

## 막분리(NF, UF)를 이용한 자연유기물(NOM) 제거에 관한 연구(II) - NF, UF 운전특성과 HAA생성능 제거 -

송양석<sup>1</sup>, 박용훈<sup>1</sup>, 조영관<sup>1</sup>, 조재원<sup>2</sup>, 박돈희<sup>3</sup>

<sup>1</sup>광주광역시 상수도사업본부 수질연구소, <sup>2</sup>광주과기원 환경공학과,  
<sup>3</sup>전남대학교 응용화학공학부

### Abstract

In this study, We evaluated the removal efficiency of natural organic matters(NOM) in the Ultrafiltration(UF) and Nanofiltration(NF) membranes with molecular weight cutoff of 2500(GH), 8000(GM) and 250(HL), respectively. Filtration type was cross-flow filtration. The investigation result about raw water structure was hydrophobic 28%, hydrophilic 53% and transphilic 19%, in conjunction with XAD8/4 resin fractionation method. We were compared with UF(GM, GH) and NF(HL), in operation characteristic. In spite of poor MWCO, GM(8000Da) was superior than GH(2500Da), in the efficiency of total operation. It was showed the NF(HL) 80%, UF(GM) 50%, in the removing efficiency of HAAFP.

### 서론

자연유기물질(NOM)은 매우 복잡한 유기 혼합물질로 수환경 어디에서나 존재하는 물질이다. 특히 Humic 물질은 생물학적 활동을 통해 발생하는 물질로 그 자체로는 큰 위해성을 갖지는 않으나, 수처리 공정 중 소독 및 산화 등의 과정에서 소독부산물의 전구물질로서 작용하게 되며, 이 과정에서 발생한 소독부산물이 발암성 물질로 알려지면서 이들 소독부산물을 제어하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 소독부산물의 저감을 위한 방안으로 NOM의 제어는 소독부산물의 전구물질인 NOM의 직접적인 제어를 통해 소독부산물을 저감시키는 방법으로 막분리 공정, 활성탄 처리 공정 등이 있으며, 대체소독공정의 도입은 주로 오존, 이산화염소 등을 적용 소독부산물의 생성을 억제하는 방법을 적용하고 있으나, 대체 공정의 경우 브로메이트 등의 또 다른 소독부산물의 발생의 원인이 되고 있다. NOM이 배급수 과정에서의 미생물의 재성장의 원인물질로 밝혀지면서 NOM의 직접적인 제어가 그 무게를 더하고 있다. 특히 막분리 공정은 기존의 정수처리 공정에서는 제거하기 어려웠던 유기물까지 제어가 가능할 뿐 아니라 소독부산물의 발생문제를 해결할 수 있고, 처리수의 NOM을 원

하는 정도까지 제어할 수 있어 원수 수질에 따라 적절한 막의 선택을 할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 모형시설의 침전처리수를 이용하여, 원수의 특성 및 제거분자량(MWCO, Molecular Weight Cut OFF)에 따른 막의 성능과 유기물 제거 효율을 나노막인 NF, 한외여과막인 UF를 운전한 특성과 그 처리효율을 조사하였다.

### 실험방법

#### 1. 막 여과장치 및 처리수

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같고, 주암계통의 원수를 10m<sup>3</sup>/day의 모형시설에서 응집, 침전을 시킨 후 막분리 공정을 적용하여 주암계통의 NOM특성, UF, NF의 분리막 운전 특성과, NOM제거 효율을 비교하였다.

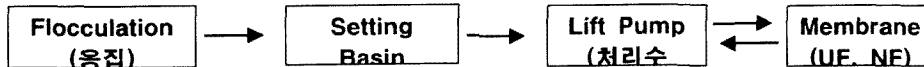


Fig 1. Treatment process of membrane.

사용한 응집제는 PACl(폴리염화알루미늄)을 사용하였으며, 막의 구성은 막의 제거 능력에 따라 MWCO (Molecular Weight Cut Off)가 2500인 GH와 8000인 GM 달톤(Da)의 한외여과(UF)막을 운전하였고, 이후 추가로 MWCO가 8000 Da인 한외여과막인 GM(UF)과 MWCO가 150~300 Da인 나노막의 HL(NF)를 운전하였다(Table 1, Fig. 1).

