

단위 조작

Unit operation

제 13 장. 막분리 공정

13.1 막분리 공정?

13.2 액체투과 막공정 (liquid membrane)

13.3 기체투과 막공정 (gas membrane)

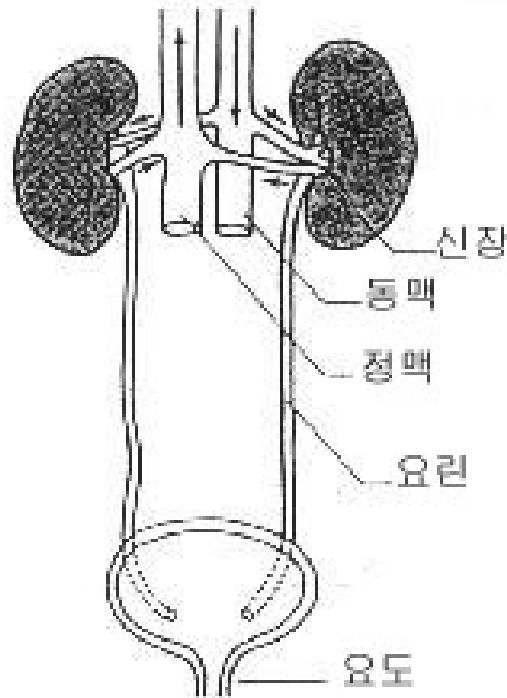
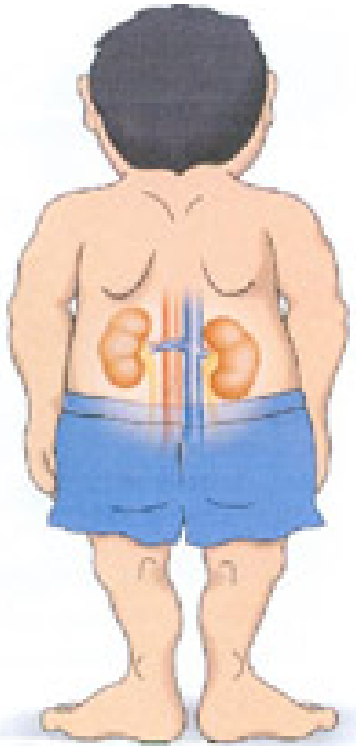
13.4 기체 투과막 모델

13.6 기체 투과막 교차흐름 모델

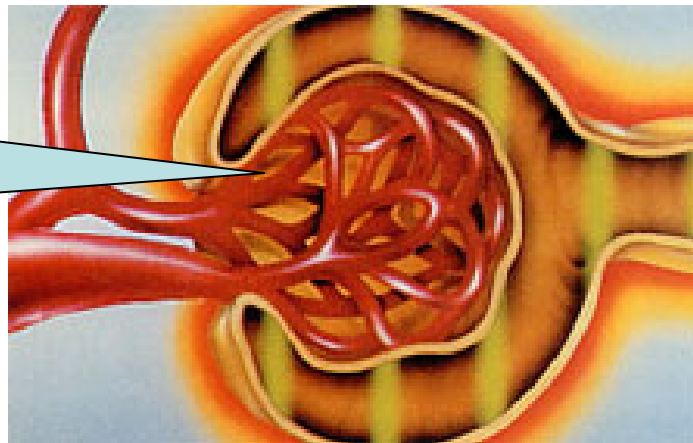
13.9 역삼투압 막공정 (reverse osmosis membrane)

13.11 한외 여과막 공정 (ultra-filtration membrane)

