

혼합입자 용액의 정밀여과막 오염특성

정 건 용

서울산업대학교 화학공학과
(2001년 9월 19일 접수, 2001년 11월 8일 채택)

Fouling Characteristics in the Microfiltration of Mixed Particle Suspensions

Kun Yong Chung

Department of Chemical Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul, Nowon 139-743, Korea
(Received September 19, 2001, Accepted November 8, 2001)

요 약 : Kaolin, bentonite, starch 및 PMMA의 단일 또는 혼합 입자용액을 정밀여과막이 장착된 dead-end형 Amicon 여과셀에서 투과 실험하였으며 그 결과는 오염 특성을 규명하기 위하여 등압여과 모델에 적용하였다. 동일한 양으로 혼합한 kaolin/starch 입자의 0.1 wt% 혼합용액에 경우, 각각 입자의 평균 투과유속보다 30% 정도 낮았다. 그러나 kaolin보다 훨씬 큰 PMMA와의 혼합 입자용액의 경우에 투과유속은 kaolin과 PMMA의 평균보다 10% 정도 높았다. Bentonite와 PMMA 또는 starch의 혼합 용액일 경우, 혼합 입자에 의한 투과유속 향상효과는 kaolin에 비하여 훨씬 적게 나타났다. 또한 동일 양으로 혼합한 kaolin/starch 용액의 농도를 변화시킬 경우, 막오염 저항은 0.05 wt%에서 최소이었다.

Abstract : Single and mixed particle suspensions of kaolin, bentonite, starch and PMMA were carried out using a dead-end Amicon filtration cell with microfiltration membranes. The experimental data of permeate fluxes were fitted by the constant pressure filtration models in order to investigate fouling steps. In 0.1 wt% mixed solution of equal amount of kaolin and starch, the permeation flux was about 30% lower than the average of each particle flux. However, the permeation flux for kaolin/PMMA mixed solution was about 10% higher than the average of each particle flux. In the cases of bentonite and PMMA or starch mixed solution, the improvement effect on permeation flux was weaker than that of kaolin mixed solution. Also, the membrane fouling resistance for mixed particle solution of equal amount of kaolin and starch was minimum at 0.05 wt% particle concentration.

Keywords : fouling, microfiltration, suspensions

1. 서 론

최근 고순도 내지는 특수 기능성 물질의 수요 증대와 환경 처리 및 에너지 절약기술의 필요성이 급증함에 따라서 실험실적 규모로부터 대규모 공정에 이르기 까지 막분리 공정이 폭넓게 응용되고 있다. 그러나 오염 물질이 막 세공내로 침투하여 세공을 막거나 세

공 벽면에 부착하여 세공 크기를 감소시키는 이른바 막오염 현상 내지는 오염 물질이 막표면 위에 축적되는 농도분극 현상등이 막분리 공정 확산에 큰 장애요인이 되고 있다. 따라서 효율적이고 경제적인 막분리 공정을 설계하기 위하여는 적용하려는 시스템의 농도분극 내지는 막오염의 특성을 정확히 이해하고 적절한 방지 노력이 필요하다[1,2]. 세척등으로 원상회복이 가능한 가역적인 농도분극화 현상과는 대조적으로 막오염은 원상회복이 불가능한 비가역적 과정

†주저자(e-mail : kychung@plaza1.snut.ac.kr)

이며 오염 물질 또는 분리막 각각의 특성 뿐만 아니라 오염 물질과 분리막의 상호 작용 및 운전 조건에 따라서도 매우 복잡하게 변화하는 현상으로 알려져 있다. 가장 많이 사용하는 고분자 분리막에는 대체로 광범위한 세공 분포가 존재하며 오염 물질 역시 그 입도 분포가 다양하여 분리막으로 오염 물질을 분리할 때 발생하는 막오염 현상을 이론적으로 규명하기는 매우 어렵다. 더욱이 일반적으로 존재하는 분리막과 오염 물질간의 전기적 특성을 고려하는 막오염 모델의 적용은 훨씬 복잡하므로 단일 입자 또는 세공 분포가 좁은 분리막에 한정하여 연구되고 있다[3-5]. 본 연구팀에서는 이미 PTFE 정밀여과막에 대한 kaolin 단일입자의 막오염 현상을 등압여과 모델에 적용한 바 있다[6]. 더 나아가서 혼합 오염물질의 경우 형성되는 광범위한 입도 분포가 막오염에 미치는 영향을 보다 체계적으로 규명하기 위하여 물리적 특성이 잘 알려진 kaolin, bentonite, starch, PMMA의 혼합 입자를 사용하였으며 또한 세공 공칭크기가 0.2 μm 인 PTFE, Asypore, polycarbonate 막과 공칭크기가 0.45 μm polyamide 막 및 0.6 μm 인 polycarbonate 막을 사용하여 정밀여과막에 따른 막오염 특성을 고찰하였다.

