

음식물류폐기물의 건식사료화 공정에서 발생하는 응축수로부터 유기탄소 추출

김민경^a, 권기욱^b, 모경^c, 최봉호^c, 박세용^d, 김문일^{e†}

Extraction of organic carbon from the condensate of food waste dry feed process

Min-Kyung Kim^a, Ki-Wook Kwon^b, Kyung Mo^c, Feng-Hao Cui^c, Se-Yong Park^d, Moon-Il Kim^{e†}

(Received: Dec. 5, 2019 / Revised: Jun. 12, 2020 / Accepted: Jun. 12, 2020)

ABSTRACT: In this study, organic carbon was extracted from the condensed water of food waste drying process to estimate the applicability as external organic carbon sources. The COD, TN, TP and TS of condensed water were 21,374 mg/L, 148 mg/L, 4.19 mg/L, and 455.7 mg/L, respectively. In addition, the content of biodegradable organics in condensed water was 47%. The fractional distillation and the vacuum evaporation were employed for extracting organic carbon. There were 8 extraction conditions, but 4 conditions were available for extraction. They were 1) 0mmHg, 110°C 2) -600mmHg, 70°C 3) -500mmHg, 80°C 4) -600mmHg, 80°C. All 4 conditions showed the highest organic concentration and the highest quantity of organics when extracted 10% of initial volume. It was estimated that optimum conditions were 80°C, -600mmHg and 10% extraction. Then, extraction concentration, extraction quantity, extraction efficiency, extraction time, BOD/TCOD ratio, TVFAs/TCOD ratio and NH₃-N were 174,200 mg/L, 8,710 mg, 46%, 10 min, 0.97, 0.74 and 75.5 mg/L respectively. Therefore, the extracted organic carbon can be utilized as external organic carbon sources.

Keywords: Food waste, Drying process, Condensate, Organic carbon, External carbon source

초 록: 본 연구에서는 음식물류폐기물 건조공정에서 발생하는 응축수에 포함된 유기탄소를 추출하여 외부탄소원으로 적용 가능성을 평가하였다. 응축수의 성분은 COD, TN, TP 및 TS는 각각 21,374 (±3,238.3) mg/L, 148 (±32.6) mg/L, 4.19 (±1.5) mg/L, 455.7 (±0.015) mg/L로 나타났으며, 응축수에 포함된 생분해성 유기물의 함량은 47%였다. 응축수에 포함된 유기탄소 추출을 위하여 증발 농축 및 감압 증발 농축의 방법을 사용하였다. 본 연구에서 총 8가지 조건에서 수행 되었으나, 4가지 조건 (1. 상압 (0mmHg), 110°C 2. 감압 (-600mmHg), 70°C 3. 감압 (-500mmHg), 80°C 4. 감압 (-600mmHg), 80°C)에서 추출이 가능한 것으로 나타났다. 추출 결과, 추출된 4가지 조건 모두에서 유입 부피의 약 10% 추출하였을 때, 추출물의 유기물 농도가 가장 높고 추출 시간 대비 추출된 유기물의 양이 가장 많은 것으로 나타났다. 응축수에 포함된 유기탄소의 추출 최적 조건은 감압 (-600mmHg), 80°C로 판단하였으며, 유입 부피의 10% 추출이 적합한 것으로 평가하였다. 이때, 추출 농도, 추출량, 추출 효율, 추출시간, BOD/TCOD, TVFAs/TCOD의 비율 및 NH₃-N의 값은 각각 174,200 mg/L, 8,710 mg, 46%, 10분, 0.97, 0.74, 75.5 mg/L로 나타났다. 따라서, 추출된 유기탄소는 외부탄소원으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주제어: 음식물쓰레기, 건조공정, 응축수, 유기탄소, 외부탄소원

^a 한양대학교 건설환경공학과 박사과정(Ph.D. Student, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanyang University)

^b 동우바이오 수석연구원(Chief Researcher, Dongwoo Bio.,CO)

^c 한양대학교 건설환경공학과 연구조교수(Assistant Research Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanyang University)

^d 고등기술연구원 바이오자원순환센터 선임연구원(Senior Researcher, Bioresource Center, Institute for Advanced Engineering)

^e 한양대학교 건설환경공학과 교수(Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Hanyang University)

† Corresponding author(e-mail: moonilkim@hanyang.ac.kr)