13.2D 인공신장에서서의 투석



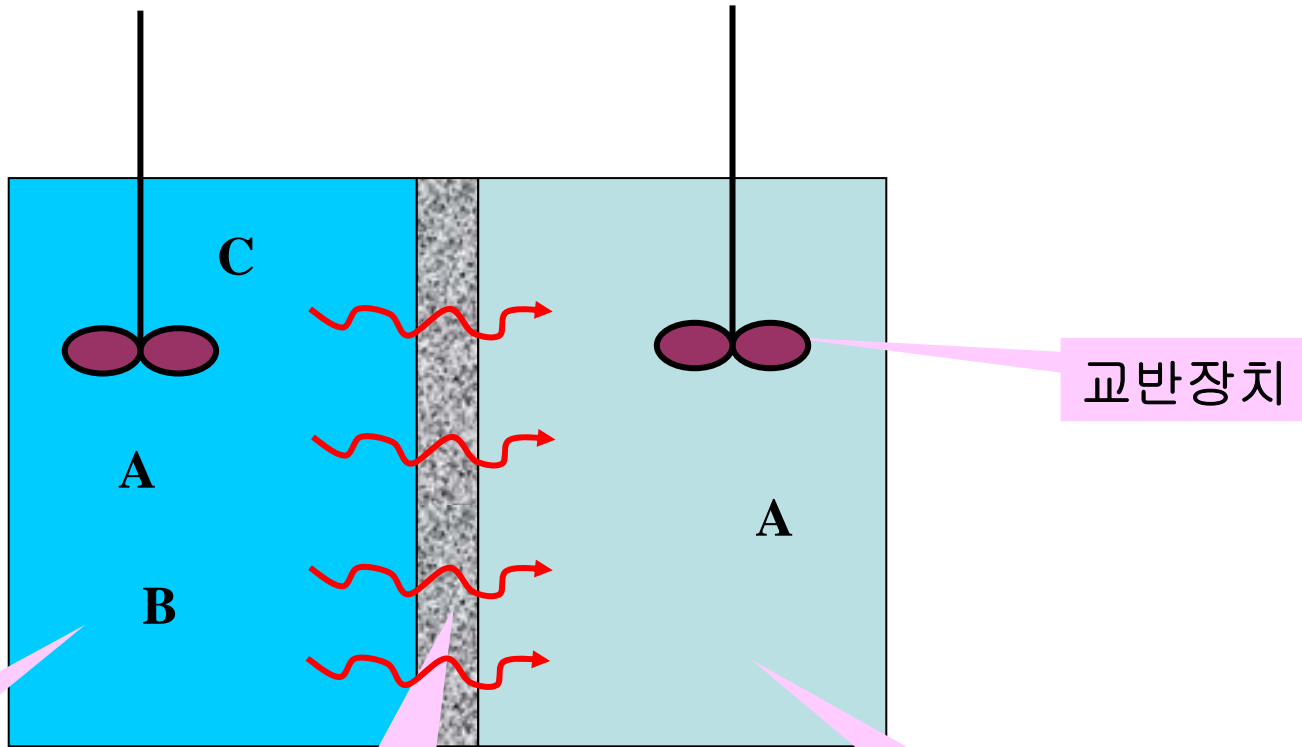
작은 용질 (요소, 인산염, 염소 등) 은 투과하고, 혈액단백질은 잔존



- 생체막
- 인공신장에 쓰이는 막 = 셀로판 막

Membrane process

(A+B+C) 혼합용액에서의 A의 분리



고농도 용액

교반장치

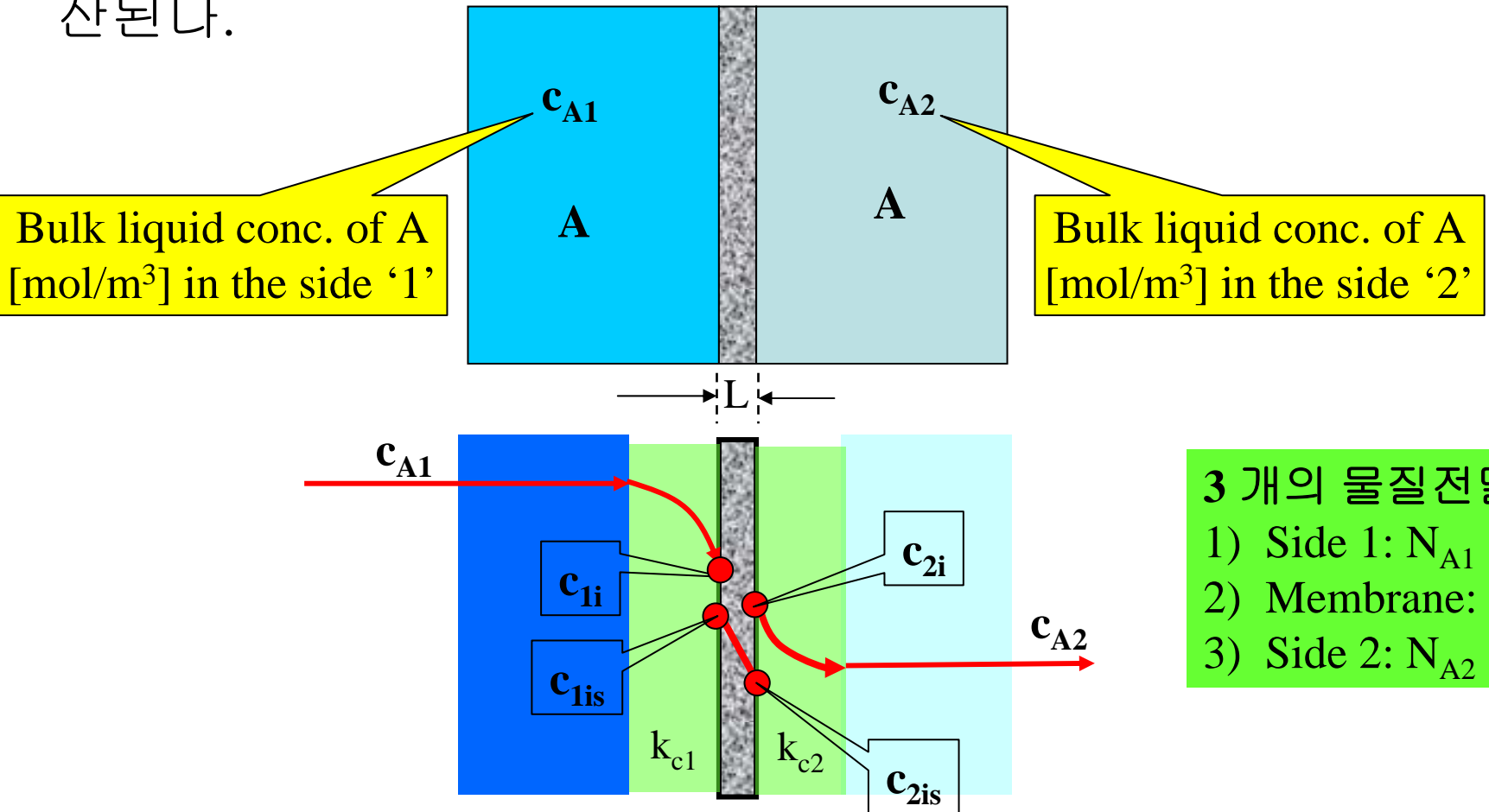
저농도 용액

막: 다공성 고체상,
다공성 고분자 막

막분리공정:
기체/액체 투과막 분리,
역삼투압, 한외여과막(UF),
GFC (gel filtration chromato.)

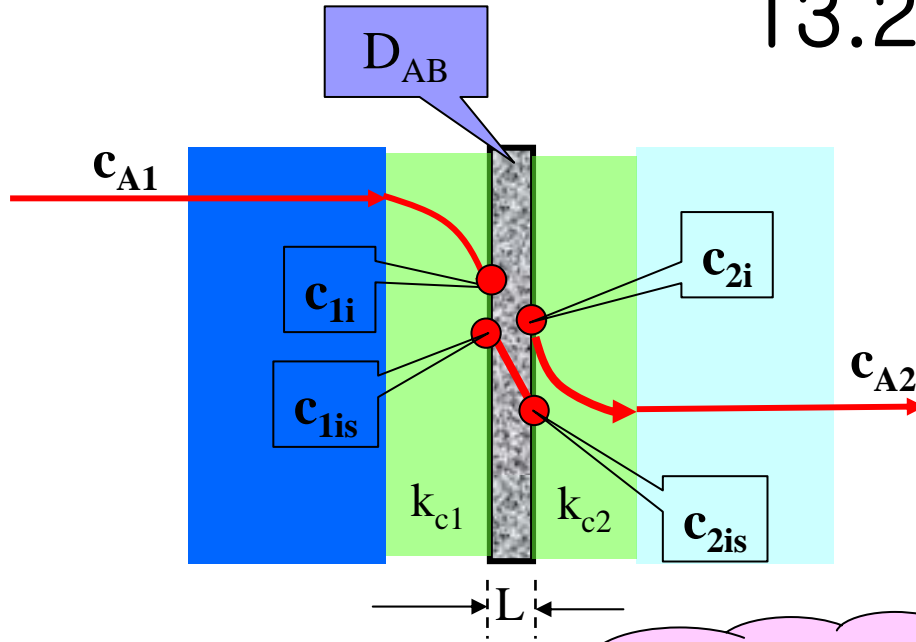
13.2 액체 투과막 공정

액체 투과막공정이란, 용액 속 용질이 막을 통과하여 이동하는 공정으로, 다음 3단계의 전달과정을 거친다. 용질은 먼저 막까지 확산하여 이동하고, 막자체를 통과한후, 다시 두번째 액상에서 확산된다.



