

일반강연 II-15 역충격형 회전판 막의 오염과 투과율 예측

박지훈, 노수홍
연세대학교 환경공학과

Fouling and flux estimation of backpulsing RDM

Ji-hoon Park, Soo-hong Noh
Department of Environmental Engineering, Yonsei University

1. 서론

역충격형 회전판 막 모듈[1,2]을 사용하여 폐수처리시 투과율 감소는 막 표면의 오염(fouling)등에 의해 발생한다. 특히, 한외여과(UF), 정밀여과(MF)의 막 오염에 의해 투과율(flux)을 순수투과율(pure water flux)의 5%이하로 감소되는 경우가 많이 있다. 이러한 투과율 감소의 원인은 농도분극, 흡착, gel layer의 형성, pore의 plugging 등으로 다양하다[3].

본 실험에서는 역충격형 회전판 막을 이용하여 오염물을 처리할 때 발생하는 투과율 감소를 여과모델식(flux filtration model)과 경계층 저항모델(resistance-in-series model)을 이용하여 분석하였다.

2. 이론

1) 여과모델(Flux filtration model)

막 오염은 여과모델식에 의하면 아래의 4가지 식으로 표현되고 있다.[6]

$$Q = Q_0 e^{-K_s t} \quad (1)$$

$$Q = \frac{Q_0}{(1 + K_i t)^2} \quad (2)$$

$$Q = \frac{Q_0}{1 - K_s t} \quad (3)$$

$$Q = \frac{Q_0}{\sqrt{1 + K_c t}} \quad (4)$$

본래, Dead-end 형태의 정밀여과 막 오염 현상을 해석하기 위해 제안되었으나 그 수학적 편이성에 의해 Matsumoto [4, 5]등에 의해 Cross-flow 형태의 막 오염 해석에도 적용되어져 왔다.

2) 경계층 저항모델(Resistance-in-Series model)

동력학적 막 분리 공정에서 경계층 저항모델은 분리막을 통한 물질이동을 설명

하기 위한 모델로서 투과율에 영향을 미치는 여러 가지 저항을 합하여 이를 투과저항으로 나열함으로써 식 (5)로 설명된다[7].

$$J = \frac{\Delta P_{NET}}{\eta R_t} = \frac{\Delta P_{NET}}{\eta(R_m + R_f + R_g + R_{pe})} \quad (5)$$

3. 실험

회전판막은 TriSep사의 polysulfone재질의 한외여과막(MWCO 100,000)을 사용하여 직경 0.2m, 두께 3mm의 ABS판을 지지판으로 하여 제작하였으며, 3가지 회전판 막(conventional, no-backpulsing, backpulsing type)을 사용하였다.

회전에 따른 순수투과율과 압력 변화에 따른 순수투과율을 측정했으며, 역충격이 가능하도록 회전판을 개발하였다. 압력은 2.0 Kg/cm²의 압력에서 175rpm으로 회전 속도에서 투과율을 측정하였다.

투과율 실험은 수용성 압연유 RH-32를 최초 5%로 희석하여 사용하여 회전수는 175rpm, 압력은 2.0Kg/cm²에서 약 25%까지 모듈 별로 농축하였다.

4. 결과 및 토의

1) 여과모델에 의한 투과율 예측

4가지 여과모델을 이용하여 각각의 변수(K_b , K_i , K_s , K_c)를 구하였으며, 여과모델식 들의 R^2 을 Table 1에 정리하였다.

Table 1. Values R^2 with fouling models

RDM model	Conventional	No backpulsing	Backpulsing
complete blocking	0.8496	0.7489	0.7146
standard blocking	0.892	0.7771	0.7519
intermediate blocking	0.8719	0.7632	0.7336
cake filtration	0.9258	0.8033	0.7862

투과율 감소를 실험값과 비교하여 Fig. 1, 2, 3에 나타내었다. 4가지 모델에 의한 투과율 감소를 실험 값과 예측 값을 비교하였을 때 기존 RDM의 투과율은 초기에는 불완전 폐쇄 모델을 제외한 모델과 일치하는 값을 나타내다가 60분이 지나면서 점점 케이크 여과 모델에 접근하였다.

역충격형 RDM의 투과율 감소는 초기부터 역충격에 의해 막 표면에서 오일에 멀전 입자들이 bulk로의 확산이 보다 빠르게 일어나 폐쇄에 의한 투과율 감소 영향이 적다.

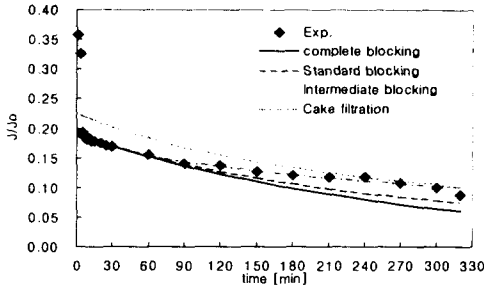


Fig. 1. Comparison of observed and predicted flux for oil emulsion with conventional RDM

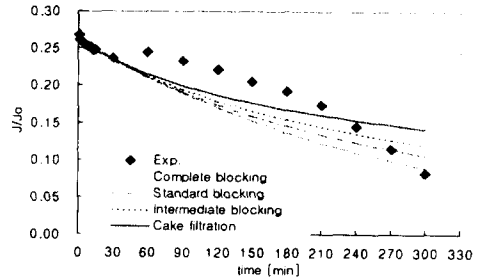


Fig. 2. Comparison of observed and predicted flux for oil emulsion with backpulsing RDM

