

## 액체전이법을 이용한 정밀여과막 오염의 특성 평가

정 건 용\* · 장 규 만 · 서 성 조

서울산업대학교 화학공학과  
(1999년 9월 22일 접수, 1999년 11월 30일 채택)

### Determination of Microfiltration Membrane Fouling Characteristics by Liquid Displacement Method

Kun Yong Chung†, Kyu Man Chang, and Seong Jo Seo

Department of Chemical Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea  
(Received September 22, 1999, Accepted November, 30 1999)

**요 약** : 공칭크기가 0.2  $\mu\text{m}$ 인 polytetrafluoroethylene(PTFE, Satorius사) 정밀여과막에 0.1 wt%의 kaolin, bentonite, yeast 및 starch 용액을 각각 투과시키고 막을 세척한 후 순수/이소부탄올을 이용한 액체전이법으로 막의 세공분포를 추정하였다. 액체전이법으로 추정한 오염되지 않은 PTFE 분리막의 세공분포는 수은침투법 및 전자현미경 사진의 분포와도 유사하였다. PTFE 막의 세공크기보다 작은 입자가 존재하는 bentonite 및 starch 용액을 투과시킬 경우 분리막 세공이 상당히 오염되어 세공분포가 약 0.3  $\mu\text{m}$  이하로 축소되었다. 그러나 kaolin 용액의 경우에는 0.35  $\mu\text{m}$  이상의 세공 일부만이 부분적으로 오염된 것으로 나타났다. 이와 같이 액체전이법을 이용한 분리막의 세공분포 측정으로 막오염 현상을 보다 정량적으로 구명할 수 있었다.

**Abstract** : The nominal pore size 0.2  $\mu\text{m}$  polytetrafluoroethylene(PTFE, Satorius Co.) membrane was used for the filtration of 0.1 wt% kaolin, bentonite, yeast, and starch solution, respectively. After filtration, the membrane was cleaned and the pore size was measured by liquid displacement method(LDM) using water/iso-butanol system. The pore size for new PTFE membrane evaluated by LDM was comparable with those of which were measured by mercury porosimetry and scanning electron microscope. The membrane pores were severely fouled, and constricted to below 0.3  $\mu\text{m}$  in the cases of bentonite and starch solution which contained smaller particles than pores. However, in the case of kaolin solution, only some parts of membrane pores above 0.35  $\mu\text{m}$  were slightly fouled. Hence, the phenomena of membrane fouling could be identified quantitatively by the evaluation of pore size using LDM.

## 1. 서 론

분리막 기술은 에너지 소모가 비교적 작은 분리방법으로 최근 기존의 고 에너지 소모형 기술인 증류, 추출, 원심분리 등의 대체기술로서 크게 대두되고 있으며 특히 수처리 등의 환경관련 분야에도 폭넓게 적용되고 있다. 분리막 공정 설계시에는 장치의 규모를 결정하는 분리막 투과유속과 분리효율 측정인자로서

용질 배제율을 기본적인 자료로서 사용하게 된다. 이상의 투과유속과 배제율은 기본적으로 분리막 세공크기 및 분리하고자 하는 용질의 상대적인 크기에 주로 의존한다. 그러나 일반적으로 분리막의 세공크기는 넓은 분포를 지니게 되며 그 모양 역시 불규칙하므로 세공크기를 측정하기가 쉽지 않으며 이를 표준화하기는 매우 힘든 실정이다. 특히, 분리막 세공크기가 작은 한외여과 내지는 역삼투막일수록 세공측정은 어려

우며 비교적 크기가 큰 정밀여과막의 경우에도 0.01 내지 1  $\mu\text{m}$  규모이므로 쉽지 않다. 따라서 비교적 세공분포를 측정하기 수월한 정밀여과막의 세공 측정방법을 요약하면 다음과 같다[1].

### 1.1. Gas-Liquid/Liquid-Liquid Porosimetry

분리막 세공내를 액체로 완전히 적신 다음, 기체(gas-liquid porosimetry) 또는 세공내에 액체와 상분리가 형성되는 다른 액체(liquid-liquid porosimetry)로서 점진적으로 압력을 증가시키면서 세공내에 액체를 밀어내는 방법이다. 기체를 사용할 경우, 분리막 세공내에 액체가 밀려나면 기체가 세공을 통과하여 분리막위에 액체에서 기포가 발생하므로 육안으로 쉽게 관측되며 이때의 압력을 bubble point pressure라 하며 다음 식으로 분리막의 최대 세공 크기를 측정할 수 있게 된다.

$$D = \frac{4\sigma \cos \theta}{P} \quad (1)$$

여기에서  $D$ 는 분리막 세공의 직경,  $\sigma$ 는 계면장력,  $P$ 는 분리막 세공( $D$ )내에 액체를 밀어내기 위한 압력 그리고  $\theta$ 는 액체와 분리막간의 접촉각이다[2-7].

