

마이크로버블을 이용한 음폐수의 외부탄소원으로서의 재활용 가능성 연구

임지영* · 박수영** · 김진한***

Lim, Ji-Young*, Park, Soo-Young**, Kim, Jin-Han***

A Study on the Recycling of Foodwaste Leachate as External Carbon Sources Using Microbubble

ABSTRACT

The purpose of this research was to examine the possibility on the recycling of foodwaste leachate as external carbon sources using microbubble. The following operating conditions were selected: pressurizing tank 3 bar, circulation flow rate 3.65 LPM, and air flow rate 0.3 LPM with batch type. Microbubble contact time of 18 hours is optimal time to satisfy the recycling of foodwaste leachate as external carbon sources with batch type. HRT 18 hours came up to standard for external carbon sources, except for T-P concentration with continuous type. Coagulants need to be used for removal of dissolved phosphorus concentration by more than 88.5% of the total phosphorus concentration. The VFA was influenced by the organic decomposition rate and the concentration in the aerobic condition. It was considered that the VFA was needed for selection the optimal HRT or the addition of acid fermentation process in order to meet recycling standard of foodwaste leachate.

Key words : Foodwaste leachate, Microbubble, External carbon sources, Wastewater treatment

초 록

본 연구의 목적은 마이크로버블을 이용하여 외부탄소원으로서 음폐수의 재활용 가능성을 검토해 보고자 하였다. 가압탱크 압력 3 bar, 순환유량 3.65 LPM, 공기주입량 0.3 LPM의 회분식으로 진행된 실험에서 마이크로버블 접촉시간의 경우 18시간이 음폐수 외부탄소원의 재활용 기준을 만족하는 적정 시간임을 확인하였다. 회분식 실험 결과를 바탕으로 체류시간을 12, 14, 16, 18시간으로 설정하여 연속식 실험을 하였다. 연속식 실험에서도 체류시간 18시간에서 T-P를 제외한 SS, T-N, n-Hexane 추출물질, VFA 항목에서 외부탄소원 재활용기준을 만족하였다. 음폐수 원수 중 용존성 인의 농도가 전체 인 농도 중 약 88.5% 이상으로 용존성 인의 제거를 위해서는 응집제 사용이 필요함을 알 수 있었다. 또한, VFA의 경우 호기성 조건에서 유기물의 분해속도 및 농도에 따라 크게 영향을 받기 때문에 외부탄소원 재활용기준을 만족하기 위해서는 적절한 체류 시간 선정 또는 산발효조 공정의 추가가 필요할 것으로 사료된다.

검색어 : 음폐수, 마이크로버블, 외부탄소원, 폐수처리

* 정회원 · 인천대학교 건설환경공학과 박사과정 (Incheon National University · clean@inu.ac.kr)

** 인천대학교 건설환경공학과 겸임교수 (Incheon National University · sypark@inu.ac.kr)

*** 정회원 · 교신저자 · 인천대학교 건설환경공학과 교수 (Corresponding Author · Incheon National University · jinhan@inu.ac.kr)

Received November 23, 2015/ revised May 2, 2016/ accepted June 9, 2016

1. 서론

2013년 기준 우리나라에서 발생하는 음식물류 폐기물의 양은 12,663 톤/일로 매립 1.1%, 소각 3.0%, 재활용 95.9%를 차지하고 있다(Ministry of Environment, 2013). 재활용의 경우 사료와 퇴비로 사용되고 있으나, 음식물류 폐기물을 재활용하는 과정에서 음폐수는 필연적으로 발생한다. 음폐수의 발생량은 지속적으로 증가하고 있으며 2013년 1월 기준 음폐수 처리량은 9,431 톤/일이다(Lee, 2013). 2013년 런던협약에 의거하여 음폐수의 해양배출이 전면 금지됨에 따라 전량을 육상처리를 하고 있으나 이를 위한 적정 처리 방안 마련이 시급한 상황이다. 이러한 고농도의 유기성 음폐수는 대표적인 육상처리 시스템인 하수처리장 병합처리 시 방류수 수질 기준 준수 등에 대한 부담이 있으므로 선행 처리가 수행되어야 한다.

