

나권형 역삼투 모듈에 의한 Cephalosporin C의 농축분리에 관한 실험연구

신 동 열[†] · 류 정 · 이 용 철

성균관대학교 화학·고분자 및 섬유공학부
(1999년 3월 2일 접수, 1999년 4월 21일 채택)

Experimental Study on Separation of Cephalosporin C by Spiral-Wound Reverse Osmosis Module

Dong-Youp Shin[†], Jeung Ryu, and Yong-Chul Lee

School of Chemical, Polymer and Textile Engineering Sungkyunkwan University, Kyunggi-do 440-746, Korea

(Received March 2, 1999; accepted April 21, 1999)

요 약: 용질배제율이 우수한 나권형 FT-30 폴리아미드 복합막을 사용하여 cephalosporin C를 농축하기 위한 역삼투 농축실험을 하였다. 4~20 kg/cm²의 압력과 100~10000 mg/L의 농도, 그리고 2.8과 5.6 L/min의 유속을 갖는 실험 조건하에서 cephalosporin C 수용액의 수투과율과 용질의 배제율 및 물질전달계수를 구하였다. Cephalosporin C를 분리하는데 있어서 압력이 증가함에 따라 투과 플럭스가 증가하는 것으로 나타났다. 이 결과는 Kedem-Katchalsky 모델에서 예측한 것과 일치하였다. 그리고 배제율은 1에 가까웠다. 또한 공급용액의 농도가 증가할수록 cephalosporin C의 배제율은 낮아지는 것으로 나타났다. 배제율은 고농도보다는 저농도에서 높게 나타났으나 그 감소의 정도는 작았다.

Abstract: Reverse osmosis concentration for cephalosporin C was studied using a polyamide composite membrane, FT-30 in spiral wound type with high solute rejection. The experiments were carried out in the aqueous solution of cephalosporin C for water flux, solute rejection and mass transfer coefficient under applied pressure of 4~20 kg/cm², feed concentration of 100~10000 mg/L and feed velocity of 2.8 and 5.6 L/min at room temperature. The effect of operating pressure on the separation of cephalosporin C showed that permeate flux increased with increasing operation pressure. These results are consistent with those predicted by Kedem-Katchalsky model. Solute rejection was nearly 1. The increase of feed concentration caused the reduction of cephalosporin C rejection, which was higher at low concentration than at high concentration, but degree of reduction was small.

Key words: Cephalosporin C, Reverse osmosis membrane, Mass transfer coefficient

1. 서 론

Cephalosporin C는 1945년에 처음으로 Brotzu가 미생물 *Cephalosporium acremonium* 균을 분리하여 발견한 이래 항생제로서 중요성을 인정받게 되었으며 생산성이 높은 균주개발의 연구 과정에서 1960년 Newton과 Abraham[1]에 의해 그 구조가 밝혀졌다. Cephalosporin C는 *cephalosporium* 균주의 개발과 cephalosporin C cephem핵의 7 β , 7 α 및 3 위치의 변형 및 치환등 반합성 방법에 따라 그 역가가 크게 향상되는 β -lactam계 항생제 중 가장 큰 부분을 차지하고 있는 1차원료이다. 분자량은 415이고 수용성이며 산성이나 알코올에 안정하기 때문에 알코올을 cephalosporin C의 재결정용액으로 사용할 수 있다. 발효를 통해서 생성된 cephalosporin C는 그 자체로는 낮은 항생능력을 갖지만 amide기를 유기화학적으로 또는 효소를 이용하여 절단하면 7-aminocephalosporinic acid(7-ACA)를 만들 수 있는데, 이를 전구물질로 하여 활성이 높은 수많은 항생제들이 개발되고 있으며, 현재 50여 종의 제품이 생산되어 전 세계 항생제 시장의 약 40% 이상을 점유하고 있어 그 중요성을 말해주고 있다[2,3].

Cephalosporin C의 생산 공정에서 생산원가의 큰 부분을 차지하고 있는 생물분리공정의 효율적인 설계와 이에 따른 비용의 절감이 제품 생산의 경제성에 큰 역할을 하고 있어 이에 관한 연구개발과 새로운 기술의 도입에 많은 노력을 기울이고 있다.