### 1.2. Mercury Porosimetry

건조한 분리막 세공내에 단계적으로 증가시키면서 압력을 가하여 수은을 채우므로 세공크기를 측정하는 방법이다. 그러나 작은 세공을 분석하기 위해 높은 압력이 요구되며 이러한 고압이 분리막의 구조를 변형시킬 수 있다는 단점 등이 있다[8].

### 1.3. 전자현미경

Scanning electron microscopy, transmission electron microscopy, scanning transmission electron microscopy, field effect scanning electron microscopy 또는 atomic force microscopy 등의 각종 전자현미경을 사용하여 분리막 표면 또는 단면을 측정할 수 있으며 영상분석 프로그램 등을 활용하여 세공의 분포를 측정할 수 있다[5].

### 1.4. Solute Retention Challenge

분자량 또는 유체역학적 크기가 증가하는 다양한 용질을 분리막으로 여과하여 용질의 배제율로 분리막의 세공을 간접적으로 추정할 수 있다. 표준 실험 질차는 아직 정의되지 않았지만, 소금, 설탕, 순수 단백질, dextrans 등의 다양한 용질이 배제 실험에 사용된다[6].

### 1.5. 기 타

이 밖에 가스의 흡착 및 탈착을 이용한 분리막 세공분석 방법[7], 세공내에 응축된 증기의 고형화점(solidification point)을 differential scanning calorimeter 등으로 측정하여 분리막 세공을 결정하는 thermoporometry 방법[7], 세공내 증기의 응축으로 인한 세공막힘과 투과유속 결과를 이용하는 permporosimetry[7,9], NMR을 이용하는 방법[10], light transmission method[11] 등이 있다.

본 연구에서는 이상의 여러 가지 세공측정 방법중 액체전이법에 의하여 0.1 내지 1  $\mu\text{m}$  정도의 세공분포를 지니는 정밀여과막의 세공을 측정하고 SEM 사진과 비교하여 측정방법의 정확도를 평가한 후, 막의 세공분포를 Hagen-Poiseuille식에 의하여 추정하였다. 비대칭성막이고 공칭크기가 0.2  $\mu\text{m}$ 인 PTFE 정밀여과막을 mercury porosimetry로 세공 측정하여 비교하였다. 이밖에 막오염 실험을 실시한 후, 분리막 세공의 변화를 측정하여 막오염 정도를 평가하였다.

## 2. 이 론

Liquid-liquid porosimetry에 의한 정밀여과막의 세공분포를 구하기 위하여 서로 혼합되지 않는 액체 A, B를 사용한다고 하자. 액체 A가 모든 분리막 세공에 채워져 있고 여기에 액체 B를 가압하여 세공내에 액체 A를 대체하는 이른바 액체전이법(liquid displacement method)이다. 또한 정밀여과막이 Fig. 1과 같은 세공 분포를 지니고 있으며, 분리막 활성층내에서 각각의 세공은 원통형관이라고 가정하자. 임의의 세공크기와 액체 A를 대체하기 위한 압력과의 관계식은 식 (1)에 나타낸 바와 같다. 만약 분리막이 완전히 적셔진다면 액체와 분리막간의 접촉각  $\theta$ 가 0이 되며 식 (1)은 다음과 같이 유도된다.

$$r = \frac{2\sigma}{P} \quad (2)$$

여기에서  $r$ 은 분리막 세공의 반경이며 아래첨자 1, 2, 3등은 여러 세공을 나타낸다. 따라서 액체 B에  $P_1 > 2\sigma\gamma_1$ 으로 가압하면  $\gamma_1$ 과 같거나 큰 모든 세공내에 액체 A는 액체 B로 대체되며 단지  $\gamma_1$ 보다 작은 세공 내에는 액체 A가 계속하여 존재하게 된다(Fig. 1). 또한 정밀여과막 세공을 통한 액체의 흐름 유속은 일반적으로 층류상태로서 분리막 세공이 원통형 직관이라고 가정하면 Hagen-Poiseuille 식에서와 같이 압력( $P$ )에 비례하며 세공의 개수( $n$ ) 및 단면적( $A$ )를 고려한

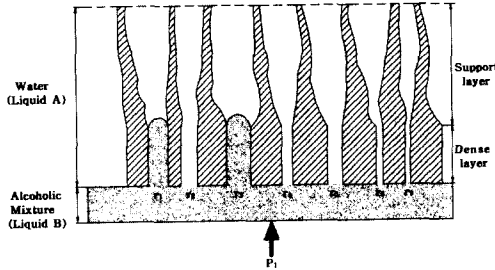


Fig. 1. Pore distribution measurement by liquid displacement method.