정부에서는 음식물류 폐기물 관리정책의 방향으로 발생량 저감을 정책의 최우선에 두고 일단 발생한 음식물류 폐기물은 유기성 자원으로서의 재활용을 적극 추진하고 있다. 이러한 시책의 일환으로 음폐수를 이용한 바이오 가스 생산 및 음폐수를 하폐수의 고도처리 공정에서 질소 제거를 위한 외부탄소원으로 활용하는 방법이 연구(Park and Choi, 2011; Lee et al., 2011)되어지고 있다. Lee et al. (2011)은 산업폐수의 생물학적 처리 효율을 개선하기 위해 외부탄소원으로 음식물쓰레기 탈리액을 투입한 결과, 탄소원 보충에 의해 영양염류의 제거율은 개선되었으나 적정량을 초과하여 투입할 경우 침사지의 오일층 발생, 최초 침전지의 스크럼가, 슬러지 계면의 상승 및 슬러지 유출 등 여러 가지 문제점이 있는 것으로 보고하였다.

환경부는 『폐기물의 재활용 용도 및 방법에 관한 규정(환경부고시 제2015-15호, 2015. 2.)』을 고시하여 음폐수 재활용을 위한 수질 기준을 제시하였는데, 「수질 및 수생태계 보전에 관한 법률」 제2조 제12호에 따른 수질오염방지시설의 운영에 필요한 외부(유기)탄소원을 제조하거나 외부탄소원으로 사용하는 경우 다음의 기준을 충족해야 한다. 1) 부유물질(SS; suspended solids) 15,000 mg/L 이하, 2) 노르말헥산(n-Hexane) 1,000 mg/L 이하, 3) 총질소(T-N) 3,000 mg/L 이하, 4) 총인(T-P) 400 mg/L 이하, 5) 총휘발성유기산(VFA; volatile fatty acids) 40,000 mg/L 이상이다.

본 연구에서는 음폐수가 입상 물질과 유기물 및 유분이 높은 점을 감안하여 전처리 방법으로 부상분리법을 선택하였다. 특히, 용존공기부상법은 가압된 공기포화수가 순간적으로 감압될 때 발생하는 미세버블을 고흡화된 오염물(floc)에 부착하여 분리하는 기술이다. 과거의 DAF(dissolved air flotation)는 표면부하율(surface loading rate)이 5~15 m³/m²·h로, 기포의 이론적인 상승속도보다 낮은 속도로 운전되었으나, 최근에는 표면부하율이 20~40 m³/m²·h

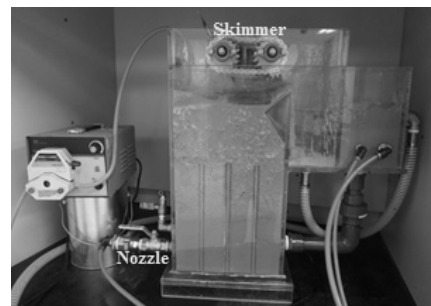
에 이르는 high rate DAF가 등장하고 있다(Kim et al., 2014). 기존의 DAF와 high rate DAF의 가장 큰 차이점은 버블 사이즈이며, high rate DAF에서는 마이크로버블을 사용한다. 마이크로버블의 크기에 대한 정의는 명확하게 규정되어 있지 않으며, 일부 연구자들은 수백 μm (Kawaraha et al., 2009) 또는 1~100 μm (Kurup and Naik, 2010), 100 μm 이하(Tabei et al., 2007; Margery, 2000)로 주장하고 있다. 마이크로버블을 수처리에 적용할 경우 통상적인 포기법에 비해 기포의 크기가 작아 공기의 용해효율이 높으며 대전작용, 물리적 흡착효과, 자가압효과 등의 특징을 가진다고 보고(Parmar and Majumder, 2013)되어 있다. 최근에는 이 마이크로버블의 특징을 이용하여 다양한 공학적인 이용이 검토되고 있다(Kil, 2010).

