

## 1. Title & Journal

Numerical study on permeate flux enhancement by spacers in a crossflow reverse osmosis channel

Journal: journal of Membrane Science (2006)

## 2. Background of authors

Shengwei Ma, Lianfa Song\*

Division of Environmental Science and Engineering, National University of Singapore

## 3. Summary

이 논문의 내용은 역삼투압 공정에서 역삼투 막의 채널안에 있는 spacer의 구조적 배열과 spacer의 간격에 따른 농도분극현상(concentration polarization)의 완화와 여과유량(permeate flux)의 증가를 주로 다루고 있다.

Performance 평가를 위하여 spacer의 다양한 조건 (i.e., **configuration types**: submerged, cavity, zigzag, **spacer interval length**: 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2.5, 4.5, 8, and 13 mm)에서의 시뮬레이션이 수행되었다.

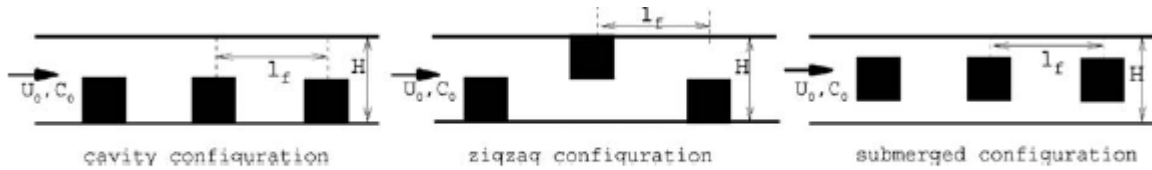


Fig. 2. Illustration of the spacer configurations and parameters.

시뮬레이션 수행은 2D에서의 Equation of Continuity (EOC), Equation of Motion에서 유래된 Navier-Stokes, 유체안에서 물질이 확산(diffusion)이동을 반영하는 Darcy's law가 적용된 solute transport equation 지배방정식들이 사용 되었다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= \frac{\lambda}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right), \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= \frac{\lambda}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = D \left( \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

그리고 유입채널, impermeable solid wall과 boundary condition은 아래와 같다.

Dirichlet boundaries (prescribed velocity and salt concentration) are imposed for the inlet of the channel:

$$\begin{aligned} u(x = 0, y, t) &= u_0(y, t); & v(x = 0, y, t) &= v_0(y, t); \\ c(x = 0, y, t) &= c_0(y, t) \end{aligned}$$

No-slip, no-penetration conditions are imposed for the impermeable solid wall and the spacer/filaments:

$$u = 0; \quad v = 0;$$

$$D \frac{\partial c}{\partial n} = 0$$

멤브레인 표면에서의 유속과 염분농도는 다음과 같다.

$$v_w = A[\Delta p - \Delta \pi(c_w, c_p)] \quad (4)$$

$$D \frac{\partial c}{\partial n} = v_w(c_w - c_p) \quad (5)$$

시뮬레이션 결과는 spacer의 필라멘트에 의해 농도 경계층의 주기적인 (concentration boundary layer) 응축(compression)과 분열 (disruption) 현상을 보이며, 이 현상은 concentration polarization의 영향을 완화 시킨다는 사실을 보여주었다.

결과로써 각기 다른 spacer type과 mesh length에 따른 wall concentration과 permeate flux란 두가지의 performance 결과는 아래와 같다.

1. Submerged type에서 농도 경계층의 주기적으로 응축되었고, cavity type에서는 멤브레인 에 부착된 spacer filament의 반대쪽 멤브레인에서 응축현상이 나타났고, filament가 부착된 쪽의 멤브레인에서는 filament에 의해 주기적인 disruption 현상을 관측 할 수 있었다. 한편 zigzag타입에서는 disruption과 compression 현상이 모두 나타났다.
2. 평균 여과유량은 3가지 spacer 타입 모두 mesh length에 상당한 영향을 받고, 특히 submerged spacer 타입에서 mesh length가 짧을수록 일관된 여과유량의 증가를 관측할 수 있었다. (zigzag와 cavity 타입에서는 최적의 mesh length = 1.5 mm)
3. 해수의 염분 농도는 생산수 유량을 증가시키기 위한 spacer효과의 중요한 요소이다. 염분의 농도가 높을수록 spacer에 의한 생산수 유량 증가의 효과가 확연히 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 cavity와 zigzag 타입에서 최적의 mesh length는 염분이 증가할수록 짧아지는 것을 알 수 있었다.

#### 4. Originality & Contribution

저자는 실험을 하지 않고도 Petrov/Galerkin finite element model (FEM)을 이용하여 Numerical한 방법으로 다양한 spacer의 configuration 변화를 통한 performance 예측을 수행하였고, 이를 통해

최적의 spacer조건들을 제시하고 있다. 이에 더하여 저자는 다공성(porosity) 같은 spacer 파라미터들이 여과유량강화에 대한 spacer의 영향을 설명하기에는 불충분하다고 지적하고 있으며 spacer의 타입, mesh length, 염분농도 같은 방향으로 운전조건들이 최적화 되어야 된다고 제시하고 있다.

**5. Reviewer: 정관호 jkh@gist.ac.kr**