

## 역삼투막을 이용한 음식폐기물 액비의 농축

### Accumulation of Food Wastes Liquid Fertilizer using Reverse Osmosis Membrane System

차기철\* · 황명구\* · 이명규\*\* · 태민호\*\*\*

Cha Gi-Cheol\*, Hwang Myoung-Goo\*, Lee Myung-Gyu\*\*, Tae Min-Ho\*\*\*

\* 연세대학교 환경공학부

\*\* 상지대학교 환경공학과

\*\*\* 타오(주)

\* Division of Environmental Engineering, Yonsei University

\*\* Department of Environmental Engineering, Sangji University

\*\*\* TAO corporation

#### Abstract

A lab-scale Reverse Osmosis(RO) membrane reactor was installed to investigate the membrane permeability, characteristics of membrane fouling at each conditions, and performance of elimination at different trans-membrane pressure(TMP) in the liquid fertilizer accumulated system. Experimental setup was divided to three different TMP conditions. As a result of experiment, permeability of RO membrane was proportional to the increase of TMP and temperature. After experiment was completed, two types chemical cleaning(remove the organic foulant and inorganic foulant) was done, and recover rate of permeability was each 99.8, 99.7 and 99.7%, respectively. From this experimental data, membrane fouling could be determined that the most of it was recoverable in this system, and major reason of fouling was concentration polarization. Elimination rate of solute substance in the liquid fertilizer indicated very stable(above 99%), except ammonia nitrogen, and the most stable elimination rate was investigated at the highest TMP condition (Run 3).

**Keywords** : Elimination, Flux, Reverse Osmosis, Membrane Fouling, TMP

#### 1. 서 론

국내의 음식물쓰레기 1일 발생량은 '97년도에 12,949톤/일(년간 470만톤)으로 생활쓰레기의 약 30%에 해당하는 많은 양이며, 이는 선진 OECD 국가인 미국 25%(90년), 영국 19%(90년) 및 독일 28%(89년) 등에 비해 상대적으로 높은 비율이다.<sup>1)</sup>

한편, 발생한 음식물 쓰레기의 처리에 있어서 이를 매립 처분할 경우, 소요 매립면적의 증가와 침출수의 처리 문제 등이 대두될 것이며, 소각처분의 경우, 보조연료의 투입으로 인한 처리비용의 상승과 다이옥신 등의 대기오염 문제가 산재해 있어 그 처리가 매우 어려운 실정이다. 따라서, 가능한 범위 내에서 최대한 재활용하는 방법을 확대

하여 자원의 재활용과 처리의 적정화를 도모하는 것이 근본적으로 문제를 해결하는 매우 중요한 방안이라 할 수 있다. 그러나 아직까지 국내에서 음식물쓰레기를 퇴비나 사료 등으로 재활용하는 자원화시설은 91개(97년)에 지나지 않아 하루에 약 1,493톤이 처리되고 있으며, 2002년도에는 총시설 수 143개에서 약 2,000톤을 처리할 계획에 있으나 대량으로 발생하는 음식물쓰레기의 처리에는 부족한 실정이다.<sup>2)</sup>

또한, 인구증가로 인한 물 수요의 증가 및 이상 기온 등으로 인한 물 부족 현상은 최근 큰 문제로 대두되고 있으며, 이러한 문제로 인하여 하·폐수의 재이용은 매우 고무적이라 할 수 있다. 하·폐수의 재이용에 관하여 최근 활발히 논의되고 있는 것이 분리막을 이용한 중수의 재활용 방안이며, 별도의 고도처리 없이 중수로 활용할 수 있다는 관점에서 정밀여과막(microfiltration, MF) 혹은 한외여과막(ultrafiltration, UF)과 역삼투막(Reverse Osmosis, RO)을 혼합한 분리막 공정이 각광받고 있다<sup>3)</sup>. 따라서, 국내에서는 음식폐기물을 처리하면서 액비성분의 농축과 처리수의 재활용을 위한

연구는 매우 중요하며, 이와 관련한 공정의 개발은 매우 시급한 과제로서, 분리막의 응용에 관한 기초자료가 요구되고 있는 실정이다.

본 연구는 액비성분의 농축을 위하여 분리막을 응용하는 연구로서, 농축을 목적으로 이용한 음식폐기물의 여액은 음식폐기물을 TAO장치(thermophilic aerobic oxydation, 고온호기산화장치)<sup>2)</sup>로 처리하여 얻어진 여액이며, TAO장치는 고온의 호기성발효균을 이용하여 고농도유기성인 음식폐기물을 산화시켜 감량화하고, 또 그 처리 여액은 액상비료로서, 잔류고형물은 탈수하여 고형물비료로 사용하는 장치이다. TAO장치에 의한 액비화의 가능성은 이미 검토되었지만, 음식폐기물의 액비화를 위한 현장에서의 적용을 위한 기초적인 자료가 요구되고 있다.