따라서, 본 연구에서는 음폐수를 마이크로버블을 이용하여 고흡물의 부상분리를 실시함으로써 음폐수의 외부탄소원으로서의 재활용 가능성을 검토하였다.

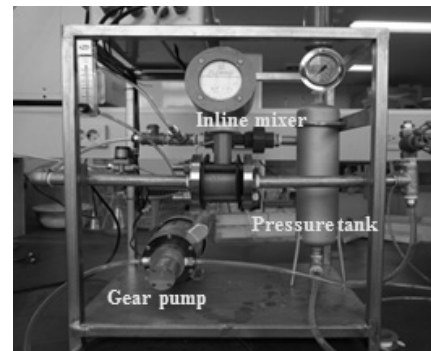
2. 실험 및 방법

2.1 실험장치 및 재료

본 실험에 사용된 장치는 Fig. 1과 같이 반응조와 마이크로버블 발생장치로 구성하였다. 반응조는 부상분리조(11.5 L), 슬러지조(2.4 L), 처리수조(2.2 L)로 이루어져 있으며, 반응조에서는 마이크



(a) Reactor



(b) Microbubble Generator

Fig. 1. Experimental Equipments

Table 1. Characteristics of Foodwaste Leachate

Item	Batch		Continuous			
	Range	Average	1		2	
			Range	Average	Range	Average
pH	4.2~4.3	4.3	4.2~4.3	4.3	4.3~4.4	4.4
SS (mg/L)	45,260~50,633	47,943	37,565~42,840	40,200	79,383~93,820	86,600
T-N (mg/L)	3,184~3,934	3,557	3,667~4,093	3,875	1,819~2,280	2,047
T-P (mg/L)	652~865	762	808~912	857	724~869	795
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	602~709	651	-	-	681~729	701
n-Hexane extract (mg/L)	18,724~26,800	22,752	20,127~35,090	27,605	44,402~52,220	48,311
VFA (mg/L)	87,250~96,100	91,650	68,390~78,550	73,476	61,270~75,780	68,523

로버블을 이용하여 고품질의 고액분리가 가능하도록 마이크로버블을 직접 공급하였다. 음폐수의 특성상 유분이 많아 점도가 높으므로 기어펌프(MDG-HI5KA, Iwaki, Japan)를 사용하였고, 균일한 마이크로버블 생성 및 용해효율을 높이기 위하여 가압탱크 앞단에 인라인 믹서를 이용한 혼합탱크를 설치하였다. 가압탱크의 사양은 $\phi 90 \times 328$ mm이다.

시료는 경기도 화성시 소재 C 음식물폐기물처리업체의 유분분리 공정 후의 음폐수를 사용하였다. 본 실험에 사용된 음폐수의 성상은 Table 1에 나타내었으며, 채취 시점에 따라 원수 수질에 차이가 있음을 알 수 있었다. 특히 n-Hexane 추출물질과 VFA의 농도차이가 매우 심하였다.

2.2 실험방법

실험은 회분식과 연속식으로 진행하였다. 회분식 실험에서는 마이크로버블 접촉시간별 음폐수 처리효율을 검토하였다. 실험 초기 8시간 동안 음폐수에 마이크로버블을 접촉시켰으며, 마이크로버블 접촉 8시간 이후부터 4시간 간격으로 SS, T-N, T-P, n-Hexane 추출물질을 분석하였다. 한편, 연속식에서는 체류시간 12, 14, 16, 18시간으로 설정하여 실험을 하였다.

2.3 분석방법

버블크기 분포 분석을 위해 증류수를 반응조에 채운다음 발생되는 버블크기의 분포를 입도분석기(BT-9300S, K1 Co., Ltd.)로 측정하였다(Table 2).

