

정밀여과에서 불균일 입자에 의한 막오염에 관한  
3 차원 모사 연구

**Three Dimensional Simulation of the Deposition of  
Multi-dispersed Particles during Cross-flow Microfiltration**

윤성훈, 이정학, 김규진\*, Antony G. Fane\*

서울대학교 공과대학 공업화학과

\* UNESCO Centre for Membrane Science & Technology, University of New South Wales, Australia

1. 서론

막분리에 있어 막오염 현상은 공정의 경제성을 좌우하는 중요한 요소이다. 이에 따라 막오염에 따른 플럭스 변화를 예측하기 위한 다양한 방법을 시도하고 있다. 그러나 대부분의 동력학적 해석식들은 여과초기에만 적용되는 단점이 있었다. 최근에는 콜로이드 입자에 의한 막오염 과정을 그대로 모사하여 여과개시 후 상당한 시간 후의 플럭스를 예측하려는 시도를 하고 있다.

그러나 지금까지 연구된 모델들은 2 차원입자를 사용하거나 혹은 단일입자분포를 갖는 3 차원입자를 사용한 것들이었다. 2 차원 모사인 경우 세공막침현상을 설명할 수 없으며 3 차원 단일분포 입자시스템은 현실과는 거리가 먼 단점이 있었다.

이에 따라 본 연구에서는 다중분포(multi-disperse)를 갖는 입자의 정밀여과(microfiltration)를 모사하여 시간에 따른 플럭스의 변화를 예측해 보고자 하였다.

2. 이론

2.1. 입자와 초기 위치설정

구형입자를 가정하였으며 실제 입자의 입도분포 데이터를 바탕으로 만들어졌으며 막 모듈로의 유입위치는 무작위적으로 결정되었다.

2.2. 입자의 역전달 속도(Back transport)

Fig.1 에서와 같이 유체가 여과될 때는 유체에 포함된 입자는 다양한 힘을 받는다. 특히 입자의 막표면으로부터의 역전달에는 다음과 같은 4 가지 주요 힘들이 있다.

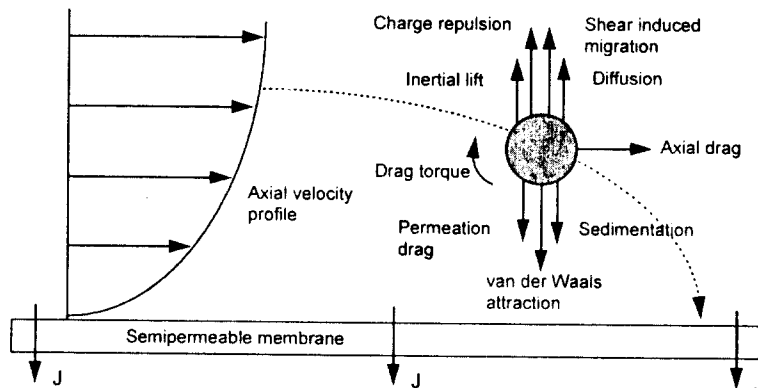


Fig.1. Forces and torques acting on a charged, spherical particle suspended in a viscous fluid undergoing laminar flow in the proximity of a flat porous surface.

1. **Inertial lift**

2. **Shear induced migration**

3. **Diffusion**

4. **Interaction induced migration**

이러한 힘들에 의한 입자의 부상속도는 입자크기의 함수이며(Fig.2) 이에따라 입자침강속도를 좌우하는 플럭스가 변하면 침강하는 입자의 크기분포도 변화하게 된다(Fig.3)

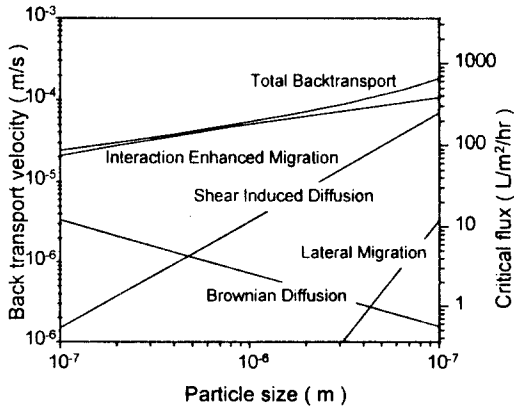


Fig.2. Comparison of different models explaining a critical flux over a range of particle size.

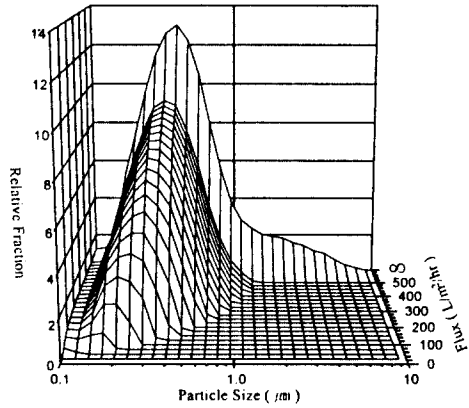


Fig.3. Depositing particle size distribution for each flux condition. Size distribution when flux is infinite means the initial particle size distribution measured experimentally.

### 2.3. 입자에 의한 케이크층 형성

역전달 속도가 유체의 여과속도보다 작은 경우 입자는 막표면쪽으로 침강하게된다. 이때 입자는 중력장에서 가장 안정한 위치에 떨어지는 것으로 가정하였다. 이에따라 다른 입자와 부딪친 입자는 그입자의 표면을 굴러떨어져 3 개의 다른 입자에 의해 지지될때까지 구름을 반복한다. 케이크층 저항은 Carmen-Kozeny 식을 사용하여 측정하였다.

### 2.4. 세공막힘(Pore blocking)

막표면으로 접근하는 입자는 막표면의 세공을 막음으로써 플럭스를 감소시키게 된다. 이때 세공막힘은 무작위적인 입자의 낙하시점 및 무작위적인 막표면의 세공위치에 의해 결정되도록 하였다.

## 3.결과

Fig.4 에서와 같이 실험값은 시뮬레이션에 의해 예측된 값과 잘 일치하였다.

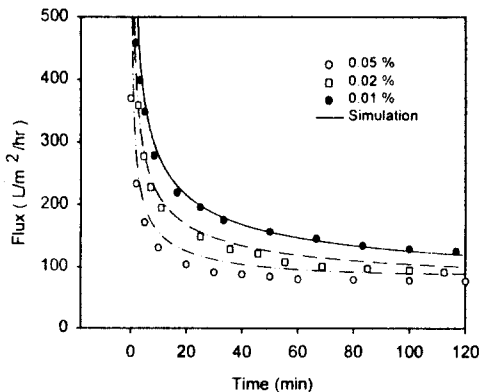


Fig.4. Comparisons of experimental and

simulated flux. 0.2 μm track-etch membrane.

## References

1. W.M. Lu, and K.J. Hwang, *AIChE J.*, 41 (1995) 1443-1455
2. T. Kawakatsu, M. Nakajima, S. Nakao, and S.Kimura, *Proceedings of Euromembrane '95*, 1(1995) 23-28
3. R.M.McDonogh, A.G.Fane, C.J.D.Fell and H.C.Flemming, *J.Colloids and Surfaces*(in press)
4. S.H.Yoon, C.H.Lee, K.J.Kim, and A.G.Fane, *Proceeding of IMSTEC, '96*, (1996) 78-80
5. S.H.Yoon, C.H.Lee, K.J.Kim, *Journal of Membrane Science*(투고중)