이의 제조과정 중 수지에 흡착된 cephalosporin C를 용리 시켜 얻는 저농도의 cephalosporin C 용액을 고농도로 농축하는 현재의 증류 공정은 많은 에너지 비용이 요구되며 열에 불안정한 제품의 특성으로 품질의 향상에 많은 어려움이 있다. 또한 미 분리되어 폐수로 배출되는 용질은 폐수 중에 미량만 존재하여도 많은 냄새가 발생하는 등 심각한 환경오염이 발생하므로 이의 완전한 제거가 필요하다.

막을 이용한 공정은 비교적 최근에 개발된 분리기술 분야로서 그 원리 및 공정이 간단하여 대부분의 기체 및 액체 혼합물의 분리에 이용될 수 있고 물질의 분리속도가 빠름은 물론, 공정효율이 높으며, 상변화가 동반되지 않아 에너지 소비가 적음으로 기존의 분리방법과 비교하였을 경우, 기능적인 면이나 경제적인 측면에서 우수하므로 첨단분리기술로서 그 중요성이 확인되고 있다[4-6].

따라서 본 연구에서는 염 배제율이나 수투과율이 우수한 Film Tech사의 박막 복합막인 BW-30을 이용하여 저농도의 cephalosporin C 용액을 농축하고 동시에 폐수로의 배출을 방지하기 위한 역삼투막 분리실험을 수행하였다.

[†] 주 저자 (e-mail: sdy@hanmail.net)

이 실험을 통해 cephalosporin C를 농축시키는데 영향을 미칠 것으로 예상되는 압력, 온도, 공급유량 등의 운전조건들에 따른 역삼투막의 수 투과 특성 및 용질의 제거율을 조사하고, 이를 바탕으로 cephalosporin C의 농축을 위한 역삼투압 공정의 응용에 필요한 기초 자료들을 제시하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1. 막투과 이론

역삼투 분리공정에 관한 분리메카니즘의 기본 개념적인 모델로는 Sourirajan의 선택흡착 모세관 메카니즘 모델[7]과 수소결합모델[8]이 있으며, 역삼투 투과모델은 확산 모세관 흐름 모델, 용액 확산 모델[9] 등의 투과현상에 근거를 둔 모델들 외에 비가역 열역학 이론을 적용하여 일반적인 관계식을 유도하는 비가역 열역학 현상학적 모델이 있다. 그렇지만 아직까지 역삼투막에 대한 물질의 투과 메카니즘은 확실하게 규명되지 않고 있으며 현재에도 막을 통한 용질 및 용매의 이동현상을 해석하기 위한 막 투과 모델들이 제시되고 있다[10,11].

Kedem과 Katchalsky는 비가역 열역학의 막 이동모델을 도입하고 비평형 열역학 원리와 Onsager의 상관관계를 이용하여 전체부피 투과 속도 J_V , 용질 투과 속도 J_S 에 관한 식을 다음과 같이 나타내었다. 이 이론은 막을 하나의 black box로 보아 용매와 용질의 막 투과가 막 양측의 경계조건에 의해 결정된다는 것으로 Kedem과 Katchalsky가 전달현상식을 사용하여 막에서의 흐름에 대한 관계식을 발전시켰다.

$$J_V = L_P(\Delta P - \sigma\Delta\Pi) \tag{1}$$

$$J_S = C_S(1 - \sigma)J_V + \omega\Delta\Pi \tag{2}$$

- C_S : logarithmic mean solute concentration difference[mg/L]
- L_P : hydraulic permeability of the membrane[cm³/kg · sec]
- ΔP : pressure difference across the membrane[kg/cm²]
- $\Delta\Pi$: osmotic pressure difference[kg/cm²]
- ω : solute permeability of the membrane
- σ : reflection coefficient

역삼투 현상에 있어서 ΔP 는 $\sigma\Delta\Pi$ 보다 커야 하며 σ 의 값이 1에 가까울수록 용질의 배제효과가 높아 바람직하다. σ 를 1로 하면 이들의 식은 다음과 같이 나타난다.

$$J_V = L_P(\Delta P - \Delta\Pi) \tag{3}$$

$$J_S = \omega\Delta\Pi \tag{4}$$

이 식은 용매와 용질의 흐름이 각각 독립적인 식으로 나타나는 용해-확산 모델에 상당하며, 용질의 흐름 J_S 가 부피유속 J_V 에 거의 영향을 받지 않고 일어난다는 것을 의미한다.

