

# Poly(vinylbenzyl ammonium salt)를 이용한 Pore-filled 이온교환막의 제조

변 홍 식

계명대학교 공과대학 공업화학과  
(2001년 4월 11일 접수, 2001년 6월 15일 채택)

## Preparation of Pore-filled Ion-exchange Membranes using Poly(vinylbenzyl ammonium salt)

Hong-Sik Byun

Dept. of Industrial Chemistry, College of Engineering, Keimyung University  
(Received April 11, 2001, Accepted June 15)

**요 약 :** Polypropylene(PP)을 지지막으로 하여 in-situ 가교결합(cross-linking)방식을 이용한 pore-filled 이온교환막을 제조하였다. 다공성 PP막의 기공에 poly(vinylbenzyl chloride)(PVBCl)과 piperazine(PIP), 또는 1,4-diaminobicyclo[2,2,2]octane(DABCO)을 dimethylformamide(DMF)에 녹인 용액을 채워서 겔화시킨 후, 남아있는 chloromethyl 그룹에 trimethylamine을 이용하여 양이온인 암모늄 site를 형성시키면 pore-filled 음이온교환막이 형성된다. 이와 같은 2단계의 제조방식으로 제조된 pore-filled 분리막은 크기의 변화가 없이 안정되며, PVBCl의 농도와 가교제의 농도대로써 고분자-겔의 함량(mass gain, MG)과 가교도가 간단하게 조절되는 것을 보여주었다. 특히 아주 낮은 압력(100 kPa)에서의 높은 수투과도( $7.8 \text{ kg/m}^2\text{hr}$ , 지지막은 PP3, 73%의 MG, 10%의 가교도, PIP 가교제사용)는 연수용 분리막으로 충분히 활용될 수 있음을 보여준다.

**Abstract :** Pore-filled ion-exchange membranes in which polypropylene (PP) microporous membrane was used as a nascent membrane were prepared by an in-situ cross-linking technique. Poly(vinylbenzyl chloride) (PVBCl) reacted with piperazine(PIP) or 1,4-diaminobicyclo[2,2,2]octane(DABCO) in a di-methylformamide(DMF) solution was filled in the pores of the microporous base membrane. After gelation the remaining chloromethyl groups were, then reacted with an amine such as trimethylamine to form positively charged, ammonium site. This will produce the pore-filled anion-exchange membrane. It was shown that this simple 2 step procedure gave dimensionally stable, pore-filled membranes in which the MG of polymer gel and degree of cross-linking could be easily controlled by the concentration of PVBCl and cross-linker in the starting DMF solution. Specially, high water permeability( $7.8 \text{ kg/m}^2\text{hr}$ , host membrane: PP3, MG: 73%, degree of cross-linking: 10%, crosslinker: PIP) at ultra low pressure(100 kPa) indicates the produced pore-filled membranes is usable as a water softening membrane.

### 1. 서 론

최근에 연수(water softening)용 분리막으로 저압(100 kPa)에서 우수한 성능을 보여 주고 있는 "pore-

filled" 분리막에 관한 연구가 주목을 받고 있다(1-3). 일반적으로 pore-filled 분리막은 정밀여과막을 지지막(nascent membrane)으로 하여 기공 내에 우수한 분리 특성이 있는 화학물질이 들어있는 구조를 갖고 있으

**Table 1.** The physical properties of nascent membranes(PP)

Nascent membrane Code	Porosity (vol.%)	Pore size ( $\mu\text{m}$ )	Thickness ( $\mu\text{m}$ )	Specific porosity ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )
PP1	60	0.26	56	1.67
PP2	84	0.57	112	5.85
PP3	80.5	0.82	79	4.95

