

Polyethylene Glycol을 이용한 Cross-Flow Ultrafiltration에 있어서 운전조건의 영향

유근우[†] · 서형준*

장안대학 환경공학과, *인하대학교 공과대학 환경공학과
(1997년 12월 16일 접수, 1998년 8월 21일 채택)

The Effect of Operating Conditions on Cross-Flow Ultrafiltration with using Polyethylene Glycol

Kun-Woo Yoo[†] and Hyung-Joon Seo*

Department of Environmental Engineering, Jang-An College, Suwon 445-756, Korea

*Department of Environmental Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received December 16, 1997; accepted August 21, 1998)

요약: 본 연구는 두 종류의 Polyethylene Glycol(PEG, M_w : 8000, 20000)을 cross-flow로 한외여과(막: 분획분자량 6000, 20000)함에 있어서 시간, 운전압력, 유입농도, 그리고 순환유량의 변화에 따라 투과유속과 제거율의 관계를 조사하는데 목적을 두고 있다. 실험진행에 있어서 운전압력은 7, 14, 28 psi의 3단계로, 순환유량은 1000 mL/min와 2000 mL/min 두 가지로, 그리고 유입농도도 100 mg/L과 1000 mg/L의 두 가지로 하여 실험하였다. 투과유속은 PEG의 분자량과 농도가 작을수록 압력증가와 함께 증가하였으며, 걸보기제거율(R_o)은 PEG의 분자량과 농도가 클수록 증가하였다. 그러나 압력이 증가되었을 때 R_o 는 감소하였다. 일정한 압력하에서 PEG수용액의 투과유속과 R_o 는 시간변화(8 h)에 관계없이 일정하였다. 순환유량의 변화에 있어서 투과유속에는 거의 영향이 없었으나, R_o 는 순환유량이 큰 경우가 높게 나타났으며, 두 순환유량의 경우 모두 압력증가와 함께 R_o 는 감소하였다. 한편, 투과유속과 조작압력의 거동을 분석하기 위해 사용된 투과도비(α)는 조작압력과 순환유량의 증가와 함께 증가하였으며, 모든 경우에서 1보다 작게 나타났기 때문에 농도분극현상을 분석할 수 있었다. 그리고 물질전달계수로부터 얻은 진제거율(R)은 압력증가와 함께 감소하였으며, 선유속과 PEG의 분자량이 클수록 높게 나타났다.

Abstract: The objective of this study was to investigate the effect of running time, operating pressure, feed concentration and circulation rate on the permeation flux and the rejection rate in cross-flow ultrafiltration of polyethylene glycol(PEG) solution of molecular weight(M_w) 8000 and 20000. The membranes used for this study were MWCO(Molecular Weight Cut-off) of 6 K and 20 K. The experiments were performed at the operating pressures of 7, 14 and 28 psi, the circulation rates of 1000 mL/min and 2000 mL/min, and the feed concentration of 100 mg/L and 1000 mg/L. At a constant pressure, the permeation flux and the observed rejection(R_o) appeared to be approximately constant within the range of running time, 0~480 min. The permeation flux increased with increasing the operating pressure, and it increased with decreasing the feed concentration and decreasing M_w of PEG at a given pressure. On the other hand, R_o decreased slightly with increasing the operating pressure. However, R_o increased with increasing the feed concentration and increasing of M_w of PEG at a given pressure. The variation in circulation rates did not cause any significant influence on the permeation flux. Increasing of circulation rate caused the increase of R_o , and R_o was increased substantially with the decrease of M_w of PEG. The dimensionless parameter, permeability ratio(α), which was used to investigate flux-pressure behavior, was increased with the increase in circulation rate and operating pressure. The value of α was less than 1 in all cases. The estimated intrinsic rejection(R), which was obtained from mass transfer coefficient, was decreased with the increase of operating pressure. However R increased with the increase of linear velocity of feed and M_w of PEG

Key words: Polyethylene Glycol, Cross-flow Ultrafiltration

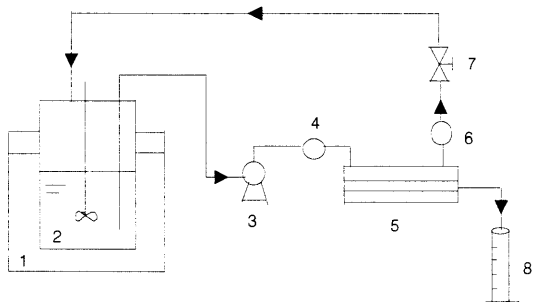
1. 서론

막분리공정은 크게 역삼투, 한외여과 및 정밀여과등으로 분리되며, 이 중 한외여과는 초순수제조, 유기물회수, 폐수처리 등 많은 분야에서 이미 필요불가결한 분리공정으로 되어 왔다.

