

돌기형 평판 분리막 모듈의 투과성능

전성일, 정건용[†]
서울산업대학교 화학공학과

Permeation characteristics of the plate & frame membrane module equipped with protuberances

Sung Il Jeon, Kun Yong Chung[†]
Department of Chemical Engineering, Seoul National University of
Technology

1. 서 론

분리막 공정은 화학반응이나 추가적인 용매를 사용하지 않고 압력차로서 물을 막에 통과시킴으로써 현탁물질이나 콜로이드를 물리적으로 분리하는 공정이다. 그러나 분리막 공정은 이러한 여러 가지 장점에도 불구하고 공정상 불가피하게 막오염이라는 큰 문제를 수반한다. 이러한 막오염 및 농도분극화 현상은 투과유속의 저하와 막여과 공정의 경제성을 크게 저하시키므로 막오염을 최소화할 수 있는 여러 가지 방법이 연구되고 있다[1]. 이러한 연구 중 유체역학적으로 분리막 표면 근방에 난류를 인위적으로 형성시켜, 막 표면에 축적되는 오염물을 용액 속으로 재순환시키는 방법이 효과적으로 활용되고 있다[2-4].

본 연구에서는 평막 지지층위에 유체 흐름과 수직한 방향으로 플라스틱 돌기를 형성시켜 평막 표면에 가압된 유체가 흐름 경우 분리막 표면에 층류 범위에서도 자연스럽게 와류를 형성시켜 막 오염을 감소시키는 모듈의 성능을 알아보기 위해 돌기가 없는 평막과 비교 실험하였다. 투과 성능 실험에서는 원료용액의 농도, 유입량, 운전압력을 변화시키면서 주어진 시스템의 최적 운전 조건을 규명하고 분리 성능을 평가하는데 그 목적이 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험재료, 장치 및 분리막 모듈

막 오염 실험을 위하여 Aldrich사의 카울린 입자를 사용하였으며 입자분

석기(Malvern, LS230)로 입자 분포를 측정된 결과 평균입자크기는약 1.3 μm 이다.

투과실험에 사용한 분리막은 폭이 0.185 m, 길이가 0.975 m이고 유효 막면적이 0.2 m²인 복합 폴리프로필렌(polypropylene)막으로 (주)퓨어엔비텍에서 제조하였으며 평균 세공이 0.4 μm 인 정밀여과용 가압형 평막 모듈이다. 돌기가 형성된 막은 높이 0.5 mm, 폭이 3 mm 크기의 돌기가 가로 15개와 세로 40개로 이루어져 있다. 평막 위, 아랫면에는 용액이 누설되지 않도록 고무로 된 가스켓을 사용하였고 모듈밖에는 20개의 볼트로 밀봉하였다. 그리고 평막모듈의 윗부분은 15 mm두께의 아크릴판으로서 평막 상부를 육안으로 관찰할 수 있도록 설계 제작하였다.

2.2. 실험방법

실험 장치는 Fig. 3에서와 같이 10L의 원료용액이 들어있는 탱크(1)로부터 가압펌프를(3) 이용하여 평막 모듈(5) 내로 수용액을 가압하여 이송한다. 또한 바이패스 밸브(2-1) 및 압력조절 밸브(2-2) 를 이용하여 원하는 유량과 압력을 조절하였으며 분리막 모듈 출구에는 압력계를(6) 부착하여 운전압력을 측정하였다. 분리막을 통과한 투과액은 유량계(4)로 측정된 후 입자의 농도 유지를 위하여 원료탱크로(1) 재순환되었다. 또한 분리막 농축액은 원료 저장탱크로 재순환되었다. 또한 탱크내에 원료용액은 항온순환조의 물을 순환시켜 25±1 °C로 일정하게 유지하였다. 실험 용액은 0.1, 0.2 0.5 wt%의 카올린 수용액을 사용 하였고, 압력의 변화는 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 bar 로 변화시키면서 투과 실험하였다. 유량은 실험장치의 운전범위인 전 이영역 과 층류범위에서의 효과를 알아보기 위해 15 와 10 L/min로 변화하여 운전하였으며 레이놀즈 수는 각각 2620, 1750에 해당된다.