본 연구에서는 RO막을 이용하여 기 생산된 액상비료 성분의 농축과 투과수의 중수로서의 활용 가능성을 고려하여, 음식폐기물 처리에 있어서 무방류 시스템의 구축을 위한 기초자료의 획득을 목적으로 RO막의 분리특성과 투과특성에 관하여 검토하였다.

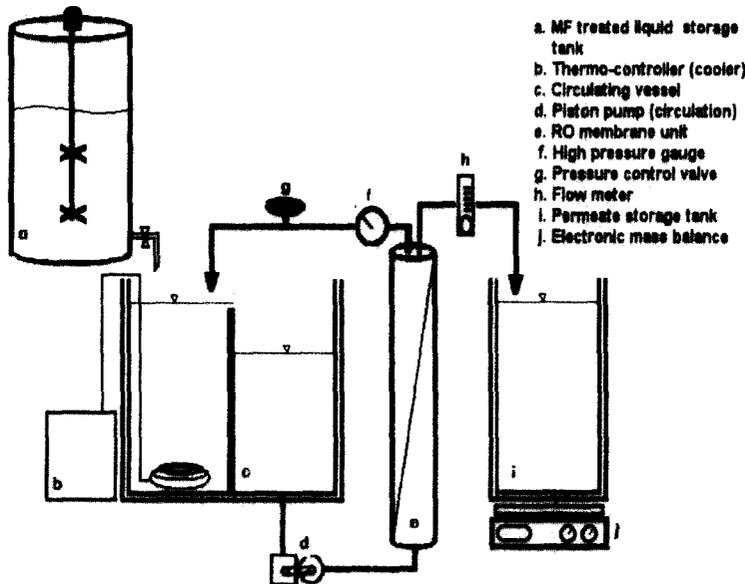


Fig. 1. Schematic diagram of lab-scale RO membrane system for accumulating the liquid fertilizer

재료 및 방법

1. 실험장치

본 연구에서 이용하는 음식폐기물의 여액은 RO 막을 통과하기 이전에 음식폐기물을 1차적으로 TAO장치를 통과시킨 후, MF막을 이용하여 전처리 한 여액을 원수로 이용하였으며, RO막에 관련한 투과특성을 검토하여 액비성분의 농축과 증수로서의 가능성을 검토하였다.

Fig. 1에 실험에 사용된 RO막 장치를 나타냈다. 본 연구에서는 고온호기성산화장치 및 MF 처리장치는 포함시키지 않았다. 실험에 사용된 lab-scale의 RO system 순환조의 유효용적은 20L였다. MF를 통과한 액상비료를 저류조에 저장하고 투과

되는 양만큼 보충하여 순환조의 처리액의 부피가 일정하게 유지되도록 하였다. 또한 펌프의 가열로 인한 처리액의 온도상승을 방지하고, 이에 따른 막투과성능의 변화를 최소화하기 위하여 순환조 내에 직접 냉각기 및 온열기를 침지하여 반응기내 온도를 일정하게( $30 \pm 5^\circ\text{C}$ ) 유지하도록 하였다.

투과유량 및 막모듈에 가해지는 압력의 변화는 압력조절기를 사용하여 10bar에서 약 40bar까지 변화시켰다. 투과되는 양을 정확히 하기 위하여 투과수조를 전자저울 상단에 위치하여 투과되는 양을 일정시간단위로 모니터링 하였다.

Table 1에 실험에 사용된 역삼투막의 사양을 나타냈다. 실험에 사용된 막은 나권형태의 역삼투막으로 재질은 폴리아마이드로 형성되어 있으며, 유효면적  $12.76\text{m}^2$ 의 RO막을 사용하였다.

Table 1. Specifications of RO membrane used in experiment

Parameters	Specifications
Types	Spiral wound
Material	Polyamide
Effective area ( $\text{m}^2$ )	12.76
General Salt elimination rate (CI)	0.991
Maximum operating Temperature ( $^\circ\text{C}$ )	45
Maximum operating pressure (bar)	50
Maximum salt concentration (mg/L)	20,000

Table 2. Compositions of raw and TAO treated sample

	Raw garbage-wasted	TAO treated	MF treated
COD <sub>cr</sub> (mg/L)	78,305	26,353	11,088
TS (mg/L)	250,000	46,900	20,900
VS (mg/L)	163,400	17,300	10,960
pH	5.5	8.4	9.6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	1,742	2,260	1,241
T-N (mg/L)	8,240	3,336	1,590
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg/L)	886	395	200.5
T-P (mg/L)	916	571	-
VFA (mg/L)	5,103	0-150	150

All values are average.