부피유량(Q)는 다음과 같다.

$$Q = \frac{\pi r^4 n A P}{8 \mu L} \quad (3)$$

여기에서  $\mu$ 는 액체의 점도, 그리고  $L$ 은 세공의 길이로서 분리막 활성층 두께에 해당된다. 따라서 액체 B에 가해진 압력  $P_1$ 과 분리막 투과량을 측정하면 단위면적당 세공수( $n_1$ )는 식 (2)와 (3)으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$n_1 = \frac{\mu L P_1^3}{2 \pi \sigma^4 A} Q_1 \quad (4)$$

또한 압력을  $P_1$ 에서  $P_2$ 로 증가할 경우,  $r_1$ 에서  $r_2$  사이의 액체 B로 대체되는 세공수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$n_{12} = \frac{\mu L P_{12}^3}{2 \pi \sigma^4 A} Q_{12} \quad (5)$$

여기에서  $P_{12} = (P_1 + P_2)/2$ 이며  $n_{12}$ 와  $Q_{12}$ 는  $P_1$ 에서  $P_2$ 로 가압할 경우, 세공수 및 투과유량의 차이를 나타낸다.

이상의 방법으로 식(2)와 (5)를 이용하여 분리막의 세공분포를 구할 수 있다[12]. 그러나 분리막의 활성층 두께는 측정이 매우 어려우므로 0.1  $\mu\text{m}$ 로 가정하였고 점도와 계면장력도 일정하다고 보았다. 따라서 이와 같은 여러 가지 이상적인 가정하에서 추정된 세공분포를 절대적인 값으로 간주할 수는 없지만 분리막 오염 전후에 막오염 상태를 파악하기 위한 상대적인 값으로는 이용 가능하다.

### 3. 실험

#### 3.1. 실험재료

액체전이법으로 각종 정밀여과막의 세공분포를 측

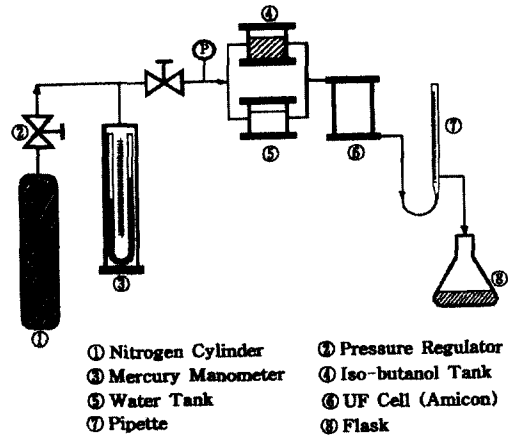


Fig. 2. Schematic diagram for liquid displacement method.

정하기 위하여 계면장력이 1.7  $\text{dyne/cm}$ 인 순수/순수가 용해도 만큼 포화된 이소부탄올(이하에서 이소부탄올이라 함)을 사용하였다. 이소부탄올(Junsei Chemical, 99%-GP grade) 0.4 L와 Elga사의 초순수장치로 제조한 18  $\text{M}\Omega\text{-cm}$  이상의 순수 3 L를 2시간 동안 shaker에서 혼합한 후 24시간 방치시키고 분액깔테기를 이용하여 상부와 하부의 액체를 분리하여 사용하였다.

#### 3.2. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용한 실험 장치는 Fig. 2에 나타난 바와 같다. 먼저 액체를 가압하기 위하여 질소 가스(1)를 사용하였으며 2개의 압력 조절기(2)로 약 0.03 bar 이내의 오차로 압력을 조절하였다. 정확하게 압력을 측정하기 위하여 높이가 2 m인 수은 마노메타(3)를 설치하였다. 순수 저장조(4)와 이소부탄올 저장조(5)는 Amicon사의 UF 셀(6)에 병렬로 연결되어 필요에 따라서 선택적으로 순수 또는 이소부탄올을 분리막에 통과시킬 수 있도록 하였다. 분리막을 통과한 투과액은 1 mL의 피펫(7)으로 시간에 따라서 측정하였으며 삼각 플라스크(8)에 수집하였다.

정밀여과막의 세공 측정을 위하여 13.4  $\text{cm}^2$  크기의 평막을 분리막 셀(6)에 설치하고 이를 피펫에 연결하여 일정한 시간 간격으로 투과량을 측정하였다. 분리막 세공 전체가 이소부탄올로 채워지도록 하기 위하여 이소부탄올 저장조에 압력을 0.5 bar까지 점차적으로 증가시키면서 투과량을 측정하여 투과량이 압력에 대하여 선형적으로 증가함을 확인하였다. 분리막 세공에 이소부탄올을 완전히 채운 것을 확인한 후, 순수 저장조(4)에 서서히 압력을 가하면서 (0.01 bar/분) 투

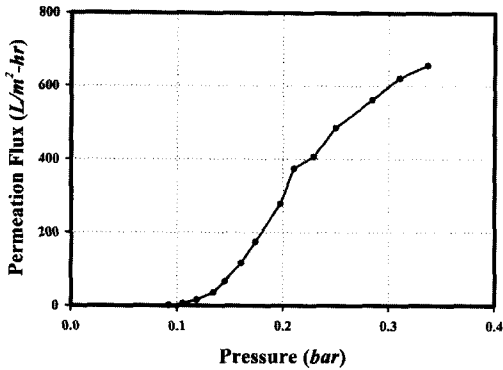


Fig. 3. Water permeation flux for new PTFE membrane filled with isobutanol as a function of pressure at T = 20°C.