2.2. 농도 분극과 물질 전달 계수

역삼투 공정에는 농도분극이라는 제한적 요소가 존재하는데 이는 용매만이 막을 투과하기 때문에 막의 경계면 부근에서 용질이 농축되어 경계면에서의 용질농도가 공급액의 농도보다 높아지는 현상이다. 농도분극 현상에 의해 경계면에서 농도가 증가하면 용액의 삼투압이 증가되어 용매를 투과시키는 추진력이 되는 유효압력이 감소되어 분리 효율의 감소를 초래하게 되며 또한 투과수의 용질농도를 증가시켜 분리효율이 저하된다. 이 현상의 방지를 위해서는 경계면을 흐르는 용액의 유속을 빠르게 하고 난류촉진 기구를

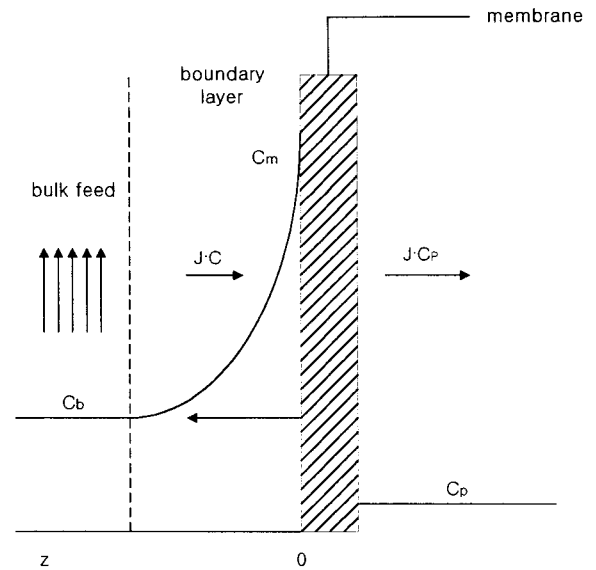


Figure 1. Concentration polarization; concentration profile under steady-state condition.

설치해서 가능한 한 경계면의 경막두께를 얇게 하여 경막의 용질 농도를 저하시켜야 한다[12].

이러한 농도분극현상을 Figure 1에 나타내었는데 여기서 물질전달 계수 k 는 경계층의 두께 δ 와 확산계수 D 의 관계를 통하여 다음의 식으로부터 구한다.

$$J_V C_p = J_V C - D \frac{dC}{dz} \tag{5}$$

$$J_V (C_p - C) = -D \frac{dC}{dz} \tag{6}$$

$$-\frac{J_V}{D} (C_p - C) = \frac{dC}{dz} \tag{7}$$

C_p : permeate concentration[mg/L]

D : diffusion coefficient[m²/sec]

경계 조건은

$$z = 0 \Rightarrow C = C_m \tag{8}$$

$$z = \delta \Rightarrow C = C_f \tag{9}$$

C_m : concentration at the interface of the membrane and retentate[mg/L]

δ : thickness of the boundary layer[m]

C_f : feed concentration

(7) 식을 적분하면

$$\begin{aligned} -\frac{J_V}{D} \delta &= \ln(C_p - C_f) - \ln(C_p - C_m) \\ &= \ln \frac{C_p - C_f}{C_p - C_m} \end{aligned} \tag{10}$$

이 식을 J_V 로 정리하면,

$$J_V = \frac{D}{\delta} \ln \left(\frac{C_p - C_m}{C_p - C_f} \right) \tag{11}$$

이다. 여기서 물질전달 계수 k 는

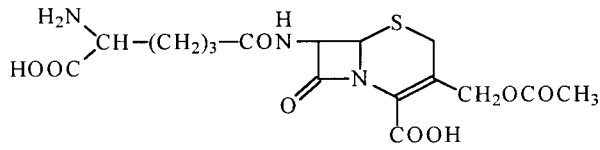


Figure 2. Structure of Cephalosporin C.

$$k = \frac{D}{\delta} \tag{12}$$

이므로

$$J_V = k \ln\left(\frac{C_P - C_m}{C_P - C_f}\right) \tag{13}$$

으로 쓸 수 있고 이것은 또한

$$J_V = k \ln(C_m - C_p) - k \ln(C_f - C_p) \tag{14}$$

이므로 (14)식에서 $\ln(C_f - C_p)$ 대 J_V 를 도식하여 구한 직선의 기울기가 물질 전달 계수인 k 의 값이 된다[11].