1. 서론

우리나라는 각 가정을 비롯하여 대규모 음식점에서 소비하고 남은 음식물을 모두 수거하여 처리하고 있으며, 이는 세계적으로도 사례를 찾아볼 수 없다. 2017년 기준으로 우리나라에서 분리 배출되어 수거되는 음식물류폐기물 (이하 ‘음폐물’)의 총 발생량은 14,400 톤/일로 2013년도 이후 점차 증가하고 있는 추세이다.¹⁾ 2019년 전국 음폐물 처리량은 하루 약 12,830 톤씩 처리되고 있으며, 이 중 공공자원화 시설에서 7,432 톤/일 (약 58%), 민간자원화 시설에서 5,398 톤/일 (약 42%)이 처리되고 있다.²⁾

음폐물은 재활용, 소각, 매립 등의 방법으로 처리되고 있으며, 2008년부터 2017년까지 평균 97%의 음폐물이 재활용 되고 있다.³⁾ 음폐물의 주요한 처리 방법인 재활용은 사료화, 퇴비화, 바이오가스화 등의 방법이 있다. 환경부의 음식물류폐기물 처리실태 조사 및 관리방안 연구 (2017)에 따르면 2015년도 기준으로 공공자원화 시설의 재활용 방법의 경우 퇴비화 62%, 건식사료화 32%, 습식사료화 6%로 퇴비화 시설이 가장 많은 재활용 방법으로 나타났으며, 민간자원화 시설의 재활용 방법은 습식사료화 74%, 퇴비화가 22%, 건식사료화 4%로 습식사료화 시설을 이용한 재활용 방법이 가장 높은 비율을 차지하고 있다.⁴⁾ 민간자원화 시설은 퇴비화 시설을 갖 추가 위한 넓은 부지, 수분조절제 구입비용의 문제 및 건조사료화 시설 운영비용 문제, 초기 시설투자 비용 문제, 폐수처리 비용 문제^{5,6,7)}로 인하여 자원화에 소요되는 비용이 타 방식에 비해 비교적 저렴한 습식사료화를 선택하는 것으로 판단된다. 반면에, 공공자원화 시설의 습식사료화의 비율이 낮은 이유는 건조사료화 공정에서 발생하는 음폐수를 공공처리시설과 연계처리하고, 혐기성소화 처리과정에서 발생된 바이오가스를 건조과정의 연료로 사용함으로써 건조과정에서 소요되는 에너지 비용 부담이 낮아 지자체에서 사료화공법을 적용한 시설은 대부분 건조사료화 방식을 채택하고 있기 때문으로⁸⁾ 판단된다.

2017년부터 습식사료는 조류인플루엔자 (avian influenza, AI) 등 가축질병의 방역관리를 위해 농림축산식품부

고시 제2018-93호 ‘사료 등의 기준 및 규격 제11조 5항’에 의하여 수분 14% 초과인 음폐물을 가금류의 사료로써 사용이 전면 금지하였다. 더욱이, 최근 아프리카돼지열병 (african swine fever, ASF)이 발병함에 따라 개, 돼지에게 습식사료의 사용을 허용하는 것도 금지시키자는 목소리가 높아지고 있다. 이에 최근 민간자원화 시설에서도 건식사료화 공정으로 전환하고 있는 추세이다. 하지만, 여전히 건조공정 운영 시 발생하는 다량의 폐수는 고가의 폐수처리 비용을 추가로 발생⁹⁾시켜 중소형 민간업체 운영에 커다란 걸림돌이 되고 있다. 경기도 Y시의 음폐물 자원화 공장의 물질수지를 참고한 결과, 유입되는 음폐물에 대비하여 총 음폐수는 약 64% (w/w)이며, 이 중 약 45% (w/w)가 응축수인 것으로 나타났다. 이는, 사료화 공정의 대부분의 폐수는 건조과정에서 발생하는 응축수인 것을 의미한다.

일반적으로 외부탄소원은 탈질과정에서 사용되며, 아세트이트, 알코올 및 글루코스과 같은 수용성 유기화합물을 이용하여 사용되어 왔다¹⁰⁾. 최근, 음폐물 및 음폐수의 혐기성발효를 이용한 휘발성지방산의 생산을 통하여 외부탄소원 이용가능성에 대한 연구가 진행되고 있으며^{11,12)}, 유기성폐기물을 이용한 외부탄소원 생산에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

한편, 음폐물 건조공정에서 발생하는 응축수는 휘발성지방산 (volatile fatty acids, VFAs)의 농도가 높고, 고형물, 질소, 인의 농도 또한 매우 낮은 특징을 가지고 있으며, 메탄올과 탈질 속도를 비교하였을 때 유사한 탈질 속도를 보여 외부탄소원으로 활용 가치가 있다.^{13,14)} 하지만, 응축수는 일반적으로 사용되고 있는 외부탄소원과 비교 하였을 때, 유기물 농도가 낮고 오염물질을 포함하고 있기 때문에 외부탄소원으로써 가치를 높이기 위해서는 응축수에 포함된 휘발성유기물을 추출할 필요가 있다고 판단된다.