3 개의 물질전달 flux
 1) Side 1: N_{A1}
 2) Membrane: N_M
 3) Side 2: N_{A2}

13.2 액체 투과막 공정



3 개의 물질전달 flux

- 1) Side 1: N_{A1}
- 2) Membrane: N_M
- 3) Side 2: N_{A2}

흡수탑 물질전달 flux

$$N_y = k_y (y_{AG} - y_{Ai})$$

$$N_x = k_x (x_{Ai} - x_{AL})$$

물질전달계수의 단위는?

$$N_{A1} = k_{c1} (c_{A1} - c_{1i})$$

$$N_{A2} = k_{c2} (c_{2i} - c_{A2})$$

$$N_M \equiv D_{AB} \frac{dc_A}{dz} = \frac{D_{AB}}{L} (c_{1is} - c_{2is})$$

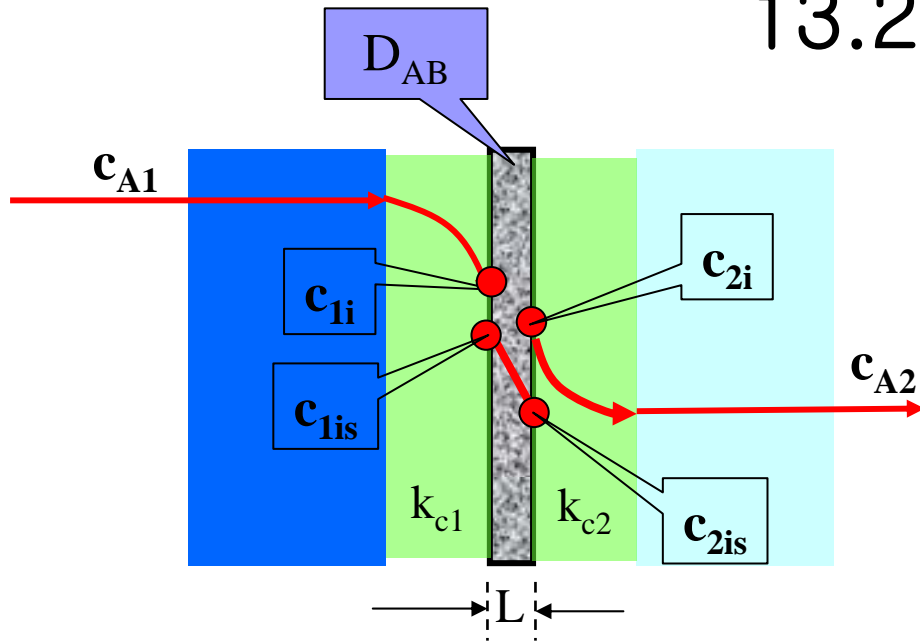
K' : 평형계수
평형분배 계수

Why is the distribution coefficient used?

$$c_{1is} = K' \cdot c_{1i}$$

$$c_{2is} = K' \cdot c_{2i}$$

13.2 액체 투과막 공정



$$N_{A1} = k_{c1} (c_{A1} - c_{1i})$$

$$N_{A2} = k_{c2} (c_{2i} - c_{A2})$$

$$N_M = \frac{K' \cdot D_{AB}}{L} (c_{1i} - c_{2i})$$

K': 평형계수 또는 평형 분배계수

Permeability coefficient in a membrane

$$\pi_M = K' \cdot D_{AB} / L$$

$$c_{A1} - c_{1i} = N_A / k_{c1}$$

$$c_{1i} - c_{2i} = N_A / \pi_M$$

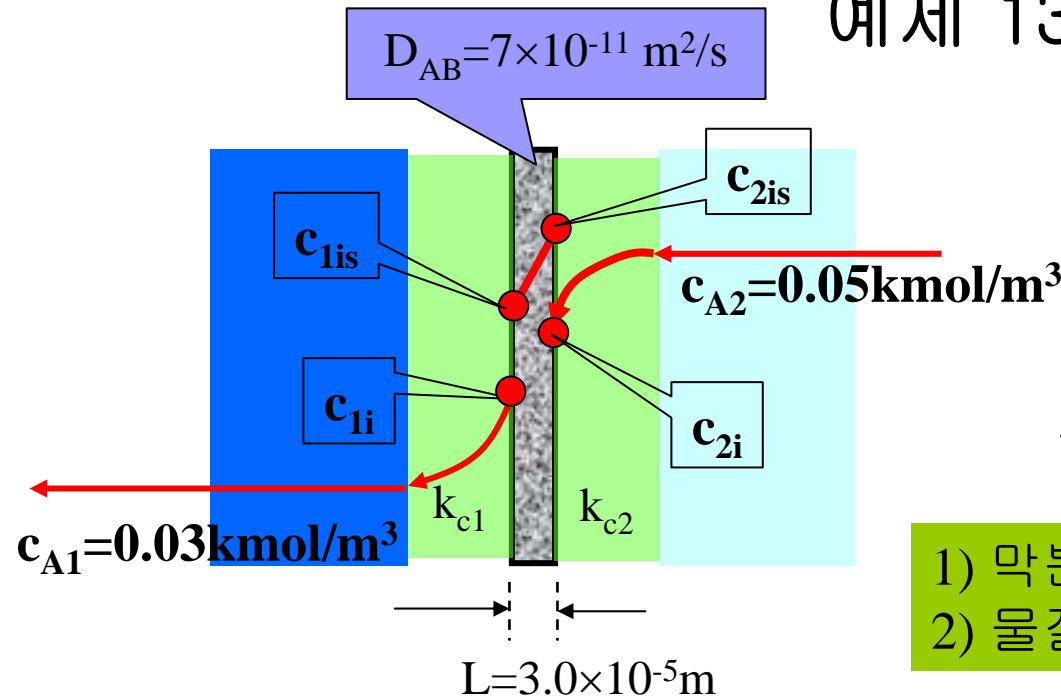
$$+) \quad c_{2i} - c_{A2} = N_A / k_{c2}$$

$$c_{A1} - c_{A2} = \left(\frac{1}{k_{c1}} + \frac{1}{\pi_M} + \frac{1}{k_{c2}} \right) N_A$$

$$N_A = \frac{1}{\left(\frac{1}{k_{c1}} + \frac{1}{\pi_M} + \frac{1}{k_{c2}} \right)} (c_{A1} - c_{A2})$$