3. 실험

3.1. 시약 및 실험장치

본 실험에서 사용한 cephalosporin C(분자량 415)는 주식회사 중근당에서 생산한 제품을 사용하였으며, cephalosporin C의 화학 구조식을 Figure 2에 수록하였다.

실험장치는 Film Tech사에서 제조한 FT-30막의 나권형 모듈인 BW-30막을 장착한 pilot plant를 사용하였다[13]. FT-30막은 활성층과 지지체의 구성물질이 다른 박막형 복합막(TFC: thin film composite)으로 고압에 견딜 수 있는 구조로 되어 있으며, 음전하의 성질을 나타낸다. 그리고 본 실험에서 사용된 막의 투과 면적은 약 2.03 m²이다.

3.2. 실험 방법

3.2.1. 순수 투과 실험 및 정상상태 도달 시간 측정

본 실험에 들어가기에 앞서 막모듈이 가지는 순수 투과 성질을 알아보기 위해 일정온도에서 압력을 변화시킴에 따른 순수 투과 유량변화를 측정하였다. 이때 사용된 순수는 1차 증류수기와 초순수 제조장치로부터 제조된 저항 18 Mohm-cm의 초순수를 사용하였다.

또한 일정 온도에서 공급농도와 운전압력을 변화시켜가면서 접촉시간에 따른 투과량과 용질의 투과농도를 측정하여 막 배제율이 일정하게 나타나는 정상상태에 도달하는 시간을 구하였다. 이를 토대로 하여 공급농도 및 운전압력 등의 실험조건에 따른 시료채취 시간을 결정하였다.

3.2.2. 압력 및 농도의 영향

Cephalosporin C 용액의 농도를 100, 500, 1000, 2000, 3000, 5000, 10000 mg/L로 제조하여 각 농도에 대해 압력을 4, 8, 12, 16, 20 kg/cm²로 단계적으로 변화시켜 가면서 운전압력에 따른 투과액의 유량과 농도를 측정하였다.

3.2.3. 공급 유량의 영향

공급액의 유량이 2.8 L/min과 5.6 L/min인 경우에 있어서 유량 변화가 용질의 배제율과 용매의 막 투과량에 미치는 영향에 대

여 조사하였다.

3.3. 분석방법

본 실험에서부터 얻어진 투과수의 농도는 HPLC(Hewlett Packard: USA)를 사용하여 분석하였다[3]. Column은 비극성 column을 이용하여 분리하였고, 이동상은 물 : methanol : acetonitrile(85 : 14 : 4)을 일정한 비율로 섞은 용액에 sodium tetrabutyl monobasic을 0.06%가 되게 조제한 후 ion-pair를 시켜주는 tetrabutyl ammonium hydroxide로 pH를 7.3으로 보정하였고 이를 0.45 μm 이하로 여과하여 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 순수 투과 실험 및 정상 상태 도달 시간 측정

투과액 유량은 막분리 공정의 설계와 경제성 평가에 중요한 요소이다. 또한 본 역삼투 실험에서 사용된 막모듈의 친수성과 순수 투과 성질을 알아보고자 순수 투과 실험을 실시하였으며, 이를 통해 순수 투과 계수를 구하였다. 압력, 온도와 같은 여러 가지 요소에 영향을 받기 때문에 공급액의 온도를 일정하게 유지하면서 운전압력의 변화에 따른 막 투과액의 유량을 측정하였다. 투과액의 유량은 운전압력의 증가에 따라 선형적으로 증가하였으며 이는 막 투과 이론에서 예견된 바와 같이 투과량이 압력에 비례함을 알 수 있다.

Kedem-Katchalsky식 $J_V = L_P(\Delta P - \sigma \Delta \Pi)$ 에서의 압력과 투과액과의 관계로 나타내어 보면 순수 투과액의 경우 $\Delta \Pi = 0$ 이므로 $J_V = L_P \Delta P$ 로 쓸 수 있다. 따라서 이 식에 투과액의 유량 data와 운전압력을 대입하여 구한 결과 본 실험에 사용된 막모듈의 순수 투과계수 $L_P = 7.3144 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{kg} \cdot \text{sec}$ 이다.