음폐수를 마이크로버블로 고액분리한 부상분리조 유출수를 채취하였다. pH 측정은 pH meter (HQ11d, Hach, USA)를 이용하였다. SS와 T-N, T-P, n-Hexane 추출물질은 수질오염공정시험기준 (Ministry of Environment, 2014)에 준하여 분석 측정하였다.

VFA는 FID (flame ionization detector)가 장착된 Gas Chromatography (Perkinelmer Clarus 680-Clarus 600T-Turbomax 40)

Table 2. Specification of Particle Size Analyzer

Measuring range	0.1~716 μ m
Sampling method	Semiautomatic circulation and dispersion system
Repeatability	<1% (CRM D ₅₀)
Reproducibility	<1% (CRM D ₅₀)
Analysis theory	Mie scattering theory

* CRM : Certificated Reference Material

Table 3. Bubble Size Distribution According to Pressure

Pressure	1.6	2	3	4	4.8
Circulation flow rate (LPM)	2.9	3.2	3.7	4.2	4.6
D ₅₀ (μ m)	70.4	91.4	86.8	276.6	250.4
Percent of bubble less than 50 μ m (%)	41.3	20.5	23.3	5.9	4.8
Percent of bubble less than 100 μ m (%)	65.6	63.1	63.9	16.6	14.4

을 이용하여 분석하였다. 이때 컬럼은 Perkinelmer Elite-5MS (Length: 60 m, Inner diameter: 0.32 mm, Film thickness: 1 μ m)를 사용하였으며, Oven, Injector의 온도는 각각 40°C, 130°C로 설정하였으며 헬륨가스(99.9999%)를 이용하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 버블 크기 분포 분석

본 연구에서 사용한 마이크로버블 발생장치에서 발생하는 버블의 크기를 측정된 결과를 Table 3에 나타내었다.

D₅₀ (누적 분포로 환산하였을 때, 누적 분율 0.5에서의 버블 입자 크기)과 50 μ m 이하 및 100 μ m 이하 버블의 분율을 측정하

결과 가압탱크의 압력에 따라 발생하는 버블의 크기가 차이가 있음을 알 수 있었다.

결론적으로, 버블크기와 순환유량을 고려해 보았을 때 압력 3 bar가 적절하다고 판단하였는데 순환유량은 곧, 음폐수의 마이크로버블 접촉시간 및 마이크로버블 주입량과도 관계가 있으므로 순환유량이 작을 경우, 처리효율이 낮아지게 되므로 순환유량 및 버블크기를 동시에 고려해야한다. 따라서 선행연구(Kim and Jeong, 2004; Lim et al., 2015) 결과와 같이 버블크기가 더 이상 작아지지 않은 최대압력인 3 bar를 적정압력으로 선정하였다.

본 연구에서는 가압탱크의 압력은 3 bar, 순환유량은 3.7 LPM, 공기주입량은 0.3 LPM으로 실험을 수행하였다.

3.2 회분식 실험결과

회분식으로 수행된 실험의 마이크로버블 접촉시간별 음폐수의 성상 변화를 측정하여 Table 4에 나타내었다. 접촉시간이 증가됨에 따라 음폐수에 존재하는 고형물과 유분은 지속적으로 부상을 하게 됨으로 처리수 중의 고형물과 유분의 농도는 감소하게 되며, T-N의 경우 고형물 내에 포함되어 있는 유기질소가 제거되므로 T-N의 농도 역시 감소하게 된다. 따라서 Table 4에 나타난 바와 같이 SS, T-N, n-Hexane 추출물질의 경우 음폐수의 외부탄소원으로서의 재활용 기준을 만족하였으나, T-P의 경우 마이크로버블 접촉 20시간까지 약 19.4%가 제거된 596 mg/L의 농도가 측정되어

재활용 기준인 400 mg/L를 만족하지 못하였다. 이는 폐수 중에 용해되어 있는 인의 양이 많아 마이크로버블에 의한 고형물의 제거만으로는 처리가 이루어지지 않은 것으로 사료된다.

