

음식물 소멸기에서 발생하는 응축폐수의 Polyethylene 침지형 중공사막을 이용한 처리 특성

유재상[†] · 전태봉* · 김진호** · 정건용

서울산업대학교 에너지환경공학과, *한국환경공단, **(주)케이엠에스
(2010년 6월 4일 접수, 2010년 6월 17일 수정, 2010년 6월 18일 채택)

Processing Characteristics of the Condensed Wastewater Resulting from Food Waste Disposal using a Submerged Polyethylene Hollow Fiber Membrane

Jae Sang Ryu[†], Tae Bong Jeon*, Jin Ho Kim**, and Kun Yong Chung

Department of Energy & Environment Engineering, Seoul National University of Technology,
172 Gongreung 2-dong, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea

*Korea Environment Corporation, Kyungseo-dong, Seo-gu, Incheon 404-708, Korea

**Korea Membrane Separation Co., Ltd, 719-33 Yeoksam dong, Gangnam-gu, Seoul 135-513, Korea

(Received June 4, 2010, Revised June 17, 2010, Accepted June 18, 2010)

요약: 본 연구는 음식물 쓰레기를 음식물 소멸기에서 미생물에 의해 발효하여 유기물을 감량화하고, 음식물 발효시 발생하는 가스를 냉각기에서 기체와 수분으로 분리하여 기체는 반응기로 다시 보내고 수분은 응축하여 침지식 MF 중공사막이 장착된 MBR 시스템에 적용하여 처리하는 시스템에 관한 연구이다. (주)바이오하이테크에서 제작한 음식물 소멸기와 수처리 장치에 침지식 MF 중공사막 모듈을 설치하여 90일간 H연구소 직원식당에서 발생하는 음식물 쓰레기를 연속 투입하여 처리하였다. 음식물 소멸기 초기 Seeding를 위하여 수분조절제로 미강, 왕겨, 톱밥을 305 kg 투입하였고 음식물은 운전기간 동안 1,648 kg 투입하였고 응축폐수는 1,600 L 발생되었다. 음식물 소멸기 운전 종료 후 배출된 발효 부산물은 386 kg으로 감량율은 약 80%로 조사되었다. 침지식 MF 중공사막 모듈을 응축폐수의 MBR 시스템에 적용하여 유기물 처리한 결과 제거율은 각각 BOD 99.9%, COD 97.5%, SS 98.6%, T-N 54.6%, T-P 34.7%였으며, 총대장균은 100%가 제거되었다.

Abstract: This study is conducted about the system that reduces organism after fermenting food waste from a food waste disposal equipment, divides gas made when food waste is fermented into gas and water, and then sends gas to a reactor again, condenses water, and apply it to the MBR system with submerged MF hollow fiber membranes. A submerged MF hollow fiber membrane module was installed to a food waste disposal equipment and a water treatment system made by Bio Hitech Co., Ltd. to process food waste generated from a staff cafeteria in a H institute for 90 days. For initial seeding of a food waste disposal equipment, 305 kg of rice bran, chaff, and sawdust as well as 1,648 kg of food were input during the operation, and 1,600 L of condensed wastewater occurred. Fermented by-product after finishing running a food waste disposal equipment was 386 kg and its reduction was shown to be 80%. The organism was processed by applying submerged MF hollow fiber membrane module to the MBR system of condensed wastewater, and the result shows reduction rates were BOD 99.9%, COD 97.5%, SS 98.6%, T-N 54.6% and T-P 34.7% and the total colon bacillus was perfectly eliminated.

Keywords: hollow fiber membrane, polyethylene, food waste, MBR, wastewater

1. 서론

현대산업사회는 경제성장과 인구증가로 소비경제구

모가 확대되고 있으며 생활수준의 향상은 음식물 폐기물의 대량 발생을 유발하고, 특히 처리시설이나 처분장소가 부족한 대도시의 경우에는 음식물 쓰레기 문제가 날로 심각해지고 있다. 2004년 기준 우리나라 음식물

[†]주저자(e-mail: env563@ktr.or.kr)