Table 2에 실험에 사용된 각각의 단계에 대한 실험액의 조성을 나타냈다. 첫 번째 단계인 TAO 장치를 통하여 최초 음식물 쓰레기 COD의 약 66%정도가 제거되었으며, MF system을 통한 고액분리를 통해 최초 COD의 86%가 감소하였다. 따라서 본 실험의 주된 처리대상액인 MF처리액의 평균 COD농도는 약 11,000mg/L였으며, 총 질소(T-N)농도는 약 1,590mg/L였다.

2. 실험방법

Table 3에 본 실험의 운전조건을 나타냈다. 운전은 막투과압력(trans-membrane pressure, TMP)을 각각 20, 30, 40bar로 바꾸어 이에 따른 투과유속(flux)의 변화와 각각의 항목에 대한 배제능력(elimination ability)을 관찰하였다.

실험시 반응기의 온도는 25~35℃에서 이루어지도록 냉각기와 온열기를 사용하였으며, 막모듈을 통과하는 liquid의 속도는 피스톤 펌프를 사용하여 14L/min으로 일정하게 하였다.

각각의 실험은 설정 TMP에서 초기 투과유량의 90%가 감소할 때까지 진행되었고, 실험종료후 막세정을 실시하였다. 막세정은 증류수를 사용한 물세정과 화학약품을 사용한 화학적 세정을 실시하였으며, 화학적 세정방법은 막오염물질 중 철 성분이나 염과 같은 이온성 무기물제거를 목적으로 한 산세정(HCl과 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 사용)과 유기물제거를 목적으로 한 염기성 세정(중성·염기성 세정제 사용) 등을 산세정 후 염기세정의 순서로 병행하여 막오염물질을 제거하였다. 산세정시 pH는 약 3에서 5사이였고, 유기물제거 시에는 약 8.5~12 사이

Table 3. General operating conditions

Factors	Run 1	Run 2	Run 3
Vessel volume (L)		20	
TMP (bar)	20	30	40
Temperature (°C)		25-35	
Circulating rate (L/min)		14	
Flux (L/m <sup>2</sup> /hr)	0.2-2.4	0.2-4.9	1.5-8.8

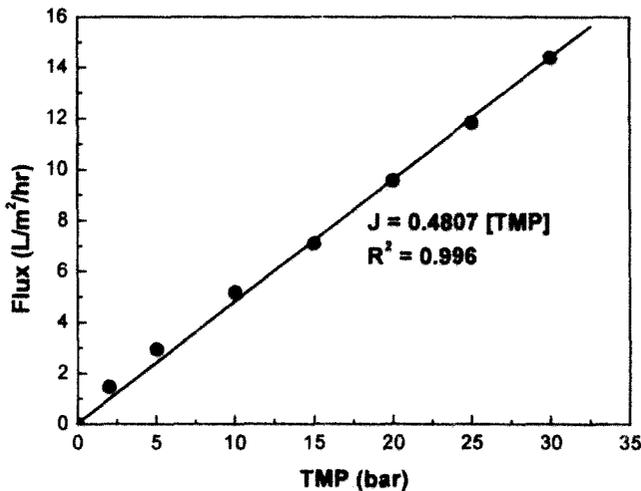


Fig. 2. Variations of flux with change of TMP

에서 실시되었다.

분석항목은 막의 투과성능과 오염현상을 파악하기 위하여 막 투과압력과 투과유속을 측정하였으며, 순수투과 실험을 통해 막의 순수한 투과능력을 관찰하였으며, 온도의 변화를 주어 온도에 따른 막투과성능의 변화를 살펴보았다. 또한 역삼투막에 의한 액상비료의 농축과 투과수의 성상을 파악하기 위하여 pH, Electronic conductivity, Turbidity 등을 사용하였으며, Cl, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 등 무기이온물질을 측정하기 위하여 Ion-chromatography(IC)를 사용하였다. 그 외 COD<sub>cr</sub>, TS, VS, TKN, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, T-N, Protein, Polysaccharide 등을 측정하였으며, 실험방법은 공정실험법(Standard method)<sup>4)</sup>에 준하여 실험하였다.

