

분리막 생물 반응기에서 막오염에 영향을 미치는 인자들에 관한 연구

배태현, 박형규, 장경국, 탁태문
서울대학교 생물자원공학부

Factors affecting membrane fouling in membrane bioreactor system.

Tae-Hyun Bae, Hyung-Kyu Park, Gyoung-Gug Jang, Tae-Moon Tak

School of biological resources & materials engineering,
Seoul National University

1. 서론

분리막 생물반응기는 우수한 수처리 시스템으로 그 활용이 늘어가고 있는데, 그 장점들은 많은 연구자들에 의해서 보고되었다. 그러나 분리막 생물반응기는 분리막이 가지는 고유한 문제점인 막오염 현상에 의해서 그 적용이 제한을 받고 있는 실정이다. 분리막 생물반응기에서의 막오염은 미생물 반응조내에 존재하는 다양한 구성성분과 분리막의 상호작용에 의해 발생하는 것으로, 살아있는 미생물이 구성성분을 이루고 있기 때문에, 막오염 현상은 종래의 막여과 시스템보다 복잡하여 해석에 많은 어려움이 따른다.

많은 연구자들이 막오염 메커니즘을 규명하기 위한 연구를 수행하였는데, 대부분은 분리막 시스템에서 부분적인 측면에 치우쳐 막오염을 해석하였고 주로 분리막의 특징과 운전조건의 측면에서 접근한 사례가 많다. 그러나 분리막 생물반응기는 미생물 반응조와 결합된 시스템으로서 분리막의 성능은 반응조의 미생물 혼합액의 물리·화학적 조건을 비롯한 생리학적 조건, 그리고 분리막의 운전조건이 복합적으로 작용할 수 밖에 없다. 특히 위에 열거한 조건들은 상호 밀접한 관계를 가지고 있어 상호 연관성을 규명하고 이것들이 막오염에 미치는 영향을 살펴볼 필요가 있다.

몇몇 연구자들은 막오염 현상을 해석하는 방법으로 활성슬러지 구성입자를 침전 가능한 현탁 부분(suspended solids), 콜로이드 부분(colloids), 용존성부분(solutes)를 나누어서 여과하여 각 부분이 막오염에 미치는 부분

을 정량화하고자 하였다. 본 연구에서는 활성슬러지 성분들을 부분으로 나누어 분석하는 방법을 통해서, 수력학적 특징인 분리막의 투과유속, 분리막의 재질 특성, 활성슬러지의 생리학적 상태에 따라 막오염 특성을 평가하여 막오염 메커니즘을 제안하고자한다.

2. 실험방법

실험에 사용한 평막은 상전이법을 사용하여 직접 제조하였다. Cellulose Acetate(CA)재질의 분리막은 용매의 NMP와 공용매인 Acetone을 사용하여 다양한 투과 성능을 갖는 분리막을 제조하였고, polyethersulfone(PES), polysulfone(PSf)은 용매인 NMP와 첨가제 PVP 10000을 사용하여 제조하였다. 제조된 분리막은 순수투과유속과 PEG(polyethylene glycol) 또는 PEO(polyethylene oxide)배제능 측정을 통해 특성을 평가하였다. 침지형 분리막 생물반응기에서의 막오염 특성을 분석하기 위해서는 SK 케미칼에서 생산한 MF10(Polysulfone, $0.1\mu\text{m}$)을 사용하였다.

교차흐름형 활성슬러지 여과 실험은 여과셀을 사용하여 측정하였고, 여과 압력은 100 Kpa, 유량은 2.5 L/min으로 유지하였다. 투과 유속의 감소는 시간에 따라 투과액의 질량을 측정하여 계산하였다. 침지형 막은 미생물 반응조내에 침지한 후 연동펌프(peristaltic pump)를 사용하여 측정하였다.

실험에 사용한 활성슬러지는 침지형 분리막 생물반응기 시스템으로 공급 받았으며, 기질로는 합성폐수를 사용하였다. 활성슬러지 구성성분들은 세부적으로 분리하였는데, 정상슬러지를 중력침전시켜 SS부분을 분리하였고, 상등액은 FeCl_3 을 400mg/l의 농도로 주입 교반하여, 콜로이드 성분을 응집, 여과하여 용존성 유기물과 분리하였다. 분리된 슬러지 부분을 안정상태의 플럭스에 도달할때까지 여과하였고, 막오염 정도를 정량화 하기 위하여 여과저항모델을 사용하였다. 이 실험에서는 각각의 슬러지 부분은 독립적으로 막오염에 영향을 주며, 전체 저항은 SS, 콜로이드, 용존성 물질에 의한 저항의 단순한 합이라는 가정 아래 분석을 하였다. 즉 전체 활성슬러지를 여과하여 활성슬러지 전체 저항 (R_{As})값을 구하였고, 침전후 상등액을 여과하여 콜로이드와 용존물질에 의한 저항($R_{Col} + R_{Sol}$)의 값을 구하였으며, 콜로이드 성분을 제거한 용존성 물질을 여과하여 용존물질 저항(R_{Sol})의 값을 구하였다. 그 후 아래의 식을 이용하여 각각 부분의 저항을 구해 낼 수 있었다.