응축수에 포함된 휘발성유기물의 추출에 대한 연구는 진행된 바 없으나, 매립지 침출수에 포함된 유기물질의 성상을 분석하기 위하여 고압 조건에서의 분별증류를 통한 휘발성유기물질과 비휘발성유기물질을 분리하는데 성공하였다¹⁵⁾. 따라서, 증발농축

통한 휘발성유기물의 추출이 가능할 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 휘발성유기물을 위하여 상압조건과 감압조건에서 추출을 시도 하였으며, 추출물에 대한 성상 평가를 통하여 외부탄소원 활용 가능성을 평가하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

본 연구에서 사용된 응축수는 경기도 Y시에 위치한 음폐물 건식사료화 공정에서 발생한 것을 사용하였다. 응축수는 탈수과정을 거친 음폐물을 약 120°C로 건조하는 과정에서 증발된 수증기를 열교환기를 이용하여 응축시키며 발생된다.

2.2. 응축수의 유기탄소 추출 방법

본 연구에서는 응축수에 포함된 유기물의 최적 추출조건을 도출하기 위하여 감압증발농축기를 이용하여 압력, 온도에 따른 추출 효율을 평가하였다. 샘플의 부피는 500 mL로 설정하였고, 회전증발농축기(N-1110SW, EYELA) 및 감압펌프(A-1000S, EYELA)를 연결하여 감압농축장치를 구성하였다. 응축수의 유기물의 최적 추출조건을 도출하기 위하여, 상압(0mmHg) 조건에서 온도 80°C, 90°C, 100°C, 110°C로, 감압(-500mmHg, -600mmHg) 조건에서 각각 온도를 70°C, 80°C로 하여 추출이 진행 되었으며, Table 1과 같다.

추출된 유기물의 양을 통하여 최적 추출 효율을 평가하기 위하여 유기물의 농도를 양으로 변환시키는 식 (1)을 이용하였으며, 유기물 추출 효율은 식 (2)를 이용하여 계산하였다.

$$(Organic\ compounds\ (mg) = TCOD_{extraction} \times Volume_{extraction}) \quad \text{식 (1)}$$

여기서, Organic compounds는 TCOD (mg), $TCOD_{extraction}$ 는 추출된 유기물 농도 (mg/L), $Volume_{extraction}$ 은 추출된 부피(L)이다.

$$(Extraction\ efficiency\ (\%) = \frac{OC_{extraction}}{OC_0} \times 100) \quad \text{식 (2)}$$

여기서, Extraction efficiency는 추출 효율 (%), OC_0 는 추출 전 유기물의 양 (mg), $OC_{extraction}$ 는 추출된 유기물의 양 (mg)이다.

2.3. 분석 방법

응축수의 특성을 확인하기 위하여 pH, BOD (Biological oxygen demand), TCOD (Total chemical oxygen demand), TN (Total nitrogen), TP (Total phosphorus), TS (Total solids), 암모니아성질소 (NH_3-N)를 수질공정시험법¹⁶⁾에 준하여 분석하였으며, TVFAs (Total volatile fatty acids)는 standard methods (APHA, 2005)¹⁷⁾에 준하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 응축수 성상

Table 2는 음폐수, 음폐물 및 응축수의 성상을 비교한 결과를 나타내었다. Lee 등¹⁸⁾의 1년간 음폐수 및 음폐물 모니터링 결과와 본 연구에서 사용되는 응축수를 비교하였다. 음폐물은 응축수에 비하여 TCOD, TN, TP, TS가 각각 6.8배, 31.4배, 196.4배, 325배 높고, 음폐수는 각각 3.8배, 25.2배, 92.8배, 136.6배 높은 경향을 보였으며, 응축수, 음폐수 및 음폐물의

Table 1. Conditions of Condensate Extract Reactor

Sample name	Conditions		
	Temperature (°C)	Decompression (mmHg)	Sample volume (mL)
Fractional distillation	80, 90, 100, 110	0	500
Vacuum distillation	70, 80	-500, -600	500