며, 이때 화학물질은 수화겔(hydrogels), polyelectrolytes 등과 같은 고분자 물질이거나 액상물질로써 실제적으로 분리의 역할을 담당하고 있다. 지지막은 이러한 화학물질의 기계적 강도를 유지하기 위하여 사용되고 있으며, 지지막의 기공에 화학물질을 채우는 방법에 따라 견고하고 분리능성이 우수한 pore-filled 분리막이 제조된다. 초기에는 물리적 흡착을 이용하여 지지막내의 기공에 수화겔을 채웠는데, 이러한 방법은 견고하지 못하여 점차적으로 수화겔의 손실을 가져왔다(4). 그 후 수화겔의 손실을 방지하기 위한 방법으로 지지막과 수화겔간의 화학적결합을 유발시키는 UV-grafting(5), 또는 plasma 중합(6)이 이용되었다. 최근에는 in-situ 중합을 이용하여 vinyl monomer를 polyethylene이나 PP 정밀여과막의 기공 내에 채워 연수용 pore-filled 분리막을 제조하였다(7). 그러나 이러한 방법은 지지막의 변형이 어렵고, 다른 polyelectrolyte에 활용하기도 쉽지 않다는 단점이 노출되었다. 따라서 in-situ 중합을 이용할 때 지지막의 기공에 모노머를 채우기보다는 이미 중합된 고분자를 채우고 이를 가교결합 시키면 지지막의 특성에 영향을 주지 않으면서 견고하게 채워진 pore-filled 분리막이 제조되어 위와 같은 단점을 해결할 수 있다. 또한 이러한 방법(in-situ cross-linking)은 기공에 채워진 겔의 특성을 쉽게 조절할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구에서는 in-situ cross-linking 방법을 이용하여 poly(vinylbenzyl ammonium salt)가 채워진 음이온 교환 분리막을 제조하였으며, 이때 지지막으로 PP를 이용하였다. 또한 최종 분리막의 이온교환특성의 조절을 시도하여 특정한 목적에 활용될 수 있는 pore-filled 분리막의 제조에 관한 자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시약 및 재료

PVBCI(Aldrich Co.)은 수평균분자량이 약 55,000, chlorine 함량이 5.625 mmol/g인 것을 정제없이 사용하였다. 가교제로는 PIP(anhydrous 99.8% purity, Aldrich Co.)과 DABCO(98% purity, Aldrich Co.)를 이용하였

으며, 아민화 반응으로 trimethylamine(NMe<sub>3</sub>)(40 wt% in water), 용매로 DMF, tetrahydrofuran(THF)을 Aldrich Chemical Co.로 부터 구입하여 정제없이 사용하였다.

Pore-filled 음이온 교환분리막의 지지막으로는 PP 정밀여과막을 3 M으로부터 공급받아 사용하였으며, 물리적 특성은 Table 1과 같다.

### 2.2. Pore-filled 분리막 제조

먼저 PVBCI과 가교제를 DMF에 녹인 용액(PVBCI 0.3576 gm/2 ml DMF, PIP 0.2653 g/10 ml DMF, DABCO 0.4529 ml/10 ml DMF)을 준비한다. 이 용액을 PP 지지막(10×20 cm)위에 피펫을 이용하여 뿌린 후 Teflon roller를 이용하여 지지막의 기공에 채우고 남은 용액을 제거한다. PVBCI용액이 채워진 지지막을 유리로서 덮은 뒤 겔화반응(gellation)이 일어나는 시간동안 상온에서 방치한다. 보통 16시간 정도면 겔화반응이 종결된다. 겔화반응이 끝난 최종 분리막은 THF나 DMF로 세척한 후 methanol로 다시 세척한다. 그후 상온에서 진공으로 건조시킨 후 무게변화(mass-gain)를 다음 식(1)에 의하여 결정한다.

$$\text{Mass gain(MG)} = \frac{M_f - M_n}{M_n} \quad (1)$$

이때  $M_n$  = 지지막의 건조 후 초기 무게,  $M_f$  = pore-filled 분리막의 건조 후 무게

위와 같이 제조된 분리막은 benzyl chloride 그룹이 함유되어 있는데 이 그룹은 아민화반응에 의하여 trimethylammonium site로 전환하게 된다. 아민화반응은 20 wt% trimethylamine 용액[methanol/물(1:1)]에 pore-filled 분리막을 상온에서 약 18시간 함침하면 이루어질 수 있다. 아민화반응 후 최종 분리막은 남아있는 3차 아민을 제거하기 위하여 0.1 M HCl로 세척한다. 그 후 다시 0.1 M NaOH, 물, 그리고 methanol의 순서로 세척하고, 진공에서 건조시킨 후 무게측정을 한다. 이와 같이 제조된 pore-filled 분리막은 사용하기 전 2-3일 동안 0.5 M NaCl에서 안정화 시킨다.