막재료는 초기에 주로 cellulose acetate였으나 오늘날에는 고온 및 강산성 등의 조건하에서도 기능을 잘 발휘할 수 있는 aromatic polyamides, polysulfone 및 polybenzimidazolone 등이 이용되고

있다. 막여과 공정에 있어서 재래식 공정은 여과시간이 지남에 따라 막 위에 퇴적하는 불용물로 인하여 여과속도가 급격히 떨어지는 문제점이 있었으나 tangential flow or cross flow 여과공정이 개발됨에 따라 획기적인 개선이 이루어 졌다[1-5]. Cross flow여과는 기존의 여과방법과 달리 공급액 방향과 여과액의 흐름방향이 직교하고 있기 때문에 막위에 퇴적하는 불용물을 밀어낼 수 있도록 되어 있으며, 여과에 영향을 미칠 수 있는 변수를 적절히 조정함으로써 여과효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라[6] 여과막의 수명을 대폭 연장할 수 있다[2]. Cross flow여과는 초기에 다공성 막을 이용하여 alumina, kaolin clay와 같은 광물질 분리에 이용되었다

[†] 주 저자 (e-mail: kwyoo@www.jangan.ac.kr)



1. Water bath 2. Feed solution 3. Centrifugal pump
4. Inlet pressure gauge 5. Cross-flow UF module
6. Outlet pressure gauge 7. Pressure control valve
8. Graduated cylinder

Figure 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Table 1. Characteristic of UF Membrane

막	분획분자량	순수투과도(실험값) (m ³ /m ² · day · atm)
UF-6K-PSO-07 (hydrophobic)	6000	1.01
UF-20K-PSO-07 (hydrophobic)	20000	1.66

[7]. 지금까지의 cross flow여과에 대한 연구는 주로 bentonite, polyethylene glycol, dextran, 단백질과 같은 물질에 관한 것으로 gel층 이론에 의해서 잘 설명되고 있다[7,8]. Polyethylene glycol (PEG)은 수용성 고분자이며 분자량이 다양하다. 이 PEG는 실질적으로 산업에서 계면활성제의 한 성분으로서 사용되고 있으며, 또한 난분해성으로서 오염 원인 물질이기도 하다. 따라서 한외여과막을 평가하는데 널리 이용되고 있다[10,12].

본 연구는 PEG나 이와 유사한 유기물을 한외여과막으로 여과함에 있어서 보다 최적의 운전조건을 조사하기 위해 PEG를 용질로서 사용하였으며, PEG의 분자량과 농도를 달리하면서 분획분자량이 서로 다른 평막에 cross-flow로 여과하여 운전조건(압력, 농도, 재순환속도 등)에 따른 투과유속과 제거율 관계를 조사하고 그 특성치를 평가하므로써 막으로 수처리하는 경우에 보다 유리한 조건을 제공하는데 그 목적을 두었다.

2. 실험

2.1. 실험장치

본 실험에 사용한 장치는 Figure 1과 같다. 사용된 UF module은 Bio-Recovery사의 X-FLO laboratory cross-flow membrane module로서, module의 유로높이와 유로길이는 각각 0.84 mm, 152 mm이었다.

2.2. 실험조건

2.2.1. UF막

본 실험에서 사용된 UF막은 재질이 polysulfone이고, 막 면적이 100 cm²인 평막을 이용하였으며 그 특성은 Table 1에 나타났다.

2.2.2. 용 질

본 실험에서 사용된 용질은 수용성 고분자인 polyethylene glycol

Table 2. Characteristics of PEG

용 질	분자량 (g/mole)	확산계수 (m ² /s) [*]	조제농도 (mg/L)	TOC농도 (mg/L)
PEG 8000	8000	1.17×10 ⁻¹⁰	100	68.20
			1000	574.5
PEG 20000	20000	7.55×10 ⁻¹¹	100	66.93
			1000	572.5

* 식 (5)에 의해서 계산되었음.

Table 3. Experimental Parameters and Conditions

대상물질	조작변수	조작조건	막종류(MWCO)
순수	압력(psi)	7	6000, 20000
	온도(℃)	25, 35, 45	
PEG 8000, 20000	온도(℃)	25±0.5	
	압력(psi)	7, 14, 28	
	농도(mg/L)	100, 1000	
	순환양(mL/min)	1000, 2000	
	운전시간(min)	30 ~ 480	

(이하 PEG)을 이용하였으며 그 특성은 Table 2에 나타내었다. PEG의 분자량을 8000과 20000으로 선정한 이유는 사용된 두 종류의 막의 크기를 기준으로 할 때, 막크기 보다 작거나, 동일하거나 아니면 큰 PEG수용액을 여과시켰을 경우의 운전조건의 영향을 조사하는데 있어서 적당한 크기라고 생각되었기 때문이다.