한편 연속식 역삼투공정에 대한 공정변수들의 영향은 용질의 배제율을 통해 정량적으로 표현되는데 이 배제율은 막을 안정화시킨 후 막을 통과한 투과액의 용질의 농도를 측정하여 구한다. 따라서 막의 안정화 여부를 판단하기 위해 연속식 실험을 통해 가동시간에 따른 투과액의 용질의 농도변화를 측정하여 정상상태 도달 시간을 결정하였다. 정상상태 도달시간을 결정하기 위하여 정상상태 도달시간이 가장 늦게 나타나리라고 예상되는 고농도, 저압력에서 수행하였으며, 그 결과 실험 시작후 약 20분 이후에 용질의 배제도가 거의 일정하게 나타나므로 가동 후 약 20분 후에 계가 정상상태에 도달하는 것으로 판단된다.

따라서 본 실험에서는 각 농도에서 계가 정상상태에 도달하였을 것으로 충분히 예상되는 40분 이후에 시료를 채취하여 정상상태에서의 농도를 구하였다.

4.2. 압력 및 농도의 영향

본 실험에서는 cephalosporin C 용액의 농도를 100, 500, 1000, 2000, 3000, 5000, 10000 mg/L로 제조하여 각 농도에 대해 압력을 4, 8, 12, 16, 20 kg/cm²로 단계적으로 변화시켜 가면서 운전압력에 따른 투과액의 유량과 농도를 측정하였다.

실험결과는 예상한 바와 같이 압력의 증가에 따라 막 투과유량이 직선적으로 비례하여 증가하였으며, 용질 배제도는 전반적으로 매우 높은 값을 나타내었다.

Figure 3에 공급 유속이 2.8 L/min인 조건에서 압력의 변화에 따른 막 투과액의 유량을 농도별로 나타내었다. 공급액의 농도가 일정한 경우 압력의 증가에 따라 막의 투과 유량이 증가하는 경향을 나타내었으며 이것은 순수 투과실험에서와 같이 압력의 증가에 따라 막 투과액의 유량은 직선비례의 관계가 나타났다. 또한 공급액의 농도가 증가함에 따라 동일압력에서의 막 투과액의 유량은 대

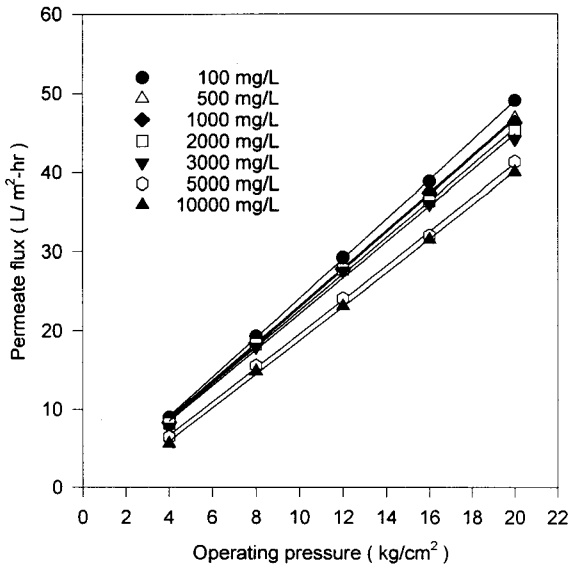


Figure 3. Effect of operating pressure on the permeate flux at the feed flow rate of 2.8 L/min.

체로 감소함을 알 수 있는데 이러한 경향은 조업압력이 높을수록 보다 분명히 나타났다. 공급유속이 5.6 L/min인 경우에도 비슷한 경향을 보였다.

이것은 역삼투 실험에서 막투과 추진력인 유효압력 ($\Delta P - \sigma \Delta \Pi$) 이 농도 증가에 의한 용액의 삼투압 차의 증가와 막투과의 수식적 고찰을 통해 구한 $\sigma \Delta \Pi$ 의 증가로 인해 감소하기 때문에 막투과 유량이 감소하는 것으로 사료된다.