### 2.3. Pore-filled 분리막의 특성조사

분리막의 두께는 digital micrometer(MDC-1P, Mitutoyo Corp.)를 이용하여 측정하였다. Ion-exchange capacity (IEC)는 산-염기 적정에 의하여 다음과 같이 구할 수 있다. 먼저 분리막 샘플을 희석 HCl용액에 12-16시간 함침시킨 후 분리막 샘플을 제거하고 남아있는 HCl용액을 NaOH로써 적정한다. IEC는 다음 식(2)에 의해 계산한다.

$$\text{IEC}(\text{meq/g of dry membrane}) = \frac{V_{\text{HCl}} \times N_{\text{HCl}} - V_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}}}{M_d} \quad (2)$$

$V_{\text{HCl}}, V_{\text{NaOH}}$  = HCl 및 NaOH 용액의 부피(mL),  $N_{\text{HCl}}, N_{\text{NaOH}}$  = HCl 및 NaOH 용액의 몰수 (mole/L),  $M_d$  = 건조한 분리막의 무게(g).

Pore-filled 분리막의 water-uptake(WU)는 건조한 분리막의 무게와 물이 채워진 분리막의 무게차이로 결정된다. Pore-filled 분리막을 약 24시간 정도 물속에 함침하면 분리막의 기공에 물이 채워진 분리막을 얻을 수 있으며 이때 무게는 물의 증발이 방지되는 용기를 이용하여 측정한다. WU는 식(3)으로 계산할 수 있다.

$$\text{WU}(\%) = \frac{M_w - M_d}{M_w} \times 100 \quad (3)$$

$M_d$  = 건조한 pore-filled 분리막의 무게,  $M_w$  = 물이 채워진 pore-filled 분리막의 무게

또한 pore-filled 분리막에 채워진 겔의 농도, 또는 겔이 채워진 밀도(filling density)는 다음 식(4)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$\text{Gel concentration}(\text{GC}, \text{g/cm}^3) = (M_n - M_d)/V_{mp} \quad (4)$$

$M_n$  = 건조한 지지막(host 분리막)의 무게,  $M_d$  = 건조한 pore-filled 분리막의 무게

$V_m$  = pore-filled 분리막의 부피,  $p$  = 지지막의 기공도(porosity)

### 2.4. Pore-filled 분리막의 투과도 측정

순수투과도 측정은 dead-end 한외여과막 cell (Nucleopore, S76-440)을 이용하였으며, 이때 분리막의 유효면적은  $38.5 \text{ cm}^2$ 이다. 100 kPa-500 kPa의 압력범위에서 상온에서 투과도(Q)를 측정하였다. 투과도는 다음 식(5)에 의하여 계산한다.

$$Q(\text{kg/m}^2\text{hr}) = \frac{m_x c_T}{t A_m} \quad (5)$$

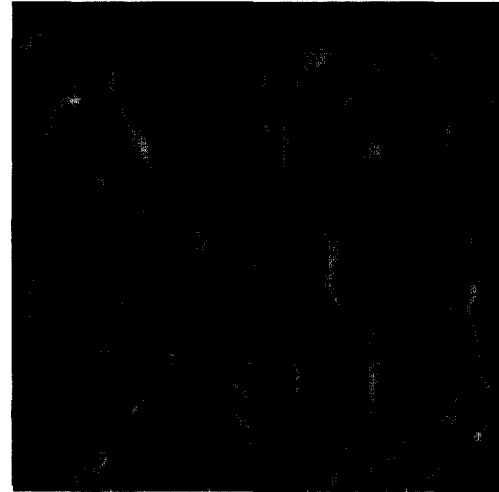


Fig. 1. AFM image of the surface of nascent membrane. (PP3, pore size:  $0.2 \mu\text{m}$ , scanned area:  $100 \mu\text{m}^2$ )

$m_x$  = 투과수의 무게(kg),  $c_T$  = 온도보정계수 ( $c_T = -0.575 \ln T(^{\circ}\text{C}) + 2.85$ ),  $t$  = 경과된 시간(hr),  $A_m$  = 분리막의 유효면적  
Darcy 투과도(hydrodynamic 투과도),  $K_m$ 은 다음 식(6)에 의하여 계산한다(8).

