기를 이용하여 체류시간 3일, 5일로 연속운전 시 채취된 유출된 시료의 가용화율을 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다.

음식물 성상은 Table 1에서와 같이 TCOD(104,843 ±27,299 mg/L), SCOD(63,408±7,960 mg/L)의 농도로 큰 편차를 보이지 않았으며 이때 주입된 음식물의 유기물 부하량(Organic loading rate)은 HRT 3일(36.05 g COD/L/day)과 HRT 5일(21.63 g COD/L/day)로 주입되었다. 각 반응기에서 산발효 처리된 유출수의 SCOD는 점차 증가하는 경향을 보였고 이를 가용화율(SCOD/TCOD)로 나타내었다. 운전 1~2일에는 두 반응기 모두 다소 낮은 가용화율을 보였는데 이는 반응기 셋팅 시 식중균을 유효부피만큼

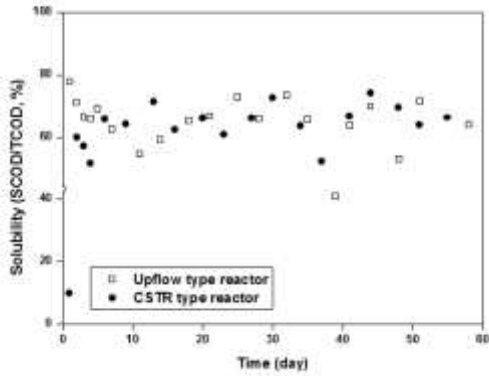


Fig. 2. Solubility (SCOD/TCOD) according to hydraulic retention time(HRT) (3days) at the food waste leachate treatment

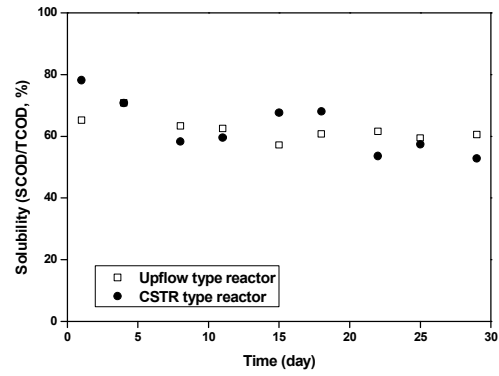


Fig. 3. Solubility (SCOD/TCOD) according to hydraulic retention time(HRT) (5 days) at the food waste leachate treatment

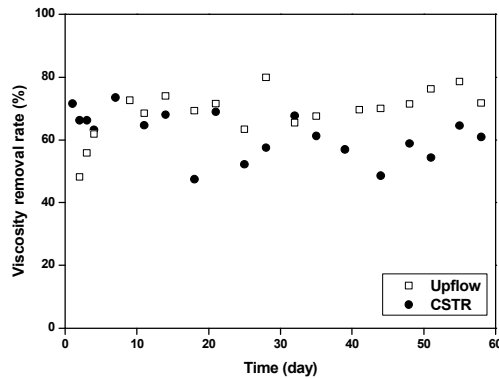


Fig. 4. Viscosity removal rate according to hydraulic retention time(HRT) (3days) at the food waste leachate treatment

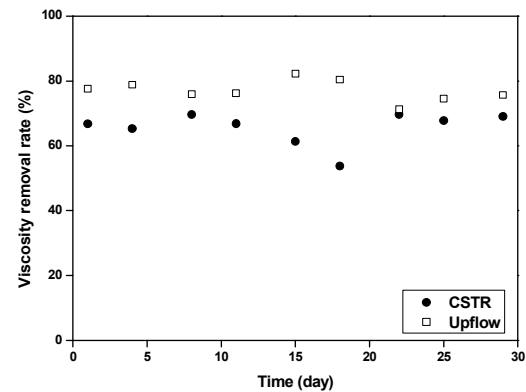


Fig. 5. Viscosity removal rate according to hydraulic retention time(HRT) (5days) at the food waste leachate treatment

채운 후 각각의 HRT별로 음폐수를 주입시키게 되므로 start-up 시 반응이 되지 않은 음폐수와 식중균이 혼재되어 유출된 결과인 것으로 사료된다. 이후 약 20일까지는 가용화율의 변동과 함께 점차 증가하는 경향을 보이는데 이는 반응기 내 산발효균주의 활성화가 점차 이루어져 효율이 증가한데 따른 것으로 예상된다. 가용화율의 증가는 주입된 음폐수의 유기성 물질이 산발효균주에 의해 가용화 처리되어 SCOD가 증가한 것으로 이는 슬러지를 이용하여 산발효처리 한 M. G. Barajas의 연구결과와 유사한 경향을 보였다[23].