2. 이 론

2.1. 투과저항

압력 지배영역(pressure-controlled region)에서 운전하는 여과공정에 대한 투과유속은 다음과 같이 Darcy의 법칙으로 예측할 수 있다[7].

$$J = k \frac{\Delta p}{\mu} \quad (1)$$

여기에서 k 는 분리막의 투과도를 나타내며 μ 는 분리막을 투과하는 용액의 점도이다. 한편, 점도를 포함하는 투과도의 역수로서 투과저항(R_m)을 나타내면 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$J = \frac{\Delta p}{R_m} \quad (2)$$

순수를 일정한 압력하에서 분리막에 투과시킬 경우 식 (2)로부터 분리막의 투과저항을 구할 수 있다. 그 다음 입자 또는 콜로이드 용액을 분리막에 투과시키면 막표면 근방에 농도 분극이나 케이크 층이 생성되기도 하고 경우에 따라서는 분리막 세공을 막는 막오염이 발생하기도 하는데 이를 투과 저항식으로 표현하면 다음과 같다.

$$J = \frac{\Delta p}{R_m + R_c + R_f} \quad (3)$$

여기에서 R_c 는 케이크 저항, R_f 는 막오염 저항이다. 농도 분극이나 케이크층은 일반적인 세척방법으로 제거 가능한 가역적 현상이므로 입자 또는 콜로이드 용액의 투과실험 후 분리막을 세척하여 순수로 투과 실험하면 식 (3)에서 케이크 저항이 제거되어 식 (4)와 같이 된다.

$$J = \frac{\Delta p}{R_m + R_f} \quad (4)$$

따라서 식 (2)와 (4)로부터 R_m 과 R_f 를 구한 후 식 (3)으로부터 R_c 를 구할 수 있다.

2.2. 등압여과

일반적으로 알려진 등압여과(constant pressure filtration)는 다음과 같이 4가지 모델로 요약할 수 있다[8]. 본 연구에서 사용한 dead-end식 여과 공정중 등압여과 mechanism은 콜로이드 (오염 물질)의 농도 및 운전시간에 따라서 변화할 수도 있다[9,10].

Complete pore blocking model(CPBM)

CPBM은 입자와 막세공이 비슷한 크기일 경우 적용 가능하다. 이 모델은 막표면에 도달한 입자들이 중첩되지 않고 세공의 일부를 막아 결국 유효 세공수의 감소로 투과유속이 감소한다는 가정하에 제시되었다. 시간에 따른 누적 투과부피(V)는 식 (5)과 같이 나타낼 수 있으며

$$V = \frac{Q_0}{K_b} [1 - \exp(-K_b t)] \quad (5)$$

여기에서 Q_0 는 초기 투과유량, K_b 는 CPBM 상수로서 단위 투과부피에 대한 막힌 세공의 표면적과 초기 투과유속(J_0)의 곱으로 이루어진다. 따라서 투과부피는 여과중 각하는 세공면적에 따라서 지수적으로 감소함을 알 수 있다. 식 (5)에 Taylor 급수와 분리막의 유효 단면적(A)을 적용하면 다음과 같이 투과유속(J)과 투과부피의 간략한 식으로 표현할 수 있다.

$$J = J_0 - \left(\frac{K_b}{t} \right) V \quad (6)$$

Standard pore blocking model(SPBM)

입자가 막세공의 크기보다 훨씬 작을 경우, 입자는 분리막 세공내로 쉽게 들어갈 수 있으며 입자들은 각각의 세공 내벽에 부착하여 세공의 단면적을 감소시킬 수 있다. SPBM은 분리막 표면에 축적되는 입자

를 무시하고 단지 분리막 세공의 단면적이 축소되어 투과유속이 감소한다는 모델로서 유효 세공의 수는 여과중 일정하게 유지되는 경우이다. 투과부피는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있으며 여기에서 K_s 는 SPBM 상수이다.

$$\frac{V}{t} = \frac{K_s}{2} t + \frac{1}{Q_o} \quad (7)$$

또한 투과유속으로 나타내면 식 (8)과 같다.