$$K_m(\text{m}^2) = \frac{\eta J_v x_m}{\Delta P} \quad (6)$$

$\eta$  = 물의 점도(Pa.s),  $J_v$  = 물의 유속(m/s),  $\Delta P$  = 분리막의 압력차(Pa),  $x_m$  = 분리막의 두께(m)이며,  $J_v$ 는 다음 식(7)에 의하여 계산한다.

$$J_v(\text{m/s}) = \frac{Q}{\rho_w} \quad (7)$$

여기서 Q의 단위는  $\text{Kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 이며,  $\rho_w$ 는 물의 밀도이다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 3종류의 지지막(PP막)을 사용하였으며, 대표적인 상분리에 의한 구조를 갖고 있음을 알 수 있다(Figure 1). 이러한 다공성의 구조는 본 연구에서 제조하고자 하는 pore-filled 분리막의 "in-situ cross-linking" 제조방법에 잘 맞는다고 할 수 있다.

Pore-filled 분리막의 제조는 두가지 단계로 이루어

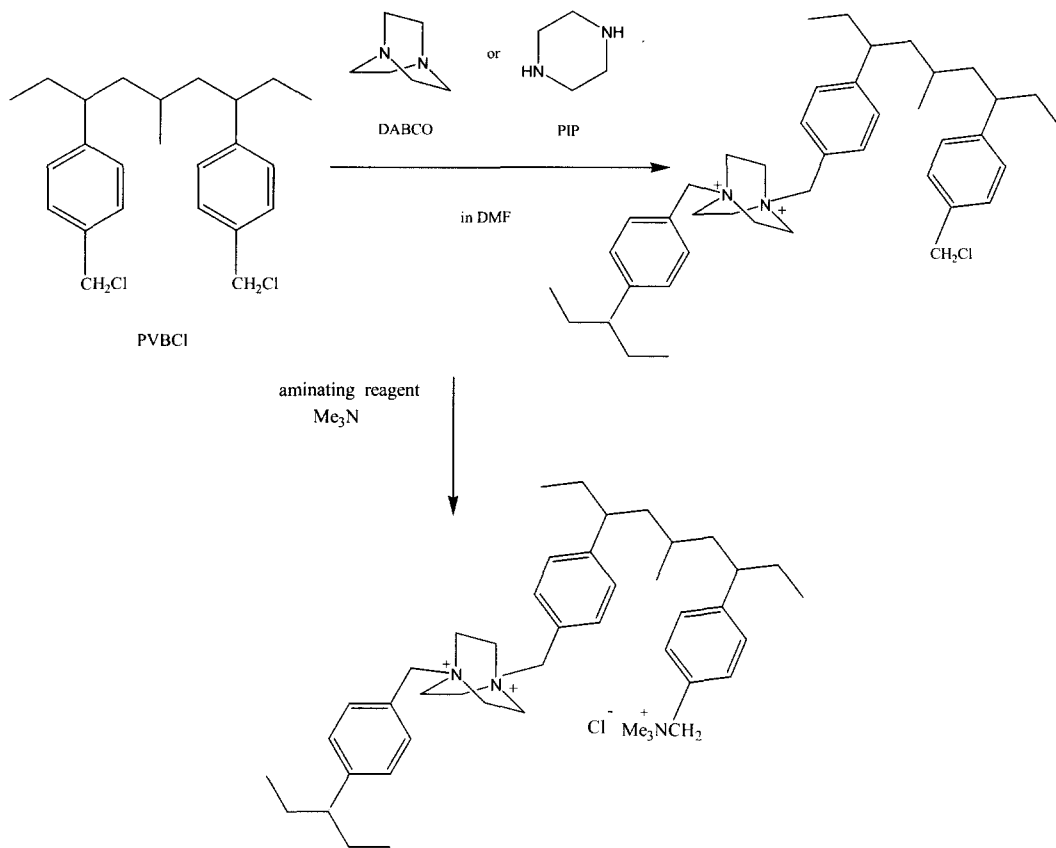


Fig. 2. Chemical reactions occurring during in-situ cross-linking with PVBCl, PIP and DABCO.

