

연속식 공기세정 관형막 투과특성

박 미 자 · 정 건 용[†]

서울과학기술대학교 화공생명공학과
(2013년 3월 26일 접수, 2013년 4월 10일 수정, 2013년 4월 22일 채택)

Permeation Characteristics of the Tubular Membrane with Continuous Air Cleaning System

Mi Ja Park and Kun Yong Chung[†]

Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Seoul National University of Science & Technology,
Seoul 139-743, Korea

(Received March 26, 2013, Revised April 10, 2013, Accepted April 22, 2013)

요 약: 본 연구는 정밀여과용 관형 분리막 모듈 내에 자체 설계한 기체분사형 노즐을 장착하여 막오염 감소 효과에 따른 투과유속을 측정하였다. 원료 용액으로는 0.1 wt% yeast 입자를 사용하였으며 공기 주입에 따른 막오염 감소 효과를 확인하기 위하여 공기를 주입하지 않은 경우와 주입한 경우의 투과유속을 비교·분석하였다. 공기를 주입하지 않았을 경우 투과유속은 지속적으로 감소하였지만 공기를 주입할 경우 투과유속은 공기를 주입하지 않은 경우와 비교하여 30% 이상 향상됨을 확인하였다.

Abstract: This study was carried out for microfiltration tubular membrane module equipped with self-designed air injection nozzle in order to determine the permeate flux due to the effect of membrane fouling reduction. The 0.1 wt% yeast particle solution was used as a feed solution and permeation tests were performed for the cases with and without air injection. Permeation fluxes were measured and analyzed to examine the effect of membrane fouling reduction. While the permeation flux without air injection decreased continuously, that with air injection was improved more than 30 percent than that of no air injection case.

Keywords: tubular membrane, air injection, yeast solution, permeate flux, membrane fouling

1. 서 론

최근 분리막 공정은 여러 기술 분야에서 각광받고 있으며 수처리 기술에서 그 중요성 또한 확대되고 있다. 분리막 공정을 사용할 경우 특히 세공의 크기가 큰 정밀여과막 공정은 공정상 분리막 표면에 막오염이 심각하여 투과유속 및 공정의 경제성을 크게 저하시키므로 막오염을 최소화 할 수 있는 여러 가지 방법이 연구되고 있다[1-4]. 기존 연구에는 기계적으로 세척하는 물리적 방법, 화학 약품을 이용하여 세척하는 화학적 방법, 순수 또는 투과수를 이용한 역세정 등이 있다. 또한 투과유속 및 분리막의 선택도를 향상시키기 위하여 공기의

주입으로 인해 형성된 기체-액체 혼합류(gas-liquid two phase)가 분리막 내부로 흐르면서 막오염과 농도분극을 최소화 할 수 있는 방법이 있다. 현재까지 기체-액체 혼합류를 형성하기 위하여는 별도의 장비를 설치하지 않고, 분리막 모듈 입구 이전 배관 내 원료 용액으로 공기를 공급하였으며 특히 slug 흐름영역에서 분리막 표면의 yeast 입자 막오염이 효과적으로 감소되고 투과유속이 향상됨을 보고하고 있다[5-8].

본 연구에서는 관형 모듈 내에 공기를 분사할 수 있도록 노즐을 제작·설치하여 분리막 표면에 직접 공기를 분사함으로써 효과적으로 분리막 표면의 막오염을 감소시키고 투과유속을 향상시키도록 설계하였다. 또한 공기를 노즐에 주입하지 않은 상태로 yeast 원료 용액의

[†]교신저자(e-mail: kychung@snut.ac.kr)

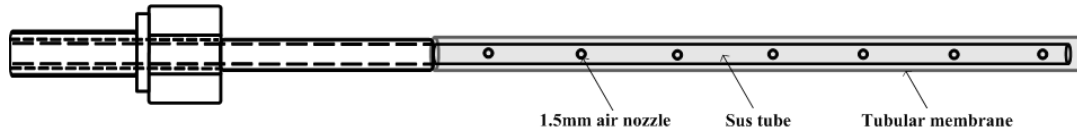


Fig. 1. Details of the air injection tube and nozzles.

투과실험을 실시한 후에 계속적으로 공기를 주입하는 연속적인 실험으로 공기 공급 유무에 따른 투과유속을 비교·분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 분리막 및 실험재료

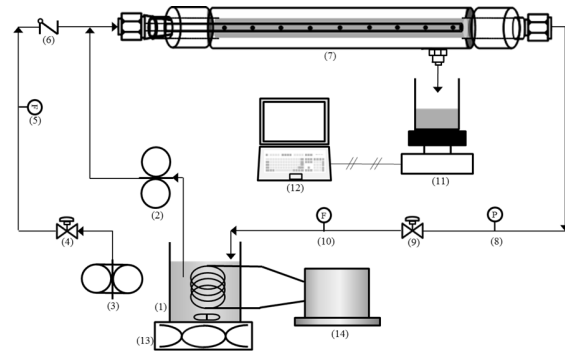
분리막으로는 공칭크기가 $0.2 \mu\text{m}$ 이고 내경이 1.1 cm , 길이 46 cm 인 정밀여과용 세라믹 관형막을 사용하였다. 본 실험에서 사용한 입자는 효모가 98.5% 함량된 인스턴트 yeast 입자(Jenico사)를 사용하였다. 또한 초순수는 수돗물을 전처리 필터 및 한외여과막과 역삼투막을 통과시켜 처리하는 Millipore사의 초순수 제조장치 투과수를 사용하였다.