따라서 용존성 인 제거를 위한 pH변화에 따른 적절한 응집제 및 주입농도에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 고농도 폐수처리 시 응집 침전에 의한 인 제거는 처리 효과가 확실하여 일반적으로 많이 사용되는 방법이며, Im et al. (2005)은 음폐수에 혼합응집제를 주입하여 용존성 인을 97~99% 제거하였다.

3.3 연속식 실험결과

Table 5에 연속식 실험결과를 정리하였다. 회분식 실험결과를 고려하여 연속식 실험에서의 체류시간을 12, 14, 16, 18시간으로 설정하였다. 또한, 연속식 실험 6일째 원수를 교체하였다.

3.3.1 고형물

음폐수를 재활용하기 위하여 고려되어야 할 중요한 인자중의 하나는 고형물 농도이다. 현재, 음폐수를 외부탄소원으로서의 재활용하기 위한 법적 기준치는 15,000 mg/L 이하이다. 체류시간에 따른 고형물 농도 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 모든 체류시간의 조건에서 고형물의 농도가 법적 기준치를 만족하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 음폐수 중의 고형물들이 부상되어 고액분리가 이루어졌기 때문이다. 결과적으로, 음폐수의 전처리 공정으로서

Table 4. Characteristics of Treated Wastewater with Microbubble Contact Time-Batch Type

Item	Legal standards	Raw water	Treated water (Average)						
			8 hr	10 hr	12 hr	14 hr	16 hr	18 hr	20 hr
pH	-	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
SS (mg/L)	≤ 15,000	47,943	22,650	20,350	10,433	10,935	8,350	7,635	7,250
T-N (mg/L)	≤ 3,000	3,557	1,261	-	1,039	-	518	-	451
T-P (mg/L)	≤ 400	762	739	-	667	-	661	-	596
n-Hexane extract (mg/L)	≤ 1,000	22,752	1,968	-	1,420	-	1,182	-	502
VFA (mg/L)	≥ 40,000	91,650	86,832	-	52,400	-	57,967	-	34,989

Table 5. Characteristics of Treated Wastewater-Continuous Type

Item	Legal standards	Raw water		Treated water (Average)			
				HRT 18 (hr)	HRT 16 (hr)	HRT 14 (hr)	HRT 12 (hr)
pH	-	4.3	4.4	4.3	4.3	4.4	4.3
SS (mg/L)	≤ 15,000	40,200	86,600	5,815	9,363	8,917	10,475
T-N (mg/L)	≤ 3,000	3,875	2,047	2,154	2,058	1,707	1,368
T-P (mg/L)	≤ 400	857	795	786	760	746	717
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	-	-	701	694	-	-	-
n-Hexane extract (mg/L)	≤ 1,000	27,605	48,311	839	1,158	1,044	1,573
VFA (mg/L)	≥ 40,000	73,476	68,523	41,986	52,400	54,415	56,430