2.2.3. 온도, 교반속도 및 조작압력 결정

반응조내의 모든 용액은 25±0.5 ℃로 일정하게 유지시켰으며, 교반속도는 150 rpm으로 일정하게 유지시키면서 PEG용액을 cross-flow type의 module에 통과시켰다. 한편, 평막에서의 조작압력은 module 출입구의 평균압력으로 하여 7, 14, 28 psi의 3단계로 나누어서 조작압력에 따른 투과유속과 제거율을 조사하였으며, 일부 막에 대해서는 순환유량의 변화에 따른 투과유속과 제거율의 관계도 조사하였다. 그리고 투과액의 농도는 TOC분석기(SHIMADZU TOC-5000A)에 의해서 TOC농도로 나타내었다.

2.3. 실험방법

먼저 분획분자량이 각각 6000, 그리고 20000인 한외여과막에 대해 순수를 사용하여 7 psi의 압력하에서 온도를 25, 35, 그리고 45 ℃로 변화시켜 가면서 시간변화에 따른 투과유속을 측정하였다. 그리고 3종류의 한외여과막 각각에 대해서 분자량이 8000과 20000인 PEG 수용액의 농도를 100, 1000 mg/L으로 하여 압력변화 및 운전 시간에 따른 투과 유속과 제거율을 측정하였다. 또한 각 운전압력 조건하에서 순환량을 1000, 2000 mL/min으로 하여 8시간의 운전 동안 시간변화에 따른 투과유속과 제거율의 변화를 조사하였다. Table 3은 실험 조작 변수 및 조건을 나타낸 것이다.

3. 이 론

3.1. 순수투과유속과 용액투과유속과의 관계[10]

용질이 존재하지 않은 상태에서 한외여과막을 통한 순수 투과유

속은 식 (1)로 표현되는 Darcy법칙에 의하여 묘사할 수 있다.

$$J_V^0 = L_{p,\eta}^0 \cdot \Delta P / \eta \quad (1)$$

여기서 J_V^0 는 순수투과유속($m^3/m^2 \cdot day$), ΔP 는 압력차(atm), η 는 투과액의 점도, 그리고 $L_{p,\eta}^0$ 는 순수투과계수이다. 한편, 용질의 수송은 두 가지 무차원 매개변수 즉, 걸보기제거율 R_0 와 투과비 α 에 의해서 특성화시킬 수 있다. 투과도비(α)는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$\alpha = L_{p,\eta}^s / L_{p,\eta}^0 \quad (2)$$

여기서 $L_{p,\eta}^s$ 는 용액의 투과계수이며 식 (3)으로부터 계산된다.

$$L_{p,\eta}^s = J_V^s \cdot \eta / \Delta P \quad (3)$$

여기서 J_V^s 는 용액의 투과유속이다.

그러므로 α 는 막투과도에 있어서 용질의 영향에 대한 지표이다. 즉, $\alpha < 1$ 은 막의 공극율이 용질의 존재에 의해서 작아졌다는 것을 의미하며, 반면에 $\alpha = 1$ 은 투과도가 용질의 존재에 의해서 수정되지 않아도 된다는 것을 가리키는 것이다. 즉, Darcy법칙이 적용될 수 있다는 의미이다.

3.2. 물질이동계수(11)

농도분극층내에서 PEG의 물질이동계수 k 는 평막에 대해서 Leveque식의 이론해인 식 (4)로부터 산출된다.

$$k = 0.816(6UD^2/b \cdot L)^{0.33} \quad (4)$$

여기서 k 는 물질이동계수(m/s), U 는 유로내의 선유속(m/s), b 는 유로 높이(m), L 은 유로 길이(m), 그리고 D 는 대단히 적은 PEG농도에서의 확산계수(m^2/s)이며, 식 (5)로부터 구한다.

$$D = 8.76 \times 10^{-9}(M_w)^{-0.48} \quad (5)$$

3.3. 제거율

용질의 걸보기제거율 R_0 은 투과액의 PEG농도 c_p 및 원액농도 c_b 에 따라 식 (6)으로부터 산출 된다.

$$R_0 = 1 - (c_p/c_b) \quad (6)$$

한편, 진제거율 R 은 농도분극모델로 부터 유도된 농도분극식 (7)과 식 (8)에 의해서 산출된다.

$$(c_m - c_p) / (c_b - c_p) = \exp(J_V^s/k) \quad (7)$$

$$R = 1 - (c_p/c_m) \quad (8)$$

여기서 c_m 은 막-용액 계면에서의 용질농도이다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 순수 투과유속에 대한 온도의 영향

한외여과막에서 온도변화에 따른 투과유속의 변화를 조사하기 위해 순수를 이용하여 조작압력 7 psi, 순환유량 1.7 L/min에서 온도를 25, 35, 그리고 45 °C로 변화시켜 한외여과막 6 K와 20 K에 대한 투과유속을 측정된 결과를 Figure 2에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 온도가 증가할수록 투과유속이 증가하고 있음을 알 수 있는데, 이는 식 (1)에서 나타낸 바와 같이 물의 점성이 온도