결과 및 고찰

1. 역삼투막의 고유 투과성능 (permeability)

Fig. 2에 TMP의 증가에 따른 flux의 변화를 나타냈다. 증류수를 사용한 본 실험에서 압력의 상승에 따라 flux의 변화는 매우 일치하게 증가하였고, RO막을 사용하는 본 실험에서 투과압력의 상승은 일정한 투과유량의 증가를 기대할 수 있음을 확인할 수 있었으며, 실험에서 관찰된 값을 통하여 flux의 증가는 입력에 대해 0.4807×TMP에 비례하는 것을 확인할 수 있었다.<sup>3)</sup>

실공정 내에서의 반응기 내 온도는 기상이나 계절 등의 이유로 일정하게 유지하기 어려울 뿐만 아니라 분리막의 사용에 있어서 온도의 변화는 그 투과성능을 변화시키는 중요한 요소가 된다. 따라서 온도변화에 따른 투과유량을 보정하기 위해 다음과 같은 식(1)<sup>5)</sup>이 사용되며, 25℃에서의 점도에 대한 온도변화에 따른 보정식은 식(2)<sup>6)</sup>와 같이 간편화하여 사용된다.

$$J_{at25} = J_t + \frac{\eta t}{\eta_{25}} \quad (1)$$

$$J_{at25} = J_t \times 1.025^{(25-t)} \quad (2)$$

여기서, t는 온도(℃)를 나타내며, J<sub>at 25</sub>는 25℃에서의 투과유량(flux, m · day<sup>-1</sup>)이고, J<sub>t</sub>는 온도 t에서의 투과유량, η는 용액의 점도(mPa · s)이다.

Fig. 3에 온도의 변화에 따른 순수정제수의 투과유량 변화(a)와 온도보정식(식 2)을 사용하여 25℃에서의 flux로 환산한 값의 비교(b)를 나타냈다.

이론적 고찰과 동일하게 온도가 증가할수록 일정압력에서의 막의 투과유량은 지속적으로 증가하였고, 식(2)를 사용하여 보정한 값은 Fig. 3(b)와 같이 일정하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

또한, 아래의 각각의 실험 종료후 화학적 세정을 통한 막투과능력의 회복능력을 알아본 결과,

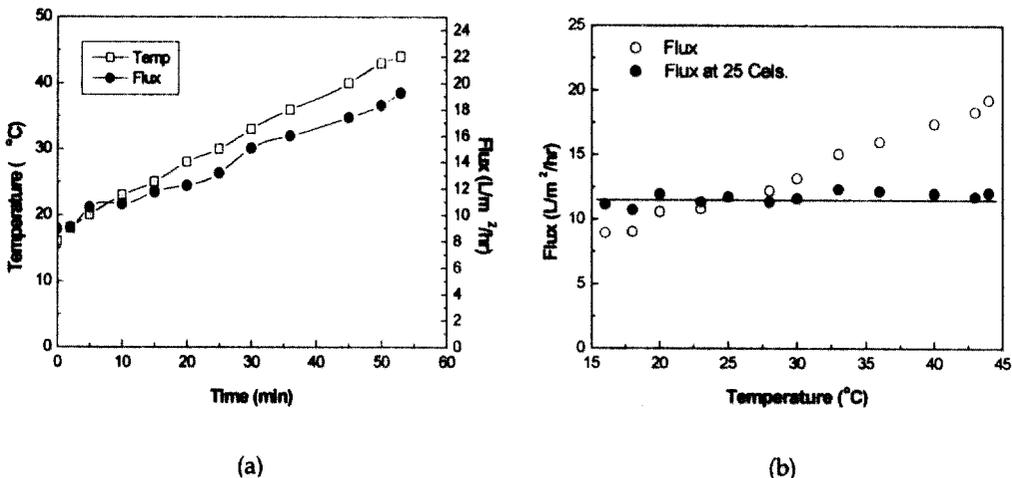


Fig. 3. (a)Variations of temperature and flux during time course, and (b)comparison of calculated value with experimental data

각각의 실험종료후 99.8%, 99.7%, 99.7% 정도의 회복율을 보여 운전으로 인해 야기된 막오염이 대부분 가역적인 오염현상임을 확인할 수 있었다.

2. 투과성능(permeability)의 변화

Fig. 4에 일정운전압력의 변화에 따른 투과유속의 변화를 나타냈다. 20bar로 운전된 Run 1의 경우 약 60분 동안 투과유속은 일정하게 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 실제 운전초기 투과유량 2.3 L/m<sup>2</sup>/hr에서 운전말기 약 0.24 L/m<sup>2</sup>/hr까지 감소하여 60분 동안 초기투과유량에 약 90%까지 감소하였고, 이는 30bar와 40bar에서 운전된 Run 2나 Run 3 역시 같은 추세였다. 그러나 투과유량이 감소하는 경향은 TMP가 증가할수록 더욱 급격하게 나타났으며, 실제 40bar에서 운전된 Run 3의 경우 투과유량이 8.4 L/m<sup>2</sup>/hr에서 1.7 L/m<sup>2</sup>/hr까지 6.7 L/m<sup>2</sup>/hr가 감소하는데 약 50분 정도밖에 소요되지 않았다. 이는 투과압력이 증가할수록 막오염속도가 빨라진다는 이론적 고찰과 동일한 것이며, 높은 투과압력에서의 운전은 뒤에서 다시 언급하겠지만, 그 분리특성에 있어서 큰 이점을 가지고 있지만 분리막의 운전에 있어서는 매우 급격한 투과유량의 변화를 가져올 수 있으며, 실 공정의 운전에 있어서 반드시 고려되어야 할 중요한 운전인자가 될 것이라 사료된다.