과량이 존재하는지를 점검하였다. 투과량이 확인되면 더욱 미세하게 압력을 증가시켜 투과유속을 측정하고 투과량의 변화가 없을 때 또다시 미세하게 압력을 증가시켜 투과유속을 반복적으로 측정하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1. PTFE 정밀여과막의 세공분포

공칭크기가 0.2  $\mu\text{m}$ 인 Satorius사의 PTFE 새막을 이소부탄올로 적신 다음 순수를 투과시킬 경우, 압력에 따른 투과유속을 Fig. 3에 나타내었다. 순수에 0.092 bar의 압력이 가해졌을 때 비로소 분리막 투과량이 관측되었고 계속하여 압력을 증가시킬 경우, S자형의 투과곡선을 이루며 0.25 bar 이상에서는 투과유속이 압력에 선형적으로 비례하여 Hagen-Poiseuille식과 잘 일치하였다. 따라서 0.25 bar에서 모든 세공내에 이소부탄올이 순수로 대치되어 측정된 것으로 추정된다. 투과실험 결과인 Fig. 3에 식 (2)와 (5)를 적용하여 PTFE 막의 세공분포를 구하면 Fig. 4에 나타난 바와 같다. 액체전이법으로 확인된 세공분포는 0.28  $\mu\text{m}$ 에서 0.78  $\mu\text{m}$ 까지의 범위에 있으며 세공크기가 증가할수록 단위 면적당 세공수는 크게 감소함을 확인할 수 있었다. 이상의 PTFE 막을 mercury porosimetry(Poresizer 9320, Micromeritics Instrument Co.)로 수은을 분리막 세공에 침투시켜 측정한 결과는 Fig. 5에 나타난 바와 같다. Fig. 5(a)는 PTFE 막의 단위 질량당 세공면적을 세공크기에 대하여 나타낸 것으로 0.05 내지 2  $\mu\text{m}$  범위에 세공이 주로 존재함을 확인할 수 있었다. 그 이상의 세공은 주로 PTFE 막 지지층의 세공인 것으로 추정된다. Fig. 5(b)는 단위 면적당의 세공수를 추

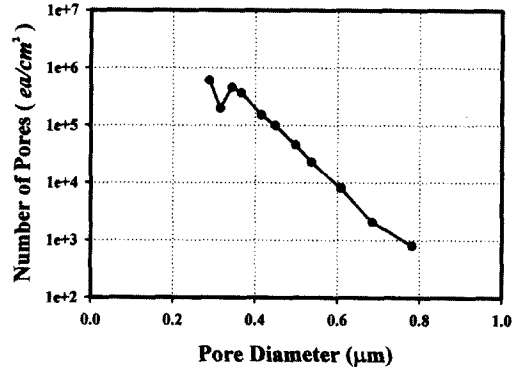
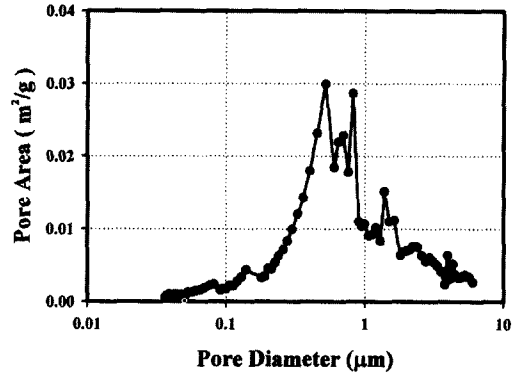
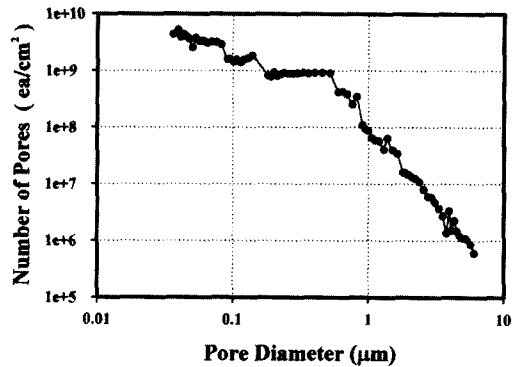


Fig. 4. New PTFE membrane pore distribution based on Hagen-Poiseuille equation.



(a)



(b)

Fig. 5. New PTFE membrane pore distribution by mercury porosimetry (a) Pore area and (b) Number of pores.

정한 것으로 Fig. 5(a)에서와 같이 0.1  $\mu\text{m}$  이하에서도 막 단위 질량당 전체 세공면적은 작지만 많은 세공이



Fig. 6. SEM micrograph of new PTFE membrane surface.