진다. Figure 2는 이러한 단계의 개략도를 보여준다. 우선 가교된 겔이 합성된 후 아민반응을 통하여 이온 교환그룹이 생성되는 것을 보여준다. 80%의 chloromethylated aryl ring을 갖고 있는 PVBCl( $M_n = 55,000$ )을 초기 고분자로 사용하였는데, 이러한 형태의 고분자는 아민화 반응에 의하여 염소원자가 아민, 또는 암모니움 작용기로 용이하게 전환된다고 알려져 있다(10-11).

가교반응에서 용매의 선택은 아주 중요하다. 용매는 PVBCl과 가교제(PIP 또는 DABCO)를 동시에 용해시켜야 하며, 이러한 PVBCl용액이 지지막에 쉽게 채워질 수 있도록(filling) 지지막을 잘 적셔야(wet) 한다. 또한 형성된 겔을 팽윤시켜야 하며, 상분리가 일어나지 않도록 하여야 한다. 이러한 조건을 만족시키는 용매로 DMF가 선택되었으며, 실제로 tube실험에서 DMF용액(PVBCl과 가교제)이 2-8분안에 겔이 형성되는 것을 보여주었다. 두 번째 단계인 아민화반응에서는 가교된 겔에 있는 benzyl chloride 그룹이 암모니움

염으로 전환되는 것이다.

이와 같이 제조된 분리막은 견고하여 취급하기가 수월하였고, 진공에서의 건조나 물속에서의 팽윤이 용이하였다.

### 3.1. Pore-filled 분리막의 MG와 고분자-겔 농도의 조절

지지막의 기공도(porosity)를 알고, 겔화반응에서 지지막의 모든 기공이 고분자용액으로 채워진다면 가교 결합된 고분자-겔의 무게(MG)를 계산해 낼 수 있다. 이와 같이 계산된(expected)MG와 PPI를 지지막으로 제조된 pore-filled 분리막의 실제 MG와의 비교는 Figure 3에 있다. Figure 3에 의하여 실제 MG와 계산된 MG(Figure 3에서 직선)는 아주 잘 일치하고 있으며, 폴리머의 농도가 증가할수록 MG가 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 초기 지지막의 기공도와 고분자용액의 농도를 알면 MG, 즉 고분자-겔 농도를 쉽게

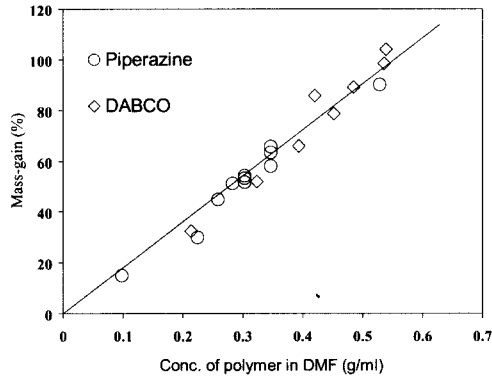


Fig. 3. Changes in MG with change of concentration of PVBCI: Solid line represents the expected MG.

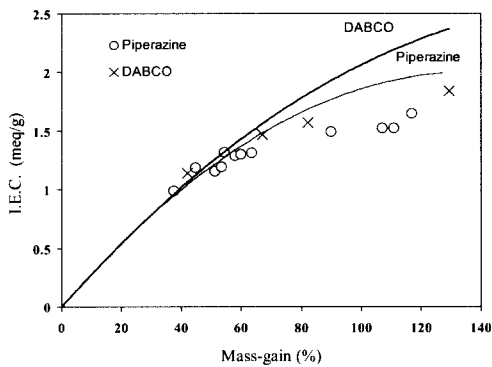


Fig. 4. IEC changes with various MG at fixed degree of cross-linking (PIP :  $3.84 \pm 0.3\%$ , DABCO :  $5 \pm 0.5\%$ ). Solid line represents expected IEC.

조절할 수 있다는 것을 보여준다.