Table 2. Comparison of Condensate and Food Waste Leachate

Item	Contents	Condensate	Food waste leachate ¹⁸⁾	Food waste ¹⁸⁾
pH		3.5 (± 0.17)	4.4 (± 0.13)	4.92 (± 0.28)
BOD (mg/L)		10,170.3 ($\pm 1,466.5$)	*	*
TCOD (mg/L)		21,374.3 ($\pm 3,238.3$)	145,100 ($\pm 15,538.6$)	80,635 ($\pm 16,930.9$)
TN (mg/L)		148.4 (± 32.6)	4,665 (± 269.6)	3,747 (± 250)
TP (mg/L)		4.19 (± 1.5)	823 (± 40.6)	389 (± 66.3)
TS (%)		0.045 (± 0.015)	6.8 (± 1.2)	16.25 (± 0.93)

*No data

C/N비는 각각 144, 21.5, 31로 나타났다. 이는, 응축수는 음폐수 및 음폐물에 비하여 오염물질이 적고 C/N 비가 높은 것을 알 수 있다. 또한, 응축수의 BOD는 10,170.3 mg/L로 47.6%의 유기물이 생물학적으로 분해가 가능하다.

따라서, 응축수는 생물학적으로 분해가 가능한 유기물질이 포함되어 있고, 음폐수 및 음폐물에 비하여 C/N비가 높아 외부탄소원으로 사용하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

그러나, 일반적으로 외부탄소원으로 사용되는 메탄올과 비교하였을 때, 응축수의 TCOD 및 BOD의 농도가 낮아 상대적으로 많은 응축수의 주입이 필요하다. 이때, 낮은 pH는 반응조 운전 성능을 저하시킬 가능성이 있으며, 일부 포함된 TN, TP, TS에 의하여 반응조 내부의 성상을 변화시킬 가능성이

있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 응축수의 증발농축을 통하여 고농도의 유기물을 포함한 추출물 생산이 필요할 것으로 판단된다.

3.2. 증발농축에 의한 유기탄소 추출

본 연구에서는 온도의 변화를 통하여 추출 효율을 확인하고자 하였다. 응축수에 다량 포함된 VFAs의 끓는점을 고려하여 반응기 운전 온도를 80, 90, 100°C로 하여 추출한 결과 10시간 이상 수증기가 발생하지 않아 실험을 중단하였다. 이는, VFAs 외의 물질에 의하여 비등점이 상승한 것으로 판단된다.

Fig. 1에 온도를 110°C로 설정하고 압력 변화 없이 운전하였을 때, 시간 변화에 따른 추출물 및 잔류물의 추출 부피에 따른 유기물의 농도, 양, 누적 추출 효율 및 추출 시간을 나타내었다. 실험결과, 110°C

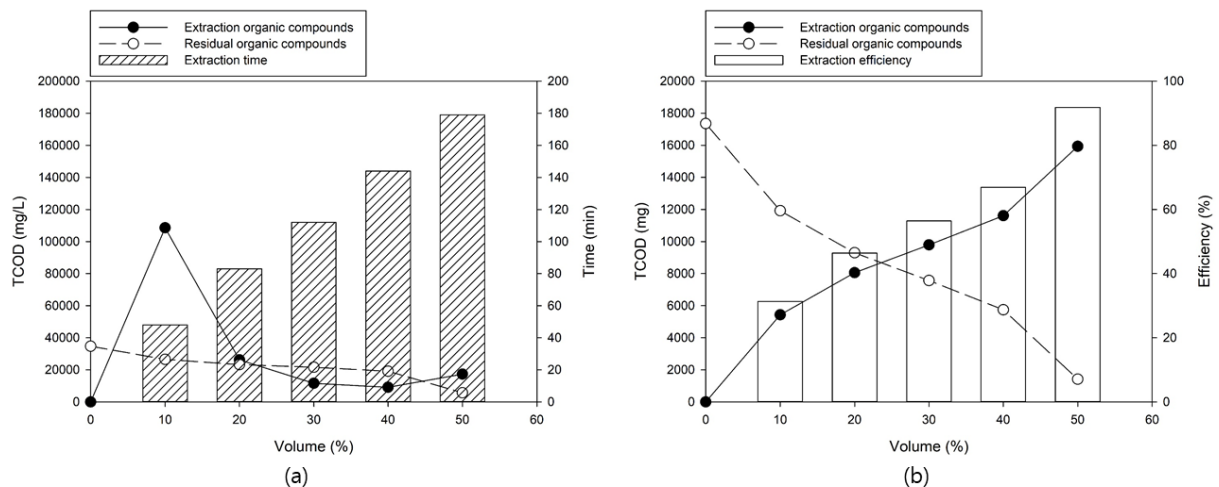


Fig. 1. Vacuum evaporation reactor operated at 0mmHg and 110°C. (a) Organic compounds concentration and extraction time. (b) Organic compounds quantity and extraction efficiency.