$$\sqrt{J} = \sqrt{J_o} - \frac{K_s}{2} \sqrt{J_o} V \quad (8)$$

Intermediate pore blocking model(IPBM)

IPBM은 분리막 표면에 도달한 입자중에 일부는 비어있는 새로운 세공을 막을 수 있으며 일부는 이미 막혀진 세공에 중복하여 축적되는 경우이다. 투과시간에 대한 투과부피 및 투과유속은 식 (9), (10)과 같으며 여기에서 K_i 는 IPBM 상수이다.

$$V = \frac{1}{K_i} \ln[1 + K_i Q_o t] \quad (9)$$

$$\frac{1}{J} = \frac{1}{J_o} + K_i A t \quad (10)$$

Cake filtration model(CFM)

CFM은 SPBM과는 반대로 입자가 막세공보다 훨씬 클 경우 배제된 입자들이 막표면에 쌓여 케이크를 형성할 때 적용할 수 있다. 분리막에 의하여 배제된 입자는 막표면에 축적되고 투과저항으로 작용하며 투과부피 및 투과유속은 다음과 같이 점차적으로 감소한다.

$$\frac{t}{V} = \frac{K_c}{2} V + \frac{1}{Q_o} \quad (11)$$

$$\frac{1}{J} = \frac{1}{J_o} + K_c A V \quad (12)$$

이상의 여과상수 K_b , K_s , K_i , K_c 및 Q_o 는 투과실험 자료를 이상의 식 (5) 내지 (12)에 적용하여 기울기와 절편으로부터 구할 수 있다. K_b 와 K_i 는 단위 투과부피에 대한 막힌 세공 단면적에 비례하며 K_s 는 단위 투과부피에 대하여 배제되는 입자의 양에 따라서

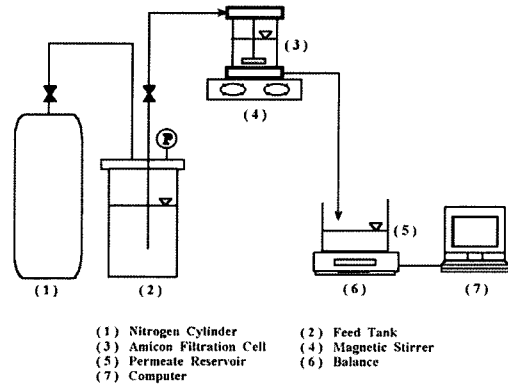


Fig. 1. Schematic flow diagram of a dead-end filtration system.

변화한다. 그러나 K_c 는 케이크 저항과 콜로이드 현탁액의 농도에 의존한다.

3. 실험

3.1. 실험장치

본 실험에서 사용한 실험장치의 개략도는 Fig. 1에 나타난 바와 같다. 질소가스 실린더(1)를 사용하여 원료용액(2)은 가압되고 부피가 50 mL인 dead-end형 Amicon 여과셀(3)로 이송된다. Amicon 셀내에 장착되는 평판형 분리막의 유효 단면적은 13.4 cm²이고 셀내에 magnetic stirrer와 교반기(4)를 이용하여 원료 용액을 원활히 혼합할 수 있다. 분리막을 투과한 용액은 전자저울(6) 위에 올려진 비이커(5)로 수집되며 1 내지 수초 간격으로 측정된 자료를 컴퓨터(7)로 전송 기록할 수 있다. 계속하여 시간에 따른 투과용액의 무게로부터 투과유속을 계산할 수 있다.

3.2. 실험재료

- 분리막: 공칭크기가 0.2 μm인 PTFE(Satorius Co.), Asypore(Dornick Hunter), polycarbonate막(Poretics Co.), 공칭크기가 0.45 μm인 polyamide막과 0.6 μm인 polycarbonate막(Poretics Co.)을 사용하였다. Cellulose 혼합 ester 재질인 Asypor막을 제외하고는 분리막 모두가 강한 소수성을 나타내고 있다.
- 원료용액: 입자의 크기가 다른 kaolin(Sigma Co.), bentonite(Junsei Co.), starch(Duksan Pure Chemical Co.) 및 PMMA 입자를 Elgasa의 초순수 장치로 제조한 18 MΩ-cm 이상의 초순수를 사용하여 원하는 농도의 용액으로 제조하였다. Laser scattering method에 의한 입도측정기(Otsuka, PAR-III)로