3.2. Pore-filled 분리막의 IEC

Figure 4는 MG에 따른 pore-filled 분리막(가교도  $3.8 \pm 0.3\%$ )의 IEC변화를 보여준다. 만약 이온교환반응이 전부 이루어졌다면 IEC의 최대값을 구할 수 있다는 것을 알 수 있다(Figure 4에서 직선). Figure 4는 60%의 MG에서 모든(약 98%) 염소(chlorine)가 trimethylamine으로 대체되었음을 보여주고 있으며, 더 이상의 반응이 진행되기가 어렵다는 것을 알 수 있다. 그러나 아민화반응에서 dimethylamine을 사용하였을 경우 120%의 MG에서도 약 95%의 염소가 대체될 수 있었다. 따라서 trimethylamine의 경우에는 높은 MG에서 전하밀도(charge density)가 증가되기 때문에 더 이상의 반응이 진행되지 않았다고 생각된다. Chloromethylated polystyrene의 경우 이와 유사한 효과가 나타난 예가 있었다(12-13).

3.3. Pore-filled 분리막의 크기변화

Pore-filled 분리막의 크기변화(길이, 두께)를 관찰하였다. 길이는 MG, 가교도, 또는 지지막의 종류와 관계 없이 별다른 변화가 없었으나 두께의 경우 pore-filled 분리막이 지지막보다 약간 증가한 것을 알 수 있다(Table 2). 특히 250%의 MG를 보여준 pore-filled 분리막의 경우에는 약 18%의 두께증가가 있었다. 이것은 고분자(PVBCI과 가교제)용액이 지지막에 채워질 때 과다한 고분자용액의 사용으로 지지막의 기공에 채워지고 남아있는 용액이 지지막의 표면에 부착되어 두께가 고르지 못하게 되고, 따라서 두께의 상승효과

Table 2. Control of properties of pore-filled membranes with various nascent membranes, cross-linkers, and degree of cross-linking

Nascent Membrane Code	Cross-linker	Degree of Cross-linking (mole%)	MG (wt%)	WU (wt%)	Thickness( $\mu\text{m}$ )	
					Nascent membrane (dry)	Pore-filled membrane (wet)
PP1	PIP	2	15	$51 \pm 2$	$52 \pm 3$	$56 \pm 3$
		2	107	$55 \pm 2$	$48 \pm 3$	$55 \pm 2$
		16	72	$43 \pm 2$	$49 \pm 4$	$53 \pm 3$
	DABCO	3	21	$53 \pm 3$	$55 \pm 3$	$59 \pm 2$
		4	77	$54 \pm 2$	$49 \pm 3$	$47 \pm 4$
9	67	$46 \pm 2$	$53 \pm 2$	$58 \pm 3$		
PP2	PIP	10	69	$75 \pm 3$	$112 \pm 4$	$115 \pm 5$
PP3	PIP	5	34	$80 \pm 3$	$79 \pm 3$	$81 \pm 3$
		5	95	$82 \pm 2$	$81 \pm 4$	$78 \pm 4$
	10	250	$74 \pm 3$	$82 \pm 4$	$97 \pm 4$	
DABCO	10	61	$81 \pm 2$	$75 \pm 3$	$82 \pm 3$	

를 가져온 것으로 생각된다. 이러한 전반적인 분리막의 두께상승은 일반적으로 in-situ 가교결합 방식에서 나타나는 삼투압적인 팽윤현상으로 설명될 수 있다(11). 그러나 본 연구에서는 기공 내에 있는 겔만의 삼투압적인 팽윤현상으로 분리막의 두께가 증가한다고 보기에는 그 겔의 양이 너무 적다고 할 수 있다. 따라서 이 경우 또 다른 가능성을 생각해 본다면, in-situ 가교결합 방식에서 다공성 지지막내에 있는 겔이 지지막과 어느 정도의 상호침투(interpenetrating)가 발생하고, 이것이 팽윤되어 결과적으로 분리막의 두께증가 효과를 유발한 것으로 볼 수 있다.