쓰레기의 발생량은 하루 11,463톤으로 전체 생활폐기물의 23%에 이르며 처리금액은 15조원에 달한다[1]. 음식 쓰레기의 성분은 수분이 약 80%, 가연분이 17%, 회분이 3% 정도이고 음식물 쓰레기의 재활용 방법으로는 2002년 기준 사료화 52%, 퇴비화 43.5%, 폐탄화 및 기타가 4.4%를 차지하고 있다. 정부의 음식물 감량화 홍보와 자원화 정책에 의해 1996년 이후 줄어들었지만 감소폭은 미비한 실정이다. 음식물 쓰레기의 처리는 2차 환경오염을 유발하는 공정이 주류를 이루고 있으며 자원화하기 어려운 방부제 등 각종 조미료가 함유된 인스턴트 음식의 대중화로 인해 음식물 쓰레기의 처리가 국가적인 문제로 대두되고 있다[2]. 2005년부터는 음식물 쓰레기의 직매립 금지 법률이 발효되어, 발생 폐기물의 재활용이 시급하게 요구되고 있다. 음식물 쓰레기의 처리를 위해 정부차원의 공공처리시설과 함께 민간업체의 소규모 자원화 시설을 지원하여 환경적 오염을 줄이고자 노력하고 있으나 민간업체의 소규모 자원화 시설은 전문 인력 부족과 음식물 쓰레기의 처리시 발생하는 문제에 대해서는 대응을 못하고 있으며 음식물 쓰레기의 자원화 처리시 문제가 되는 음식물에 포함된 수분은 대부분 침출수로 배출되어 음식물 처리시설에서 1차 처리 후 하수처리장으로 이송되어 재처리되고 있다. 이러한 이유에서 음식물 처리시 발생하는 침출수의 처리를 위해 운전의 용이성, 저렴한 유지관리비 및 향후 환경을 고려한 무배출 청정처리 기술의 도입이 요구되고 있는 실정이다[3]. 음식물 침출수를 위한 친환경적인 호기성 생물학적 공법[4] 및 혐기성공법에 관한 연구는 국제적으로 활발히 수행되고 있으며, 호기성과 혐기성 회분식 공정 후 산소 폭기를 통한 처리효율 향상에 관한 연구들이 진행되고 있다[5]. 현재 우리나라도 침출수와 같은 고농도 유기폐수에 분리막을 적용한 생물학적 처리공법은 많은 연구가 진행되고 있다[6-8]. 생물학적 처리공법에서 대표적인 활성슬러지 공법은 포기조에서 미생물이 흡착, 분해되며 침전조에서 고액 분리하여 최종처리수를 생산하는 방식이다. 그러나 처리공정에서 빈번하게 발생하는 문제는 미생물의 침강성 저하로 인한 고액분리효율의 저하이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 분리막 모듈을 포기 반응조 내에 침지하여 처리수를 흡입여과로서 얻는 침지형 분리막 공법이 증가하고 있다. 분리막 생물 반응조(MBR)의 특징은 부유고형물을 완전히 제거할 수 있기 때문에 슬러지의 침강성에 관계없이 안정적인 처리가 가능하고 슬러지 체류시

간을 극대화하여 질산화를 유도할 수 있으며, 반응기 내의 낮은 F/M를 유지하여 잉여슬러지 발생량을 줄이고 폐수의 특성에 맞는 특정 미생물을 성장 유지시킬 수 있다[9-11].

기존의 음식물 감량화 장치 또는 소멸기는 반응기에서 음식물을 발효하여 미생물에 의해 유기물은 분해하고 발생하는 침출수(응축폐수)는 정화조 또는 하수도로 유입시켜 처리하는 방식이었다. 본 연구에서는 음식물 소멸기에서 발생하는 고농도의 유기 응축폐수를 정화조로 직접 보내지 않고 침지식 MF 중공사 분리막을 적용하여 응축폐수를 처리한 후 배출하는 시스템을 개발하여 음식물 쓰레기의 감량화 효율 및 응축폐수의 유기물 처리효율을 평가하였다. 음식물 소멸기의 반응기는 100 kg/일로 설계하였고 외부공기를 반응기내로 주입하여 미생물 반응체에 의하여 발효가 일어나 발효하는 시스템으로 설계가 되었으며, 반응기 내에서 발효반응에 의하여 발생하는 응축수는 냉각장치를 통해 응축되어 MBR 처리조에 유입되는 방식으로 파일롯 플랜트를 제작하였다. 음식물 소멸기에 대한 성능은 감량율, 발효 부산물에 대한 안정성, 침지식 MF 중공사 분리막을 이용한 유기물 제거효율 대한 인자를 대상으로 실시하였다.