또한, Fig. 2에서 제시한 순수정제수 투과 시의

투과유량 계산식(flux=0.4807×TMP)을 활용하여 각각의 압력에 대한 순수 투과성능(9.6 L/m<sup>2</sup>/hr at 20bar, 14.4 L/m<sup>2</sup>/hr at 30bar, 19.2 L/m<sup>2</sup>/hr at 40bar)과 비교해 보았을 때 실제 투과대상액의 순수투과능력 대비 투과성능은 각각 22, 31, 43%로 나타났으며, 이는 투과압력을 상승시킬 수록 순수투과능력에 대한 투과저항의 손실이 적은 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 4과 같이 막오염에 의한 투과유량이 감소하는 원인은 크게 막면에 염이나 미세유기물 등이 집적되는 스케일 형성이나 농도분극<sup>3)</sup>에 의한 현상이라 사료되며, 실제 실험종료 후 운전 정지 30분 후 다시 운전해본 결과 약 60~70% 회복되는 것으로 미루어 막오염의 주된 원인이 농도분극현상에 의한 막투과유속의 감소라 사료된다. 따라서 시스템의 운전에 있어서 간헐식 운전<sup>7)</sup> 등 이러한 농도분극현상을 감소시키기 위한 운전방식의 도입이 필요할 것이라 판단된다.

3. TMP의 변화에 따른 배제특성

Fig. 5에 TMP의 변화에 따른 원수와 투과수의 COD<sub>Cr</sub> 배제특성을 나타냈다. 각각의 실험조건에서 원수에 대한 농축율은 압력이 높은 수록 원활히 진행되었고, 투과수의 경우 또한 그 농도가 TMP가 높을수록 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 투과압력이 상승할 수록 용질보다 용매

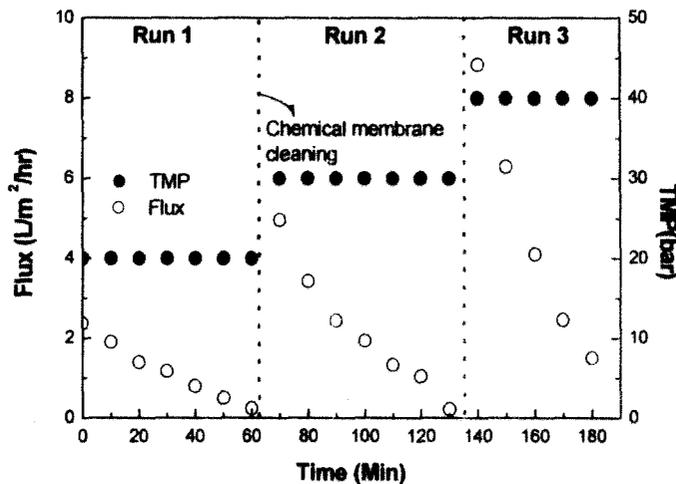


Fig. 4. Variations of flux at each Run.

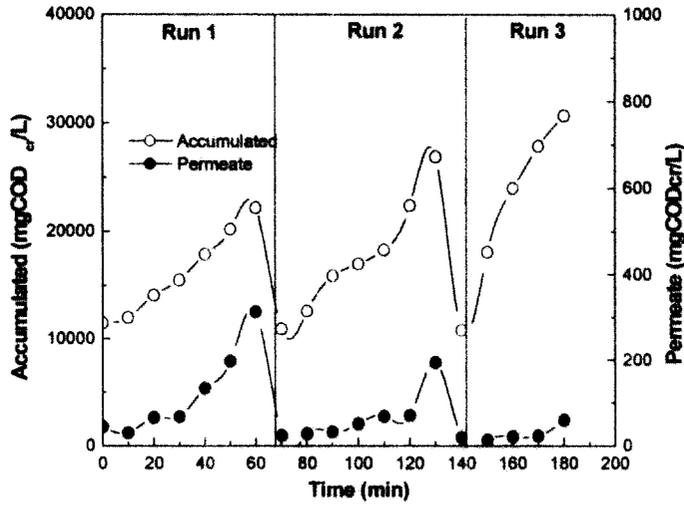


Fig. 5. Accumulation of COD concentration during time course.

의 속도가 증가하게 되어 용매의 투과량이 증가하는 반면 용질의 투과율을 감소하여 결국에는 투과수의 수질이 향상하게 되는 이론적 고찰과 동일한 운전결과라 사료된다.