3.5. Pore-filled 분리막의 함수율

제조된 모든 pore-filled 분리막[MG 15%이상(PP1), 34%이상(PP3)]이 친수성이며, 젖음성이 우수한 것을 알 수 있다(Table 2). Pore-filled 분리막의 WU가 상당히 높으며, 지지막의 측정된 기공도와 거의 유사한 값을 보여준다. 또한 pore-filled 분리막의 MG와 WU는 서로 관련이 없으며, 따라서 고분자겔이 지지막내에 채워짐으로써 지지막의 함수율이 어느정도 감소된다는 것을 알 수 있다. Table 2에서 가교도가 증가하면서 함수율의 감소를 볼 수 있다. 이것은 가교도의 증가로 인한 고분자겔의 팽윤성의 감소 때문이라고 생각된다(12-13).

이러한 pore-filled 분리막의 높은 친수성 및 함수율은 가압식 분리막의 용도에 아주 잘 맞으며, 높은 배제율(rejection 또는 selectivity)을 위해서는 낮은 고분자-겔 농도가 적합하다는 것을 알 수 있다.

3.6. Pore-filled 분리막의 수투과도

투과도는 분리막의 구조, IEC, 그리고 가교도 등에 따라 민감하게 변화하는 인자이다. 따라서 본 연구에서는 우선적으로 순수에 대한 투과도를 측정하여 고분자-겔의 투과성능을 실험하였다.

Figure 5는 PP-3을 지지막으로 하여 일정한 가교도(10%)에서 각기 다른 MG를 가질 때 압력에 대한 수투과도를 측정한 것이다. 투과도와 압력은 100-500kPa에서 서로 선형적인 관계를 갖고 있음을 알 수 있다. 이것은 높은 기공도와 상대적으로 크기가 큰 기공을 갖고 있는 지지막에도 불구하고, 기공내의 고분자-겔이 압력변화에 따라 그 구조가 변형되지 않는다는 것을 의미하고 있다. 또한 투과도는 지지막내의 고분자-겔의 MG가 증가함에 따라 감소하는 것을 보여준다.

수투과도와 MG의 관계에 미치는 지지막의 효과를 알아보기 위하여 Darcy 투과도를 계산하고 이것을 고분자-겔 농도에 대하여 그래프를 그렸다(Figure 6).

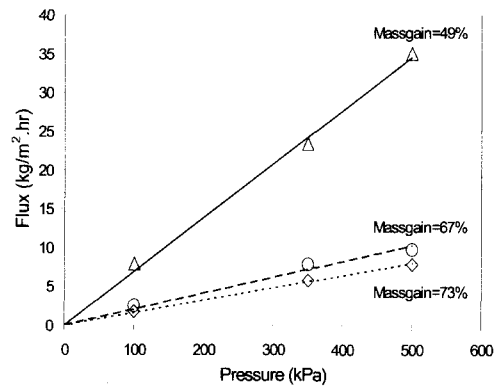


Fig. 5. Pure water flux of pore-filled membrane (nascent membrane: PP3, degree of cross-linking: 10%, cross-linker: PIP) with various pressure at different MG.

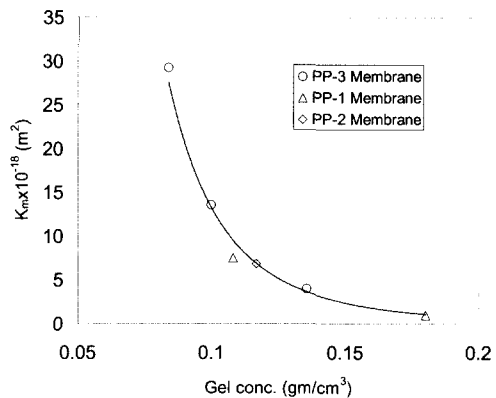


Fig. 6. Hydrodynamic(Darcy) permeability of pore-filled membranes using different nascent membrane(degree of cross-linking: 10%, cross-linker: PIP)

실제 서로 다른 두께와 기공도, 그리고 기공의 크기가 서로 다른 지지막을 일률적으로 비교하기는 쉽지 않다. 그러나 Figure 6에 의하면 서로 다른 지지막에 대한 수투과도가 고분자-겔 농도의 함수인 것을 알 수 있다. 즉 수투과도가 지지막의 종류와는 관계없이 기공 내의 고분자-겔 농도에 의존한다는 것을 보여준다. 따라서 본 실험에서와 같이 제조된 pore-filled 분리막의 경우에는 고분자-겔이 지지막의 물성에는 관계없이 일정한 특성을 보여 줌으로써 pore-filled 분리막의 특성을 예측 가능하게 해준다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 수투과도 실험에서는 지지막 내에 채워진 고분자-겔이 확고하게 기공내에 있으며, 지지막의 종류에 따라 변화하지 않는 성질을 갖고 있음을 알