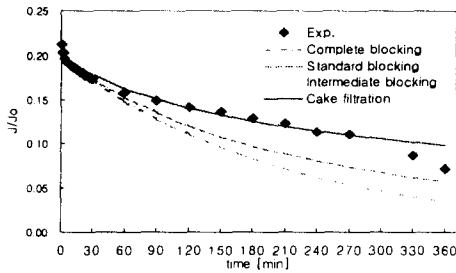


Fig. 3. Comparison of observed and predicted flux for oil emulsion with no backpulsing RDM

모든 경우에 있어서 초기 투과 감소는 복합적으로 일어나나 모듈별로 시간이 지남에 따라 차이를 보이고 있다. 그리고, 기존의 RDM과 비역충격형 RDM의 경우에는 케이크 여과가 전체적으로 영향을 미치며, 일정 시간이 지나면서부터 불완전 폐쇄에 의한 영향이 나타난다.

2) 동역학적 모델에 의한 투과율 예측

동역학적인 모델과 실제 값과의 투과율 예측 관계를 확인하기 위해 저항모델을 가지고 확인을 하였다. 농도에 의한 투과율 예측을 위하여 식 (5)을 이용하여 모듈별로 Fig. 4, 5, 6에 각각 나타내었다.

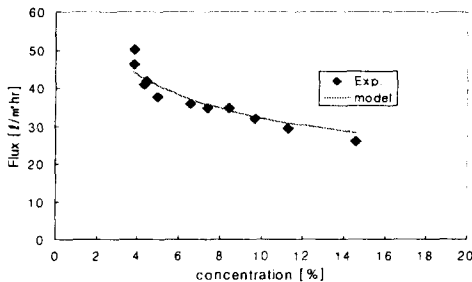


Fig. 4. Comparison of observed and predicted flux for bulk concentration with conventional RDM

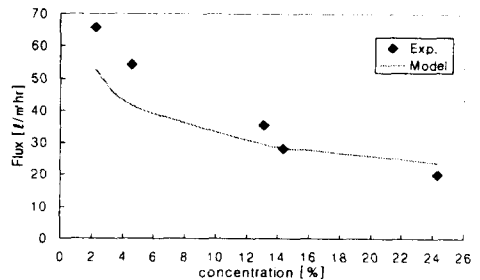


Fig. 5. Comparison of observed and predicted flux for bulk concentration with the backpulsing RDM

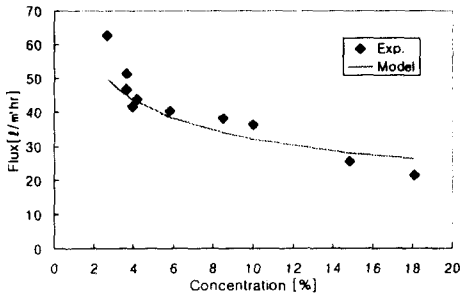


Fig. 6. Comparison of observed and predicted flux for bulk concentration with no backpulsing RDM

동역학적 모델을 기존 RDM과 no backpulsing RDM이 투과율 결과에 적용하면, 전체적으로 실제 측정치와 거의 일치하고 있으나, 역충격형 RDM의 경우에는 잘 맞지 않는다. 이것은 역충격 효과에 의해 겔 층이 느슨해져 투과율의 상승

으로 나타내기 때문이다. 그러나, 농도가 14% 이상에서는 역충격형 RDM 역시 경계층 저항모델 식과 일치하는데 그것은 역충격의 효과가 임의 농도 이상에서는 효과를 볼 수 없다는 것을 나타내는 것이다.

효과를 볼 수 없다는 것을 나타내는 것이다.

역충격형 회전판 막을 이용한 오일의 농축시 회전에 의한 난류의 촉진과 동시에 짧은 시간동안 여러 횡수의 역충격을 통한 막 표면에서의 농도 분극 층 및 겔 층을 약화시켜 bulk로의 확산과 표면에서의 shear stress의 증가 등 다양한 mechanism으로 오염이 되어 압연유의 농축시 기존 회전판막보다 더 향상된 투과율을 얻을 수 있었다.

5. 참고문헌

1. 박지훈, 장진호, 노수홍, "회전판형 한외여과의 투과면의 압력손실", 한국막학회 춘계학술대회, pp159-162. (1998)
2. 박지훈, 노수홍, 장진호, 최승희, "역충격형 회전판 막을 이용한 압연유의 농축", 한국막학회 춘계학술대회, pp123-126 (1999)
3. M. Mulder, "Basic Principle of Membrane Technology", Kluwer Academic Publishers, 2nd Edition, Netherlands (1996)
4. K. Matsumoto, M. Kawahara, H. Ohya, "Separation of yeast by cross-flow filtration with backwashing", J. of Fermen. Techn., 65, pp77-83 (1987)
5. C. Visvanathan, R. Ben Aim, "Studies on colloidal membrane fouling mechanisms in cross-flow microfiltration", J. of Mem. Sci., 45, pp3-15, (1989)
6. W. R. Browen, J. I. Calvo, A. Hernández, "Step of membrane blocking in flux decline during pectin microfiltration", J. of Mem. Sci., 101, pp153-165 (1995)
7. 박지훈. "역충격형 회전판 막 모듈에서 투과면의 압력손실과 분리특성", 석사 학위 논문, 연세대학교 대학원, (1999)