실험값을 살펴보았을 때 반응기내 순환액의 농도는 모든 조건에서 원활히 농축되었으나, 투과수의 경우는 막오염이 심화되어 투과유량이 급속히 감소하는 시점에서 급격히 증가하는 경향을 보였다. 실제 20bar에서 운전된 Run 1의 경우 초기 약

50mg/L에서 40분 경과후 급작스럽게 투과수중의 COD<sub>cr</sub>농도가 상승하기 시작하여 운전말기 약 310mg/L까지 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 농도분극현상이 급격해 지면서 막면에 집중적으로 증가된 용매의 농도에 의해 투과수의 농도가 증가한 것이라 사료된다. 따라서 투과수를 중수 등 다른 용도로 사용할 경우 투과수의 유기물 농도 등을 고려한 RO 시스템의 운전이 필요할 것이라 사료된다.

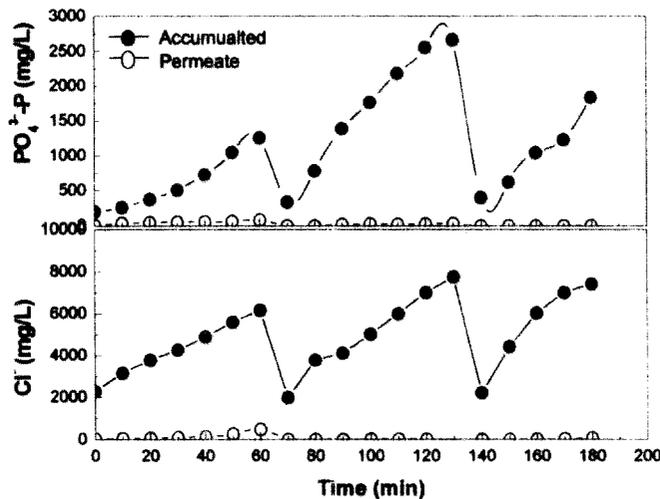


Fig. 6. Variations of PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P and Cl<sup>-</sup> concentration during time course.

Fig. 6(a,b)에 RO 시스템 운전에 따른  $Cl^-$  이온과  $PO_4^{3-}P$  이온의 농도변화를 나타냈다. 음식폐기물의 경우 특히 염분의 농도가 다른 처리대상물질에 비해 높으며, 더욱이 이러한 염분은 생물학적인 처리가 불가능하여 오염의 지표로도 사용되고 있으며, 중수의 사용에 있어서도 TMH등 전구물질을 생성할 수 있어 문제시되고 있다. 그러나 역삼투막의 경우 여러 실험적 고찰<sup>9)</sup>을 통해  $Cl^-$ 와 같은 1가이온까지 배제(elimination)할 수 있음을 확인하였으며, 실제 본 실험의 경우에서도 운전경과 동안 약 99%의 높은 배제특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

또한, 비료의 사용에 있어서 중요한 인자가 되는  $PO_4^{2-}P$ 의 경우 막오염에 상관없이 약 95-99% 정도의 배제특성을 보이는 것을 확인할 수 있었으며,  $COD_{Cr}$ 나  $Cl^-$  등 기타 측정항목에 비해 막오염시에도 배제율이 크게 변화하는 것과 같은 현상은 볼 수 없었다.

Fig. 7에 전기전도도의 변화를 나타냈다. pH의 경우 운전이 경과하면서 점차 반응조(9.6~8.9) 및 투과수(8.5~8.3)내 pH가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, RO막의 운전특성에 큰 영향을 주며, 이온성 물질의 척도가 되는 전기전도도 값은 운전 초기 약 20mS에서 지속될 수록 반응조내 축적되어 운전말기에는 약 43mS까지 농축되는 것을 확

인할 수 있었으며, 투과수의 경우도 초기 0.5mS에서 운전종료시 5mS까지 증가하는 것을 관찰할 수 있었다.

위에서 살펴본 바와 같이 투과수의 농도가 운전 종료시점으로 가까워질 수록 증가하는 것은 역삼투막의 분리특성으로 인한 반응조내 측정농도의 상승에 따른 투과수농도의 상승에 원인을 들 수 있으며, 뿐만 아니라 운전경과에 따라 막표면 주위에 생성되는 농도분극현상 또한 그 원인이 될 수 있을 것이라 사료된다.

4. 역삼투막의 운전에 따른 액상변화

Table 4에 실험에 사용된 MF투과액의 항목별 특성과 운전에 따른 농축수 및 투과수의 측정항목별 농도변화를 나타냈다.