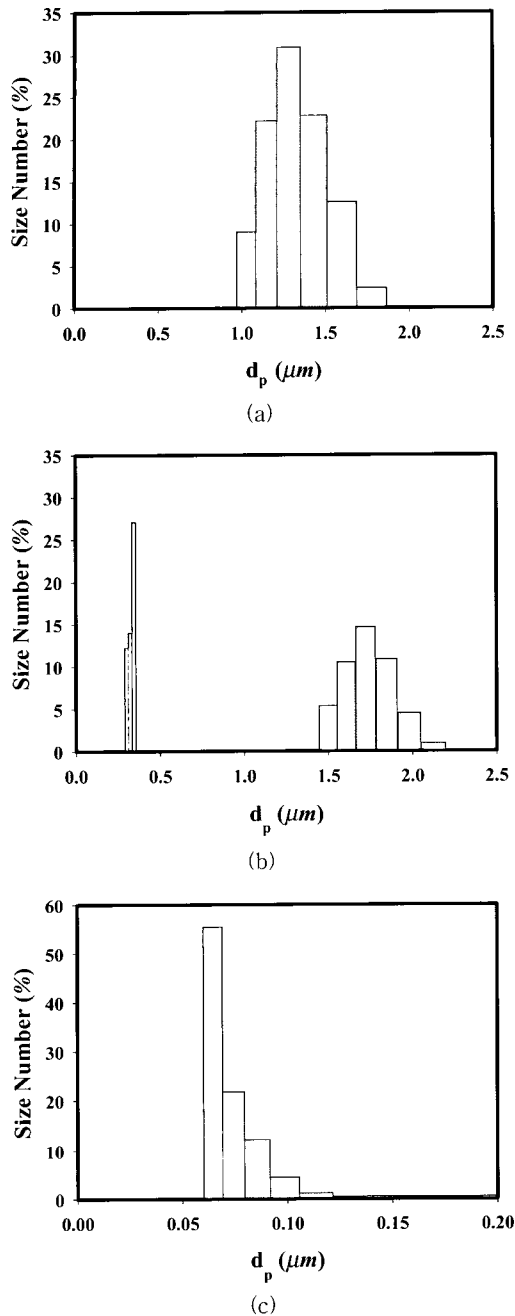


Fig. 2. Particle size distributions (a) kaolin, (b) bentonite and (c) starch.

0.1 wt% kaolin, bentonite 및 starch 용액의 입도를 측정된 결과는 Fig. 2에 나타난 바와 같다. Kaolin 입자는 1 내지 2 μm 범위에 분포하였으며 (Fig. 2(a)) bentonite 입자는 0.3 μm 크기의 작은

입자와 kaolin 과 유사한 1 μm 범위의 입자가 동시에 존재하였다(Fig. 2(b)). Fig. 2(c)에서와 같이 starch의 입자 분포는 0.06 내지 0.1 μm 근방이었다. 또한 PMMA 입자는 실험실적으로 제조한 구형 입자로서 그 크기가 100 내지 180 μm 범위에 분포되어 있다.

