

한외여과에서 초음파가 막성능 향상에 미치는 효과

최용한, 육영재, 엄경호
충북대학교 공과대학 화학공학부

Effect of Ultrasound on Enhancement of Membrane Performance in Ultrafiltration

Young-Han-Choi, Yeong Jae Yuk, Kyung Ho Youm
School of Chemical Engineering, Chungbuk National University,
Cheongju 361-763, Chungbuk, Korea

1. 서론

막분리 공정은 막의 미세공의 크기 및 형태와 막과 분리대상 물질간의 물리·화학적 특성을 이용하여 압력, 농도, 전위차 등을 추진력으로 하여 물질을 분리하는 방법이다. 막분리 공정은 기존의 분리공정들에 비해 에너지 소비가 적고, 열에 의한 제품의 변성이 없으며, 조작성이 간편하고, 다량의 용매가 필요하지 않은 장점 때문에 많은 분야에서 응용이 확대되고 있다[1].

한외여과는 10 atm이하의 압력 차에서 Å order의 세공크기를 갖는 다공성 막을 이용하여 물질을 분리하는 조작으로 1936년 Ferry[2]에 의해 한외여과의 원리가 처음으로 제안되었다. 한외여과는 압력차를 추진력으로 하기 때문에 분리시 열을 사용하지 않으므로 물질의 분리정제시 제품의 변성을 최소화할 수 있어, 주로 식·음료품 공업, 생물공학 및 의용 공학분야에서 널리 활용되고 있다. 그러나 한외여과를 비롯하여 압력차를 추진력으로 하는 막분리법의 가장 큰 문제점은 특정 분자량 이상의 용질이 배제되면 필연적으로 이 배제된 용질이 막표면에 누적되어 발생하는 농도분극(concentration polarization)과 이 누적된 배제물질이 막과의 상호작용에 의해 막표면 또는 막세공 내에 비가역적으로 침적되는 막오염(membrane fouling) 현상을 유발시킨다는 점이다.

따라서, 막오염을 효과적으로 제어하기 위한 방법들이 수십 년 동

안 연구되어 왔다. 지금까지 제시된 막오염 제어방법은 도입액의 전처리법, 막표면의 개질법, 막의 주기적인 세척법, 막모듈 유로내의 흐름특성 개선법 등 크게 4가지 범주로 대별할 수 있다. 이 중에서 일반적으로 막모듈 유로내의 흐름특성 개선법이 막오염 제어를 위한 방법으로서 가장 널리 연구되고 있다. 이 방법은 막모듈의 유로내로 흐르는 용액의 흐름을 난류상태로 유지함으로써 물질전달 계수를 높여 막오염의 형성을 억제시키는 것이다.

본 연구에서는 농도분극과 막오염 형성을 제어하는 방법인 막모듈 유로내의 흐름특성 개선법 중에서 막모듈에 초음파를 조사시켜 난류흐름을 유발시킴으로서 이 것이 막성능 향상에 미치는 효과를 회분식·교차흐름식 한외여과 실험을 통하여 규명하고자 하였다.

2. 실험

실험에 사용된 한외여과 막은 polysulfone 재질의 상용 평판막으로서 분획분자량이 30,000 달톤인 한외여과막(삼양사, 비대칭성)을 사용하였으며, 분리대상 모델물질로는 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 회분식(dead-end type), 교차흐름식(cross-flow type) 막모듈은 실제 막 유효면적이 30cm²인 Minitan-S(미국, Milliore Co.)를 사용하였으며, 초음파 발생기로는 BRANSON 2210(미국, BRANSON ULTRASONICS Co.)을 사용하였다. 초음파를 이용한 한외여과 실험에 사용된 회분식과 교차흐름식 장치의 구성도를 Fig. 1과 Fig. 2에 각각 나타내었다. 회분식 한외여과 실험에서는 압축질소 압력에 의해 용액이 막모듈의 하단부로 도입되어 상단부로 배출되도록 하여 도입액의 농도, 조작 압력, 용액의 밀도 등을 변화시켜 막모듈에서 초음파의 조사에 따른 투과선속을 조작시간에 따라 측정하고, 이의 막오염 제어 효과를 투과선속 향상성으로 나타내었다. 교차흐름식 한외여과 실험에서는 압축질소 압력하에서 펌프를 사용하여 용액이 막모듈과 Reservoir 사이를 흐르도록 하여 도입액의 농도, 조작 압력, 용액의 밀도, 유량 등을 변화시켜 막모듈

에서 초음파의 조사에 따른 투과선속을 조작시간에 따라 측정하고, 이의 막오염 제어 효과를 투과선속 향상성으로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 동일한 조건의 용매 밀도, 조작 압력, pH에서 도입액의 농도를 다양하게 변화시키며 막모듈에 초음파를 조사하여 그에 따른 각각의 투과선속을 초음파를 조사하지 않은 경우와 비교한 투과선속의 향상성을 나타낸 회분식 한외여과 실험결과이다. 이 결과 투과선속 향상성이 초기에 급격한 증가를 보이거나 시간의 경과에 따라 일정하게 유지되었으며, 도입액의 농도가 증가함에 따라 상대적으로 높은 투과선속의 향상성을 보였다. 이는 도입액 농도의 증가에 따라 초음파 조사가 없을 경우에 상대적으로 막 표면에서의 농도분극과 막오염현상이 높았으나 초음파 조사시 이런 현상들의 억제효과가 크게 나타나기 때문이다.