$COD_{Cr}$ 의 경우 MF처리액의 평균농도는 약 11,000mg/L정도를 나타냈으며, 각각의 실험을 통한 결과 2-3배(22,000에서 30,700mg/L)까지 원활히 농축되는 것을 확인할 수 있었다. 반면 투과수 중  $COD_{Cr}$ 은 막오염으로 인한 투과유속의 감소가 두드러지게 일어나는 운전종료시점에서 급격히 증가하는 것을 관찰할 수 있었으며, 각각의 실험 조건에 따른 투과수의 평균농도는 126.0, 67.71, 28.0mg $COD_{Cr}$ /L로 나타났다. 투과수의  $COD_{Cr}$ 값은

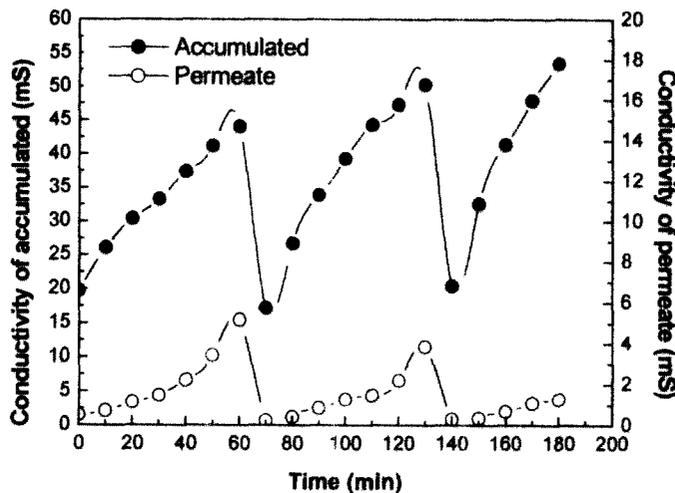


Fig. 7. Variations of conductivity during time course.

Table 4. Overall performance of MF treated, accumulated and permeated liquid at each Run.

	MF treated			Accumulated			Permeate			Elimination rate (average) (%)			
	Run1	Run2	Run3	Run1	Run2	Run3	Run1	Run2	Run3	Run1	Run2	Run3	
COD <sub>cr</sub> (mg/L)	11500	10945	10820	22200	26900	30700	45-314 (126.0)	25-195 (67.71)	20-60 (28)	99.1	99.7	99.9	
Protein (mg/L)	1666.7	1602.7	1488.6	5312.5	4397.5	5409.6	0	0	0	100	100	100	
Polysaccharide (mg/L)	1314.4	1402.7	1212.3	3617.9	4021.6	3577.7	0	0	0	100	100	100	
TS (mg/L)	20900	-	-	45590	-	-	0	-	-	100	-	-	
VS (mg/L)	10960	-	-	21090	-	-	0	-	-	100	-	-	
pH	9.6	9.5	9.6	8.9	8.8	8.7	8.5-8.3	8.9-8.7	8.2-8.0	-	-	-	
EC (mS)	19.7	17.2	20.4	44.1	50.3	53.4	0.5-5.2 (2.0)	0.2-3.8 (1.5)	0.3-1.3 (0.7)	9.44	96.6	98.2	
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> -P (mg/L)	200.5	336.6	404.2	1256	2667.5	1840.6	8.3-84.2 (51.1)	0-30.5 (18.3)	0-5.8 (1.4)	91.0	99.1	99.9	
Cl (mg/L)	2287.6	1998.4	2203.8	6161.8	7756.4	7421.9	31-482 (161.2)	20.4-200.6 (71.3)	8.4-70.3 (29.7)	96.8	98.8	99.5	
TKN (mg/L)	1590.7	1448.6	1771.4	3107.6	3667.7	3820.9	60.7-501 (319.6)	30.4-361.4 (218.6)	20.4-89.8 (41.4)	84.0	91.1	98.9	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	1241.6	1194.7	1368.1	2829.9	3105.4	3337.0	43.3-424 (269)	18.2-269.1 (132)	7.5-64.1 (30.2)	85.1	90.1	98.5	
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	i.g												
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	i.g												
T-N (mg/L)	1590.7	1448.6	1771.4	3107.6	3667.7		60.7-501 (319.6)	30.4-361.4 (218.6)	20.4-89.8 (41.4)	84.0	91.1	98.9	
VFA (mg/L)	acetic acid	104.4	89.9	0	0	319.4	214.4	0	0	0	100	100	100
	propionic acid	N.D											
	n-butylic acid	N.D											

( ) ; average of experimental data

N.D. ; not defined

i.g. ; ignorable (< 1mg/L)

운전종료시점을 제외하고는 60mgCOD<sub>cr</sub>/L 이하의 값으로써 중수의 활용이 가능할 뿐 아니라, 실제 Run 3의 경우는 전 과정에 걸쳐서 모두 중수의 사용이 가능하였다.