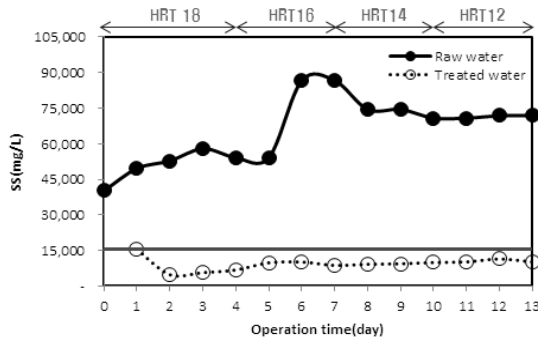


Fig. 2. Variations of SS Concentration in Response to HRT

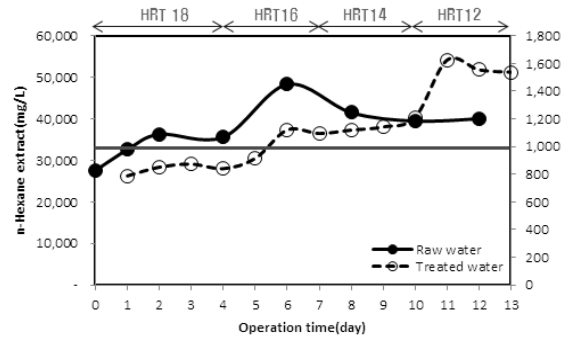


Fig. 5. Variations of n-Hexane Extract Concentration in Response to HRT

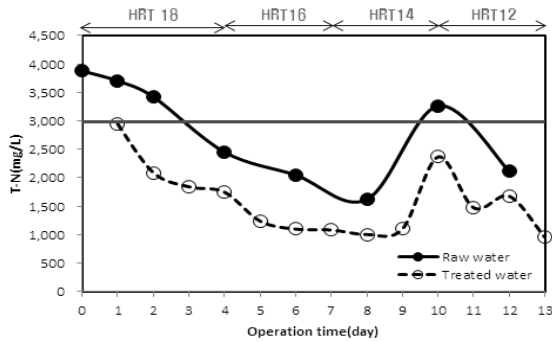


Fig. 3. Variations of T-N Concentration in Response to HRT

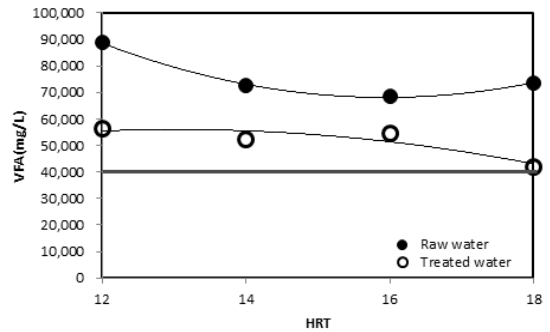


Fig. 6. Variations of VFA Concentration in Response to HRT

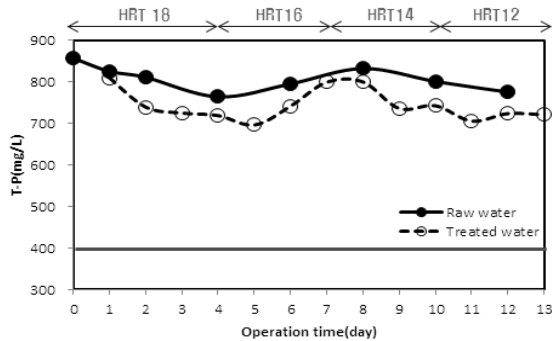


Fig. 4. Variations of T-P Concentration in Response to HRT

마이크로버블의 이용이 가능한 것으로 판단된다.

3.3.2 T-N 및 T-P

Figs. 3 and 4에 마이크로버블 접촉시간에 따른 T-N 및 T-P 농도 변화를 나타내었다. T-N의 경우에는 모든 체류시간 조건에서 음폐수 외부탄소원 재활용 기준을 만족하였다. 그러나 T-P의 경우 재활용기준을 만족하지 못하였는데 체류시간 18시간에서 처리수의 평균 T-P 농도와 PO_4^{3-} -P 농도는 각각 786 mg/L, 694 mg/L이었으며, T-P 중 PO_4^{3-} -P가 차지하는 비율이 약 88.5%이었다. 이는 문헌자료(Sudokwon landfill site management corp., 2008)조사

결과와 같은 결과임을 알 수 있었다. 따라서, 음폐수 중에 용해되어 있는 인의 농도가 높아 고형물 제거만으로 T-P농도 기준을 만족시키는 것은 어려운 것으로 판단된다.

3.3.3 n-Hexane 추출물질 및 VFA

음폐수에 포함되어 있는 유분은 단백질과 탄수화물에 비해 비교적 긴 반응시간 조건에서도 분해가 쉽지 않고 대부분 그대로 유출되는 것으로 알려져 있으며, 이렇게 유출된 유분은 n-Hexane 추출물질 성분으로 측정된다(Ministry of Environment, 2008). Fig. 5에 체류시간에 따른 n-Hexane 추출물질의 농도 변화를 나타내었다. n-Hexane 추출물질의 경우 체류시간이 16시간 이상 유지되어야 재활용기준을 만족하는 것을 확인 할 수 있었다.