각 반응기를 통해 처리된 음폐수의 가용화율은 음폐수 원수(48.8%)에 비해 상향류식 고정층반응기와 연속흐름반응기에서 각각 63.94±9.36%, 63.64±17.26%로 반응기형태와 HRT의 변화에 따라서는 음폐수 산처리 시 가용화율에는 큰 차이를 보이지 않았다.

3.2. 체류시간 및 반응기 형태에 따른 점도변화

각 반응기별 체류시간에 따른 음폐수 산발효 시 점도변화 결과를 Fig. 4과 Fig. 5에 나타내었다. 초기 음폐수의 점도는 약 53±16 CP(centi poise)로 이는 모터오일(SAE 10)정도였으며, 이를 혐기성 산발효 반응기를 통해 각 체류시간에 따라 처리된 유출수의 점도는 약 2일간의 start-up 단계에서 점도제거율이 상승함을 보였으며 이후 평균 60%이상의 제거율을 보이며 점도가 낮아지는 경향을 나타내었다. 이는 혐기성 산발효균주에 의해 음폐수의 유기물이 가용화되어 고형물 사이즈가 가수분해 됨에 따라 점도가 낮아지는 것으로 사료된다.

매립지폐기물내 유기물 주입은 매립지의 공극특성과 유기물 함량, 점도 등 다양한 인자들이 중요한 영

향을 미치는 것으로 알려져 있으며 각 인자들에 의한 주입관 주변이 막히는 폐색현상이 유기물 주입 시 문제점으로 대두되고 있다. 선진연구자들은 고농도 유기성폐기물의 회석, 물리적전처리, 생물학적전처리 등에 의한 방법을 진행해 왔으며(X. Liu 등, Z. W. Zhu 등, A. M. Brooksbank 등) 본 연구에서도 앞선 연구결과와 유사한 처리효율을 보였다[24-27]. 반응기 형태별 음폐수 산발효 처리 시 점도변화는 상향류식 반응기에서 76.95±3.27%로 연속흐름반응기(65.57±5.13%)에 비해 약 11.38% 높은 저감효율을 보였다. 이는 상향류식 반응기의 경우 반응기내 망형 담체에 고정화된 산발효균주에 의한 유기물의 가수분해 효과에 기인한 것으로 보이며, 특히 음폐수 중 분자량이 큰 유기물은 담체의 스크린 역할로 인해 반응기 하부부터 고정이 되고 분자량이 상대적으로 작은 물질들은 반응기 상부의 산발효균주에 의해 가수분해 처리 후 유출됨에 따라 분자량이 큰 물질들은 상대적으로 반응기 내부에 오랜 기간동안 체류하여 처리되므로 연속흐름반응기에 비해 점도제거 효율이 더 높게 나타난 것으로 사료된다.

3.3. 음폐수 산발효에 따른 VFA성상변화

반응기 형태별 음폐수를 이용한 산발효조 유출수의 TVFA변화를 Fig. 6에 나타내었다. 실험초기 체류시간을 3일로 운전 한 결과, 약 30일까지는 반응기 형태에 따라 VFA 생산량이 평균 7,087±1,779 mg/L(Upflow reactor), 8,700±4,665 mg/L(CSTR reactor)로 산발효균주의 안정화 단계인 것으로 확인되며, 30일 이후부터는 TVFAs 농도가 상향류식 연속흐름 반응기와 완전혼합 연속흐름 반응기 각각 14,828±4,994 mg/L, 15,979±2,541 mg/L로 안정화단계 이후 약 2.09배, 1.83배 증가한 것으로 확인되었다. 앞선 가용화율과 점도변화 결과에서는 안정화기간이 약 1~2일 이내인 것에 반해 TVFA농도 변화는 안정화 기간이 15일 정도로 다소 긴 것으로 확인되었다. 또한, 체류시간을 5일로 증가 시 TVFA의 농도는 23,264±2,254 mg/L(상향류식 연속흐름 반응기)와 22,762±3,830 mg/L(완전혼합 연속흐름반응기)로 체류시간 3일에 비해 약 2.01배, 1.76배 증가함을 확인할 수 있었다. 이는 체류시간이 증가함에 따라 음폐수 유기물을 단분자로 전환하기 위해 기질과 산발효균주의 접촉시간이 길어지게 됨에 따라 효율이 높게 나타난 것으로 사료된다. 본 실험에서는 체류시간 3