용질의 배제율을 구하기 위해 운전압력의 변화에 따른 막 투과 농도의 변화를 구한 결과를 Figure 4에 나타내었다. 도입 용액의 농도가 2000 mg/L 이하의 저농도인 경우에는 모든 압력범위에서 막을 투과한 용질이 검출되지 않았으며, 투과용질의 농도가 가장 높게 검출된 도입농도 10000 mg/L, 조업압력 4 kg/cm²의 조건에서도 최대 농도가 4 mg/L 이상이 되지 않았다. 이는 거의 모든 실험조건에서 99.95% 이상의 아주 높은 배제율을 나타냄을 의미한다. 따라서 본 실험의 조건에서는 도입된 용질이 모두 배제되는 것으로 판단된다. 따라서 본 농축실험 조건하에서 발생된 투과수를 사용조건에 따라서 그대로 또는 약간의 후 처리를 거쳐 냉각수는 물론 공정수로 재활용하거나 방류할 수 있어 원가절감의 효과를 얻을 수 있을 것이라고 사료되며 또한 유사한 조건을 갖는 동종폐수의 처리에 이 공정을 활용할 수 있으리라고 기대된다. 실제로 이것은 본 실험 결과 나온 투과수를 단순히 활성탄 흡착탑을 통과시킨 것만으로도 투과수에 미량 함유되어 있는 cephalosporin C가 모두 제거됨을 확인할 수 있었다. 따라서 폐수의 무방류화를 실현하기 위해서는 본 장치에 적당한 전처리와 후처리 장치를 개선하여 결합하고 농축수의 처리문제를 해결함으로써 가능하리라고 사료된다.

4.3. 공급 유량의 영향

공급유량의 영향을 살펴보기 위하여 공급액 유량이 2.8 L/min과 5.6 L/min인 각 경우에 대하여 운전압력에 따른 막 투과유량의 변화를 Figure 5에 수록하였다.

이 그림을 살펴보면 전체적으로 동일 압력하에서 공급 유량이 증가할수록 투과유량은 증가하였으며 그 증가폭을 살펴보면 공급액의 농도가 낮은 경우에는 모든 조업압력범위에서 투과액이 거의 일정하게 증가하였다. 반면에 고농도의 경우에는 저압에서 투과액의 유량변화가 거의 없으나 고압으로 압력이 증가함에 따라 투과

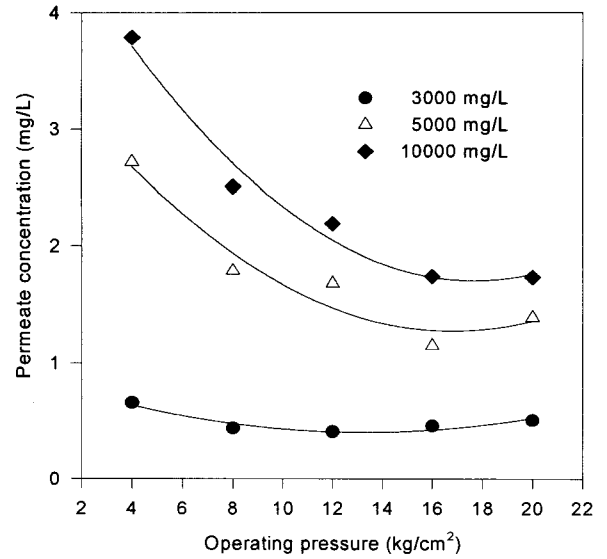


Figure 4. Relationship between permeate concentration and operating pressure at the feed flow rate of 2.8 L/min.

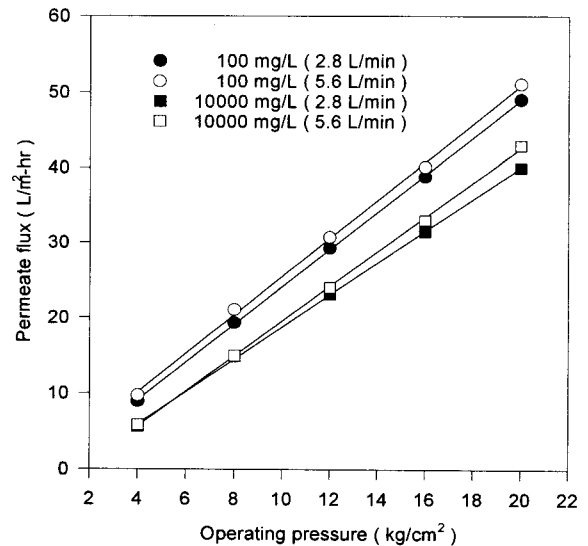


Figure 5. Permeate flux as a function of operating pressure at different feed flow velocities.