추출조건에서 추출 부피가 증가함에 따라, 누적 추출 효율이 증가하는 경향을 보이거나, 추출된 유기물의 농도가 낮아지는 경향을 보인다. 이는, 추출 초기에 휘발성유기물이 먼저 추출되고 추출이 진행됨에 따라 물의 증발에 의하여 희석되어 유기물의 농도가 점차 낮아지는 것으로 판단된다. 따라서, 유입 부피의 10%를 추출 하였을 때 가장 높은 유기물 농도를 보여 최적 추출 부피로 판단하였다. 최적 추출 부피로 판단된 지점에서의 TCOD의 농도는 108,600 mg/L, TCOD의 양은 5,400 mg, 추출 시간은 48분, 추출 효율은 31%로 나타났다.

3.3. 감압증발농축에 의한 응축수 유기탄소 추출

온도 및 감압조건에 의한 변화를 통한 응축수의 유기물 추출 효율을 확인하고자 하였다. 초기 반응기를 감압 (-500mmHg), 80°C의 조건으로 추출하였으나, 응축수가 발생하지 않아 실험을 중단하였다. Fig. 2, 3, 4는 감압 (-600mmHg), 70°C, 감압 (-500mmHg), 80°C 및 감압 (-600mmHg), 80°C의 조건에서 시간 변화에 따른 추출물 및 잔류물의 추출 부피에 따른 유기물 농도, 양, 누적 추출 효율 및 추출 시간을 나타내었다. 추출이 진행됨에 따라, 누적 추출량은 증가하나 추출된 유기물의 농도가 점차 낮아지는 상압 (0mmHg), 110°C 조건과 유사한 경향을 보여 추출 부피의 약 10%가 최적 추출 부피로 판단하였다. 부피의 약 10% 추

출 지점의 TCOD 농도는 133,600 mg/L, 153,000 mg/L, 174,200 mg/L, 유기물의 양은 각각 6,680 mg, 7,650 mg, 8,710 mg 추출 시간은 22분, 30분, 10분, 추출효율은 각각 39%, 44%, 46%로 나타났다. 상압 (0mmHg), 110°C의 조건과 비교하였을 때, 감압 상태의 추출조건이 유기물 농도, 유기물의 양이 높고, 추출시간이 낮아 상압조건 보다 감압조건이 적합한 것으로 판단된다.

유입 부피의 10% 추출 지점에서 감압조건은 동일하고 온도가 다른 감압 (-600mmHg), 70°C와 감압 (-600mmHg), 80°C를 비교해 보았을 때, 온도가 높을 수록 추출 시간이 감소하고 추출되는 유기물의 농도 및 양이 증가하고 추출 효율이 높아지는 보이는 경향을 보였으며, 온도는 동일하고 감압조건이 다른 감압 (-500mmHg), 80°C 및 감압 (-600mmHg), 80°C를 비교하였을 때, 감압이 많이 될수록 추출 시간이 감소하고 추출되는 유기물의 농도가 높아지며 추출 효율이 증가하는 경향이 있다. 이는 감압량 및 온도가 추출된 유기물의 농도, 추출 효율 증가 및 추출 시간에 영향을 주는 것으로 볼 수 있다.

위 결과를 종합적으로 보았을 때, 감압조건에서 초기 유입 부피 대비하여 약 10% 추출하는 것이 최적 추출 부피로 판단되며, 감압 (-600mmHg), 80°C에서 동일 시간대비 고농도의 유기물 추출이 가능하며 많은 유기물을 추출할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만, 온도 및 감압량의 증가는 추출에 소요되는