2.2. 분리막 노즐 설계

막오염을 감소시키고 투과유속을 향상시키기 위하여 관형막의 내부에 노즐을 삽입할 수 있도록 Fig. 1과 같이 모듈을 설계하였다. 1/4인치 튜브인 공기 공급관은 전체 길이 중 일부분이 분리막 내부에 삽입되며 매 2 cm 마다 1.5 mm 세공으로 공기를 관형 분리막 표면으로 분사한 후 공급 액체와 함께 분리막 내부로 흐를 수 있도록 제작하였다.

2.3. 실험장치 및 운전방법

투과실험의 개략적인 흐름도를 Fig. 2에 나타내었다. 원료탱크(1)에 yeast 용액을 채운 후 masterflex pump(2)로 관형막 모듈에 공급하였다. 또한 공기는 compressor(3)로 공급하였으며 유량계(5)를 설치하여 유량을 조절하였다. 분리막 모듈(7) 후에 압력계를 설치하여 운전 압력을 측정하였고, 압력계(8)와 유량계(10) 사이에 밸브(9)를 설치하여 운전 압력과 유량을 조절하였다. 분리막을 투과한 용액은 전자저울(11) 위의 용기 내부로 수집하여 30초마다 무게를 측정하였으며 전자저울과 연결된 컴퓨터(12)에 자료를 저장하였다. 원료용액의 농도를 일정하게 유지하기 위하여 농축수를 원료탱크(1)로 재순환시켰으며 수집된 투과용액 역시 주기적으로 원료탱



- (1) Feed tank
- (2) Masterflex pump
- (3) Air compressor
- (4) Globe valve
- (5) Air flowmeter
- (6) Check valve
- (7) Membrane
- (8) Pressure gauge
- (9) Globe valve
- (10) Water flowmeter
- (11) Electronic balance
- (12) Computer
- (13) Stirrer
- (14) Temperature water bath

Fig. 2. Schematic diagram of the tubular membrane system.

크에 주입하였다. Yeast 입자를 분산시키기 위하여 교반기(13)를 설치하였으며 항온 수조(14)를 이용하여 원료용액의 온도를 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하였다.

먼저 초순수를 노즐이 장착되지 않은 관형 분리막에 공급하여 운전압력에 따른 순수 투과유속을 측정하였다. 그리고 공기를 공급하기 위하여 제작한 삽입관을 분리막 모듈에 장착하고 막오염 유발 물질이 포함된 yeast 용액을 투과시켜 실험하였다. 또한 공기의 유무에 따른 투과유속의 향상 효과를 확인하기 위하여 공기를 주입하지 않고 투과실험을 실시한 후에, 투과실험을 중단하지 않고 계속적으로 공기를 주입하면서 투과실험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 토론