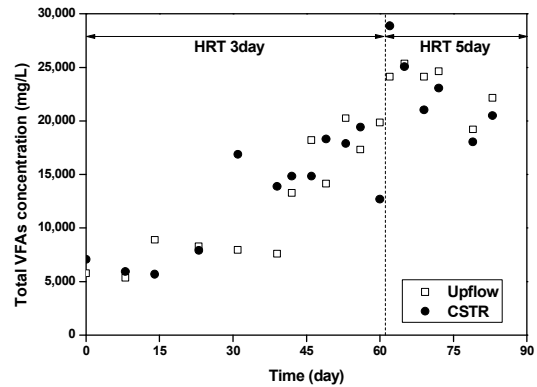


Fig. 6. The change of VFA production by retention time

일에 비해 5일에서 TVFA 생산을 증대를 보였으며 이는 Herbert 등, Boonsawang 등, Min 등에 의한 TVFA 생산을 증대를 위한 최적 체류시간인 2일 이내 보다 더 긴 체류시간에서 TVFA 생산을 증대효율을 나타내었다[28-30]. 이는 투입 유기물 부하량의 차이에 의한 것으로 설명할 수 있는데 Boonsawang 등은 산발효시 유기물부하량을 회석 등의 방법을 통해 6 g COD/L/day에서 운전을 진행하여 본 연구에 비해 좀 더 낮은 체류시간에서 높은 효율을 나타내었으며 본 연구에서는 음폐수를 직접 이용하게 됨에 따라 HRT 3일(36.05 g COD/L/day)과 HRT 5일(21.63 g COD/L/day)의 다소 높은 유기물 부하량으로 운전하게 되어 산발효균주에 의해 음폐수 내 유기물을 처리하는데 좀 더 긴 시간이 요구된 것으로 판단된다. 이를 통해 산발효 처리된 음폐수는 낮은 점도에 의해 매립지 투입이 원활하고 높은 유기물, 높은 유기산농도의 특성으로 매립가스 생산량 증대를 위한 바이오리액터 운전이 가능할 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 폐기물 매립지의 매립가스 생산 증대를 위한 방법 중 하나인 바이오리액터 운전 시 투입유기물로 음폐수를 이용하기 위한 방법으로 2가지 반응기를 이용하여 음폐수 산발효 처리를 이용하였고 이를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 음폐수 산발효 처리를 통해 가용화율 변화를 확인한 결과 상향류식 연속흐름 반응기(63.94±9.36%),

완전혼합 연속흐름 반응기(63.64±17.26%)로 각각 반응기별로 큰 차이를 보이지 않았으며 음폐수 원수(48.8%)에 비해 약 15.1%, 14.8% 증가하는 경향을 나타내었다.

2. 같은 조건에서 점도변화를 확인한 결과, 상향류식 연속흐름 반응기를 운전 시 76.95±3.27%의 점도저감율을 보임으로써 완전혼합 연속흐름 반응기(65.57±5.13%)에 비해 11.4% 높은 효율을 나타내었다. 산발효 전처리된 음폐수는 기존 음폐수에 비해 상대적으로 낮은 점도를 나타내므로 주입정에서 발생하는 폐색현상을 다소 해결할 것으로 예상된다.

3. 유기산 변화는 두 반응기 모두 유사한 농도의 TVFA 농도를 나타내었으며 체류시간 5일에서 23,264±2,254 mg/L(상향류식 연속흐름 반응기)와 22,762±3,830 mg/L(완전혼합 연속흐름반응기)로 체류시간 3일에 비해 약 2.01배, 1.76배 증가함을 확인할 수 있었다.

이상의 결과로 음폐수 산발효 조건은 상향류식 연속흐름 반응기를 이용한 HRT 5일 조건에서 가장 좋은 효율을 보였으며 이를 통해, 산발효 전처리된 음폐수가 매립지 투입 시 원활한 투입과 더불어 매립가스 발생량의 증대가 가능할 것으로 예상된다. 본 연구의 추가적인 연구로 기술확보 시 지속적인 신재생 에너지원 생산과 더불어 유기성폐기물 처리에도 일정 부분 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