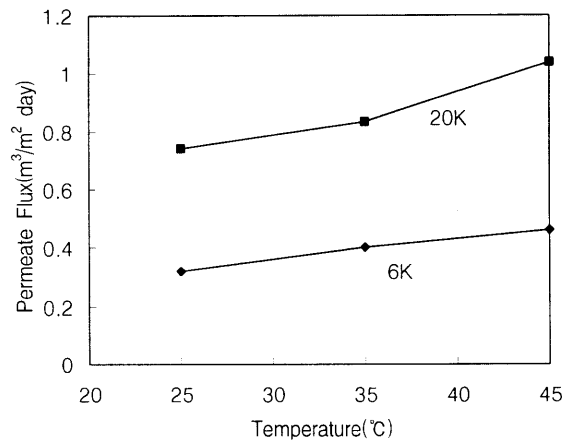


Figure 2. Influence of temperature on the permeate flux.

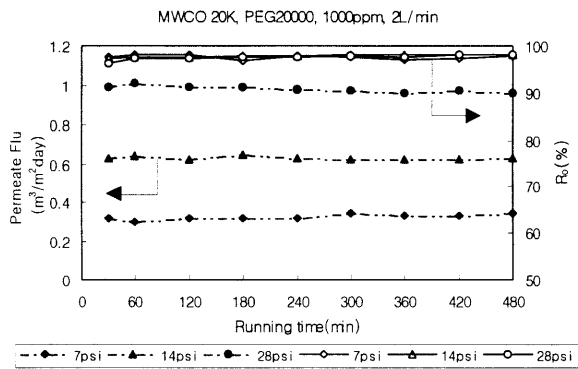
증가에 따라 감소하기 때문인 것으로 볼 수 있다. Bottino[12] 등에 의하면 PEG용액에 대해서도 온도가 증가할수록 투과유속이 선형적으로 증가한다고 보고한 바 있다.

4.2. 운전시간에 따른 PEG수용액의 투과유속과 걸보기 제거율 (R_0)의 영향

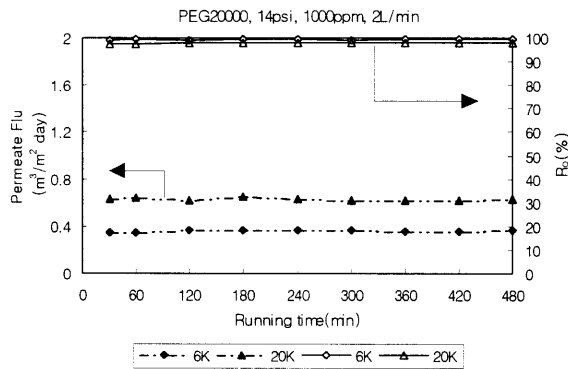
Figure 3에 PEG수용액을 여과하였을 때의 운전시간에 따른 투과유속과 R_0 의 변화를 나타내었다. Figure 3(a)에 의하면 투과유속과 R_0 는 주어진 운전압력에 대해서 시간변화에 관계없이 일정한 값으로 나타났으며, 사용된 모든 막에 대해서도 거의 일정하게 나타나고 있음을 Figure 3(b)에서 볼 수 있다. 이러한 현상은 본 연구에서 사용한 PEG의 유입농도가 매우 낮기 때문에 압력을 높여도 비선형적인 현상을 보이고 있다. 즉, 적용한 28 psi까지는 한계 유속을 나타내고 있지 않다. 따라서 좀더 압력을 높여서 운전을 해야하는데, 뒤에서 언급되겠지만 압력이 증가됨에 따라 R_0 가 감소하는 경향을 보여 28 psi이상은 고려되지 않았다. 한편, Figure 3(c)에 의하면 PEG 농도 100 ppm의 경우 투과유속은 PEG 분자량 크기에 관계없이 일정하였으나, R_0 은 PEG8000에 대해 10% 이내에서 약간의 변화를 보이고 있다. 그러나 5시간 이후부터는 일정하게 나타났다. 반면에 1000 ppm에서는 투과유속과 R_0 가 거의 일정하였다. 이것은 1000 ppm의 수용액에 비해 100 ppm의 수용액의 농도가 매우 낮기 때문인 것으로 생각된다.