2. 실험

본 연구는 (주)바이오하이테크에서 제작한 음식물 소멸기(100 kg/일)에 (주)케이엠에스의 침지식 MF 중공사 분리막(pore size = 0.4 μm , 막 재질 : Polyethylene) 모듈을 장착하여 H연구소에서 발생하는 음식물 잔반을 3개월간 연속 투입하여 처리공정 효율을 실험하였다. 음식물 소멸기는 반응기에 수분조절제(미강, 톱밥, 왕겨)를 넣고 음식물쓰레기를 매일 투입하여 반응기에서 발효하여 유기물은 처리하고 무기물은 잔존하며 수분은 응축수로 배출되는 공정으로 설계되었다. 응축폐수 처리장치의 포기조에 장착한 침지식 MF 분리막 모듈은 산기관에서 공기방울이 포기조에 상향류를 일으키고 직각방향에서 흡입펌프로 처리수를 흡입하여 투과하는 십자형(Crossflow filtration)여과 방식으로 모듈을 설치하였다. 포기조에 설치된 분리막은 산기관에서 발생하는 공기방울에 의해 막 표면에 부착된 부착 미생물이 자연 탈락이 된다. Fig. 1은 음식물 소멸기 및 침지식 MF 중공사 분리막 모듈이 장착된 MBR 처리 시스템에 대한 공정도이다. 투입되는 음식물과 발효부산물은 비

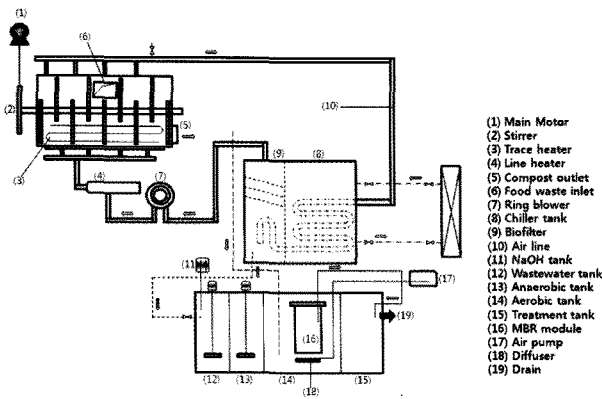


Fig. 1. Pilot plant configuration diagram of food waste disposal device and condensed wastewater treatment.

료품질검사방법을 이용하여 분석하였고 음식물 소멸시 발생하는 응축폐수와 처리수는 수질오염공정시험법으로 분석하였다.

2.1. 음식물 쓰레기 소멸화 실험

소멸분해처리장치 반응기 내부에 투입된 음식물쓰레기는 내부 교반장치의 정/역회전에 의해 저속교반(10 rpm/min) 혼합하였다. 운전초기 고온소화 가능한 온도 영역으로 가온하기 위해서 Line Heater에 의해서 발생된 열은 Ring Blower를 이용하여 0.1~0.2 kg/cm²의 압력으로 강제 공급하여 반응기 내의 미생물이 호기발열 반응을 진행시킬 수 있게 하였다. 미생물의 발효반응이 진행되면 발효열에 의해 반응기 내부온도가 45°C 이상 올라가게 되고 장치에 부착된 자동온도조절 장치에 의해 Line Heater의 가동이 자동으로 정지되며 간헐송풍(10 min/hr)으로 발효에 필요한 공기를 공급하였다. 장치 내의 발효반응에 의해 수증기가 발생되어 장치 상부로 모이게 되고 수증기를 포함한 가스는 배관을 통해 냉각기로 전달이 되어 열교환 방식에 의해 응축이 이루어지고 수처리 장치의 집수조로 이송을 시켰다. 음식물 소멸기의 주요 제원은 Table 1과 같고 장치의 구성은 Fig. 2와 같다.

음식물 소멸기 초기 운전시 Table 2와 같이 수분조절

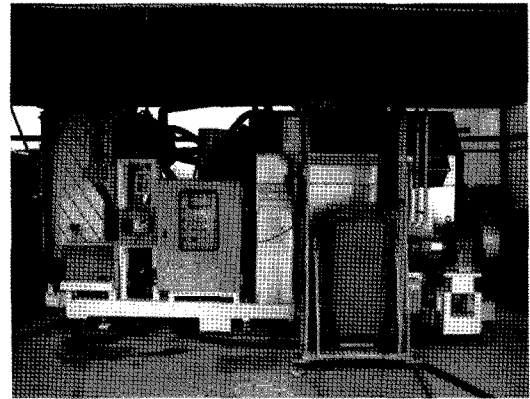


Fig. 2. Food waste disposal and decomposition device.