VFA의 경우 Fig. 6에 나타난 바와 같이 원수에 비해 처리수의 VFA 농도는 평균 약 32% 감소하였으나, 모든 체류시간 조건에서 40,000 mg/L 이상의 재활용기준을 만족하였다. 음폐수는 다른 폐수와는 달리 전분(starch)과 섬유소(cellulose) 등의 탄수화물을 다량 포함하고 있어 이들 물질 중 전분의 분해 시 짙수개의 탄소를 가진 유기산(acetic acid, butyric acid)이 주로 발생하며 특히 야채류에 많이 함유되어 있는 셀룰로오스의 분해 시에는 아세트산의 발생이 많아진다고 보고되었다(Choi et al., 2005). Jang (2000)의

연구결과에서 VFA의 농도변화는 유기물의 분해속도 및 농도와 밀접한 관계가 있으므로 VFA의 농도를 유지시키기 위해서는 적절한 체류시간 선정 또는 경우에 따라 산발효조의 설치 등이 요구됨을 알 수 있었다. 결국, 음폐수를 유기산 발효과정을 거쳐 하수 및 폐수처리장에서 부족한 외부탄소원으로 공급하여 질소의 제거효율을 높일 수 있는 자원으로서의 활용은 음폐수 처리에 있어 유용한 기술이 될 수 있을 것이다(Lee et al., 1997; Park et al., 2001).

4. 결론

마이크로버블을 이용한 음폐수의 외부탄소원으로서의 재활용 가능성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 가압탱크 압력 3 bar, 순환유량 3.7 LPM, 공기주입량 0.3 LPM의 회분식으로 진행된 실험에서 SS, T-N, n-Hexane 추출 물질, VFA의 경우 마이크로버블 접촉 18시간이 음폐수 외부탄소원의 재활용 기준 만족을 위한 적정 시간임을 확인하였다.
- (2) 회분식 실험결과를 바탕으로 체류시간을 12, 14, 16, 18시간으로 설정하여 연속식 실험을 진행한 결과, 체류시간 18시간에서 T-P를 제외한 SS, T-N, n-Hexane 추출물질, VFA 항목에서 외부탄소원 재활용기준을 만족하였다.
- (3) T-P의 경우 체류시간 18시간 이내에서는 재활용기준을 만족하지 못하였는데, 이는 음폐수의 용존성 인이 차지하는 비율이 높음에 그 원인이 있었다. 따라서, 용존성 인의 제거를 위해서는 응집제 사용이 필요하며, 음폐수의 pH를 고려한 응집제 선정 및 적정주입량 산정에 대한 추가 실험이 진행되어야 할 것으로 사료된다.
- (4) VFA의 경우 유기물의 분해속도 및 농도에 따라 크게 영향을 받기 때문에 외부탄소원 재활용기준을 만족하기 위해서는 적절한 체류시간 선정 또는 산발효조 공정 추가가 필요할 것으로 사료된다.

결론적으로 음폐수를 마이크로버블을 이용하여 고형물을 부상 분리시킴으로써 음폐수의 외부탄소원으로서의 재활용 가능성을 확인하였으며, 음폐수를 유기산 발효과정을 거쳐 하수 및 폐수처리장에서 부족한 외부탄소원으로 공급하여 질소의 제거효율을 높일 수 있는 자원으로서의 활용은 음폐수 처리에 있어 유용한 기술이 될 수 있을 것으로 판단된다.

References

Choi, C. H., Lee, E. S., Hwang, P. G., Ju, Y. S. and Jin, S. J. (2005). "A study on the fermentation process in the production of organic acids from foodwastes." *Journal of Korea Society of Waste*

Management, Vol. 22, No. 1. pp. 79-85.