Overall mass transfer coefficient of a membrane

예제 13.2-1 액체 투과막 공정



$$K' \equiv \frac{c_{1is}}{c_{1i}} \equiv \frac{c_{2is}}{c_{2i}} = 1.5$$

$$k_{c1} = \infty, \quad k_{c2} = 2.02 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

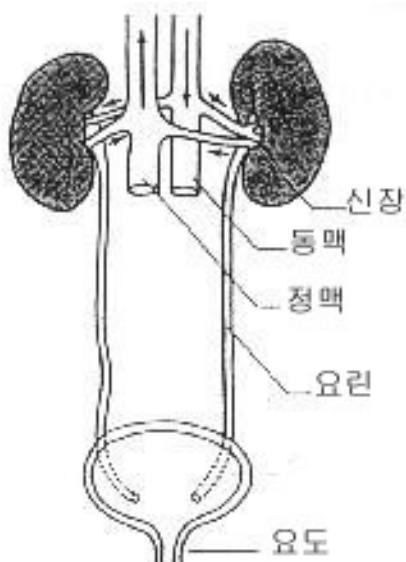
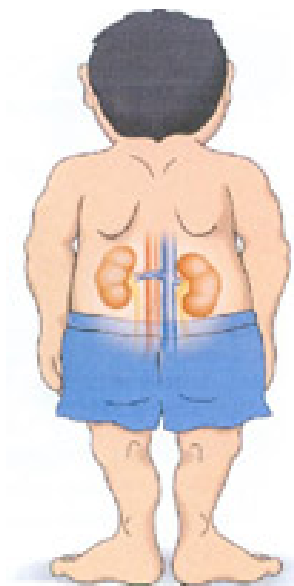
- 1) 막분리 공정을 그림으로 표현하시오.
- 2) 물질전달 flux 를 계산하시오.

$$N_A = \frac{1}{\left(1/k_{c1} + 1/\pi_M + 1/k_{c2}\right)} (c_{A1} - c_{A2})$$

$$\pi_M \equiv \frac{K' \cdot D_{AB}}{L} = \frac{1.5 \times 7 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}}{3 \times 10^{-5} \text{ m}} = 3.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$N_A = \frac{1}{\left(1/\infty + 1/(3.5e^{-6}) + 1/(2.02e^{-5})\right)} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (0.05 - 0.03) \frac{\text{kmol}}{\text{m}^3} = 7.5e^{-8} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \text{ s}}$$

예제 13.2-2 신장에서의 요소 제거



생체막

신장에서 혈액속에 있는 요소의 제거속도를 계산하시오.

알려진 값들:

생체막의 두께 (L) = 0.025 mm,

생체막의 총 면적 (A) = 2 m²

혈액쪽 물질전달계수 (k_{c1}) = 1.25×10^{-5} m/s

요린쪽 물질전달계수 (k_{c2}) = 3.33×10^{-5} m/s

알려진 값들:

혈액속 요소농도 (c_{A1}) = 0.02 g/100ml

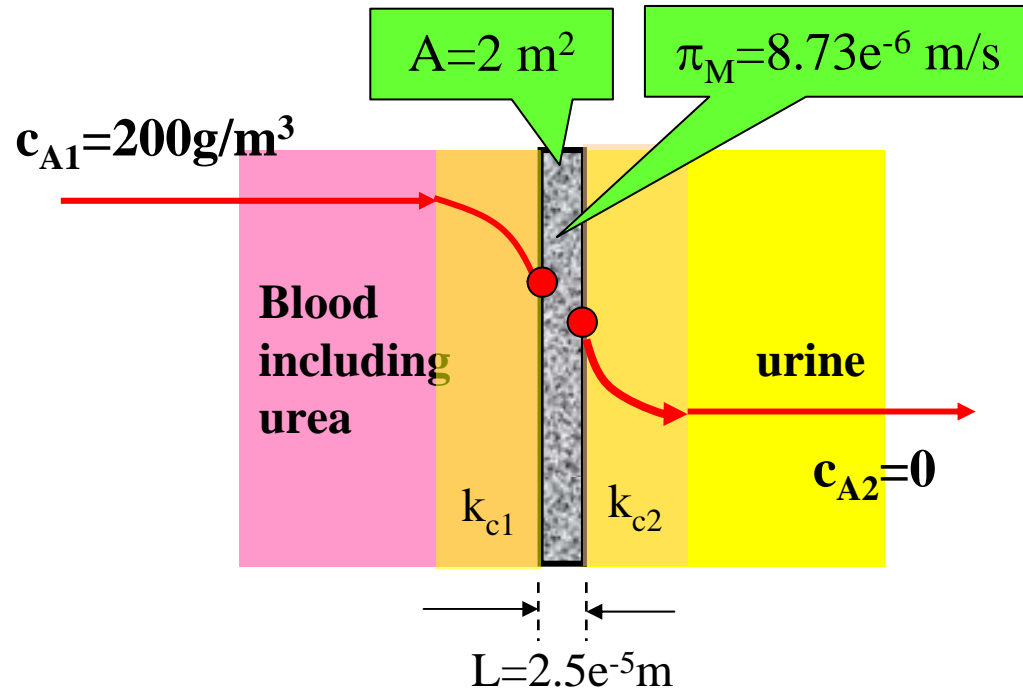
요린속 요소농도 (c_{A2}) = 0.0 g/ml

막투과도 (π_M) = 8.73×10^{-6} m/s

예제 13.2-2 신장에서의 요소 제거



추상화



신장에서 혈액속에 있는 요소의 제거속도를 계산하시오.