Table 2. Moisture Control Agents Input to Bioreactor

	Rice bran	Sawdust	Chaff	Bio seeding
Input (kg)	205	133	110	2.5

제(미강, 톱밥, 왕겨)에 Seeding을 위해 미생물제를 투입하였고 물을 주입하여 수분을 약 40% 되게 조절한 후 3일간 음식물 투입없이 운전을 하였다. 음식물 쓰레기는 장치 가동 후 3일 후부터 90일간 연속으로 투입하여 운전을 실시하였다. 음식물 소멸기는 90일 운전 후 반응기의 발효부산물을 배출하고 다시 미강, 톱밥, 왕겨 및 미생물제를 Seeding한 다음에 음식물을 투입하는 시스템으로 구성되어 1회 운전 주기를 90일로 보고 운전을 실시하였다.

2.2. 침지식 MF 중공사 모듈의 실험

음식물 소멸기의 반응기에서 음식물은 발효 미생물에 의해 발효가 되고 발생하는 발효가스는 냉각기에서 냉각된 후 기체와 응축폐수로 분리가 되어 기체는 다시 반응기로 유입이 되고 응축폐수는 수처리 장치의 집수조로 유입이 된다. 반응기에서 발효 미생물에 의해 발생된 분해 가스는 다량의 유기물이 포함된 가스이고 이를 냉각기에서 응축시켰기 때문에 집수조에 유입되는 응축폐수의 BOD는 7,000~10,000 mg/L으로 높지만

Table 1. Specifications of Food Waste Disposal Equipment

	Material	Type	Electric power
Bioreactor	STS 304	ø1300 × 1500	Trace Heater 0.75 kw
Cutting Mill	STS 304	Rotary Type (60° Array) 6 Set	2.2 kw, 10 rpm
Ring Blower	—	40 A	1.5 kw

Table 3. Operating Conditions of Condensed Water Treatment Plant

Operating factor	Operating condition	Remark
Membrane surface area (m ²)	0. 68 m ² /module	
Operating flux	1 to 5 LMH (L/m ² hr)	
Operating method	suction type	out → in
Normal operation pressure	from -5 cmHg to -30 cmHg	
Maximum operation pressure	-45 cmHg (ca. 0.6 kgf/cm ²)	
Air amount for scrubbing	more than 85 m ³ /hr m ² (projection area)	
Solution concentration for cleaning	3,000 ppm (NaOCl) for 3~5 hrs	

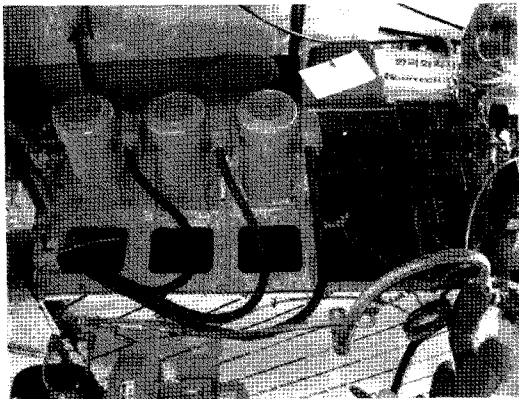


Fig. 3. Wastewater treatment system (MBR).

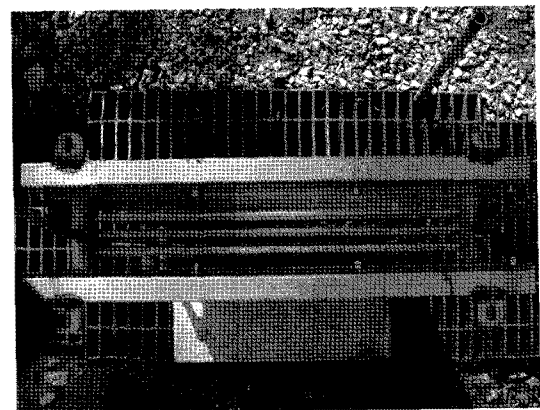
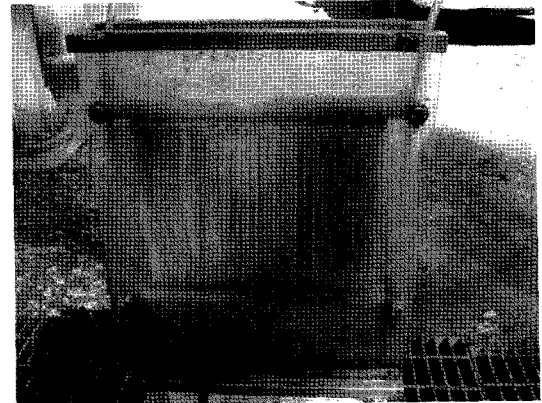


Fig. 4. Test module for Hollow-fiber membrane.

