

일반강연 II-3

## Dead-end 한외여과에서 자연대류 불안정성의 막오염 제어 효과

이 위 호, 염 경 호  
충북대학교 공과대학 화학공학부

### Defouling Effect of Natural Convection Instability in Dead-end Ultrafiltration

Won Ho Lee, Kyung Ho Youm  
School of Chemical Engineering, Chungbuk National University,  
Cheongju 361-763, Korea

#### 1. 서 론

막을 이용한 분리법은 장치 및 조작이 간단하고, 분리정제의 범위가 넓은 특징이 있으며, 최근 들어 다양한 다공성 막재료 및 막모듈이 개발되면서 해수의 담수화, 유기물질의 분리 및 농축, 폐수처리, 초순수 제조 및 기체분리 등 여러 분야에 응용되고 있다. 막분리법중 압력차를 추진력으로 하는 막분리법은 분리시 열을 사용하지 않으므로 물질의 변성을 최소화할 수 있어, 기존의 단위조작적 분리법들보다 생물제품의 분리정제에 응용성이 높다. 그러나 압력차를 추진력으로 하는 막분리법의 가장 큰 문제점은 분리물질이 막표면에 가역적으로 누적되는 농도분극과 이 누적된 분리물질이 막과의 상호작용에 의해 막표면 또는 막세공 내에 비가역적으로 침적되는 막오염 현상을 유발시킨다는 점이다.

막오염의 해석과 이를 제어하기 위한 방법은 수십 년 동안 연구되어왔다. 현재까지 제시된 막오염 제어법은 크게 분리대상 용액의 전처리법, 막표면의 친수화 개질법, 막의 주기적인 세척법, 막모듈 유로 내의 흐름특성 개선법으로 대별할 수 있다. 일반적으로 막여과 연구는 일정 막투과 압력(transmembrane pressure, TMP) 상태에서 다양한 조작조건에 대해 시간에 따른 투과선속의 변화를 측정하는 것이었다. 그러나 일정 TMP 여과실험은 막과 분리물질의 경계층에서 물질의 상태변화(농도, 물질의 변형과 유동, 용해도 등)로 유발되는 투과선속의 변화로 인해 결과 해석에 문제가 야기될 수 있음이 Aimar와 Howell에 의해 지적된바 있다[1].

본 연구에서는 막여과 조작의 최대 문제점인 막오염 형성을 제어 또는 억제하는 방법으로서 단순히 막모듈의 중력에 대한 위치를 변경하여 모듈 내에 인위적

으로 자연대류 불안정 흐름을 유발시킴으로서 막오염 형성을 제어하는 불안정 흐름 유발법의 효과를 압력 및 투과선속이 일정하게 유지되는 조건에서 조작되는 회분식 한외여과 실험을 통해 규명하였다.

## 2. 실험

실험에 사용된 한외여과 막은 polysulfone 재질의 상용 평판막으로서 분획분자량이 5,000 달톤인 HFK-131(Koch Membrane Inc., USA) 막을 사용하였으며, 분리대상 물질로는 BSA(Sigma Co., fraction V, 96~99 % albumin, Mw = 69,000, USA) 단백질을 사용하였다. BSA 용액은 순수를 사용하여 제조하였으며, 미생물의 번식을 방지하기 위해 sodium azide를 10 mg/l의 농도로 함유시켰다.

한외여과 실험에 사용된 회분형(dead-end type) 막모듈은 내용적이 250 ml가 되도록 설계하여 아크릴로 제작하였으며, 막모듈에서 실제로 여과가 행해지는 부분의 유효 막면적은 14.5 cm<sup>2</sup>이다. 일정 압력 및 일정 투과선속 한외여과 실험에 사용된 장치의 구성도를 Fig. 1과 Fig. 2에 각각 나타내었다. 일정 압력 한외여과 실험에서는 압축질소 압력에 의해 용액이 한외여과 모듈로 도입되도록 하여 도입액의 농도, 조작 압력, 도입액의 pH, 용매의 밀도를 변화시켜 막모듈의 중력에 대한 다양한 위치 변화(자연대류 불안정 흐름 존재 유무 및 강도)에 따른 투과선속을 조작시간에 따라 측정하고, 이의 막오염 제어 효과를 투과선속 향상성으로 나타내었다. 일정 투과선속 한외여과 실험에서는 HPLC용 펌프(Model 510, Millipore Co., USA)를 사용하여 용액을 막모듈 내로 항상 일정한 유량으로 도입되도록 하고 도입액의 농도, 투과선속, pH, 용매의 밀도를 변화시켜 막모듈의 중력에 대한 다양한 위치 변화에 따른 압력변화를 pressure transducer를 사용하여 조작시간에 따라 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 동일한 조건의 도입액 농도, pH에서 막모듈의 중력에 대한 위치변화에 따른 투과선속을 누적 투과부피에 따라 나타낸 일정 압력 한외여과 실험결과이다. 이 결과 막모듈이 중력의 반대 방향으로 근접할수록 투과선속이 증가함을 알 수 있다. 이는 막모듈의 중력에 대한 위치가 변하면서 밀도역전에 의해 유발되는 자연대류 불안정 흐름이 막표면의 cake층 형성을 억제하기 때문이다. 자연대류 불안정 흐름의 유발에 의한 막오염 제어 효과는 도입액의 농도, 조작 압력, 도입액의 pH 변화에서도 위와 유사한 결과를 나타내었으며, 그 효과로 3~4 배의 투과선속 향상이 이루어졌다.