References

1. J. A. Turner, "A realizable renewable energy future", *Science*, 285(30), 1999, 687-689
2. 산업통상자원부, "제2차 국가에너지기본계획", 2014
3. 환경부, "폐기물에너지화 종합대책", 2008
4. E. J. Nyns, A. Gendebien, "Landfill gas: From environment to energy", *Wat. Sci. Tech.*, 27(2), 1993, 253-259
5. Pohland, F.G., 1975. Sanitary Landfill Stabilization with Leachate Recycling and Residual Treatment. EPA-600/2-75-043. US EPA, Cincinnati, Ohio.
6. D. R. Reinhart, "Full-scale experiences with leachate recirculating landfills: Case studies", *Waste Management and Research*, 14, 1996, 347-365
7. D. R. Reinhart, A. B. Al-Yousfi, "The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics", *Waste Management and Research*, 14, 1996, 337-346
8. D. R. Reinhart, P. T. McCreanor, T. Townsend, "The bioreactor landfill: its status and future", *Waste Management and Research*, 20, 2002, 172-186
9. Yuen, S.T.S., 2001. Bioreactor landfills: do they work? In: *Geoenvironment 2001: 2nd ANZ Conference on Environmental Geotechnics*, Newcastle, Australia, November 2001.
10. F. G. Pohland, "Leachate recycling as landfill management option", *Journal of Environmental Engineering*, 106(6), 1980, 1057-1069
11. Pohland, F.G., 1995. Landfill Bioreactors, Historical Perspective, Fundamental Principles, and New Horizons in Design and Operations. US EPA/600/R-95/146. US Environmental Protection Agency Seminar Publication: Landfill Bioreactor Design and Operation. Wilmington D.E., Washington, September 1995.
12. D. T. Sponza, O. N. Ağdağ, "Impact of leachate recirculation and recirculation volume on stabilization of municipal solid wastes in simulated anaerobic bioreactors", *Process Biochemistry*, 39 (2004), pp. 2157-2165
13. I. San, T. T. Onay, "Impact of various leachate recirculation regimes on municipal solid waste degradation", *Journal of Hazardous Materials B*, 87, 2001, 259-271
14. S. Chugh, W. Clarke, P. Pullammanappallil, et al., "Effect of recirculated leachate volume on MSW degradation", *Waste Management and Research*, 16(6), 1998, 564-573
15. 한국환경산업기술원, "폐자원 에너지화 기술동향보고서", 2013
16. S. K. Behera, D. H. Kim, H. S., Shin, S. K.

- Cho, S. P. Yoon, H. S. Park, "Enhanced methane recovery by food waste leachate injection into a landfill in Korea", *Waste Manag.*, 31(9-10), 2011, 2126-2132
17. W. T. Tsai, "Bioenergy from landfill gas (LFG) in Taiwan, *Renewable and sustainable energy reviews*, 11(2), 2007, 331-334
 18. M. Warith, "Bioreactor landfills: experimental and field results", *Waste Manag.*, 22(1), 2002, 7-17
 19. D. G. Craft, N, C, Blakey, "Codisposal of sewage sludge and domestic waste in landfills", *ISWA Proc.*, Academic Press, London, UK. 1, 1988, 161-168
 20. S. B. Gulec, T. T. Onay, A, Erdinçler, "Determination of the remaining stabilization potential of landfilled solid waste by sludge addition", *Water Science and Technology*, 42(9), 2000, 269-276
 21. D. H. Kim, S. H. Kim, K. W. Jung, M. S. Kim, H. S. Shin, "Effect of initial pH independent of operational pH on hydrogen fermentation of food waste", *Bioresour Technol.*, 2011, 102(18), 8642-8652
 22. APHA, AWWA and WEF : Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. Baltimore, American Public Health Association 2, 1998
 23. M. G. Barajas, J. Knobelsdorf, A. Escalas, and R. Mujeriego, "Solubilization and fermentation in a modified VFA-potential method", *Environmental Engineering Science*, 20(4), 2003, 329-336
 24. X. Liu, W. Wang, Y. Shi, L. Zheng, X. Gao, W. Qiao, Y. Zhou, "Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste and waste activated sludge in China: Effect of organic loading rate", *Waste Manag.*, 32(11), 2012, 2056-2060
 25. X. Liu, W. Wang, X. B. Gao, Y. J. Zhou, R. J. Shen, "Effect of thermal pretreatment on the physical and chemical properties of municipal biomass waste", *Waste Manag.*, 32, 2012, 249-255
 26. Z. W. Zhu, M. K. Hsueh, Q. He, "Enhancing biomethanation of municipal waste sludge with grease trap waste as a co-substrate", *Renewable energy*, 32, 2011, 1802-1807
 27. A. M. Brooksbank, J. W. Latchford, S. M. Mudge, "Degradation and modification of fats, oils and grease by commercial microbial supplements", *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 23, 2007, 977-985
 28. H. P. Herbert, H, Q, Yu, "Effect of HRT on mesophilic acidogenesis of dairy wastewater", *Journal of environmental engineering*, 126(12) 2000, 1145-2000
 29. P. Boonsawang, A. Rerngnarong, C. Tongurai, S. Chaiprapat, "Effect of pH, OLR, and HRT on performance of acidogenic and methanogenic reactors for treatment of biodiesel wastewater", *Desalination and water treatment*, 52, 2014, 1-11
 30. K. S. Min, A. R. Khan, M. K. Kwon, Y. J. Jung, Z. Yun and Y. Kiso, "Acidogenic fermentation of blended food-waste in combination with primary sludge for the production of volatile fatty acids", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 80(8), 2005, 909-915