부유물질은 50~400 mg/L로 상대적으로 낮은 편이다. 수처리장치의 집수조에 유입된 응축폐수는 음식물 발효시 발생하는 유기산 가스로 인하여 pH는 약 4~5 정도이며 이를 중화하기 위해 1% NaOH를 pH 자동조절 장치가 연결된 약품탱크에서 정량펌프를 이용하여 주입하여 중성으로 유지하게 하였다. 응축폐수에 포함된 유기산의 종류는 Acetic acid, Propionic acid, Formic acid 등이며 HPLC로 분석한 결과 Acetic acid는 약 5,000 mg/L, Propionic acid는 약 400 mg/L, Formic acid는 약 200 mg/L이 포함되어 있었다. 집수조에서 중화된 응축폐수는 혐기조를 거쳐 침지식 MF중공사 분리막 모듈이 있는 포기조로 유입되어 처리가 된다. 혐기조와 포기조의 활성슬러지는 K시 하수처리장의 반송 슬러지를 MLSS 3,000~4,000 mg/L가 유지되게 주입하였다. 응축폐수가 집수조로 유입되어 혐기조, 호기조를 거쳐 처리되는 수처리장치는 Fig. 3과 같고 포기조에 설치한 침지식 MF중공사 분리막 모듈의 사양은 Table 3 및 Fig. 4와 같다.

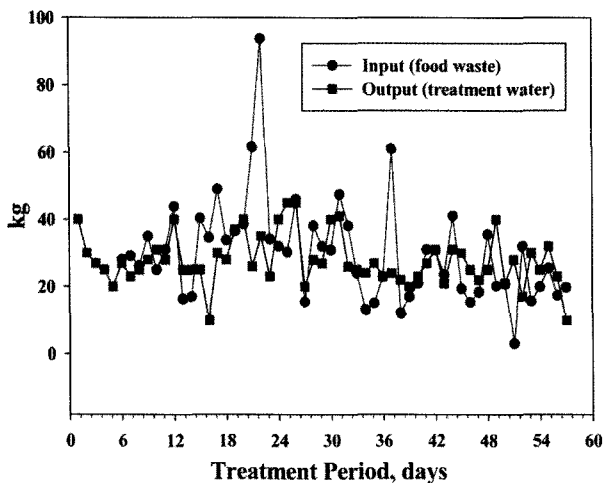
3. 결과 및 고찰

3.1. 음식물 소멸기 운전

음식물 소멸기는 1일 100 kg을 처리할 수 있는 시스템으로 제작하여 H연구소 직원식당에서 발생하는 음식잔반을 90일 동안(휴일 제외) 연속 투입하였다. 음식물 소멸기 가동초기 미생물 Seeding을 위하여 미강, 왕겨, 톱밥을 305 kg과 미생물제를 2.5 kg 투입한 후 지하수

Table 4. Results of Analysis of Input Food Waste and Compost By-Product

Index		Food wastes			Compost		
		7/30	8/29	9/30	7/30	8/29	9/30
Moisture (%)	<50	89.2	88.3	88.8	44.0	49.2	47.3
OM	>25	75.0	61.9	80.6	77.9	75.8	78.2
NaCl	<1	0.8	0.7	0.9	0.9	0.8	0.8
pH (-)	-	5.2	4.9	5.0	5.5	5.1	5.2
C/N ratio (-)	<50	15.2	18.8	16.1	21.6	17.8	18.2
As (mg/kg)	<50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hg	<2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pb	<150	0.0	0.2	0.0	0.1	0.3	0.1
Cd	<5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cr	<300	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2
Cu	<300	1.7	2.2	1.8	2.1	1.2	0.9
Zn	<900	15.8	10.9	9.5	21.1	13.5	11.5
Ni	<50	0.1	0.0	0.0	0.3	0.6	0.8

**Fig. 5.** Amount of dropped food waste, and amount of condensed wastewater generated.

를 약 270 kg 주입하여 수분을 약 45%로 조절하여 시운전을 실시하였다.

3.1.1. 투입량 및 응축폐수 발생량

현장 시험기간은 총 90일 동안 진행하였으며, 이는 음식물 소멸기(100 kg/일)의 1회 운전 주기가 90일이며 1회 운전이 종료되면 반응기의 발효부산물은 배출하여 후부숙과정을 거쳐 퇴비로 사용하게 된다. 운전 초기 수분조절제를 투입하여 물을 주입하고 미생물을 안정화시키기 위하여 5일 동안 음식물 투입없이 운전을 한

후 Fig. 5와 같이 일일 평균 29 kg의 음식물을 투입하였고 일일 평균 27 L의 응축폐수가 발생을 하였다. 반응기의 발효 부산물은 음식물 쓰레기 투입 후 30일, 60일, 90일 후에 투입되는 음식물 쓰레기와 반응기 내의 발효 부산물을 채취하여 비료품질검사방법에 따라 분석을 하였으며 결과는 Table 4와 같고 배출구에서 채취한 최종 생산물의 염분함량은 1~3회 시험 시 각각 0.8~0.9%로 부숙도 기준인 1% 이하를 만족하였다. 또한 유해물질함량은 기준치 이하에서 검출되었다. 유기물 함량 부숙도 기준은 25% 이상으로 만족하였고 유기물/질소 비는 부숙도 기준은 50% 이하이고 최종생산물은 17.8~21.6%로 비료품질관리법의 기준을 만족하였다.

