

한외여과에서 자연대류 불안정성의 막오염 제어 효과

김 태 곤, 염 경 호

충북대학교 공과대학 화학공학부

Effects of Natural Convection Instability on Membrane Fouling Control in Ultrafiltration

Tae Gon Kim, Kyung Ho Youm

School of Chemical Engineering, Chungbuk National University,
Cheongju 361-763, Chungbuk, KOREA

1. 서 론

한외여과(ultrafiltration; UF)는 장치 및 조작이 간단하고, 열의 사용없이 물질을 분리·정제를 할 수 있기 때문에 생물제품 등을 비롯한 거대분자들의 분리에 널리 활용되고 있다. 그러나 한외여과 공정의 운전시 가장 큰 문제점은 막에 의해 분리된 물질들이 필연적으로 막표면에 가역적으로 누적되는 농도분극(concentration polarization)과 이 누적된 물질이 막과의 상호작용에 의해 막표면에 비가역적으로 침적되는 막오염(membrane fouling)현상을 유발시킨다는 것이다. 일반적으로 한외여과는 막세공과 분리 대상물의 크기차에 의한 sieve effect에 의해 분리가 이루어지는데 막오염이 발생되면 세공의 일부 또는 전체가 막히게 되어 결국에는 투과선속(permeate flux)이 감소하고, 막의 세공분포가 달라져 막 본래의 분리성능에 변화가 초래된다.

막오염을 제어하기 위한 방법으로는 분리대상 용액의 처리법, 막표면 특성의 친수화 개질법, 막세척법, 막모듈 유로내의 흐름특성 개선법 등이 활발히 연구되고 있으며, 이들 방법중 막모듈 유로내의 흐름을 난류상태로 유지하기 위해 도입액의 유속을 증가시키거나 유로내에 난류 촉진물을 삽입하여 물질전달을 촉진시키는 흐름특성 개선법이 가장 널리 연구되고 있다[1].

그러나 모듈내 유속을 증가시켜 막오염을 제어하는 방법은 유속증가에 따른 동력 소요량(펌핑 에너지)의 증가를 고려해야 하며, 단백질과 같은 생물제품은 유속증가에 따른 변성이 초래될 수 있으므로 최적 도입유속 설정이 필요하다. 또한 난류 촉진물의 삽입은 막표면을 손상시키거나 압력강하를 유발하는 문제점이 있다. 막모듈 유로내의 흐름특성을 개선하여 막오염을 제어하는 기존의 방법이 갖는 문제점을 개선할 수 있는 새로운 시도가 자연대류 불안정 흐름을 이용하는 방법이다.

자연대류 흐름은 농도분극층 전역에서 분리용액의 밀도차에 의해 유발시킬

수 있는데, 자연대류를 이용한 불안정 흐름은 단지 막 모듈의 cell orientation을 변화시켜 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 밀도가 높은 막표면 근방의 용액을 밀도가 낮은 bulk 용액의 상부에 위치시켜 이른바 밀도역전(density inversion)을 유발시킴으로서 얻을 수 있다. 밀도역전에 의해 형성된 자연대류 불안정 흐름은 막표면에서 bulk 용액쪽으로 물질전달을 촉진시킬 수 있으므로 막오염 제어가 가능하다.

몇몇 연구자들은 자연대류 불안정 흐름이 농도분극과 막오염 제어에 상당한 정도로 효과가 있음을 보고하였다. Slezak 등[2]은 막이 수평으로 설치된 확산 cell에서 밀도역전이 있는 경우 삼투 확산 투과선속이 향상됨을 연구한바 있다. 또한 Youm 등[3]은 dextran 용액의 dead-end 및 cross-flow 한외여과에서 자연대류 불안정 흐름을 유발시키면 농도분극 제어에 상당한 효과가 있음을 실험적·이론적으로 제시하였다. 본 연구에서는 BSA 용액을 대상으로 dead-end 및 cross-flow 한외여과 실험을 수행하여 자연대류 불안정 흐름이 막오염 제어에 미치는 효과를 조작조건(도입액 농도 및 유량과 조작압력)의 변화에 따라 투과선속 향상성으로서 검토하였다.