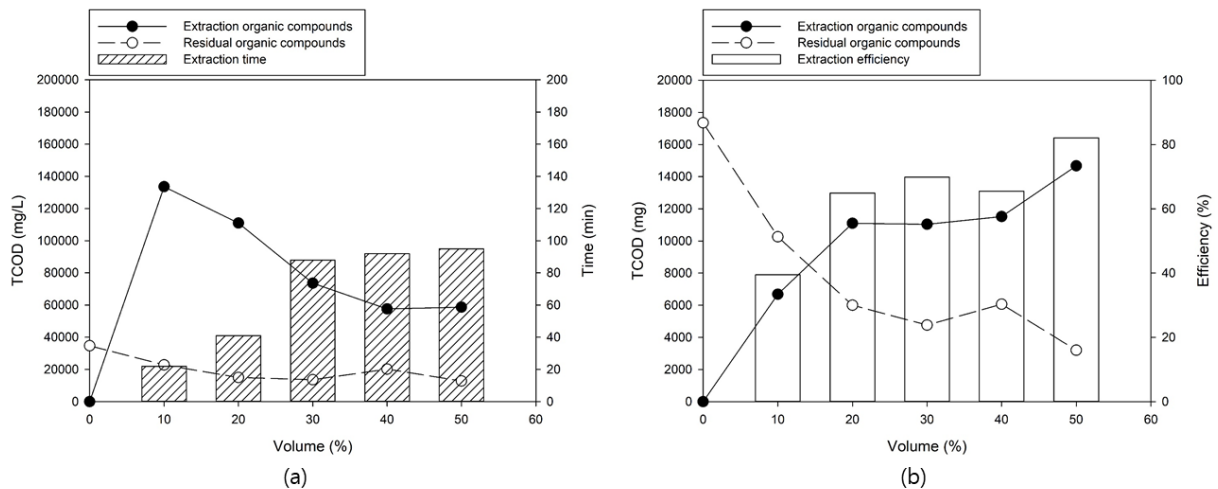


Fig. 2. Vacuum evaporation reactor operated at -600mmHg and 70°C. (a) Organic compounds concentration and extraction time. (b) Organic compounds quantity and extraction efficiency.

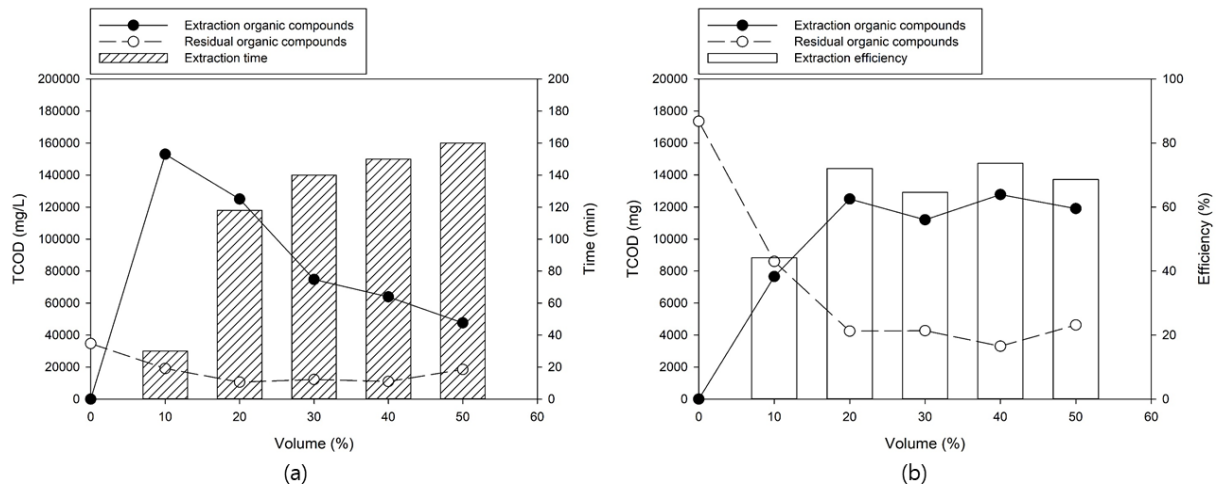


Fig. 3. Vacuum evaporation reactor operated at -500mmHg and 80°C. (a) Organic compounds concentration and extraction time. (b) Organic compounds quantity and extraction efficiency.