3.1.2. 감량화율

음식물 소멸기의 감량화율은 현장 시험기간 동안 투입 대비 배출량 기준으로 감량을 계산하였다. 최초 미생물 Seeding시 미강(137 kg), 톱밥(92 kg), 왕겨(76 kg)와 미생물제(2.5 kg)를 투입하였으며 90일 운전기간동안 음식물 쓰레기의 총 투입량은 1,648 kg이었다. 음식물 소멸기 운전 종료 후 배출된 발효 부산물은 386 kg으로 약 80%가 감소하였다.

3.2. 응축폐수의 침지식 MBR을 유기물 제거 실험

음식물 소멸기에서 발생된 발효가스가 냉각기에서 기수 분리된 후 수처리 장치의 집수조에 유입된 응축폐

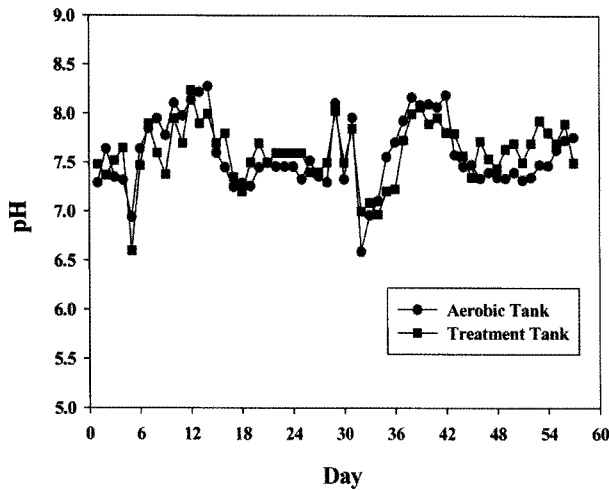


Fig. 6. Changes in the pH of treatment tank and aerobic tank.

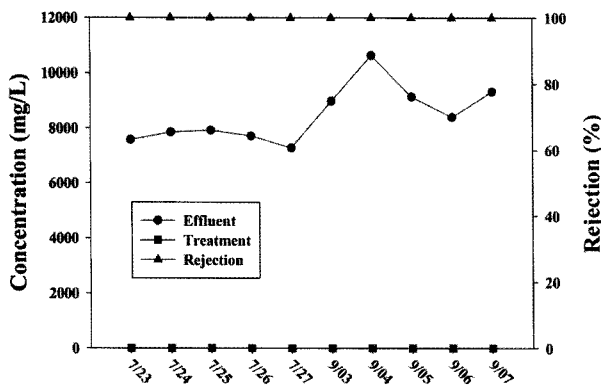


Fig. 7. Removal efficiency of BOD at Food waste water.

수는 현장 운전기간동안 총 1,600 L 유입되었고 일일 평균 약 26 L가 발생하였다. 집수조에 유입되기 전 응축폐수의 pH는 약 4~5이며, 집수조에 연결된 중화처리장치에 의해 약 6.6~8.2로 조절이 되어 혐기조, 포기조를 거쳐 방류조로 이송되어 처리되었다.

집수조에 유입된 응축폐수는 음식물 발효시 배출되는 유기산에 의해 pH는 약 4~5를 유지하게 되며 집수조에 장착된 자동중화처리장치에 의해 1% NaOH로 중화처리하여 혐기조로 이송이 되어 처리되며 Fig. 6에는 중화 처리된 집수조와 방류조의 pH 변화를 나타내었다. 90일간 총 10회의 시료를 채취하여 분석한 결과 BOD 99.9%, CODMn 93.4~99.3%, 부유물질 97.6~99.1%, T-N 30.7~80.4%, T-P 15.0~63.6, 총 대장균군 100%의 제거효율을 보였고 Figs. 7~12에 각각 도시하였다. 분석결과 BOD, CODMn, 부유물질, 총대장균의 제거효