4.3. 조작압력 및 농도의 영향

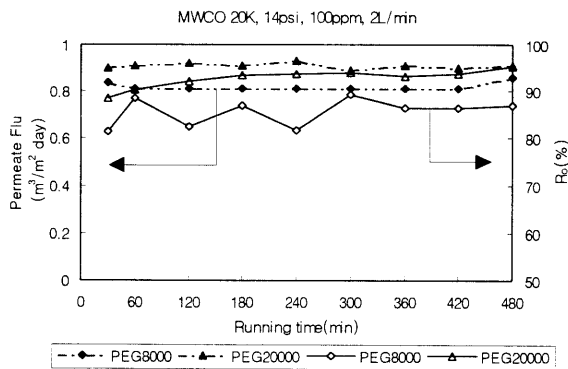
조작압력과 PEG농도의 변화에 따른 투과유속과 R_0 의 관계를 조사하여 Figure 4에 나타내었다. Figure 4(a), (b)에 의하면 R_0 가 각 PEG 1000 ppm에 대해서는 압력증가와 함께 그 감소율이 2~3% 이내 이었으나, 100 ppm의 경우에는 15% 정도로 감소되었다. 또한 제거율도 100 ppm의 경우에 비해서 1000 ppm의 경우가 98% 이상으로 매우 높았다. 이것은 Bottino등[12]에 의해 보고된 바와 같이 조작압력의 증가에 따른 세공입구의 전단력과 투과유속의 증가에 기인하여 세공부근에서 PEG가 거의 저지되었기 때문인 것으로 보이며, 이로 인해 조작압력의 증가에 따른 농도분극의 영향이 커서 R_0 가 감소하는 것으로 생각된다. 한편 투과유속은 모든 경우에서 조작압력 증가와 함께 증가하고 있음을 알 수 있는데, 농도가 1000 ppm의 경우보다는 100 ppm의 경우가 더 높게 나타났다. 이러한 현상은 1000 ppm의 경우 상대적으로 100 ppm보다 유입농도가 높아 삼투압에 의한 투과유속의 저항이 커지기 때문에 투과유속이 작게 되며, 100 ppm의 경우는 유입농도가 낮아서 식 (7)에서



(a)



(b)

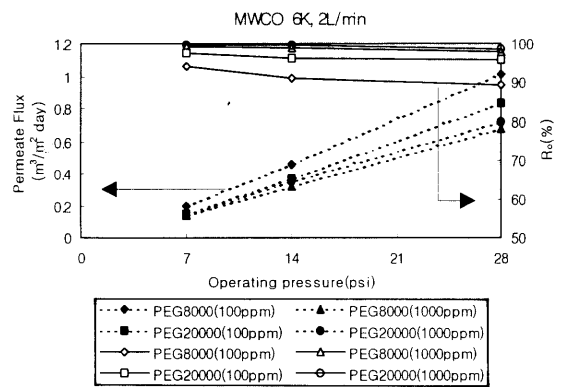


(c)

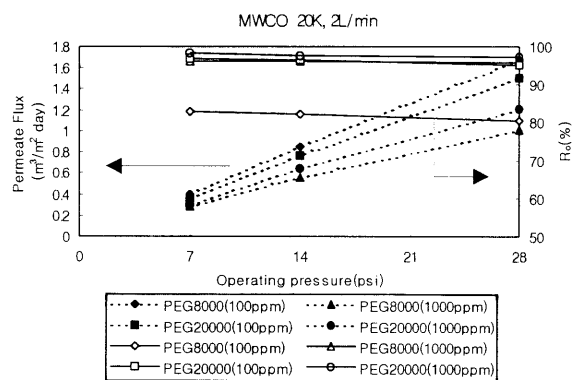
Figure 3. Permeate flux(dotted line) and the observed rejection (solid line) v.s. running time: (a) MWCO of 20 K, 1000 ppm of PEG 20 K at different pressures; (b) 1000 ppm of PEG 20 K at 14 psi; (c) 100 ppm of MWCO of 20 K at 14 psi.

보는 바와 같이 막면 농도가 낮게 되는 관계로 투과유속이 높게 되는 것으로 해석될 수 있다. 그리고 같은 1000 ppm농도에서는 PEG의 분자량이 클수록 다소 높게 나타났다. 이것 또한 고분자량의 PEG가 같은 무게농도에 비해 유입농도가 상대적으로 낮은 저분자량보다 삼투압이 덜 적용되었거나 농도분극에 의한 gel층이 덜 형성되어 투과유속이 증가하는 것으로 사료된다.

4.4. 순환유량에 따른 투과유속과 겔층 제거율(R_o)의 영향
 분획분자량이 6 K와 20 K에 대해 순환유량을 1000 mL/min와



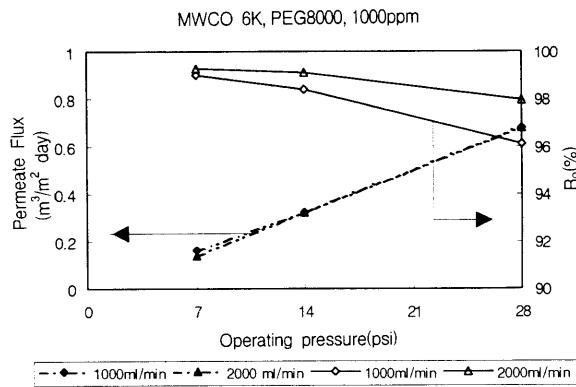
(a)



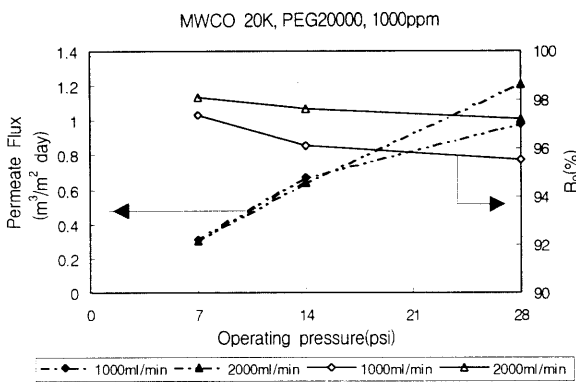
(b)

Figure 4. Effect of operating pressure on permeate flux(dotted line) and observed rejection(solid line) for various feeds : (a) MWCO of 6 K; (b) MWCO of 20 K.