존재함을 알 수 있었다. 액체전이법에 의한 세공분포인 Fig. 4와 비교하면 세공수의 절대값이  $10^3$  규모로 크게 나타났으나 세공크기 규모는 유사하였다. 수은침투법에서는 수습기압까지도 가압할 수 있으므로 미세한 세공까지도 측정이 가능하며 수은의 침투성이 매우 우수하여 보다 정확하게 세공분포를 측정할 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 본 실험에서와 같이 측정이 간단한 액체전이법을 사용하여도 손쉽게 상대적으로 비교할 수 있는 정밀여과막의 세공분포를 예측할 수 있었다. 또한 전자현미경(JEOL, JSM 6400)으로 촬영한 PTFE 막의 표면 사진은 Fig. 6에 나타낸 바와 같으며 세공분포 역시 Fig. 4 내지 Fig. 5의 범위에서 폭 넓게 분포되어 있음을 확인할 수 있었다.

#### 4.2. PTFE 정밀여과막의 막오염

이상의 방법으로 세공분포를 확인한 PTFE 정밀여과막을 stirred dead-end type cell(Amicon 8050)에 장착하고 0.1 wt%의 kaolin(Sigma 사), bentonite (Junsei Co.), dry yeast(Fleischmann Co.) 및 starch (Duksan Pure Chemical Co.) 용액을 각각 통과시켰다. Laser scattering method에 의한 입도측정기(Otsuka, PAR-III)로 0.1 wt% kaolin, bentonite, yeast 및 starch 용액의 입도를 측정한 결과는 Fig. 7에 나타난 바와 같다. Kaolin 입자는 1 내지  $2 \mu\text{m}$  범위에 분포하였으며(Fig. 7(a)) bentonite 입자는  $0.3 \mu\text{m}$  크기의 작은 입자와 kaolin과 유사한  $1 \mu\text{m}$  범위의 입자가 동시에 존재하였다(Fig. 7(b)). Yeast 입자는 PTFE 정밀여과막의 세공크기보다 큰 4 내지  $6 \mu\text{m}$  범위이며(Fig. 7(c)) 반대로 starch 입자는 PTFE 정밀여과막 보다 작은 0.06 내지  $0.1 \mu\text{m}$  근방이었다(Fig. 7(d)). 1 bar, 200 rpm 하에서 약 1시간 동안 kaolin 용액을 통과시킨 PTFE 막을 세척한 후, 액체전이법으로 세공분포를 측

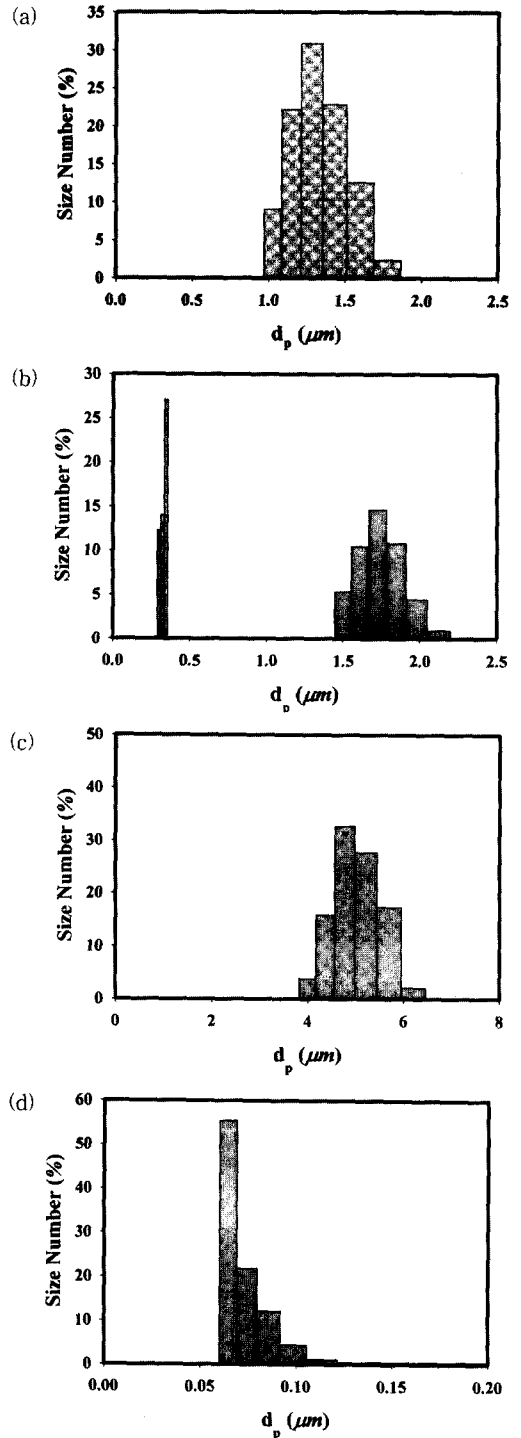


Fig. 7. Particle size distributions (a) Kaolin, (b) Bentonite, (c) Yeast, and (d) Starch.