수 있었다. 즉 in-situ 가교결합 방식으로 제조된 pore-filled 분리막은 그 특성의 예측이 가능하다는 것을 의미한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 in-situ 가교결합 방식으로 pore-filled 이온교환막을 제조하였으며, 이때 분리막내의 고분자-겔은 확고하게 기공내에 존재한다는 것을 보여주었다. 이와 같은 방식은 고분자-겔의 MG 조절과 가교도의 조절로써 최종 pore-filled 분리막의 특성을 쉽게 조절할 수 있다는 장점이 있다. 즉 이러한 인자들의 조절로써 고분자-겔이 조금만 채워지거나, 또는 조밀하게(densely)채워지는 분리막을 제조하여 다양한 용도로 활용할 수 있다. 본 연구로써 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) MG(고분자-겔의 무게)의 조절이 가능한 pore-filled 분리막이 제조되었으며, 약 60%의 MG에서 고분자-겔의 이온화반응(아민화반응)이 완결되는 것을 알 수 있었다. 특히 in-situ 가교결합 방식으로 제조된 pore-filled 분리막의 크기는 변하지 않으나, 기공 내에서 고분자-겔의 상호침투에 의한 두께의 증가가 있었다.

(2) 최종 pore-filled 분리막의 함수율은 MG와 관계없이 상당히 높은 값을 갖고 있으며, 따라서 친수성의 특성을 알 수 있었다. 가교도가 증가할수록 함수율은 감소하였다.

(3) 수투과도의 경우 압력에 따라 선형적으로 증가하였으며, 고분자-겔의 MG가 증가하면 감소하였다.

(4) 지지막의 종류에 따른 pore-filled 분리막의 특성변화를 분석하기 위하여 Darcy 투과도를 계산하였다. 지지막의 종류와 관계없이 Darcy 투과도는 일정한 함수를 보여주었다. 즉 투과도가 지지막의 특성과는 관계없이 기공내의 고분자-겔의 농도에 따라 변화한다는 것을 알 수 있으며, 따라서 pore-filled 분리막의 특성은 고분자-겔의 특성에 따라 조절가능하다는 것을 알 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. A.M. Mika, R.F. Childs and J.M. Dickson, *Desalination*, **121**, 149, (1999).
2. V. Kapur, J.C. Charkoudian, S.B. Kessler and J.L. Anderson, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **35**, 3179, (1996).
3. A.J.B. Kemperman, B. Damink, Th. an Den Boomgaard and H. Strathmann, *J. Appl. Poly. Sci.*, **65**, 1205, (1997).
4. A.M. Mika, R.F. Childs, J.M. Dickson, B.E. McCarry and D.R. Gagnon, *J. Membrane. Sci.*, **108**, 37, (1995).
5. T. Yamaguchi, S.I. Nakao and S. kimura, *Macromolecules*, **24**, 5522, (1991).
6. E.L. Cussler, G.E. Gillberg-LaForce, M.A. Sansone and D.K. Schisla, U.S. Patent 5160627, (1992) (To Hoechst Celanese Corporation).
7. M. Camps, M. Chatzopoulos and J.P. Montheard, *J. Macromol. Sci., Rev. Macromol. Chem. Phys.*, **C28**, 343, (1982).
8. J.P. Montheard, M. Chatzopoulos and M. Camps, *J. Macromol. Sci., Rev. Macromol. Chem. Phys.*, **C28**, 503, (1988).
9. S. Belfer and R. Glozman, *J. Appl. Polym. Sci.*, **24**, 2147, (1979).
10. T. Sata, Y. Yamane and K. Matsusaki, *J. Polym. Sci.:PartA:Polym. Chem.*, **36**, 49, (1998).
11. A.M. Mika, R.F. Childs, M. West and J.N.A. Lott, *J. Membrane Sci.*, **136**, 221, (1997).
12. G.J. Hwang and H.J. Ohya, *J. Membrane Sci.*, **140**, 195, (1998).