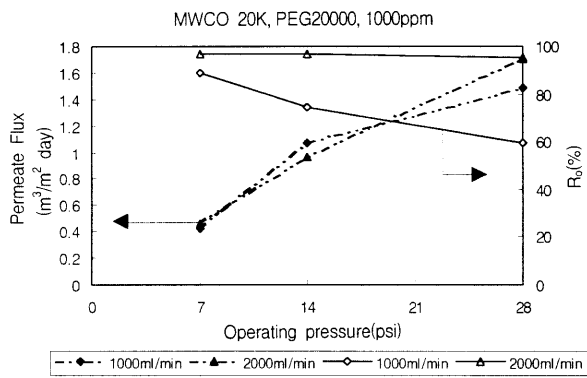
2000 mL/min으로 변화시켜 투과유속과 R_o를 조사하여 그 결과를 Figure 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 투과유속은 순환유량을 증가시켜도 MWCO 6 K인 막의 경우를 제외하고는 약간의 증가를 보여주고 있는데 이 경우에서 순환유량의 증가는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 보여진다. 그러나 R_o는 순환유량이 클수록 증가되었으며, 그 증가는 압력이 증가할수록 1~2% 이내에서 다소 작게 나타났고, PEG농도가 작을수록 9~36% 사이로 더 크게 나타났다. 이 이유는 순환유량을 변화시킨다는 것은 막의 선속을 변화시키는 것과 동일한 의미이므로 선속이 작아지게 되면 막면상에서 PEG 퇴적속도의 증가로 인한 농도분극의 영향으로 제거율에 부의 영향을 미치는 것으로 생각된다. 그러나 순환유량의 차이가 크지 않기 때문에 투과유속에는 별로 큰 영향을 미치지 못한 것으로 생각된다. 한편, 7 psi의 압력에서는 다른 압력에 비해서 제거율의 차이가 작는데 그 이유로서는 적용된 순환유량의 크기의 차이로는 막면상에서 PEG의 퇴적속도의 차이를 나타내지 못하기 때문에 제거율에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 사료된다. 위 결과는 일반적으로 사용된 물질의 종류는 다르지만 100~300 kPa의 압력에서 0.85~1.98 m/s의 선속으로 석회석 현탁액을 한외여과막으로 여과시켰을 경우 빠른 선속에서 제거율이 높다는 Pillay 등[13]의 결과와 일치하며, 또한 압력에 비례하여 R_o가 낮아지는 현상은 본 실험에서 사용된 동일한 물질을 사용하고 압력 100~400 kPa의 조건으로 운전한 Bottino등[12]의 결과와도 일치하는 것이다.



(a)



(b)



(c)

Figure 5. Effect of operating pressure on the permeate flux (dotted line) and observed rejection(solid line) : (a) MWCO of 6 K and 1000 ppm of PEG 8 K; (b) MWCO of 20 K and 1000 ppm of PEG 20 K; (c) MWCO of 20 K and 100 ppm of PEG 20 K.

4.5. 압력변화에 따른 투과도비(α)의 관계

분획분자량이 20 K인 막에 대해 PEG 100 ppm에 있어서 PEG 종류, 압력변화 및 순환유량의 변화에 따라 투과도비의 관계를 조사하여 그 결과를 Figure 6에 나타내었다. 여기서 투과도비 α 값은 식 (2)에 의해서 구하였다.

Nguyen 등[10]은 이 α 를 고농도(14 g/L)의 PEG를 stirred cell로 운전하였을 경우 막의 분극현상을 알아볼 수 있는 척도로서 이용하고 있다. 즉, $\alpha < 1$ 이면 분극층이 존재한다는 것이고 $\alpha = 1$ 이

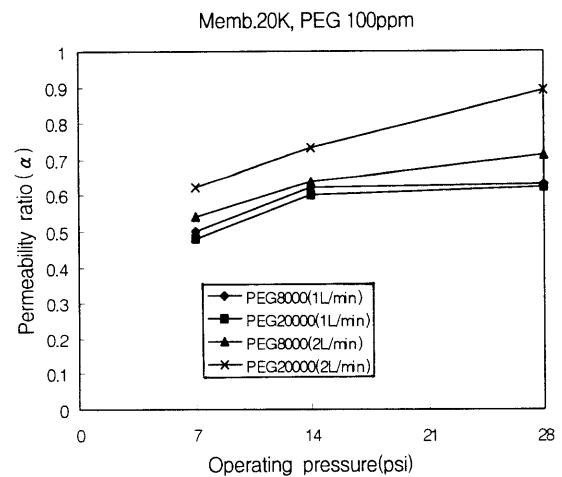


Figure 6. Permeability ratio v.s. operating pressure on MWCO of 20 K with 100 ppm PEG solution of varying circulation flow rate.