Im, S. H., Kim, M. G. and Lee, M. G. (2005). "Physicochemical characteristic changes of food waste leachate by mixed coagulants (MC)." *Journal of Environmental Science*, Vol. 11, No. 1, pp. 46-49.

Jang, S. H., Cho, H. J. and Son, Y. I. (2000). "A study on VFAs recovery from food waste for exterior carbon source of denitrification." *The Korea Journal of Sanitation*, Vol. 15, No. 3. pp. 15-23.

Kawaraha, A., Sadatomi, M. and Matsuyama, F. (2009). "Prediction of microbubble dissolution characteristics in water and sea water." *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 33, No. 5, pp. 883-894.

Kil, S. J. (2010). A study for reuse of treated wastewater by using a combined system of a micro-nano bubbles ozonation and microfiltration, Ph.D. Dissertation, Dong-A University, Busan, Korea.

Kim, J. B., Han, M. R., Jung, B. G. and Choi, Y. I. (2014). "A study on the characteristics of organic matter removal in food wastewater by using cyclonic-DAF (Dissolved Air Flotation) process with variation of recycling flow rate." *Journal of Korean Society of Environmental Technology*, Vol. 15, No. 6, pp. 420-427.

Kim, J. O. and Jeong, S. U. (2004). "A study on solid-liquid separation of swine wastewater using coagulation and dissolved air flotation." *Journal of the Organic Resource Recycling Association*, Vol. 12, No. 2, pp. 101-109.

Kurup, N. and Naik, P. (2010). "Microbubbles: A Novel Delivery System." *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Health Care*, Vol. 2, No. 3, pp. 228-234.

Lee, B. C., Ahn, J. H., Lee, J. H. and Bae, W. K. (2011). "Advanced biological treatment of industrial wastewater using food waste leachate as an external carbon source: Full-Scale Experiment." *Journal of Korean Society on Water Quality*, Vol. 27, No. 4, pp. 461-466.

Lee, S. I., Park, J. H., Ko, K. B. and Koopman, B. (1997). "Effect of fermented swine wastes on biological nutrient removal in sequencing batch reactors." *Water Research*, Vol. 31, No. 7, pp. 1807-1812.

Lee, S. K. (2013). Recycling present and development direction of Food waste, Korea Food Recycling Association, Korea.

Lim, J. Y., Kim, H. S., Park, S. Y. and Kim, J. H. (2015). "Evaluation of characteristics for microbubble generation according to venturi nozzle specification." *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 16, No. 9, pp. 6397-6402.

Margery S. B. (2000). *The American Heritage Dictionary of English Language*, 4th ed., Houghton Mifflin Company, Boston, USA.

Ministry of Environment (2008). A study on installation and operation guide line on optimum model of method for energy recovery from food waste and food waste leachate, No. 11-1480000-000944-0 (in Korean).

Ministry of Environment (2013). Waste statics survey (in Korean).

Ministry of Environment (2014). Standard methods for examination of water quality (in Korean).

Park, J. K., Kim, B. G., Seo, I. S. and Lee, S. I. (2001). "Fermentation of food waste and utilization as external carbon source in

- Nitrogen and phosphorus removal process.” *Journal of Korean Society on Water Environment*, Vol. 17, No. 2, pp. 261-271.
- Park, J. W. and Choi, D. H. (2011). “Effect of biodegradation and denitrification characteristics using carbon source with food wastes leachate.” *Journal of Korean Society of Urban Environment*, Vol. 11, No. 1, pp. 41-48.
- Parmar, R. and Majumder, S. K. (2013). “Microbubble generation and microbubble aided transport process intensification A state of the art report.” *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 64, pp. 79-97.
- Sudokwon landfill site management corp (SLC) (2008). Development and validation of biogas using organic waste, No. 2009-10-013-01 (in Korean).
- Tabei, K., Haruyamu, S., Yamaguchi, S., Shirai, H. and Takakusagi, F. (2007). “Study of microbubble generation by swirl jet.” *Journal of Environment and Engineering*, Vol. 2, No. 1, pp. 172-182.