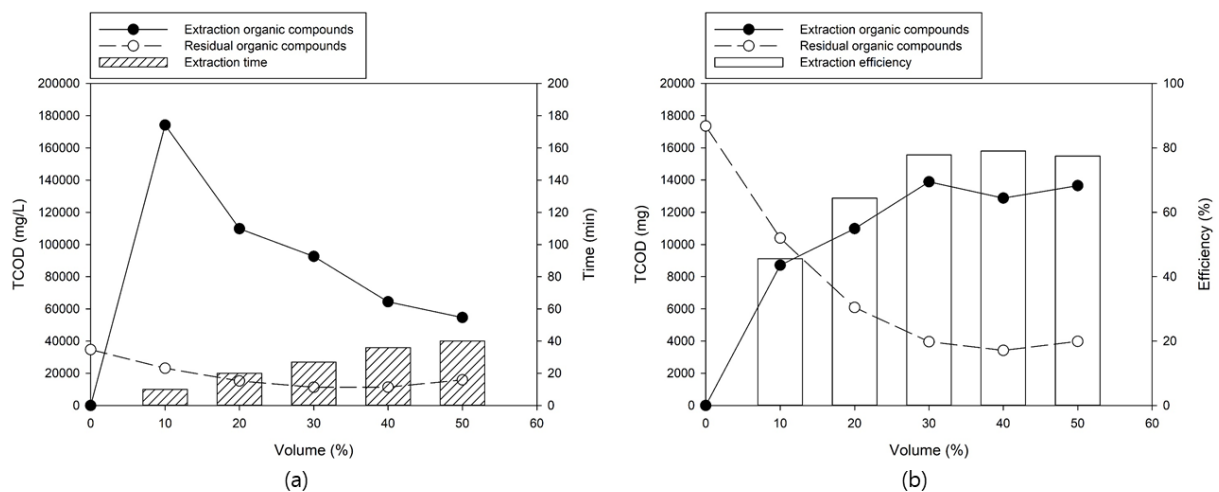


Fig. 4. Vacuum evaporation reactor operated by -600mmHg and 80°C. (a) Organic compounds concentration and extraction time. (b) Organic compounds quantity and extraction efficiency.

에너지가 높아 질 수 있으므로 추출에 소요되는 에너지, 온도 조건, 감압량, 추출 시간의 상관관계에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.4. 추출물 성상 분석

부피의 약 10% 추출 지점의 샘플에 대해서 외부 탄소원으로서의 이용가능성을 $BOD_5/TCOD$ 의 비율을 통하여 평가하고자 하였으며, $TVFAs/TCOD$ 를 통하여 추출된 휘발성유기물의 양 평가하고 NH_3-N 를 통하여 휘발성 질소의 양을 평가하고자 하였다. Table

3은 각 조건에 따른 TCOD, BOD_5 , $TVFAs$ 및 NH_3-N 의 분석결과를 나타내었다.

본 연구에서 추출이 진행된 모든 추출조건에서 추출물은 $BOD_5/TCOD$ 의 값이 0.9 이상으로 응축수 0.7에 비하여 높은 결과를 보였으며, $TVFAs/TCOD$ 의 값은 0.7 이상의 값을 보이며 약 70%의 $VFAs$ 가 추출되는 것으로 나타났다. 이는, 응축수에 비하여 평균적으로 $BOD_5/TCOD$, $TVFAs/TCOD$ 의 비율이 각각 0.2, 0.4 높은 값을 보이며 응축수에 포함되어 있는 휘발성유기물의 추출이 성공적으로 된 것으로

Table 3. TCOD, BOD₅, BOD₅/TCOD in Condensate and Extracted Organic Compounds

Item	Unit	Condensate	Organic compounds			
			0mmHg, 110°C	-600mmHg, 70°C	-500mmHg, 80°C	-600mmHg, 80°C
TCOD	mg/L	34,700	108,600	133,600	153,000	174,200
BOD ₅	mg/L	24,480	99,000	120,900	150,300	169,100
TVFAs	mg/L	10,000	79,000	97,000	118,000	129,000
NH ₃ -N	mg/L	110	61	92.5	61	75.5

판단된다. 특히, 감압 (-500mmHg), 80°C의 조건에서 BOD₅/TCOD는 0.98, TVFAs/TCOD는 0.77로 모든 감압 조건과 비교 하였을 때 가장 높은 비율로 나타났다. 이러한 결과는 생물학적으로 분해가 가능한 유기물 및 VFAs의 추출은 감압량 및 온도에 비례하여 지속적으로 증가하지 않는 것을 의미한다.

휘발성염기질소인 NH₃-N의 분석결과 모든 조건에서 응축수 대비 최소 15% 최대 45% 낮은 값을 보이며, 질소의 농도가 상대적으로 낮은 것으로 확인되었다. 특히, 상압 (0mmHg), 110°C 및 감압 (-500mmHg), 80°C에서 응축수에 포함된 NH₃-N에 비하여 약 45% 적은 값을 보이며 추출된 질소의 농도가 낮은 것으로 나타났다.

위 결과를 종합적으로 고려해 보았을 때, 응축수를 감압 (-500mmHg), 80°C의 조건으로 추출한 추출물이 유기물의 생물학적 분해가 가능한 물질이 가장 많이 추출되고, 추출된 유기물 중 VFAs의 비율이 높으며, 휘발성염기질소의 추출이 적어, 외부탄소원으로써 이용 가치가 가장 높은 것으로 판단된다.