알려진 값들:

생체막의 두께 (L) = 0.025 mm,

생체막의 총 면적 (A) = 2 m²

혈액쪽 물질전달계수 (k_{c1}) = 1.25×10^{-5} m/s

요린쪽 물질전달계수 (k_{c2}) = 3.33×10^{-5} m/s

알려진 값들:

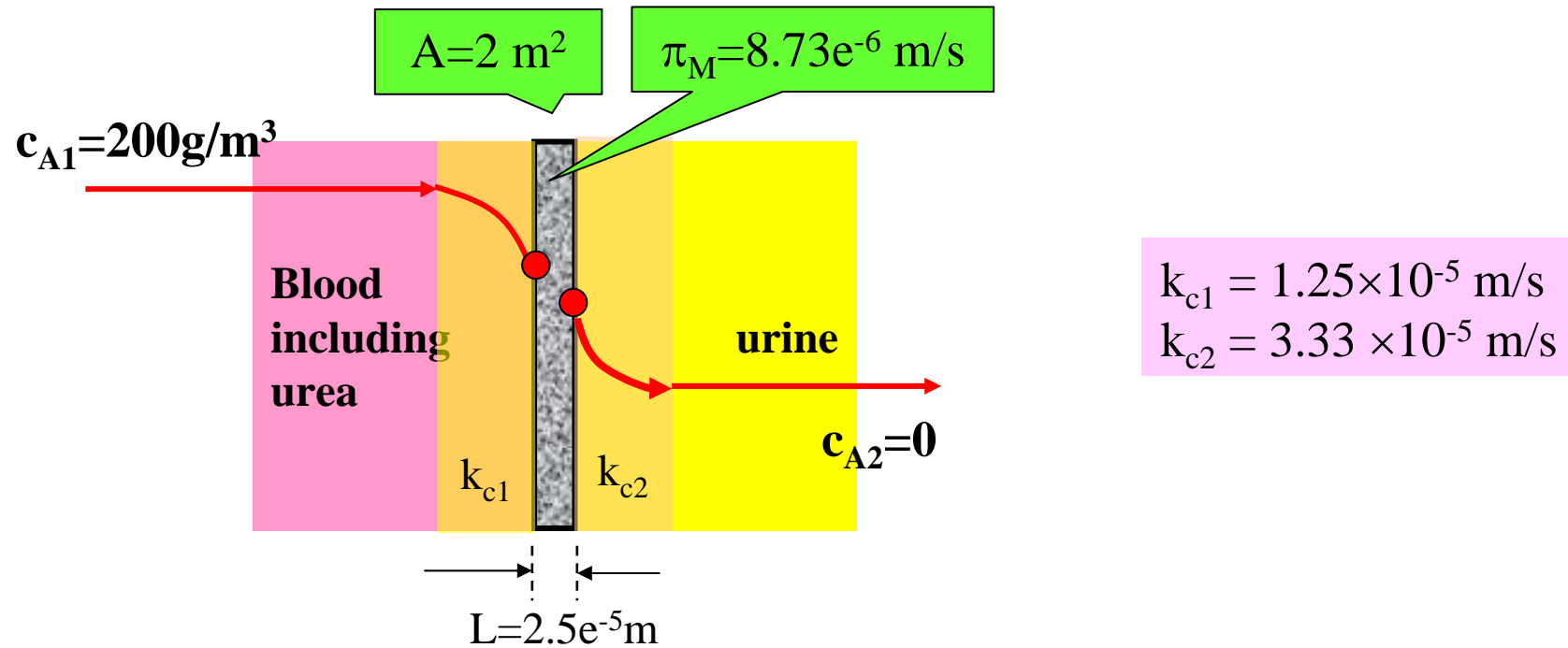
혈액속 요소농도 (c_{A1}) = 0.02 g/100ml

요린속 요소농도 (c_{A2}) = 0.0 g/ml

막투과도 (π_M) = 8.73×10^{-6} m/s

예제 13.2-2

신장에서 혈액속에 있는 요소의 제거속도를 계산하시오.



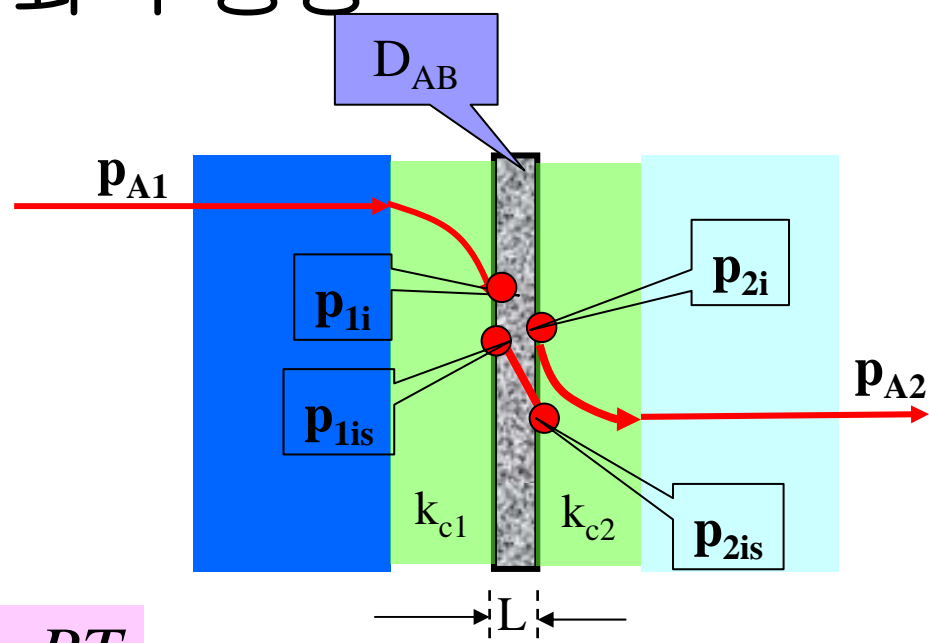
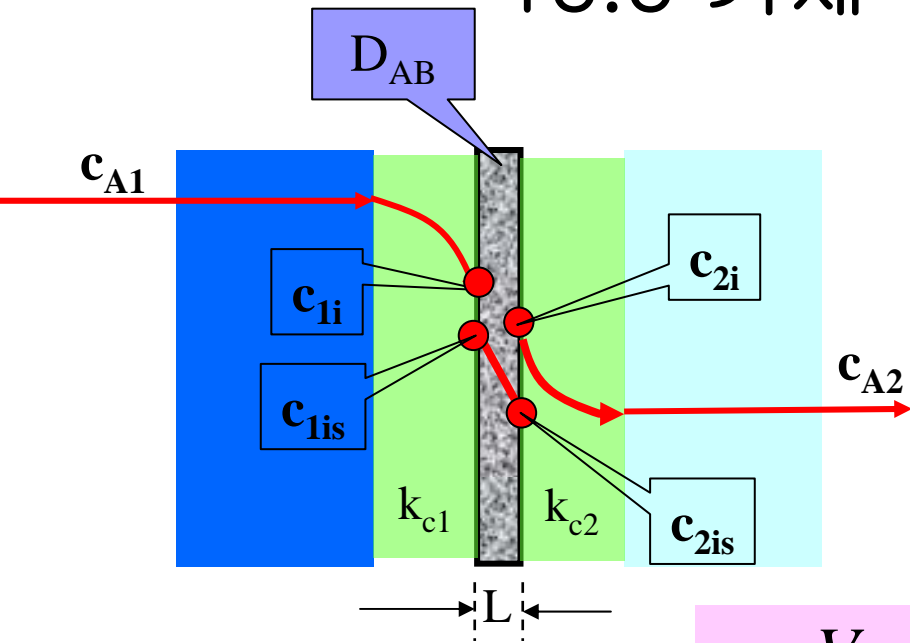
$$k_{c1} = 1.25 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$k_{c2} = 3.33 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$N_A = \frac{1}{\left(1/k_{c1} + 1/\pi_M + 1/k_{c2}\right)} (c_{A1} - c_{A2})$$