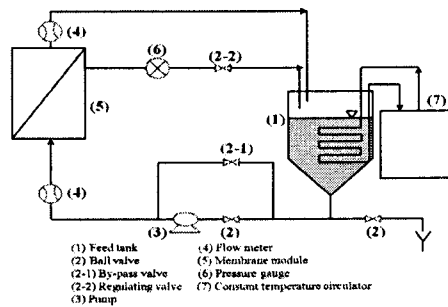


Fig. 1 가압형 평막장치 구성도

3. 실험결과 및 토론

3.1 압력변화에 의한 영향

돌기가 없는 평막에서 유입유량 15 L/min, 온도 25℃로 유지한 후 0.1 wt% 카올린 수용액을 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 bar에서 투과실험하고 막의 투과성능 변화를 알아보기 위해 순수와 비교하여 Fig. 4(a)에 나타내었다. 모든 투과실험은 60분동안 실시하여 막의 오염정도를 측정하였다. 카올린 투과 유속은 운전압력이 높을수록 높게 나타났으며 결국 분리막 표면에 케이크의 형성 속도가 증가하면서 투과유속의 급격한 감소가 측정되었다. Fig. 4(c)는 투과시간 60분에서의 카올린 투과유속을 같은 운전압력에서의 순수 투과유속과 비교하여 카올린 입자에 따른 막오염 현상을 상대적으로 나타낸 그림이다.

돌기가 있는 평막에서도 유입유량을 15 L/min, 온도 25℃로 유지한 후 0.1 wt% 카올린 수용액을 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 bar에서 투과실험하고 막의 성능저하 정도를 알아보기 위해 순수와 비교하여 Fig. 4(b)에 나타내었다. 또한 Fig. 4(d)에서와 같이 투과시간 60분에서의 카올린 투과유속을 나타내면 돌기없는 경우보다 상대적으로 우수함을 알 수 있다.

3.2 농도변화에 의한 영향

농도변화에 의한 투과특성을 측정하기 위하여 카올린 수용액의 농도를 0.1, 0.2, 0.5 wt%로 변화시키면서 실험을 실시하였다. 유입유량 15 L/min, 온도 25℃로 유지한 후 0.1 wt% 카올린 수용액을 1.2 bar에서 돌기가 없는 막의 투과실험을 실시하고 막의 성능저하 정도를 알아보기 위해 순수와 비교하여 Fig. 5(a)에 나타내었다.

돌기가 있는 막에서의 농도변화에 의한 투과특성을 측정하기 위하여 카올린 수용액의 농도를 동일한 조건의 농도로 조제하여 실험을 실시하였다. 유입유량 15 L/min, 온도 25℃로 유지한 후 0.1 wt% 카올린 수용액을 1.2 bar에서 투과실험하고 순수의 투과유속과 비교하여 Fig. 5(b)에 나타내었다.

3.3 유량변화에 의한 영향

유량변화에 의한 투과특성을 알아보기 위해 운전온도 25℃ 운전압력 1.2 bar로 유지하였으며 0.1wt% 카올린 수용액을 사용하여 공급유량을 10, 및 15 L/min로 변화하여 투과실험을 하였다. 돌기가 없는 막에서 전이영역인 15 L/min과 층류영역인 10 L/min에서의 투과실험 결과를 Fig. 6(a)에 나타내었다.

돌기가 있는 막 역시 같은조건인 전이영역 15 L/min과 층류영역 10 L/min에서 비교하여 Fig. 6(b)와 같이 나타내었다.

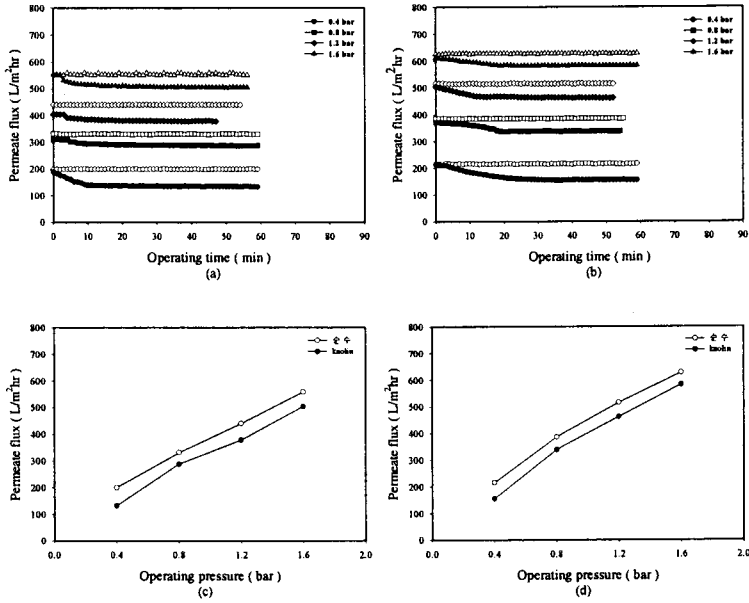


Fig. 4 압력변화에 따른 투과유량의 변화 (a),(c)돌기없는 막 (b),(d)돌기있는 막
0.1wt% 카올린수용액, Q=15 L/min, T=25°C