4. 결론

1. 추출이 가능한 모든 추출조건에서 응축수에 포함된 휘발성유기물질의 추출이 진행됨에 따라, 누적 추출량은 증가하나 추출된 유기물의 농도가 낮아지므로, 유기물의 농도가 가장 높은 유입 부피의 약 10% 추출 시점이 최적 추출 부피로 판단되며, 이때 약 90% 이상이 생물학적으로 분해가 가능하고, 약 70% 이상이 VFAs인 것으로 나타났다.

2. 감압 (-500mmHg), 80°C의 BOD₅/TCOD 및 TVFAs/TCOD의 비율은 각각 0.98, 0.77로 가장 높았으며, 휘발성염기질소인 NH₃-N의 측정 결과 응축수에 비하여 45% 낮은 값을 보였으나, 추출물의 유기물의 농도에 따른 외부탄소원 사용량은 감압 (-500mmHg), 80°C에 비하여 감압 (-600mmHg), 80°C가 약 13% 적고 추출에 소요되는 시간이 약 3배 빠르므로 감압 (-600mmHg), 80°C가 최적 조건으로 판단된다.

3. 응축수의 유기탄소 추출을 통하여 음폐물 건조공정의 주요한 폐수 발생원인 응축수의 약 10% (v/v)를 줄일 수 있고, 외부탄소원 판매 및 자체처리 공정으로 사용 등의 경제적 이점이 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No. 20172020108940)

본 연구는 안산녹색환경지원센터의 2017년도 연구개발사업비 지원(#17-08-04-10-16)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. Ministry of Environment, "Waste production and disposal in 2017", (2018).
2. Ministry of Environment, "Current state of food

- waste recycling facilities in korea(19.4)", (2019).
3. Kim, Y. S., "A study on food waste generation and its characteristics using RFID system", PH.D. Thesis, Seoul National University Of Science And Technology, Seoul, Republic of Korea, (2019).
 4. Ministry of Environment, "Investigation of food waste treatment and management", (2017).
 5. Park, Y. S., "A study on the business of the situation analysis of food waste recycling", Master's Thesis, Gyeongnam National University Of Science And Technology, Jinju, Republic of Korea, (2015).
 6. Park, Y. S., "Study on the analysis of the optimum food waste treatment technology", Master's Thesis, Hoseo University, Asan, Republic of Korea, (2015).
 7. Ahn, J. J., "Production of wet feed from food wastes and application strategy", Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association, pp. 67~76. (2005).
 8. Ministry of Environment, "Research on the improvement measures and direction in management policy of food waste", (2012).
 9. Sudokwon Landfill Site Management Corporation, "A report for the effective disposal of food waste", (2003).
 10. Tang, J., Wang, X. C., Hu, Y., Pu, Y., Huang, J., Ngo, H. H., Zeng Y. and Li, Y., "Nutrients removal performance and sludge properties using anaerobic fermentation slurry from food waste as an external carbon source for wastewater treatment", *Bioresource technology*, 271, pp. 125~135. (2019).
 11. Tang, J., Wang, X. C., Hu, Y., Pu, Y., Huang, J., Ngo, H. H., Zeng Y. and Li, Y., "Nitrogen removal enhancement using lactic acid fermentation products from food waste as external carbon sources: performance and microbial communities", *Bioresource technology*, 256, pp. 259~268. (2018).
 12. Kim, H., Kim, J., Shin, S. G., Hwang, S. and Lee, C., "Continuous fermentation of food waste leachate for the production of volatile fatty acids and potential as a denitrification carbon source", *Bioresource technology*, 207, pp. 440~445. (2016).
 13. Ahn, Y. T., Youn, J. H., Chai, S. R. and Shin, H. S., "Characteristics of nutrient removal and membrane fouling in a membrane bioreactor using food waste as an additional carbon source", *Environmental Engineering Research*, 27(5), pp. 519~524. (2005).
 14. Han, D. H., "Recycling of condensate water from food waste", *Journal of Thermal & Environmental Engineering*, pp. 196~200. (2012).
 15. Khare, M. and Dondero, N. C., "Fractionation and concentration from water of volatiles and organics on high vacuum system: examination of sanitary landfill leachate", *Environmental Science & Technology*, 11(8), pp. 814~819. (1977).
 16. National Institute of Environmental Research, "Water pollution process test standards", (2018).
 17. APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed., American Public Health Association, Washington DC, USA, (2005).
 18. Lee, J. P., Ho, K., Kim, C. Y., Song, S. H. and Hyun, J. H., "Characteristics of food wastes and its hydrolysis conditions", *New & Renewable Energy Journal*, 13(1), pp. 36~44. (2017).