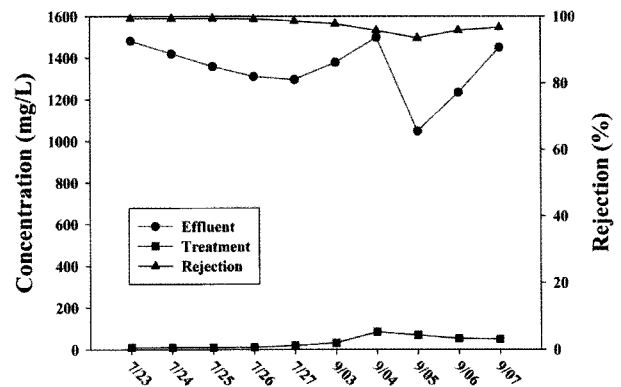


Fig. 8. Removal efficiency of CODMn at Food waste water.

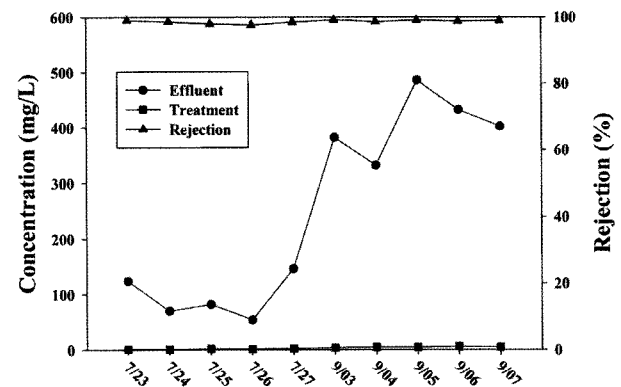


Fig. 9. Removal efficiency of SS at Food waste water.

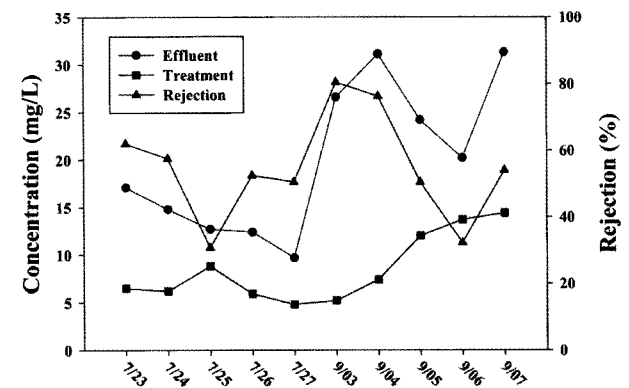


Fig. 10. Removal efficiency of T-N at Food waste water.

율은 높았지만 T-N과 T-P의 제거효율은 낮은 결과를 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 공동주택 지역이나 대형 음식점 등에서 발생하는 음식물 쓰레기를 음식물 소멸기에서 발효

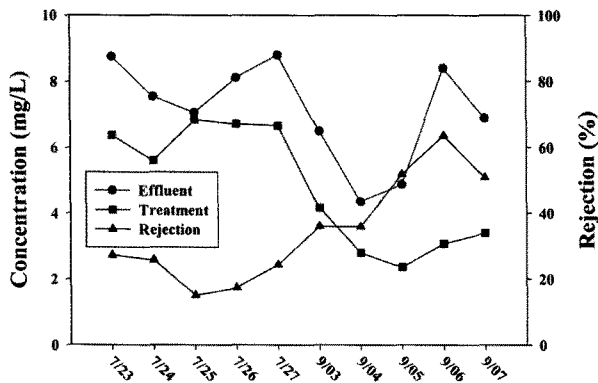


Fig. 11. Removal efficiency of T-P at Food waste water.

미생물에 의해 1차 발효하여 감량화하고 발효시 발생하는 수증기를 냉각기에서 기체와 응축수로 분리하여 발생된 응축폐수는 침지식 MF 중공사 분리막이 장착된 MBR 시스템에서 처리한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 현장 운전을 3개월 실시한 결과 음식물 쓰레기 총 투입량은 수분조절제(왕겨, 톱밥, 미강)를 포함하여 1,648 kg이었으며, 음식물 소멸기 운전 종료 후 발생한 1차 발효 부산물은 386 kg이었고, 감량율은 80%로 조사되었다.

2) 1차 발효부산물에 대하여 비료품질관리법에 의하여 30일 간격으로 시료를 채취하여 분석한 결과 염분함량은 0.8~0.9%로 부숙토 기준인 1%를 만족하였고 유기물/질소 비는 17.8~21.6%, 유기물 함량은 75.8~78.2%로 모두 기준을 만족하였다.