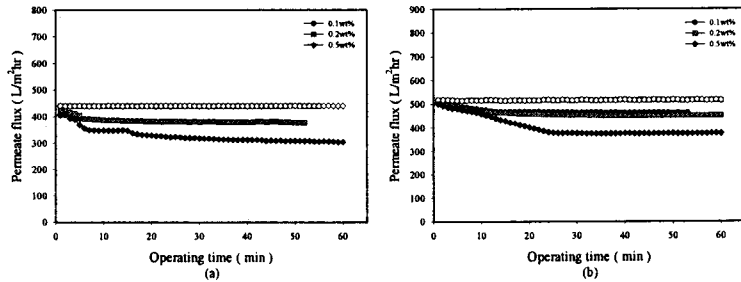


Fig. 5 농도변화에 따른 투과유량의 변화 (a)돌기없는 막 (b)돌기있는 막
Q=15 L/min, P=1.2 bar, T=25°C

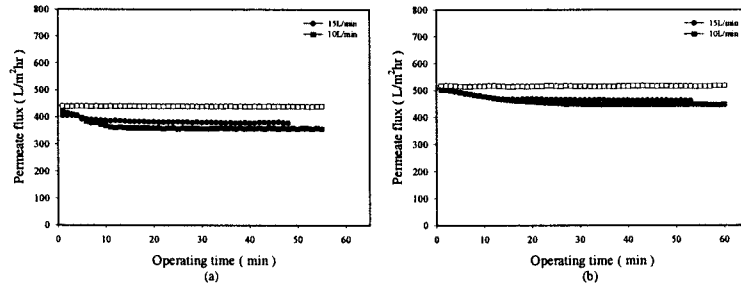


Fig. 6 유량변화에 따른 투과유량의 변화 (a)돌기없는 막 (b)돌기있는 막
0.1wt% 카올린수용액, P=1.2 bar, T=25°C

4. 결론

본 연구는 가압형 평막에 성능 알아보기위해 장치를 설계하였으며 평막 지지층에 돌기를 형성 함으로써 막의 오염을 줄일 수 있는 지 알아보기위해 돌기가 없는 평막을 비교실험 하였다. 실험조건에 따라 막의 돌기가 있는 평막과 없는 평막을 비교 실험 하였으며 이를 요약하면 다음과 같다.

1) 돌기가있는 평막은 분리막 표면에 작은와류를 형성시켜 카올린 입자의 분리막 표면오염을 절감시키고 투과초기에 막오염 방지에는 매우 효과적임을 확인할 수 있다. 카올린 수용액과 순수에 대한 투과유속의 차이는 0.8 bar일 경우가 가장 낮게 나타났으며 이는 본 실험조건하에서 막오염 저항을 최소화할 수 있는 효과적인 운전영역이라 할 수 있다.

2) 돌기 유무에 관계없이 0.1 및 0.2wt% 카올린 투과유속의 경우는 상당히 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 카올린 농도를 2.5배지 5배로 증가시 0.5wt%로 유지하면 분리막 표면에 카올린의 축적이 현저하게 발생하여 육안으로도 확인할 수 있었으며 투과유속 역시 낮게 측정되었다.

3) 층류영역에서 돌기에 의한 투과유속 효과는 4.9% (=18.4-13.5)로 전이 영역의 2.6% (=12.8-10.2)보다 약 2배가량 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 유체의 공급유량이 낮을수록 층류를 형성하여 유체역학적으로 분리막 표면에서의 혼합을 유발할 수 없다. 그러나 돌기가 있는 평막모듈의 경우는 분리막 표면에 와류를 자연적으로 형성시켜 보다 효과적인 분리막 표면의 혼합을 유발할 수 있기 때문으로 판단된다. 따라서 평막모듈의 돌기는 공급 유량이 낮은 층류영역에서 분리막 표면의 오염을 감소시키는데 더욱 효과적임을 알 수 있다. 또한 탁도계를 사용하여 원료용액 및 투과용액의 탁도로부터 카올린의 제거율을 측정한 결과 98% 이상이었다.

참고문헌

1. K. Y. Chung, M. E. Brewster and G. Belfort, "Dean vortices with wall flux in a curved channel membrane system 3. Concentration polarization in a spiral reverse osmosis slit", *J. Chemical Eng. Japan*, **31**(5), 683 (1998).
2. Y. Wang, J. Howell, R. Field and D. Wu, "Simulation of cross-flow filtration for baffle tubular channels and pulsatile flow", *J. Membrane Sci.*, **95**, 243 (1994).