액의 유량이 증가하는 경향을 보였고, 동일 조업압력에서 공급 유량이 2.8 L/min에서 5.6 L/min로 두 배로 증가할 때 공급농도 100 mg/L인 경우에 약 2.3%, 그리고 10000 mg/L인 경우에 약 8.2%의 최대 증가율을 보였다. 이것으로 보아 공급농도의 농도가 증가할수록 농도 분극화 현상이 보다 더 강하게 작용하는 것으로 판단된다. 공급유량이 증가하면 투과 유량이 증가하는데 이는 공급유량의 증가로 인하여 난류를 형성시키고 이것은 막 표면에 형성된 농도 분극층을 감소시켜 유효압력차를 크게 하기 때문인 것으로 사료된다.

또한 동일 공급농도의 경우에는 전체적으로 막투과 유량에 미치는 영향은 공급유량이 증가할 때 투과 유량은 크게 증가하지 않으나 운전압력이 증가하면 투과 유량은 크게 증가하므로 막 투과 유량에 영향을 주는 주된 요소는 공급액의 유량보다는 운전압력의 변화이며 따라서 전체 막 투과 물질전달 저항에 크게 영향을 미치는 것은 공급액의 유량보다는 오히려 운전압력의 변화에 더 기인한다는 것을 의미한다.

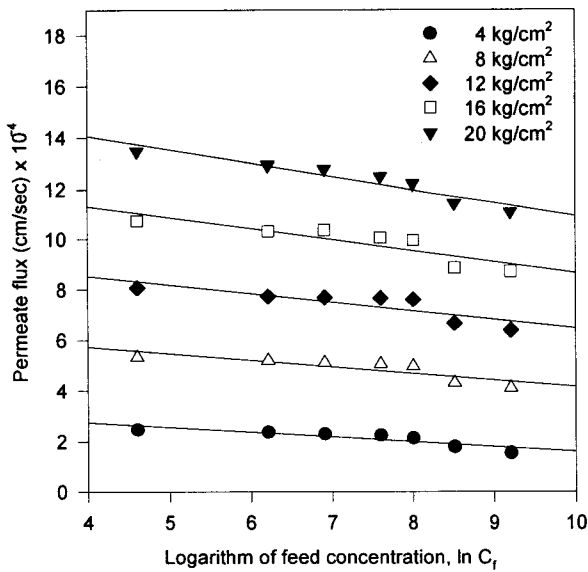


Figure 6. Permeate flux versus the logarithm of feed concentration for varying operating pressures at the feed flow rate of 2.8 L/min.

4.4. 물질 전달 계수

Cephalosporin C의 물질전달계수 k 는 (14)식에 의해 구할 수 있다. 본 실험의 경우에는 투과 유량의 농도 C_p 가 거의 0에 가깝기 때문에 (14) 식은

$$J_V = k \ln C_m - k \ln C_f \tag{15}$$

로 쓸 수 있다. Figure 6에 J_V 와 $\ln C_f$ 의 관계를 도시하였는데 이때의 기울기가 물질전달계수 k 가 된다. Figure 6의 기울기로부터 구한 물질전달계수를 Table 1에 수록하였다.

Table 1을 살펴보면 일정한 공급유량에서는 운전압력이 증가함에 따라 물질전달계수가 급격히 증가하였는데 이는 막 투과 유량에 영향을 주는 주된 요소가 운전압력임을 의미한다. 한편 일정 운전압력에서 공급유량이 증가함에 따라 또한 물질전달계수도 증가하였는데 이는 공급유량의 증가로 인하여 막 경계층 주위에 난류를 형성시켜 막 표면에 형성된 농도 분극층을 감소시켜 유효압력차를 크게 하기 때문에 증가하는 것으로 사료된다.

물질전달계수 k 를 통하여 물질 전달 속도를 상대적으로 비교할 수 있는데 이것은 또한 막 표면에서의 용질의 농도를 알아보는데 유용하게 이용될 수 있다.

Figure 6의 y축 절편과 식 (15)로부터 막 표면의 농도를 구할 수 있다. y축 절편값이 식 (15)의 $k \ln C_m$ 이므로 그래프의 기울기로부터 구한 물질전달계수를 알면 막 표면의 농도를 계산할 수 있다. 본 실험조건하에서 각각의 공급농도에 따른 막 표면에서의 cephalosporin C의 농도를 구한 결과 모든 농도범위에서 거의 무한대 값을 나타내었다. 이것은 한외여과막에서 일반적인 용질의 배제율이 99.9%일 때 막 표면의 농도가 공급액의 농도보다 약 1000배정도 높은 것으로 문헌에 보고된 것과 비교해 볼 때 본 실험에 사용된 역삼투막의 배제율이 거의 1에 가깝기 때문에 타당한 결과인 것으로 사료된다[14].