$$N_A = 8.91 \times 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

13.3 기체 투과막 공정



$$p_A \cdot V = n_A RT$$

$$c_A \equiv \frac{n_A}{V} = \frac{p_A}{RT}$$

$$N_{A1} = k_{c1} (c_{A1} - c_{1i})$$

$$N_{A2} = k_{c2} (c_{2i} - c_{A2})$$

$$N_M = \frac{K' \cdot D_{AB}}{L} (c_{1i} - c_{2i})$$

$\pi_M = \text{액체막 투과도 [m/s]}$

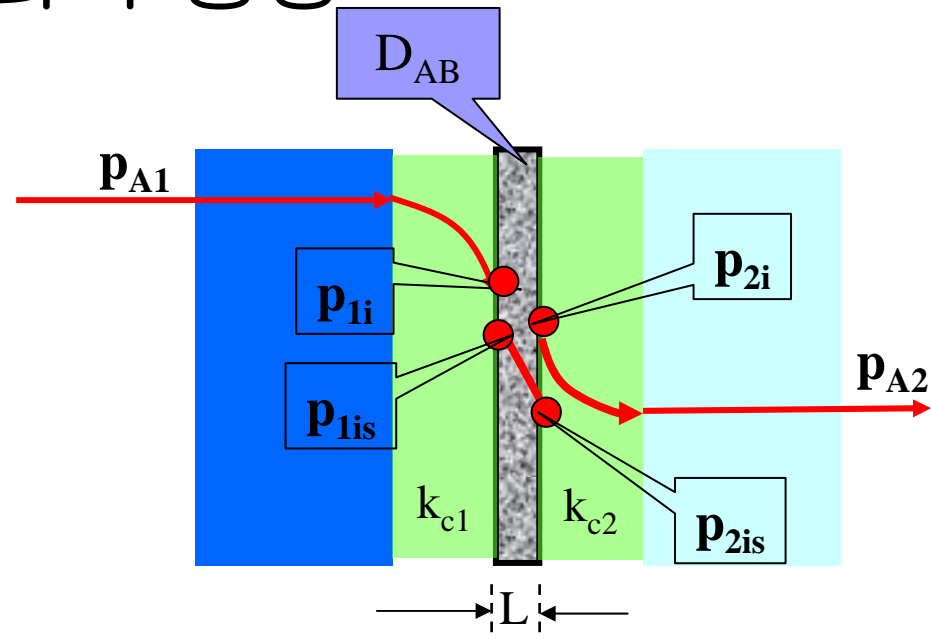
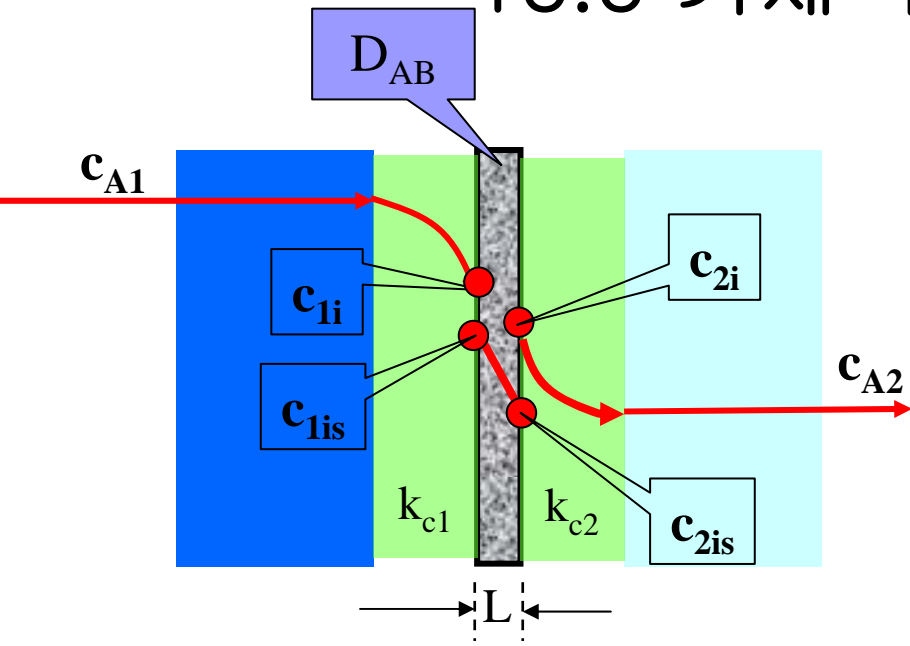
$$N_{A1} = \frac{k_{c1}}{RT} (p_{A1} - p_{1i})$$

$$N_{A2} = \frac{k_{c2}}{RT} (p_{2i} - p_{A2})$$

$$N_M = \frac{K' \cdot D_{AB}}{RTL} (p_{1i} - p_{2i})$$

$\pi_{GM} = K' \cdot D_{AB} / RT$

13.3 기체 투과막 공정



$$N_A = \frac{(c_{A1} - c_{A2})}{(1/k_{c1} + 1/\pi_M + 1/k_{c2})}$$

$$N_A = \frac{(p_{A1} - p_{A2})}{(RT/k_{c1} + L/\pi_{GM} + RT/k_{c2})}$$

$$\pi_M \equiv \frac{K' \cdot D_{AB}}{L} [m/s]$$

$$\pi_{GM} = \frac{K' \cdot D_{AB}}{RT} \left[\frac{kmol}{atm \cdot m \cdot s} \right]$$