Table 1. The characteristics of membranes

Classification	UF		NF	Remark
	GH	GM	HL	
MWCO(Da)	2,500	8,000	150~300	
Material	Polyamide	Polyamide	Polyamide	
Pure Water Permeability (L/day·m <sup>2</sup> ·kPa)	1.31	3.71	2.99	
Zeta potential(mv)	-30.51	-45.69	-29.80	

막의 특성을 파악하기 위해 물리 화학적 세정작업은 전혀 하지 않은 상태에서 운전압력 (UF 6.55 Kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>, NF 5.65 Kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>), 회수율(UF 60%, NF 54%)의 조건으로 운전하였다(Table 2).

Table 2. Membrane operation condition

	Influent (ℓ/min)	effluent (ℓ/min)	Recovery(%)	Pressure (Kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )
UF(GM)	1.5	0.96	64	6.55
NF(HL)	2.2	1.2	54	5.65
Temperature	16.4			

## 2. 수질분석

원수의 수질특성을 파악하기 위해 원수의 분자량 분포는 액체크로마토그래피(HPLC-SEC)를 이용하여 분석하였으며, 원수의 NOM 구성은 XAD-8/4를 분리수지로 이용하였고, 원수 및 처리수 중의 유기물 농도(DOC)는 TOC 분석기를 이용하여 조사하였으며, UV254는 UV-VIS 분광광도계를 이용하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 원수의 특성

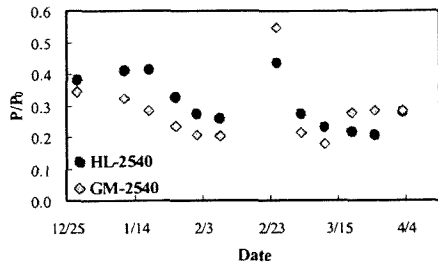
본 연구에 사용한 주암호 원수의 분자량 분포는 925 Da 정도로 구성되어 있으며, 소수성 물질은 28%이며, 친수성물질이 53%로 구성되었다. 이렇게 소수성 물질에 비하여 친수성 물질의 비가 높은 경우, 일반적으로 막분리를 이용한 유기물의 제거율에는 불리한 것으로 조사되고 있으나, 떨어지는 것으로 알려져 있다(조재원, 1999).

### 2. UF(GM) 와 NF(HL)의 적용 비교

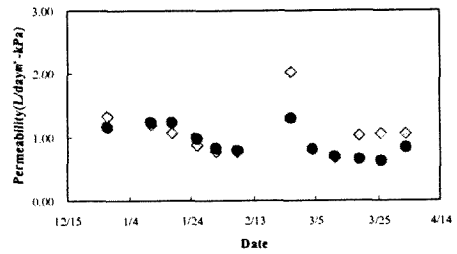
GM과 GH의 조사결과를 바탕으로 UF막인 GM과 NF막인 HL을 대상으로 제거율과 운전특성을 조사한 결과  $P/P_0$ 의 변화는 UF막인 GM이 일정한 값을 보인 반면, NF막인 HL은 3월 이후 감소를 보이고 있다(Fig. 2-A). 투과량에서도 PWP가 NF막인 HL에 비하여 큰 UF막인 GM이 더 많은 양을 지속적으로 투과시켜야 하나 모니터링 결과 두 막 모두가 초기에는 비슷한 투과량을 보여 주었으나, 3월 이후 HL의 투과량이 급격히 떨어지는 것을 알 수 있었다(Fig. 2-B). GM 과 HL의 J/K의 변화를 조사한 결과 두 막 모두 비슷한 양상을 보여주고 있다(Fig. 2-C).

### 3. HAA 전구물질 제거

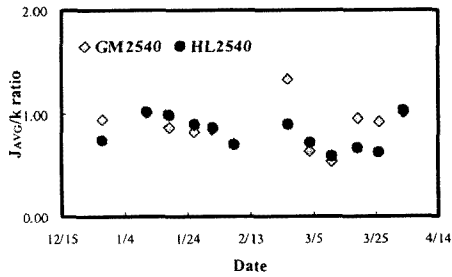
HAA(Haloacetic acid)의 소독부산물 생성능 제거율 평가한 결과, NF인 HL이 UF인 GM보다는 우수한 것을 알 수 있으나, 두 막 공정 모두 50%이상의 양호한 제거 효과를 보여 주었다(Fig. 3). NF막과 UF의 처리수의 분자량 분포를 조사한 결과, 처리수의 분자량 분포의 경우 NF막인 HL이 UF막인 GM에 비하여 더 낮은쪽에서 분포하는 것을 알 수 있으며, 이러한 처리결과는 HAA의 생성능 실험에 있어서도 HL의 HAA의 전구물질 제거 효과가 크게 나타났다.