5. 결 론

폴리아미드계통의 상용 박막 복합막인 FT-30이 장착된 BW-

Table 1. Mass Transfer Coefficients with Operating Pressure

Operating pressure (kg/cm ²)	Mass transfer coefficient (cm/sec) (feed flow rate 2.8 L/min)	Mass transfer coefficient (cm/sec) (feed flow rate 5.6 L/min)
4	1.960×10^{-5}	2.294×10^{-5}
8	2.695×10^{-5}	3.023×10^{-5}
12	3.567×10^{-5}	3.976×10^{-5}
16	4.303×10^{-5}	4.588×10^{-5}
20	5.591×10^{-5}	5.750×10^{-5}

2540 모듈을 이용하여 cephalosporin C의 농축을 위한 연속식 역삼투 분리 실험을 수행하여 상온에서 각 공정변수들이 역삼투막의 용질 배제에 미치는 영향을 검토하고 물질전달 계수를 구하였다.

일정 유속에서 조업압력이 증가할수록 그리고 공급액의 농도가 감소할수록 막 투과 flux가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 Kedem-Katchalsky 모델에서 $\sigma = 1$ 인 경우에 압력과 삼투압이 막 투과 유량에 주된 영향을 준다고 예상한 바와 일치하였다. 또한 동일 조건에서 공급유량이 증가함에 따라 막투과 flux가 증가하였지만 그 증가율은 크지 않았다. 모든 실험압력범위에서 99.95% 이상의 높은 배제율을 얻었으며 물질전달계수는 압력이 증가함에 따라 증가하였으며, 이것으로부터 구한 막 표면에서 용질의 농도는 배제율이 거의 1이기 때문에 거의 무한대로 증가하였다.

이상의 결과로부터 cephalosporin C의 농축분리공정에 역삼투막 공정이 적합함을 확인할 수 있었다. 또한 발생된 투과수를 사용조건에 따라서 재활용하거나 방류할 수 있어 원가절감의 효과는 물론 유사한 조건을 갖는 동종폐수의 처리에 이 공정을 활용할 수 있으리라고 기대된다. 나아가 폐수의 무방류화를 실현하기 위해서는 본 장치에 적당한 전처리와 후처리 장치를 개선하여 결합하고 농축수의 처리문제를 해결함으로써 가능하리라고 사료된다.

참 고 문 헌

1. E. P. Abraham and P. B. Loder, Cephalosporins and Penicillins, Academic press, New York (1974).
2. A. Bernard and M. Ferda, Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook, 2ed. Stockton Press (1991).
3. 신상규, 발효 및 생물분리에 의한 Cephalosporin C 생산, 박사학위논문, 성균관대학교(1995).
4. Z. Amajad, Reverse Osmosis; Membrane Technology, Water Chemistry and Industry Application, Van Nostrand Reinhold, New York, (1993).
5. P. Erickson, *J. Membr. Sci.*, **36**, 297(1988).
6. W. S. W. Ho and K. K. Sirkir, Membrane Handbook, Van Nostrand Reinhold, New York(1992).
7. S. Sourirajan, *I & EC Fundamentals*, **2**, 1(1963).
8. C. E. Reid, *J. Appl. Poly. Sci.*, **1**, 133(1959).
9. H. K. Ronsdale, U. Merten, and R. L. Riley, *J. Appl. Poly. Sci.*, **9**, 1341(1965).
10. J. G. A. Biter, Transport mechanisms in membrane separation processes, Plenum Press, NewYork (1991).
11. J. G. Wijmans and R. W. Baker, *J. Membr. Sci.*, **107**, 1(1995).
12. M. Mulder, Basic Principles of Membrane Technology, Kluwer Academic Publishers. MA (1991).
13. 류 정, 이용철, 폴리아미드 역삼투막을 사용한 m-Cresol의 제거, 성균관대학교 논문집(과학기술편), **48**, 489(1997).
14. G. Chen, X. Chai and P. L. Yue, *J. Membr. Sci.*, **127**, 93(1997).