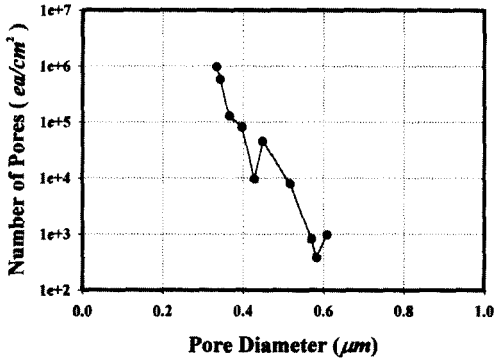


Fig. 8. Fouled PTFE membrane pore distribution. The pore distribution was measured after 0.1 wt% kaolin filtration and membrane cleaning.



Fig. 9. SEM micrograph of PTFE membrane surface with kaolin foulant.

정하였으며 또한 전자현미경으로도 확인하였다. 오염된 PTFE 막의 세공분포는 Fig. 8에 나타난 바와 같이 0.3 내지 0.6 μm의 범위이었으며 오염되지 않은 새로운 PTFE 막의 세공분포인 Fig. 4와 비교하면 세공크기가 큰 부분이 많이 막혀있음을 알 수 있다. 또한 Fig. 9의 전자현미경 사진과 Fig. 6을 비교하더라도 막 세공의 내부가 많이 막혀있음을 확인할 수 있었다. Kaolin 입자의 용액외에 PTFE 정밀여과막의 세공분포보다 크고 작은 yeast 또는 starch 용액과 PTFE 막의 세공크기보다 크고 작은 입자크기가 동시에 존재하는 bentonite 용액을 투과시킨 후 세척하고 분리막 세공을 측정하여 Fig. 10에 나타내었다. Kaolin 입자를 제외한 bentonite, starch 및 yeast 입자는 PTFE의 세공크기를 상당히 감소시켰음이 확인되었다. PTFE 막의 세공크기보다 작은 입자가 존재하는 starch 및 bentonite의 경우는 입자들이 여과과정중 분리막을

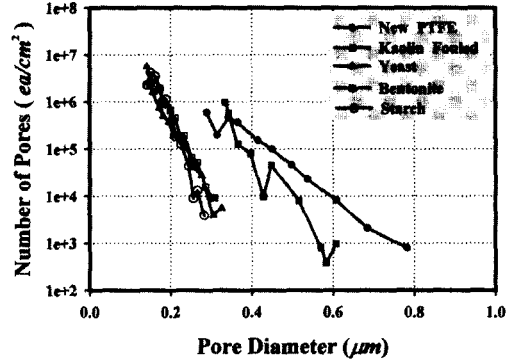


Fig. 10. PTFE membrane pore distributions with respect to various foulants.

막을 수 있으므로 분리막 세공크기를 감소시킬 수 있을 것으로 쉽게 예측할 수 있다. 그러나 yeast의 경우는 비록 hydrodynamic radius가 분리막의 세공보다 클지라도 타원형 모양으로 이루어져 세공내로 쉽게 침투할 수도 있으며 세포가 분리막 세공내 혹은 표면에 잘 부착할 수 있으므로 상당한 세공크기의 감소를 초래한 것으로 추정된다.

4.3. 기타 정밀여과막의 막오염도

공칭크기 0.2 μm PTFE 정밀여과막외에도 Table 1과 같은 여러 종류의 정밀여과막에 대하여도 액체전이법에 의한 세공분포를 측정하였다. 4.2절에서와 같은 방법으로 0.1 wt%의 kaolin 용액으로 stirred dead-end type cell에서 투과실험을 행한 후, 오염된 분리막의 세공분포를 비교하여 막오염 정도를 평가하였다. Fig. 11은 투과실험 전후에 각각의 분리막의 세공분포를 나타낸 것으로 투과실험후 kaolin에 의한 세공의 막힘정도를 파악할 수 있다. 또한 Fig. 12는 투과전후에 분리막의 전자현미경 사진이다. Fig. 11에서와 같이 분리막의 세공이 오염되어 있음을 확인할 수 있었다. 이상의 막오염에 의한 세공분포의 범위와 이에 따른 순수 투과도의 감소비를 Table 2에 요약하여 나타내었다. 세공분포가 0.2 내지 0.8 μm 범위로 분포되어 있는 PTFE, Ayspore, PA 분리막의 경우 kaolin 오염에 의한 순수 투과 감소율은 3% 이하이며 세공분포 역시 크게 변화하지 않았다. 이는 전자현미경으로도 확인할 수 있었다(Fig. 12(a)와 (b)). 반면에 PC 분리막의 경우는 막과 kaolin과의 상호인력등이 상대적으로 강하여 Fig. 12(c) 및 (d)의 전자현미경 사진에서와 같이 분리막 세척이 잘 이루어지지 않았다. 따라서 분리막 표면의 kaolin 케이크층이 존재하므로 세공분포가 감소하고 순수하락이 큰 것으로 나타났다.

