

UF/MF 중공사막을 이용한 정수처리에서 원수에 따른 분리막의 오염 현상

최찬섭, 노수홍, 김정학  
연세대학교 환경공학과  
SK 케미칼\*

Fouling characteristics of UF/MF hollow fiber membranes according to water sources in drinking water treatment

Chan-Sup Choi, Soo-Hong Noh, Jeong-Hak Kim  
Department of Environmental Engineering, Yonsei University  
\*SK Chemicals

1. 서론

막분리 공정은 원수의 수질이나 공정상의 운전 조건에 구애받지 않고 막의 분리공경보다 큰 물질과 미생물을 확실하게 제거할 수 있다. 따라서, 탁질이나 병원성 미생물에 대해서도 안전한 수질을 지속적으로 얻을 수 있는 분리막 공정을 정수 처리 공정에 적용하는 것은 현실적인 대응 방법이라 할 수 있다.

분리막의 투과유속을 감소시키는 막오염 현상은 크게 막세공 내외 막표면의 오염으로 구분할 수 있다[1]. 이러한 막오염 현상은 Fig. 1의 그림과 같이 완전 폐쇄 모델(complete blocking filtration model), 불완전 폐쇄 모델(intermediate blocking filtration model), 표준 폐쇄 모델(standard blocking filtration model), 케이크 여과 모델(cake filtration model)로서 설명할 수 있다[2]. 각각의 모델들은 막 등이 투과유속(Q)과 시간(t)의 관계로 표현하여 실제의 투과 유속 변화와 모델 값과 비교, 분석하였다[4,5].

본 연구에서는 분리막을 이용한 정수 처리에 있어서 원수와 분리막에 따른 막오염 현상을 실험적으로 규명하고 오염 모델식을 이용하여 모델에 따른 오염 메커니즘을 분석하고자 한다. 또한 막오염을 저감시키기 위하여 back-washing과 back-washing 중에 분리막 모듈내부로 공기를 주입하여 중공사막에 진동(vibration)을 일으킴으로써 막오염을 제거하는 VSA(Vibration & Stripping by Air) 방법을 사용하여 이들의 막오염 저감 효과를 살펴보고자 한다. 또한, 주기적인 back-washing과 VSA에 의해서도 회복되지 않는 비가역적인 막오염을 효과적으로 제거할 수 있는 화학적 세척방법 등을 제시하고자 한다.

2. 실험

실험에 사용된 분리막 모듈은 polysulfone 재질의 중공사막 모듈로서 SK 케미칼에서 제공하였으며 각 모듈의 재원을 Table 1. 에 나타내었다.

분리막을 이용한 정수처리에 사용된 원수는 지하수, 하천수, 호소수를 취수하여 사용하였다. 분리막을 이용한 정수처리에 사용된 실험장치는 Fig. 2.과 같이 설치하였으며

전여과(dead-end filtration) 방식으로 운전하였다. 가압 펌프는 유량이 1 L/min의 용량을 가지는 펌프로써 막투과 압력은 by-pass 양을 조절하는 valve를 이용하여 조절하였다. 또한 Timer를 사용하여 펌프의 운전시간과 솔레노이드 밸브를 제어하여 Back-washing 시간 및 VSA시간을 조절하였다.

원수에 대한 정수처리 실험 전에 증류수를 사용하여 분리막에 따라서 0.3 - 1.5 kg/cm<sup>2</sup>압력범위에서 순수 투과량을 조사하여 분리막의 순수 투과 계수를 구하였다. 원수 별로 모듈의 종류를 달리하여 투과실험을 하였다. 각각의 원수에 대하여 약 120분 동안의 투과 유속 변화를 관찰하였다. 이때의 운전압력은 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>로 유지하였으며 전여과방식으로 운전하였다. 이때 얻은 투과 유속 변화를 이용하여 원수와 분리막에 따른 막 오염 현상을 고찰할 수 있었다.

가역적인 막의 오염을 제거하기 위하여 Back-washing을 하였다. Back-washing의 효과적인 시간을 정하기 위하여 투과량이 초기 투과량의 50%정도로 막의 오염이 진행된 상태에서 back-washing의 효과를 알아보았다. 이때 막을 역류하는 유량에 따라서 투과 유속의 회복을 관찰하였다. 또한, VSA(Vibration & Stripping by Air)의 효과를 관찰하기 위하여 back-washing과 같은 시간동안 VSA 방식으로 운전을 하였다.