3) 음식물 소멸기에서 1차 발효 후 현장 운전동안 발생된 응축 폐수량은 총 1,600 L이고 집수조에 유입된 폐수의 pH는 4~5였는데, 이는 음식물 발효시 발생하는 유기산에 기인된 것이며 본 실험에서 분석된 유기산의 종류는 Acetic acid, Propionic acid, Formic acid 등이었다.

4) 음식물 소멸기에서 발생된 응축폐수를 1% NaOH로 중화하고 침지식 MF 중공사 분리막모듈이 장착된 MBR 시스템으로 처리한 결과 제거율은 평균값으로 각각 BOD 99.9%, CODMn 97.5%, 부유물질 98.6%, E-Coil은 100%로 처리효율이 우수했지만, T-N 54.6%, T-P 34.7%로 낮은 결과를 보였다. 질산화 효율을 높이기 위해 침전조를 설치하고 질산화 배양조를 별도로 운영하고 혐기조 이후에 무산조조를 설치하여 인의 제거효율을 높일 수 있는 방법의 검토가 필요함을 알 수 있었다.

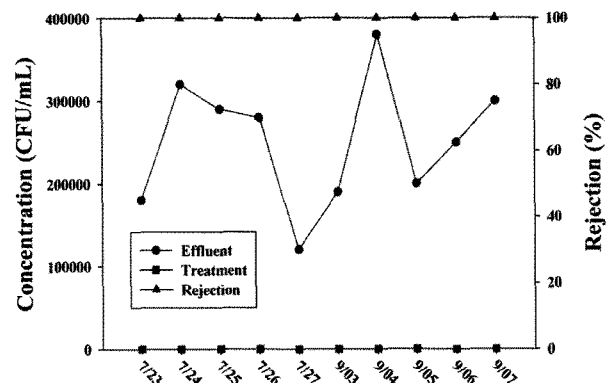


Fig. 12. Removal efficiency of E-Coil at Food waste water.

감 사

본 연구에 도움을 주신 (주)바이오하이테크, (주)케이엠에스 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

참 고 문 헌

- H. J. Kim, J. H. Kim, D. I. Oh, S. C. Kim, N. H. Lee, and N. J. Kim. "Effect of moisture on stabilization of municipal solid wastes in anaerobic landfill," *J. Kor. Org. Res. Rec. Ass.*, **13**, 124 (2005).
- J. P. Kim, K. W. Chang, and K. H. Min, "Evaluation of the stability of compost made from food wastes by the fermenting tank," *J. KOWREC.*, **3**, 35 (1995).
- M. J. Lee, C. H. Park, D. H. Lee, T. H. Kim, B. H. Lee, J. W. Lee, and S. G. Kim, "Performance Evaluation of Bio-Membrane Hybrid Process for Treatment of Food Waste Leachate," *Korean Journal of Biotechnology and Bioengineering*, **23**, 90 (2008).
- W. C. Boyle and R. K. Ham, "Biological treatability of landfill leachate," *J. Water. Pol. Cont. Fed.*, **48**, 860 (1974).
- N. J. Karrer, G. Ryhiner, and E. Heinzl, "Applicability test for combined biological-chemical treatment of wastewaters containing biorefractory compounds," *Wat. Res.*, **31**, 1013 (1977).
- M. S. Kang, K. H. Choi, and S. S. Son, "A Study on the Treatment of Leachate Using Combined Membrane Process," *Membrane Journal*, **10(4)**, 213

- (2000).
7. K. S. Ben, S. O. Go, and S. H. No, "Membrane Screening for Kimpo Landfill Leachate Treatment," *Membrane Journal*, 1995 Apr. 01, 64 (1995).
 8. Y. S. Cho, J. P. Kim, and K. Y. Chung, "Permeation characteristics of the submerged membrane module using the rotating disks," *Membrane Journal*, **16(1)**, 51 (2006).
 9. G. C. Cha and M. G. Hwang, "Nitrogen removal and behavior of soluble microbial product (SMP) in the MBR process with intermittent aerobic condition," *Membrane Journal*, **3(1)**, 1 (2001).
 10. T. H. Bae, G. G. J, and T. M. T, "Effects of biomass concentration and sludge loading rate on bioactivity and membrane fouling in a submerged membrane bioreactor system," *Membrane Journal*, **14(4)**, 289 (2004).
 11. S. H. Choi, N. U. Cho, and M. S. H, "The estimating an effect of rapid flux increase to a membrane in the intermittent aeration MBR process using alum treatment," *Membrane Journal*, **15(1)**, 70 (2005).