면 분극은 일어나지 않는 것으로 하고 있다. 물론 이 경우는 PEG 수용액의 삼투압이 운전압력보다 크지 않는 상태에서 R_0 가 매우 낮은 경우를 기준으로 하고 있다. 이들은 $R_0 \approx 0$ 인 상태(MWCO 20K이상, PEG 6 K, 0.6 atm에서)에서도 유입량이 작으면(0.26 cm/sec) $\alpha (= 0.75) < 1$ 로 되어 분극층이 존재하는 것으로 분석되었고, 유입량을 증가시켰을 때 $R_0 = 0.1$ 로 되면서 $\alpha = 1$ 로 되어 농도분극이 나타나지 않았다고 보고하고 있다. 그래서 본 연구에서는 cross-flow type으로 운전하였을 경우 PEG의 제거가 이루어지는 경우의 투과도비가 어떻게 나타나는지를 조사해 보았다.

그림에서 보는 바와 같이 투과도비는 순환유량과 운전압력이 증가할수록 증가한 반면에 저순환유량에서는 14 psi까지는 증가하다가 그 이후부터는 큰 변화가 없었다. 이는 Nguyen[10]의 경우와 일치하는데 대체적으로 압력증가와 함께 α 의 증가는 압력증가와 함께 투과유속증가가 정상적인 선형관계(식 (1))보다 급속하게 증가하는 것으로 해석될 수 있는데, 이 변화는 분극영향을 묘사하기 위해 사용된 물질전달 모델로부터 예상된 것과는 반대의 개념을 나타낸다. Nguyen등[10]은 이 현상을 공극입구에서 압력증가와 함께 전단력으로 인한 선형 PEG의 변형에 의한 것으로 해석하고 있다. 반면, 압력이 낮을수록 α 가 감소하였는데, 이것은 초기에 공극의 막힘이나 흡착에 의한 것으로 생각되었으나 세정후 막의 회복율이 90% 이상이었기 때문에 α 의 감소가 막힘이나 흡착에 의한 것보다는 농도분극이나 삼투압 증가에 의한 것으로 사료된다. 따라서 모든 경우에서 투과도비가 1보다 작은 것으로 보아 막 표면에서 분극이 일어나고 있음을 알 수가 있었다. 한편, 저순환유량에서는 PEG의 분자량이 증가할수록 α 가 감소하였으나, 높은 순환유량에서는 반대의 경향을 나타냈다. 후자의 경우는 Nguyen등[13]의 결과와 상반되는데 그 이유는 정확히 규명되지 못하였으나, fouling의 영향으로 인한 것으로 생각된다. 좀더 연구가 되어야 할 것으로 사료된다.

4.6. PEG수용액의 진제거율(R)

본 연구에서 사용한 PEG수용액의 진제거율을 물질전달계수를 이용하여 구하였는데, 이 물질전달계수 k는 대체로 PEG6000이상 에 대해서는 Leveque식의 추정값과 일치[11]하는 것으로 나타나므로 식 (4) 및 식 (7)과 (8)을 이용 진제거율을 구하였다. 그 결과를 Figure 7에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 동일 막에 대해

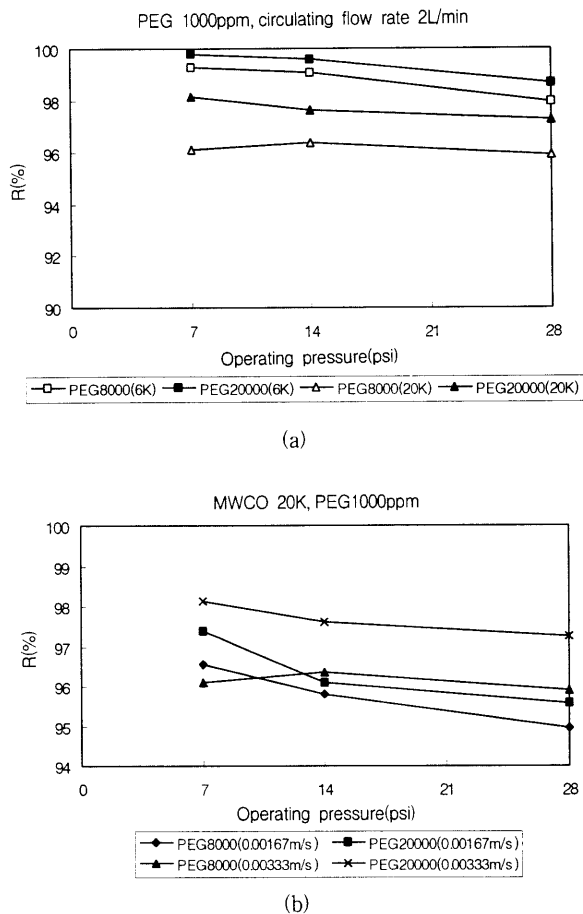


Figure 7. Intrinsic rejection v.s. the operating pressure : (a) 2 L/min circulation flow rate with 1000 ppm of various PEG solution and MWCO; (b) MWCO of 20 K and 1000 ppm of PEG at different velocities.