13.3C 투과막 공정에 대한 장치 1

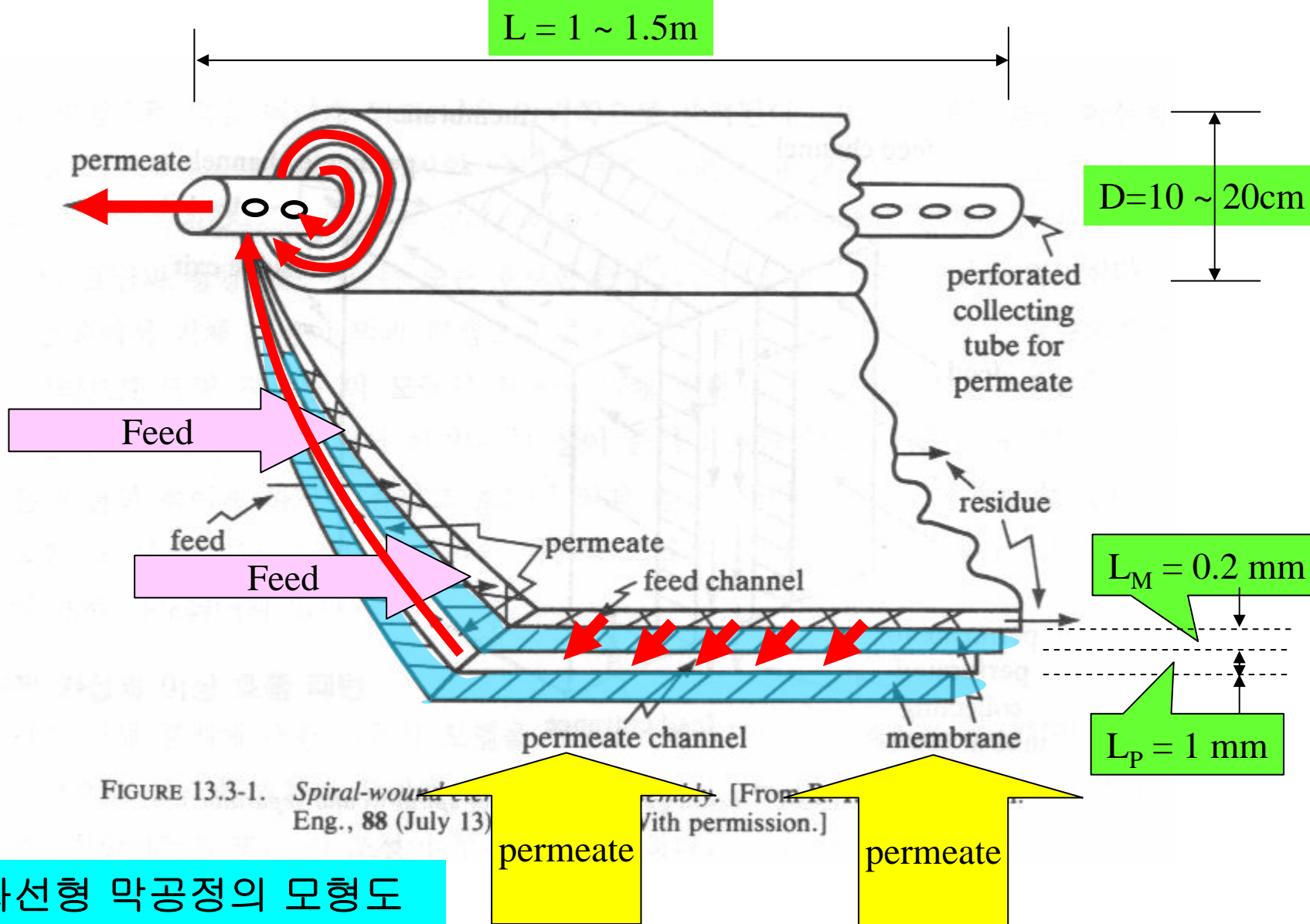
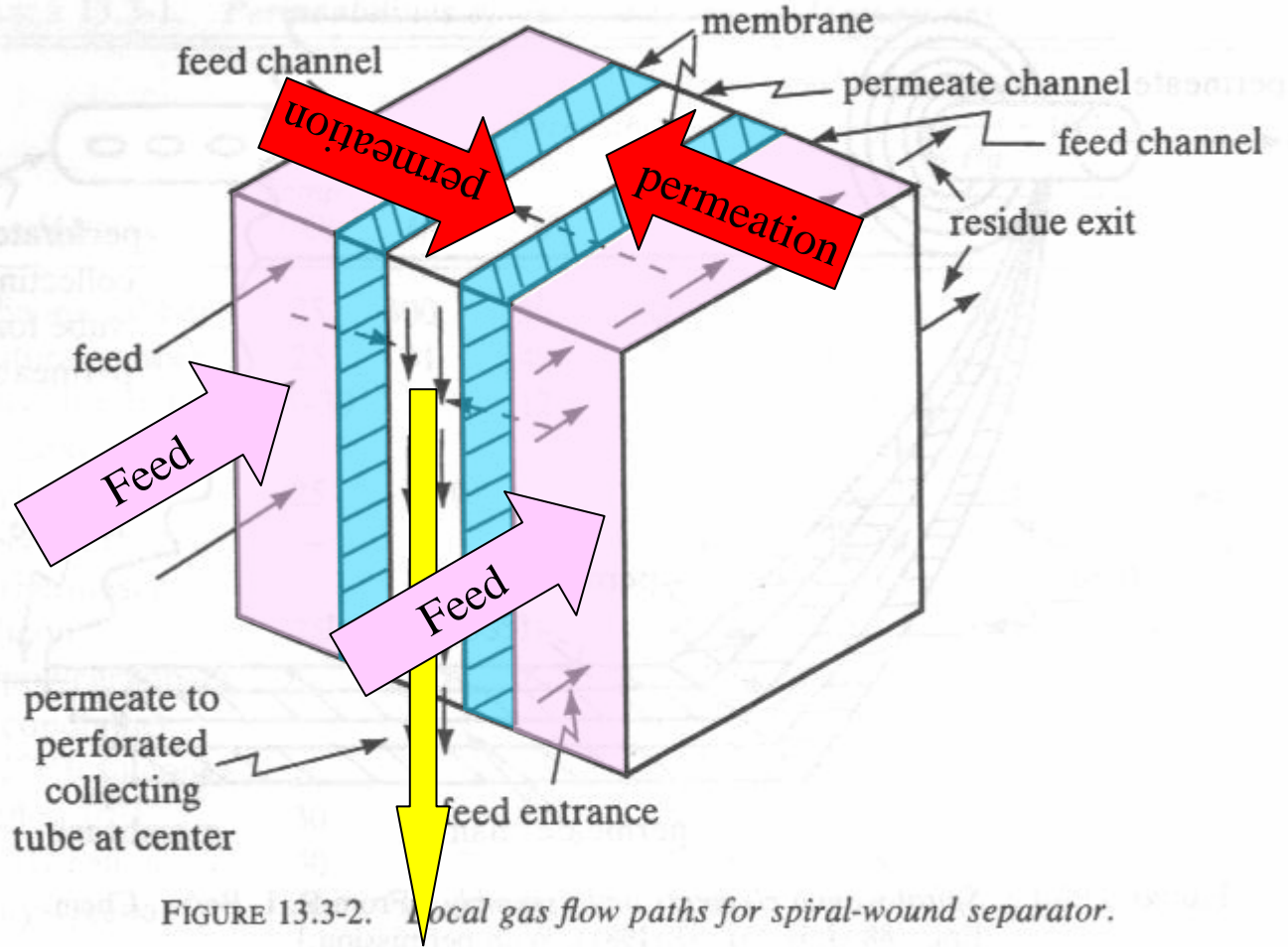