이렇게 설정한 back-washing 과 VSA 의 운전 조건으로 초기 투과 유속의 85, 80, 70, 60, 50%로 투과 유속이 감소하였을 때 back-washing 과 VSA를 수행하여 투과 유속의 회복과 변화를 비교, 관찰하였다.

또한 효과적인 막의 화학적 세척 방법을 도출하기 위하여 일반적으로 사용되는 산, 염기 조건에서의 세척을 비롯하여 산과 EDTA, NaOH와 합성세제 등의 조합으로 화학적 세척효과를 비교하였다.

### 3. 결과 및 고찰

지하수의 투과 특성을 Fig. 3에 나타내었다. 초기 투과 유속이 약 460 LMH로서 가장 큰 SKMF10은 2시간 경과 후 초기 투과 유속에 비해 약 5%의 투과 유속 감소가 진행되었고, 초기 투과 유속이 약 210 LMH인 SKMF01과 23 LMH인 SKUF30에서는 약 20% 정도 감소하였다. 그러나, 다른 원수들에 비하여 모든 모듈에서 투과 유속의 감소가 적게 유지되고 있는 것을 알 수 있다. 이는 원수의 탁도가 0.76 NTU로서 낮아 막오염을 일으킬 만한 입자들이 적게 존재하고 있기 때문이다. 또한, OTSUKA ELECTRONICS사의 ELS-8000전기영동광산광도계를 이용한 지하수의 입도분석에서도 Laser Intensity가 낮아서 입도 측정이 불가능하였다. 이는 지하수의 입자 농도가 상당히 낮음을 의미한다.

Fig. 4.는 하천수에 대한 분리막 투과 특성을 보여주고 있다. 지하수에 비하여 투과 유속의 감소가 급격하여 막의 오염이 급속히 진행되고 있다는 것을 알 수 있다. 초기 투과 유속이 약 20 LMH인 SKUF30은 투과 유속은 적으나 막오염은 가장 낮은 것으로 평가된다. 그러나 초기의 투과 유속이 약 411 LMH로서 가장 높은 SKMF10의 경우는 막의 오염이 가장 급속히 일어나는 것을 알 수 있다. 또한 약 2시간 정도 투과

실험이 진행되면 SKMF10의 투과 유속과 SKMF01의 투과 유속이 약 100 LMH로서 비슷하게 유지되었다.

호소수의 투과 유속 변화를 보여주는 Fig. 5.에서는 하천수와 마찬가지로 SKUF30의 막오염이 가장 낮으며 약 2시간 정도 투과 실험이 진행되었을 때 SKUF30의 투과유속은 약 19 LMH를 나타내었고, 초기 투과 유속이 각각 약 299 LMH인 SKMF10과 195 LMH인 SKMF01이 모두 약 70 LMH로서 하천수의 경우보다 훨씬 막오염이 진행되었음을 알 수 있다.

이러한 투과 특성을 막오염 모델식에 대입하여 실제 투과 유속과 비교하여 원수와 분리막에 따른 막오염 현상을 고찰하였다. 그 결과 막오염 메카니즘은 원수별, 모듈별로 명확하지는 않았으며 네가지 모델이 복합적으로 작용하는 것으로 나타났다. 그러나, 호소수에 대해서는 완전 폐쇄 여과 모델은 관여하지 않은 것으로 판단된다. 그 이유는 5 - 11 $\mu$ m의 입자들이 전체의 98%를 차지하므로써 훨씬 작은 크기를 가지는 막세공 안으로 들어가 폐쇄시키는 입자들이 거의 없기 때문이라고 생각된다.

실험에 사용된 원수 중에서 막오염을 가장 잘 일으키는 호소수를 각 모듈로 여과하여 back-washing과 VSA도 같은 조건으로 운전하여 그 효과를 살펴보았다. 주기적인 Back-washing과 VSA(Vibration & Stripping by Air)를 하였을 때의 투과 유속을 비교한 결과, back-washing만 한 것에 비하여 VSA의 효과가 크지 않은 것으로 판단되었다. 이는 실험에 사용된 원수의 탁도가 상대적으로 높지 않아서 VSA의 효과가 적은 것으로 판단된다.