서는 PEG의 분자량이 클수록, 20 K인 막의 경우에는 선유속이 클수록 진제거율이 높게 나타났다. 또한 겔보기제거율의 경우와 마찬가지로 진제거율도 압력이 증가함에 따라 감소하고 있음을 알 수 있다. 이것은 투과유속 즉 조작압력을 크게 하면 저압력의 경우보다 상대적으로 막면 농도의 증가가 둔화되어 작게 되면서 투과액 농도가 증가하게되어 식 (8)에서 보는 바와 같이 R이 작아지게 되는 것으로 고려된다. 한편 순수 투과유속은 압력에 거의 비례하지만 PEG수용액에 있어서 투과유속은 압력증가와 함께 증가할지 몰라도 R은 감소하는 것으로 보아 낮은 압력에서 운전할 필요가 있는 것으로 고려된다. 그러나 너무 낮은 압력에서는 분극현상을 고려해야 하기 때문에 압력선정에 신중을 기할 필요가 있다. 그리고 6 K인 막의 경우 세공의 크기에 비해 PEG의 분자량이 크기 때문에 제거율이 98%이상으로 높게 나타났고, 20 K인 경우는 세공의 크기와 같은 PEG의 제거율이 더 높게 나타났다. 따라서 처리하고자하는 PEG수용액의 분자량의 크기를 고려해서 막의 크기를 선정할 필요가 있는 것으로 생각된다.

5. 결 론

Cross-flow type의 module로 PEG를 이용하여 여러 가지 한외 여과막으로 여과 시킬 때 운전시간, 조작압력, 농도 및 순환유량의 변화에 따른 투과유속과 제거율의 관계를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 투과유속은 사용된 모든 막에 대해서 PEG의 분자량과 농도가 작을수록 압력증가와 함께 증가하였다. 반면에 겔보기 제거율은 동일한 압력하에서 PEG의 분자량과 농도가 클수록 증가하였으나, 압력이 증가되었을 때는 감소하였다.
- 2) 일정한 압력하에서 시간변화에 따른 PEG수용액의 투과유속과 겔보기 제거율은 거의 일정하게 나타났다.
- 3) 순환유량의 변화에 있어서 투과유속에는 큰 영향을 미치지 못하였으나, 겔보기 제거율에는 순환유량이 크고, 압력이 높을수록 낮게 나타났다. 그리고 PEG농도가 작을수록 그 차이는 현저하였다.
- 4) 투과도비(α)는 대체적으로 압력과 순환유량이 증가함에 따라 증가하였으나, 저순환유량에서는 PEG의 분자량이 증가와 함께 감소하였다. 모든 경우에서 α 는 1보다 작게 나타났다.
- 5) 물질이동계수의 이론값을 이용해서 얻은 진제거율(R)은 압력증가와 함께 감소하였으며, 선유속과 PEG의 분자량이 클수록 높게 나타났다.

감 사

본 연구는 1994년도 인하대학교 교내 연구비에 의하여 수행되었으므로 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. T. Graham, *Phil. Trans. Roy. Soc., London*, **144**, 19(1992).
2. 고석문, 김오식, 박청길, "막분리 기술", 동화기술, 2(1986).
3. Murnir Cheryan, "Ultrafiltration Handbook", Technomic Publishing Co., Lancaster, Pennsylvania, 76(1986).
4. S. Leob, S. Sourirajan, U. S. Patent, 3,133,132(1964).
5. Robert, L. Sanks, "Water Treatment Plant Design", Ann Arbor Science, 649(1979).
6. Georges Belfort, *J. Membrane Science*, **40**, 123(1989).
7. Dahlheimer, J. A., *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, **9**, 566 (1970).
8. J. I. Mengul, F. Garcia Lopez, *J. Membrane Science*, **26**, 211 (1986).
9. KIRK-OTHMER, "Encyclopedia of Chemical Technology", Wiley-Interscience, **18**, 616(1978).
10. Q. T. Nguyen, P. Aptel and J. Neel, *J. of Membrane Science*, **7**, 141 (1980).
11. 木村尙史, 中尾眞一, "膜プロセスの設計法", 喜多見書房, 37 (1985).
12. A. Bottino, G. Capannelli, *J. Membrane Science*, **21**, 247 (1984).
13. V. I. Pillay and C. A. Buckley, *Wat. Sci. Tech.*, **25**, 149 (1992).