(A)



(B)



(C)

Fig. 2. Variation of P/P0(A), permeability(B) and J/K(C) at GM vs HL

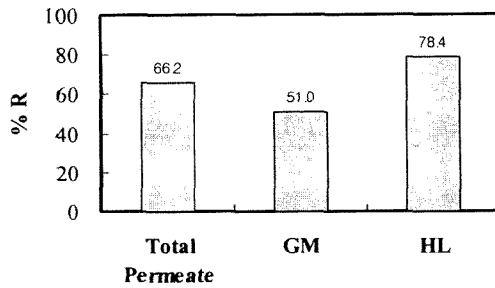


Fig. 3. Reject Ratio of HAAFP at GM & HL.

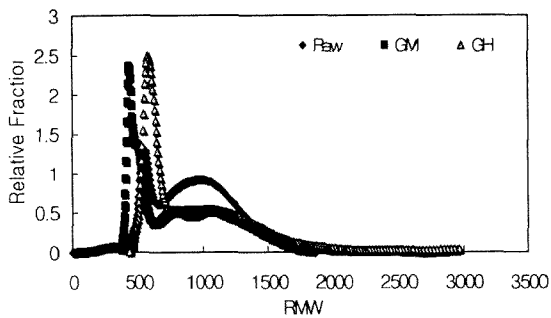


Fig. 4. MW distribution of treatment water at GH and GM

## 요 약

막분리 공정을 모형시설에 도입 후 약 2년간에 걸쳐 막의 구성을 달리하여 운영하였으며, 원수 및 처리수의 수질특성을 조사하였다. 원수의 수질특성은 친수성 물질이 53%, 소수성 물질 28% 나머지는 반친수성물질로 구성된 것으로 조사되었으며, UF 및 NF 처리수의 분자량 분포를 조사한 결과 원수와 달리 큰 분자량을 갖는 부분이 제거된 것을 볼 수 있었다. UF와 NF의 막분리 공정운전 결과를 종합해 본 결과, UF막인 GH(2500Da)와 GM(8000Da) 경우 GM이 생산량 및 운전특성에서 GH에 비해 우수한 결과를 보여 주었으며, NF막인 HL(150~300Da)과 GM의 비교 운전한 결과 NF막인 HL의 유기물 제거 효과가 우수한 것을 보여 주고 있다. 그러나 UF막인 GM의 경우 MWCO가 8000Da로 NF막인 HL에 비해 크에도 불구하고 유기물 제거 면에서 상당히 우수한 유기물 제거 효과를 보여 주었으며, 소독부산물의 생성능 평가에서도 50%이상의 양호한 제거 효과를 보여 주었다.

## 참고문헌

1. 윤성훈, 김재신, 이정학, "분리 공정에 의한 정수처리"(1995), *대한환경공학회지* 17(4), 307~321.
2. 조재원, 정연규, 김승현, "막여과 공법을 이용한 자연유기물 제거 및 플럭스 감소"(1999), *대한환경공학회지*, 21(6), 1119~1127.
3. Nakatsuka, S., Ase, T, (1995), *Proceedings of the AWWA Membrane Technology conference*, U.S. Nevada. 621~639.
4. Kunikane, S., Magara, Y. and Itoh, M., (1995), *膜(Membrane)*. 20(1), 39~46.
5. Laine, J. M., James, P. H., Mark M. C. and Mallevalle, (1989), *J. Am. Water Works Assoc.* 81(2), 61~67.
6. Willam, W. J., McClellan, S. A., "Membrane softening: A treatment process comes of age"(1989), *J. AWWA*. 81(11), 47~51.
7. Taylor, J. S., Mulford, A., Duranceau, S. J. and Barrentt, W. M., "Cost and performance of a membrane pilot plant"(1989), *J. AWWA*. 81(11), 52~60.