2. 실험

한외여과 막으로는 분획분자량(MWCO) 20,000 달톤인 polysulfone 재질의 HN02 막 (미국 Osmonics Co.)을 사용하였고, 분리대상 물질로는 상대적으로 막오염을 크게 유발시키는 단백질(BSA)을 사용하였다. 한외여과 실험은 Fig. 2에 나타낸 평판형 cell을 dead-end와 cross-flow 방식으로 운전하여, 각 실험조건(농도, 압력, 유량)을 달리하며 막모듈의 중력에 대한 위치 변화(0° , 180°)에 따른 투과선속 변화를 측정하여 자연대류 불안정 흐름이 막오염 제어에 미치는 효과를 투과선속 향상성으로서 검토하였다.

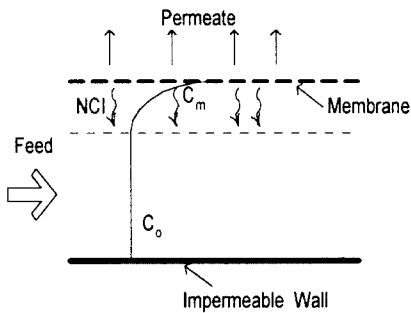


Fig.1. Occurance of natural convection instability in membrane module.

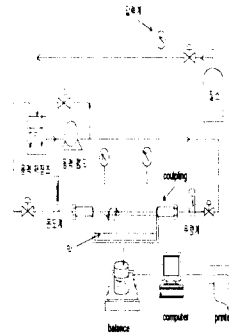


Fig.2. Experimental setup of UF system.

3. 결과 및 고찰

BSA 용액의 dead-end와 cross-flow UF시 막모듈의 orientation을 연속적으로 $0^\circ \rightarrow 180^\circ \rightarrow 0^\circ$ 로 변화시켜 자연대류 불안정성이 투과선속 향상성에 미치는 효과를 실험하여 이를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. Dead-end UF에서 자연대류 흐름이 유발될 경우 투과선속 향상성은 도입용액의 농도가 클수록 증가하였으며, 불안정 흐름이 없는 경우에 비교하여 최고 4배 정도의 향상성을 나타내었다. 한편 cross-flow UF에서는 자연대류 불안정성의 효과가 도입용액의 유속과 농도에 따라 크게 의존함을 나타내었다.

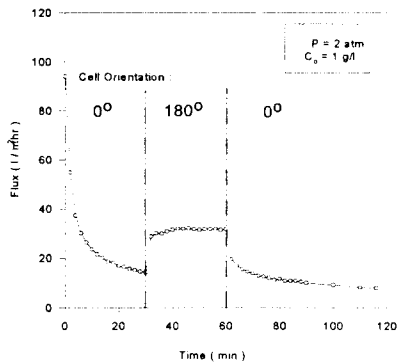


Fig.3. Flux vs. time behaviour in dead-end UF of BSA solution during successive change of cell orientations.

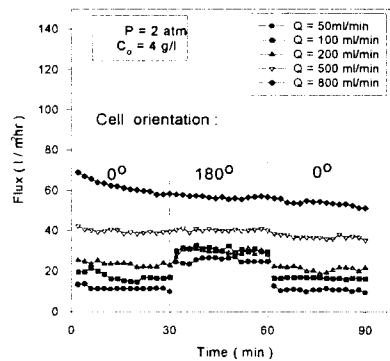


Fig.4. Flux vs. Time behaviour in cross-flow UF of BSA solution during successive change of cell orientations.

4. 참고문헌

- 1) H.B. Winzeler and G. Belfort, "Enhanced Performance for Pressure-driven Membrane Processes: the Argument for Fluid Instabilities", *J. Membrane Sci.*, **80**, 35(1993)
- 2) A. Slezak, K. Dworecki and J.E. Anderson, "Gravitational Effects on Transmembrane Flux: the Rayleigh-Taylor Convective Instability", *J. Membrane Sci.*, **23**, 71(1985)
- 3) K.H. Youm, A.G. Fane and D.E. Wiley, "Effects of Natural Convection Instability on Membrane Performance in Dead-end and Cross-flow Ultrafiltration", *J. Membrane Sci.*, **116**, 229(1996)