FIGURE 13.3-1. Spiral-wound membrane filtration. [From *Chemical Engineering*, 88 (July 13), 1981, p. 100. Reprinted with permission.]

4겹 나선형 막공정의 모형도

13.3C 투과막 공정에 대한 장치 1



4겹 나선형 막공정에서의 흐름도 (feed & permeate)

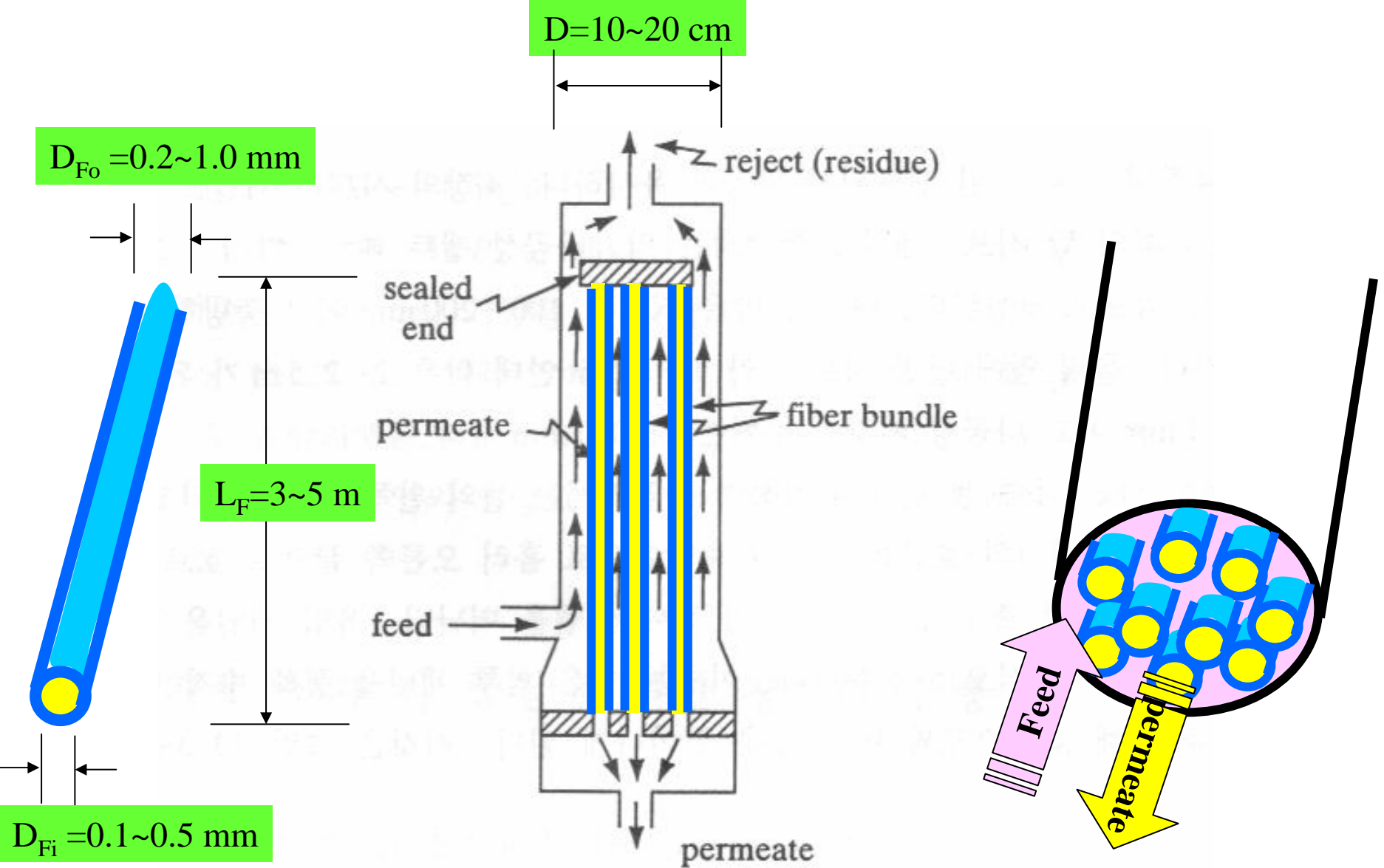


FIGURE 13.3-3. *Hollow-fiber separator assembly.*

속 빈(hollow) 섬유 (fiber) 막 (membrane) 분리공정