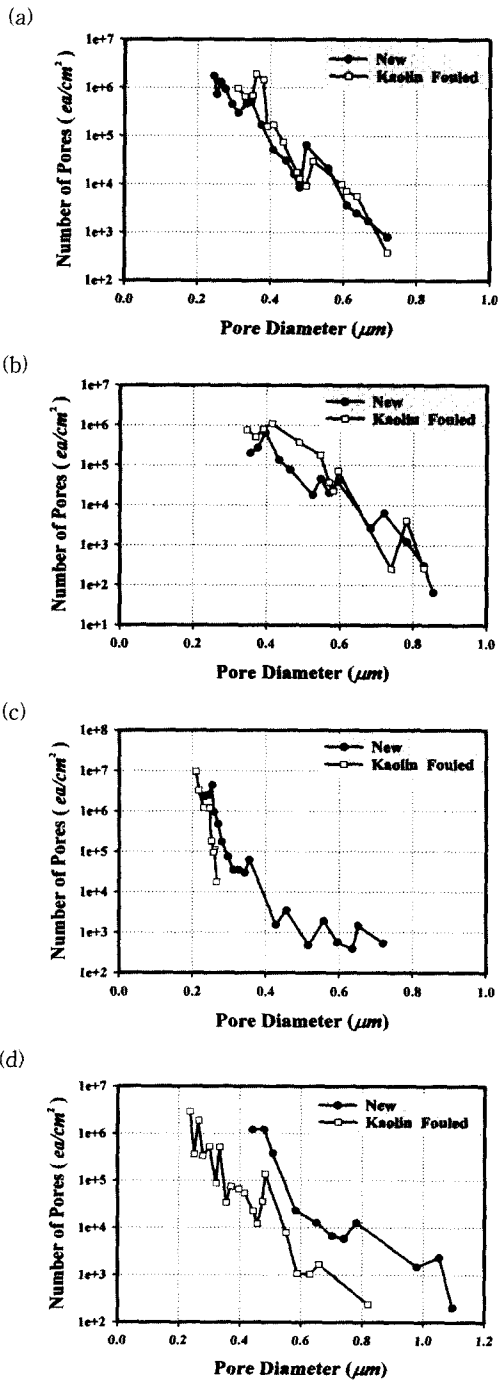


Fig. 11. Pore distributions between new and kaolin fouled membranes (a) Aspor, (b) PA, (c) PC 0.2 and (d) PC 0.6.

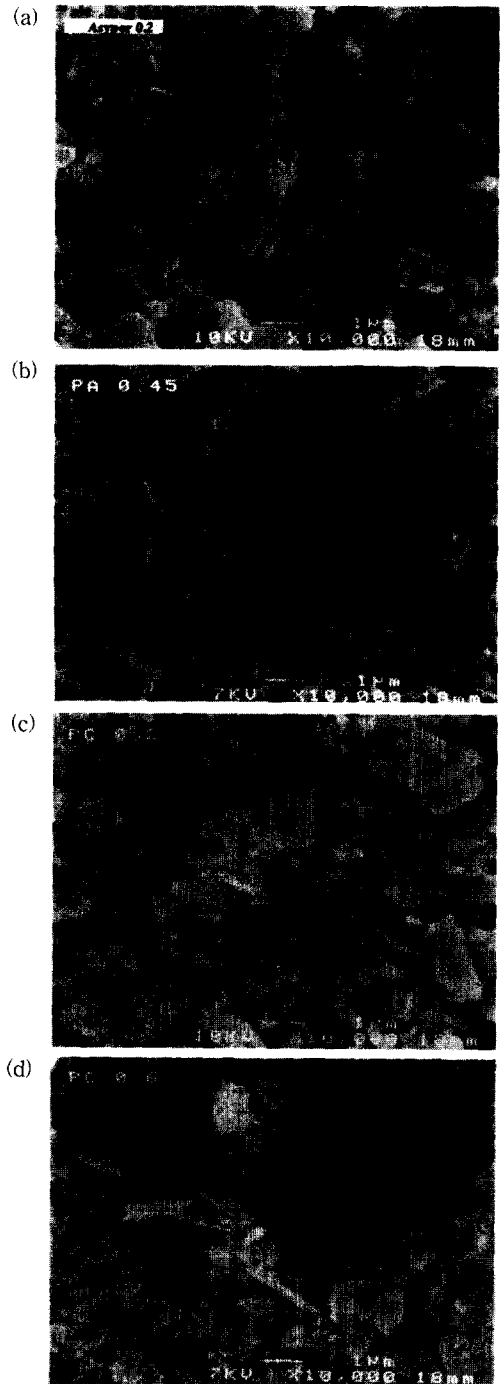


Fig. 12. SEM micrographs of membrane surfaces with kaolin foulant (a) Aspor, (b) PA, (c) PC 0.2 and (d) PC 0.6.