본 연구에서 사용한 정밀여과용 세라믹 관형막에 대한 순수 투과실험을 운전압력 0.2 에서 1.2 bar 까지 0.2 bar

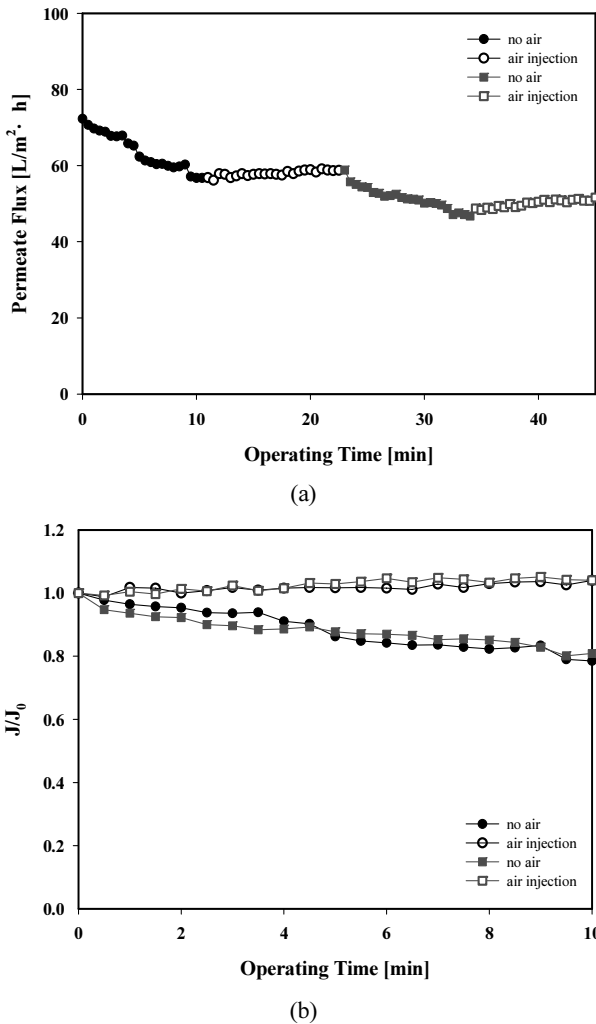


Fig. 3. (a) Permeate fluxes and (b) normalized permeate fluxes (J/J_0) for 0.1 wt% yeast solution. 0.2 μm tubular membrane was used with and without air injection at 1 bar and 20°C.

간격으로 실시한 결과, 투과도는 700 L/m²·hr로 확인되었다.

막오염 투과실험을 위하여 0.1 wt%의 yeast를 함유한 원료용액을 1.4 L/min 속도로 분리막 모듈에 공급하였으며 공기의 공급 유량을 4 L/min로 유지하여 slug상태의 기체-액체 혼합류를 유지하면서 투과실험을 수행하였다. 운전 압력은 기체가 관형 분리막 내에 장착된 작은 노즐을 통하여 많은 양이 공급되므로 약간의 진동이 발생하여 1 ± 0.1 bar 범위에서 조절 가능하였다. 공기의 공급유무에 따른 투과실험은 약 10분씩 2회 반복하였으며 그 결과는 Fig. 3에 나타난 바와 같다. Fig. 3(a)는 투과실험이 진행됨에 따라서 공기가 분리막에 공급되

지 않는 0에서 11분 및 23에서 34분 구간에서는 투과유속이 급속히 감소되지만 공기를 주입한 11에서 23분 및 34분 이후 구간에서는 투과유속이 조금씩 향상됨을 확인할 수 있었다. 공기 주입에 따른 투과유속 향상 효과를 보다 상세하게 분석하기 위하여 투과유속(J)을 각각의 투과유속 초기값(J_0)으로 나누어 Fig. 3(b)에 나타내었다. 공기를 주입하지 않은 경우는 투과실험 11분 후까지 지속적으로 감소하여 0.78까지 도달하였으나 그후 공기를 주입하면 초기값인 1부터 계속적으로 증가하여 1.06까지 도달함을 확인하였다. 따라서 분리막 표면에 공기를 직접 분사할 경우 분리막 표면에 축적된 yeast의 일부를 제거하거나 적어도 더 이상의 막오염을 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 관형 분리막 표면에 공기를 직접 주입하여 투과유속의 향상을 기대할 수 있는 공기 삽입관 및 노즐을 설계·제작하였으며 yeast 용액으로 공기 주입 유무에 따른 투과성능을 평가하였다. 공기를 분리막 모듈에 주입하지 않을 경우는 yeast 용액의 투과유속이 운전시간에 따라서 지속적으로 감소하였지만, 공기를 주입하면 투과유속이 점차적으로 회복되어 공기를 주입하지 않은 경우보다 30% 이상 증가됨을 확인하였다.

감사

이 연구는 서울과학기술대학교 교내학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. J. G. Choi and K. Y. Chung, "Permeation Characteristics of the Microfiltration Tubular Module using the Discharged Rod", *Membrane Journal*, **19(4)**, 51 (2009).
2. Y. G. Park and Y. M. Lee, "Membrane Fouling in the Membrane Process", *Membrane Journal*, **6(1)**, 1 (1996).
3. H. C. Lee, J. H. Cho, and J. Y. Park, "Effect of Water-back-flushing Time and Period in Advanced Water Treatment System by Ceramic Microfiltration",

- Membrane Journal*, **18(1)**, 26 (2008).
4. J. Y. Park and G. Y. Park, "Effect of water-back-flushing in advanced water treatment system by tubular alumina ceramic ultrafiltration membrane", *Membrane Journal*, **19(3)**, 194 (2009).
 5. Z. F. Cui and K. I. T. Wright, "Gas-liquid two-phase cross-flow ultrafiltration of BSA and dextran solutions", *J. Membrane Sci.*, **90**, 183 (1994).
 6. M. M. Bonin and C. Fonade, "Air-sparged micro-filtration of enzyme/yeast mixtures: determination of optimal conditions for exzyme recovery", *Desalination*, **148**, 171 (2002).
 7. K. J. Hwang and C. E. Hsu, "Effect of gas-liquid flow pattern on air-sparged cross-flow microfiltration of yeast suspension", *Chem. Eng. J.*, **151**, 160 (2009).
 8. T. M. Qaisrani and W. M. Samhaber, "Impact of gas bubbling and backflushing on fouling control and membrane cleaning," *Desalination*, **266**, 154 (2011).