Fig. 4는 동일한 조건의 도입액 농도, 용매 밀도, 조작압력, pH에서 교차흐름의 유량을 다양하게 변화시키면 막모듈에 초음파를 조사하여 그에 따른 각각의 투과선속을 초음파를 조사하지 않은 경우와 비교한 투과선속의 향상성을 나타낸 교차흐름식 한외여과 실험결과이다. 시간에 따라 투과선속의 향상성이 서서히 증가하였으며, 교차흐름의 유량의 증가에 따라 투과선속의 향상성이 감소하였다. 이는 교차흐름 유량의 증가에 의한 난류효과가 유발되기 때문에, 막 표면에서의 농도분극이나 막오염 현상이 낮아지므로 초음파의 조사에 따른 효과가 상대적으로 적게 나타나기 때문이다.

4. 참고문헌

- 1) T.N. Julian, G.M. Zentner, Ultrasonically Mediated Solute Permeation through Polymer Barrier, *J. Pharm, Pharmacol.* **38** (1986) 871.
- 2) H. Li, E. Ohdaria, M. Ide, Effect of Ultrasound Irradiation on Permeability of Dialysis Membrane, *Jpn. J. Appl. Phys.* **35(5B)** (1996) 3255.
- 3) J. Kost, R. Langer, Ultrasound Enhancement of Membrane by

Electrical and Ultrasonic force Fields, *Filtration and Separation* 27 (1990) 192.

- 4) T. Kobayashi, X. Chai, N. Fujii, Ultrasound Enhanced Cross-flow Membrane Filtration, *Separation and Purification Technology* 17 (1999) 31.

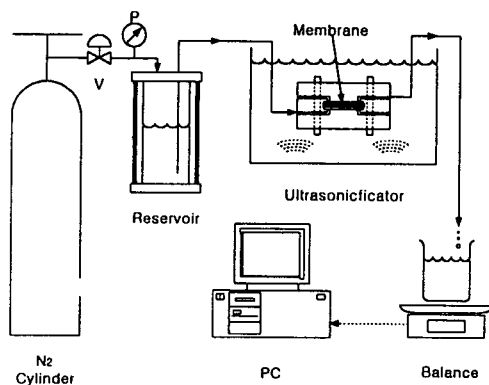


Fig. 1. System setup for dead-end type ultrafiltration.

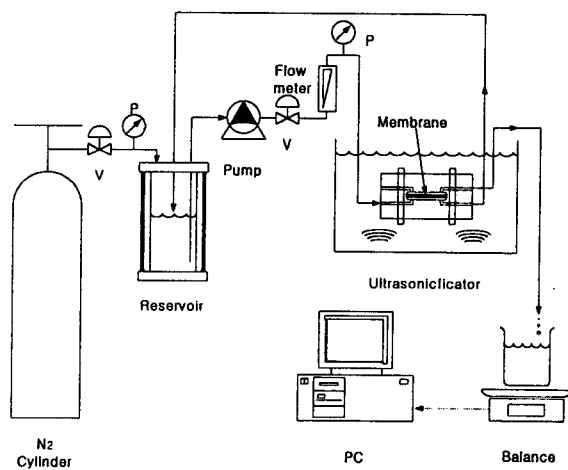


Fig. 2. System setup for cross-flow type ultrafiltration.

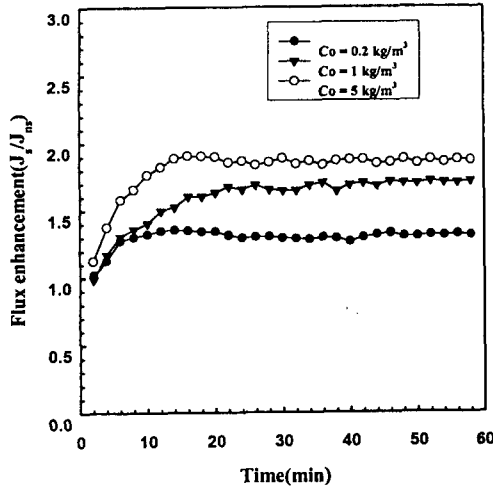


Fig. 3. Flux enhancement during successive sonicfication with differnt concentration in dead-end type ultrafiltration. ($\rho = 100\text{kg/m}^3$, $\Delta P = 100\text{kPa}$, $\text{pH} = 4.8$)

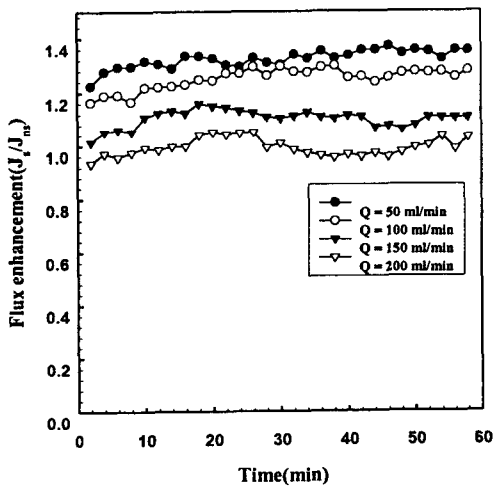


Fig. 4. Flux enhancement during successive sonicfication with different flow rate in cross-flow type ultrafiltration. ($C_0 = 1\text{g/l}$, $\rho = 100\text{kg/m}^3$, $\Delta P = 100\text{kPa}$, $\text{pH} = 4.8$)