$$R_{As} = R_{SS} + R_{col} + R_{sol}$$

3. Result and discussion

Fig.에는 CA막이 갖는 순수투과도가 막오염에 미치는 영향도를 나타내었다. 활성슬러지 전체 저항과, 각 부분이 미치는 영향 모두 투과유속에 선형적인 관계를 보이고 있다. 이는 입자가 막표면으로 향하는 속력이 투과유속에 비례하기 때문이다. 직선의 기울기는 SS, 콜로이드, 용존성 물질의 순서를 갖는데, 이는 입자의 크기가 SS로 갈수록 커지기 때문이다. 특히 콜로이드는 용존성 물질에 비하여 두배 정도의 기울기를 가지고 있는데, 이는 분리막의 운전시 콜로이드는 플럭스에 보다 많은 영향을 받는 것을 의미한다. 그러나 입자의 크기가 클수록 교차흐름에 발생하는 전단응력에 의해 역전달력(Back transport)을 많이 받게 되는데, 용존성 물질의 경우는 역전달력이 적어 분리막의 종류나 운전조건에 관계없이 그 농도에 따라서 일정한 막오염 기여도를 갖게되고 플럭스에 의한 영향들은 미비한 것으로 나타났다.

누적 여과 부피에 따라 각각의 입자들이 미치는 막오염 정도를 조사하였다. 위에서 언급한대로 용존성물질은 그들의 영향을 초기에 대부분 나타내고 그 뒤로는 커다란 영향을 미치지 않으나, 큰입자로 갈수록 시간에 따라 지속적으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 활성슬러지 구성성분 중에서 SS가 차지하는 부분이 가장 크기 때문에 시간이 지날수록 SS에 의한 막오염이 점차로 진행되는 것으로 사료된다.

분리막의 재질에 의한 특성을 비교해 보면, 이미 알려진대로 소수성 재질의 분리막이 오염이 더욱크게 발생하는데, 입자의 오염 기여도로 볼때 소수성막막은 콜로이드에 의한 영향이 커지기 때문인 것으로 조사되었다. 이는 펌프 전단응력에 의해 미생물 플럭이 깨지면서 플럭 내부에 갇혀있던 소수성 미생물 대사물질이 플럭의 잔해물인 콜로이드 입자의 표면에 드러나게 되어 소수성 막의 표면에 강하게 소수성 흡착을 하기 때문으로 사료된다.

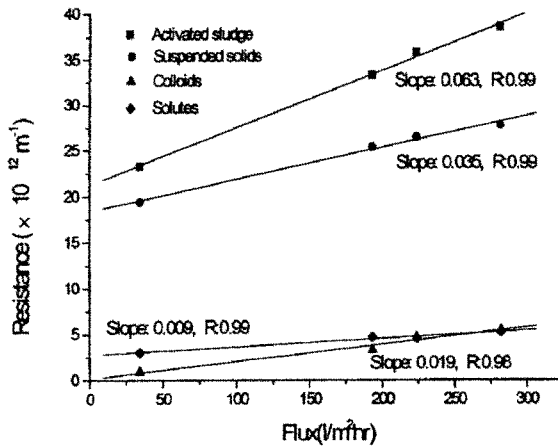


Fig. Filtration resistances according to the permeability of CA membranes.

4. References

1. L. Defrance, M.Y. Jaffrin, B. Gupta, P. Paullier, V. Geaughey *Bioresource Technology*, **73**, 105-116, 2000
2. C. Wisniewski, A. Grasmick *Colloids and Surface A.*, **138**, 403-411. 1998
3. E. H. Bouhabila, R. B. Aim, H. Buisson, *Sep. Puri. Tech.*, **22-23**, 123-132, 2001
4. Jung-Goo Choi, Tae-Hyun Bae, Jung-Hak Kim, Tae-Moon Tak, A.A. Randall *J. Mem. Sci.*, **203**, 1-2 103-113, 2002
5. S.P. Hong, T.H. Bae, T.M. Tak, S. Hong, A. Randall, *Desalination*, **143**, 3, 219-228