**Table 1.** Microfiltration membranes used for experiments

Materials	Normal Pore Size, $\mu\text{m}$	Company
Polytetrafluoroethylene(PTFE)	0.2	Satorius
Cellulose Acetate*	0.2	Domnick Hunter
Polyamide(PA)	0.45	n.a.
Polycarbonate (PC)	0.2	Poretics
	0.6	Poretics

\* Asypor

**Table 2.** Summary of membrane pore distributions and pure water fluxes between new and used membranes

	New Membrane Pore Size, $\mu\text{m}$	Fouled Membrane* Pore Size, $\mu\text{m}$	Pure Water Flux Decrease, %
PTFE	0.29~0.78	0.33~0.61	1
Asypor	0.24~0.72	0.31~0.72	1
PA	0.27~0.86	0.35~0.83	3
PC	0.2	0.23~0.72	17
	0.6	0.44~1.09	27

\* After 0.1 wt% kaolin solution filtration and cleaning

이상에서와 같이 액체전이법에 의한 분리막 세공분포는 전반적으로 적절하게 측정되었고 전자현미경으로도 이를 상대적으로 확인할 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 분리막 여과시 막오염도를 원료 용액 투과전/후에 분리막 세공분포를 측정하므로서 평가하였다. 정밀여과막에 순수/이소부탄올을 사용하는 액체전이법을 적용하였으며 dead-end 형 UF cell를 이용하여 간편하게 투과유속을 측정하고 Hagen-Poiseuille 식을 적용하여 분리막의 세공분포를 계산하였다. 이상의 방법으로 추정된 세공분포는 상용화된 mercury

porosimetry를 이용한 세공 분포의 측정 결과와 비교적 잘 일치하였으며 또한 전자현미경 사진의 세공크기와도 유사한 범위이었다.

입자 크기가 다른 kaolin, bentonite, starch 및 yeast 용액을 공칭크기 0.2  $\mu\text{m}$  PTFE 정밀여과막에 투과시킨 결과, PTFE 막의 세공크기보다 작은 입자가 존재하는 bentonite 및 starch 용액의 경우 분리막 세공이 오염되어 세공분포가 약 0.3  $\mu\text{m}$  이하로 작아짐을 확인하였다. 그러나 판상의 kaolin 용액의 경우에는 약 0.35  $\mu\text{m}$  이상의 세공 일부만이 부분적으로 오염된 것으로 나타났다.

PTFE, Asypore, PA 및 PC 정밀여과막에 0.1 wt% kaolin 용액 투과전/후의 순수투과 감소율을 측정하였다. PTFE, Asypore 및 PA의 순수투과 감소율은 3% 이내로 무시할 정도이었으며 이는 투과전/후에 세공분포의 측정 결과, 약간의 변화가 존재한 것보다도 잘 일치하였다. 또한 PC막의 경우 세척후 막표면에 존재하는 kaolin 케이크 층의 영향으로 순수투과가 약 30% 감소하고 세공 분포 역시 크게 감소함이 확인되었다. 결론적으로, 본 연구에서 추정된 세공분포 측정은 분리막오염 상태를 파악하는 신뢰성이 높은 방법이 될 수 있다.

## 감 사

이 논문은 1998년도 한국과학재단 핵심전문연구과제(과제번호 : 981-1102-008-2) 연구비에 의하여 연구되었기에 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. A. Hernandez, J. I. Calvo, P. Pradanos, and F. Tejerina, *Colloids and Surfaces*, **138**, 391 (1998).
2. ASTM F316, "Standard Test Method for Pore Size Characteristics of Membrane Filters by Bubble Point and Mean Flow Pore Test".
3. ASTM E1294, "Standard Test Method for Pore Size Characteristics of Membrane Filters Using Automated Liquid Porosimetry".
4. Y. Lee, J. Jeong, I. J. Youn, and W. H. Lee, *J. Membrane Sci.*, **130**, 149 (1997).
5. S. I. Nakao, *J. Membrane Sci.*, **96**, 131 (1994).
6. M. Cheryan, "Ultrafiltration and Microfiltration Handbook", Technomic Pub. Co. Inc., Lancaster, PA (1998).



7. L. J. Zeman and A. L. Zydney, "Microfiltration and Ultrafiltration Principles and Application", Marcel Dekker, Inc., New York, NY (1996).
8. P. A. Webb and C. Orr, "Analytical Methods in Fine Particle Technology", Micromeritics Instrument Co., Norcross, GA (1997).
9. A. Mey-Marom and M. G. Katz, *J. Membrane Sci.*, **27**, 119 (1986).
10. C. L. Glaves and D. M. Smith, *J. Membrane Sci.*, **46**, 167 (1989).
11. I. J. Youn, J. Jeong, T. Kim and J. C. Lee, *J. Membrane Sci.*, **145**, 265 (1998).
12. G. Capannelli, F. Vigo and S. Munari, *J. Membrane Sci.*, **15**, 289 (1983).