HCl, NaOH를 이용한 pH 2, pH 11에서의 산·염기 세척과 pH 11에서 35-40 $^{\circ}$ C를 유지하며 합성세제를 이용한 세척과 citric acid를 이용한 산성의 조건에서 EDTA를 이용한 세척 효과를 살펴보았다. 그 결과 합성세제와 EDTA를 이용한 세척을 통하여 모든 모듈에서 초기 투과 유속을 회복하였다.

#### 4. 참고문헌

- [1] 정건용 외, 에멀전형 오일 수용액에 관한 정밀여과 특성, vol. 8, No.4, Dec. 1998, 203-209
- [2] W. R. Bowen, J. I. Calvo and A. Hernandez, J. Membrane Sci., 101, 153 (1995)
- [3] J. Mueller, Y. Cen and R. H. Davis, J. Membrane Sci., 129, 221 (1997)
- [4] 박지훈, 역층격형 회전판 막 모듈에서 투과면의 압력손실과 분리특성, 연세대학교 석사학위논문
- [5] 박상현, 역층격형 중공사모듈의 투과특성, 연세대학교 석사학위논문

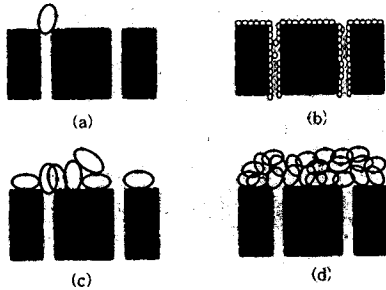


Fig 1. Schematic diagram of the fouling mechanisms assumed : (a) complete blocking, (b) standard blocking, (c) intermediate blocking, (d) cake filtration [2]

Table 1. Specification of membrane modules

Model	SKMF10	SKMF01	SKUF30
Memb. Area (m <sup>2</sup> )	0.0754	0.1244	0.0814
Memb. Size (mm $\phi$ ID/OD)	0.7 / 1.0	0.4 / 0.55	0.8 / 1.35
Pore Size	0.1 $\mu$ m	0.01 $\mu$ m	30,000 (MWCO)
Fibers (pieces)	100	300	80
Fiber Length(mm)	240	240	240

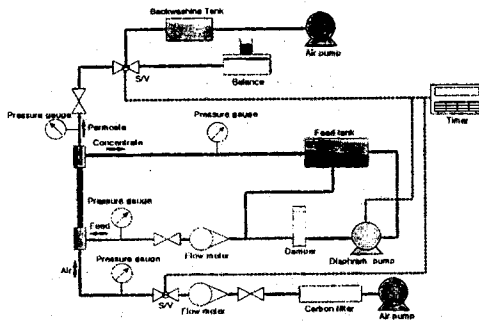


Fig. 2. A schematic flow diagram of experimental units

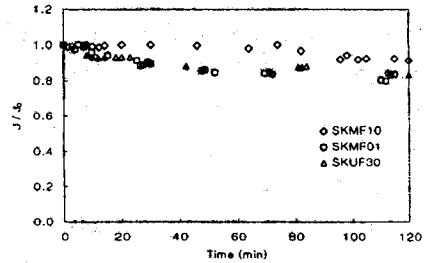


Fig. 3. Variation of flux ratio to initial flux ( $J/J_0$ ) for underground water

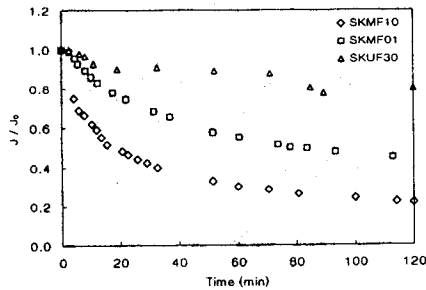


Fig. 4. Variation of flux ratio to initial flux ( $J/J_0$ ) for stream water

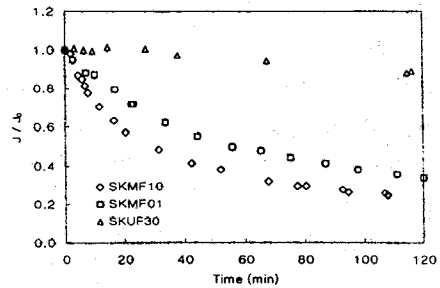


Fig. 5. Variation of flux ratio to initial flux ( $J/J_0$ ) for lake water