단백질이나 다당류와 같은 영양염류의 경우 원수중에 각각 약 1700 mgProtein/L과 1300 mgPolysaccharide/L가 포함되어 있었으며, 이들 물질의 경우 대부분 그 분자가 큰 구조를 갖고 있어 RO막을 통해 완전배제가 이루어졌다. 뿐만 아니라 TS(Total solid)와 같은 미립자 역시 완전배제가 이루어졌다.

전기전도도의 경우 초기 원수의 평균값은 약 9.5 mS정도였으며, 투과수는 운전조건에 따라 평균 2.01, 1.46, 0.74 mS의 값을 나타내어 95~98%

의 배제효율을 나타내었다. 염분의 경우 MF처리액에 평균 2,100mg/L정도가 포함되어 있었으며, RO막을 통해 99%정도의 배제효율을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

비료의 사용에 있어서 주된 요소가 되는 인의 경우 원수 중에 약 320 mg/L정도의 인산염인(PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-P)이 존재하는 것이 관찰되었으며, RO막을 통해 99% 이상(Run 1제외)의 높은 배제율을 얻을 수 있었다. 반면 질소의 경우 운전조건에 따라 상이한 배제효율을 관찰할 수 있었다. 20bar로 운전된 Run 1의 경우 총질소(T-N) 배제율이 약 85.1% 정도로 다른 측정항목에 비해 매우 저조한 배제율을 보인 반면 40bar로 운전된 Run 3의 경우 약 99%정도로 매우 높은 배제효율을 얻을 수 있었으

며, 기타 항목에서도 배제율에 있어서 Run 3가 가장 높은 배제효율을 보이는 것을 관찰할 수 있었다.

## 결 론

음식폐기물의 액상비료화에 있어서 RO막을 사용한 액상비료의 농축과 투과수의 증수활용 방안을 모색하기 위하여 lab-scale의 RO 시스템을 통해 그 투과특성과 분리특성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 각각의 실험 종료후 증류수를 이용한 물리적 세정과 화학적 세정을 통한 막의 순수투과능 회복율은 각각 99.7 ~ 99.8%를 나타냈으며, TAO장치를 이용하여 생산된 액비의 RO막을 통한 농축에 있어서 막오염은 대부분 막세정을 통해 회복이 가능한 가역적인 오염현상이었다.
2. 원액의 초기 염분농도(CI 기준)은 평균 약 2100 mg/L 였으며, 실험결과 원액의 RO막 투과를 위한 최소필요 TMP는 약 13.5 bar로서, 원액이 가지고 있는 삼투압으로 RO막 하우스(housing)이나 펌프등의 장치의 선택에 있어서 고려되어야 할 요소이다.
3. 높은 압력으로 유지시킬 수록 배제능력은 증가하였으며, 40bar의 압력으로 운전된 경우 다른 실험에 비해 높은 제거효율을 보였다.
4. RO막의 투과를 통해 MF처리액의 농축은 2-3배 까지 원활히 진행되는 것을 확인할 수 있었으며, 막오염이 극도에 달하는 운전종료시점에서는 농도분극현상으로 인하여 투과수의 측정농도도 함께 증가하였다.

## 사 사

본 연구는 일부 2001년도 차세대 핵심환경기술 개발사업과 일부 BK21 연구비 지원에 의해 수행 되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 환경부, 환경백서 (1998).
2. 이명규, 이원일, 급속액상부속기술을 이용한 양돈분뇨의 연속처리. 한국축산시설환경학회, 제 6권, 제 3호, 169~174 (2000).
3. 황명규, 차기철, 이명규, 축분액비의 고액분리에 있어서 분리막의 투과특성, 한국축산시설환경학회, 제 6권, 제 3호, 175-184(2000).
4. APHA, AWWA, WPCF, *Standard Methods for the examination of water and wastewater*(17th edit.), Washington D.C, USA(1989).
5. 上田達己, 膜分離活性汚泥法における 溶解性有機物の動態と膜ろ透過能, 水環境學會誌, 第 20卷, 第 4号, 233-237(1997).
6. Xia Huang, Rui Liu, Yi Qian, Behavior of soluble microbial products in a membrane bioreactor, *Process Biochem.* 36, 401-406(2000).
7. 황명규, 차기철, 정태영, 막분리 활성슬러지 공정에서 호기-무산소 조건 변화에 따른 유기물 분해 특성 및 용해성 생물대사산물이 막 투과 유속에 미치는 영향, 한국막학회 추계 학술발표회, 127-130(2000).
8. W. S. Winston Ho and K.K. Sirkar(eds.), *Membrane Handbook*, VanNonstrand Reinhold, N.Y, U.S.A(1992).