Fig. 4는 동일한 조건의 도입액 농도, pH에서 막모듈의 중력에 대한 위치변화에 따른 압력변화를 나타낸 일정 투과선속(14.75 l/m<sup>2</sup>·hr) 한외여과 실험결과이

다. 시간에 따라 측정된 막모듈 내의 압력 변화는 막오염으로 인한 저항의 증가와 비례적이므로 따라서 막모듈이 자연대류 불안정 흐름이 존재하지 않는 위치에 있을 경우의 압력 변화는 그렇지 않은 경우에 비해 현저히 낮게 나타났다. 즉 자연대류 불안정 흐름의 유발로 인한 막오염 제어 효과를 일정 투과선속 실험에서도 규명할 수 있으며, 일정 압력 실험에 비해 더 좋은 막오염 제어 효과를 얻을 수 있었다.

#### 4. 참고문헌

- 1) P. Aimar and J. A. Howell, Effects of concentration boundary layer development on the flux limitations in ultrafiltration, *Chem. Eng. Res. Des.*, **67**(1989)
- 2) E. Iritani, Takeshe Watanabe, Toshiro Murase, Effects of pH and solvent density on dead-end upward ultrafiltration, *J. Memb. Sci.*, **69**(1991)
- 3) Youm, K. H., A. G. Fane and D. E. Wiley, Effects of natural convection instability on membrane performance in dead-end and crossflow ultrafiltration, *J. Memb. Sci.*, **116**(1996)
- 4) R. W. Field, D. Wu, J. A. Howell, B. B. Gupta, Critical flux concept for microfiltration fouling, *J. Memb. Sci.*, **100**(1995)
- 5) R. van Reis, E. M. Goodrich, C. L. Yson, L. N. Frautschy, R. Whiteley, A. L. Zydney, Constant  $C_{wall}$  ultrafiltration process control, *J. Memb. Sci.*, **130**(1997)
- 6) V. Chen, Performance of partially permeable microfiltration membranes under low fouling conditions, *J. Memb. Sci.*, **147**(1998)

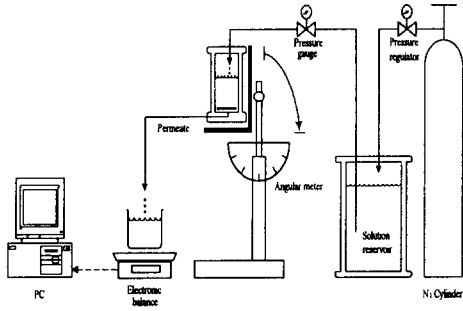


Fig. 1. System setup for constant pressure ultrafiltration.

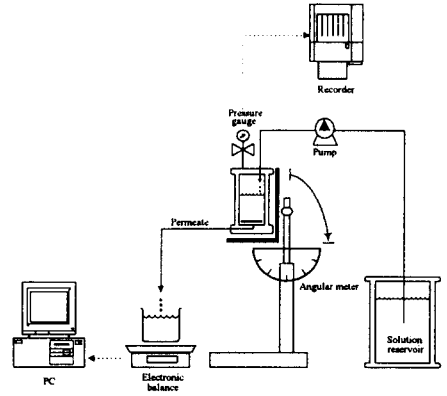


Fig. 2. System setup for constant flux ultrafiltration.

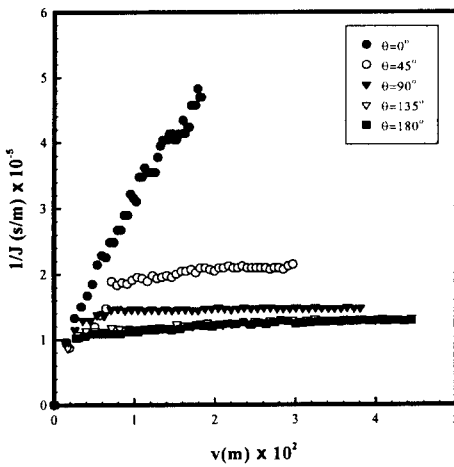


Fig. 3. Permeate flux behaviour for UF at different angle.  
( $C_o=1$  g/l,  $\Delta P=100$  kPa, pH=4.8)

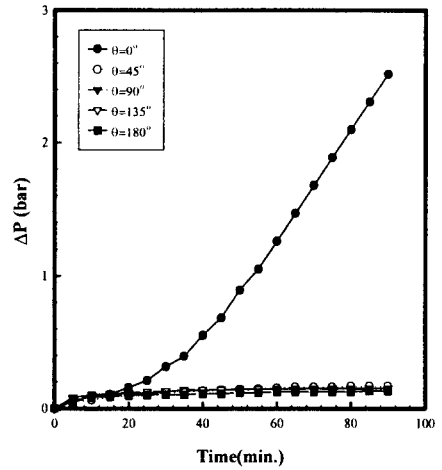


Fig. 4. Pressure drop vs. time behaviour for UF at different angle.  
( $F=14.75$  l/m<sup>2</sup>hr,  $C_o=1$  g/l, pH=4.8)