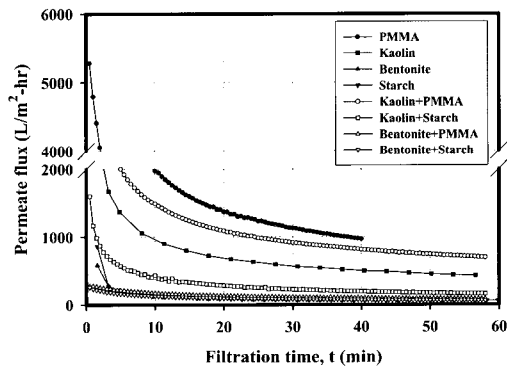
4. 결과 및 토의

4.1. 입자에 따른 투과유속

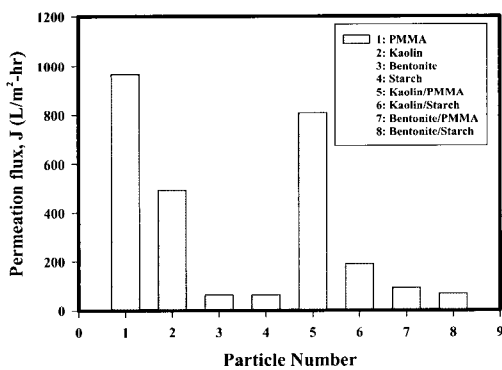
공칭크기 0.2 μm 인 PTFE막에 0.1 wt% 단일 또는 혼합입자 용액을 1 bar, 200 rpm의 운전조건으로 dead-end형 여과셀에서 투과시킬 때 시간에 따른 투과유속을 Fig. 3(a)에 나타내었다. 초기 10분 이내에는 막오염으로 인하여 급격한 투과유속의 감소가 관찰되었으나 점차 안정화하는 일반적인 경향을 보였으며 또한 투과시작 40분 후에 각 입자용액의 투과유속을 Fig. 3(b)에 나타내었다. 단일입자의 경우, 입자크기가 100 μm 규모인 PMMA의 투과유속이 가장 높게 나타났으며 PMMA 입자의 약 1/100 규모인 kaolin의 투과유속은 PMMA 의 약 1/2에 해당되었다. Bentonite 입자의 대부분은 kaolin과 유사한 1 μm 정도이지만 일부분의 입자가 Fig. 2(b)에 나타낸 바와 같이 막세공과 유사한 0.2 내지 0.4 μm 범위에 존재하며 점착성이 높아 kaolin 입자에 비하여 15% 미만의 낮은 투과유속을 나타내었다. 즉 bentonite 입자중 분리막 세공과 유사한 크기의 작은 입자들이 분리막 세공을 막거나 세공 상부에 축적되어 주요한 투과저항으로 작용한 것으로 판단되며 이는 Table 1에서도 확인할 수 있다. Starch 입자는 그 크기가 0.1 μm 이하로써 막세공보다 작으므로 막세공내에 부착 가능하며 유효 투과 세공면적을 크게 감소시킬 수 있으므로 매우 낮은 투과유속을 나타냈다. 한편 이상의 단일입자를 혼합할 경우, 즉 kaolin 또는 bentonite를 기준으로 크기가 작은 starch 또는 훨씬 큰 PMMA 입자와 혼합하여 투과실험을 행하였다. Kaolin과 starch 입자를 50:50 wt% 로 혼합시킨 0.1 wt% 용액으로 투과 실험한 결과, 크기가 큰 kaolin 입자가 starch 입자만의 막오염 현상을 방해하거나 완화시킬 수 있으므로 kaolin과 starch 입자의 산술평균 투과유속보다 30% 정도 낮게 나타났다. 그러나 이와는 반대로 kaolin 보다 훨씬 큰 PMMA와의 50:50 wt% 혼합 입자용액의 경우에는 kaolin의 막오염이 주로 투과저항으로 작용하며 크기가 큰 PMMA 입자가 막오염을 완화시켜 결국 kaolin과 PMMA의 평균 투과유속보다 10% 정도 높았다. Bentonite와 PMMA 입자의 50:50 wt%

Table 1. PTFE microfiltration resistances at the operating condition of 1 bar and 200 rpm

Resistance	R_m (kg/m ² -s)	R_f (kg/m ² -s)	R_c (kg/m ² -s)	R_t (kg/m ² -s)	R_f/R_t (%)	R_c/R_t (%)
Particles						
Kaolin	4.49×10^7	0.07×10^7	68.46×10^7	73.02×10^7	0.1	93.8
Bentonite	6.53	133.55	422.42	562.50	23.7	75.1
Starch	6.11	380.99	175.40	562.50	67.8	31.2
PMMA	4.50	1.59	31.22	37.31	4.3	83.7
Kaolin + Starch	4.40	1.76	183.31	189.47	0.9	96.7
Kaolin + PMMA	4.20	0.16	40.25	44.61	0.4	90.2
Bentonite + Starch	4.78	21.97	494.99	521.74	4.2	94.9
Bentonite + PMMA	6.95	40.11	340.04	387.10	10.4	87.8



(a)



(b)

Fig. 3. Permeation fluxes of 0.1 wt% single or mixed particle solutions for 0.2 μm PTFE membrane at 1 bar and 200 rpm: (a) as a function of filtration time, and (b) at $t=40$ mins.

혼합용액일 경우, kaolin에 비하여 점착성이 매우 강한 bentonite의 막오염이 현저하므로 PMMA에 의한 막오염 완화 효과가 비교적 작아 bentonite/PMMA 평균 투과유속의 20%에도 미치지 못하였다. 이는 bentonite 단일 입자의 투과유속보다는 50% 가량 증가한 것이나 그 효과는 크다고 볼 수 없다. 마지막으로 bentonite와 starch 입자가 50:50 wt%로 혼합된 용액의 경우, 두 단일 입자와 유사한 투과유속을 나타냈으며 bentonite/starch 입자 상호간의 작용으로 인한 막오염의 증가 또는 감소 효과는 미미한 것으로 나타났다.

4.2. 분리막에 따른 투과유속

0.1 wt% kaolin 용액을 1 bar, 200 rpm하에서 공칭크기 0.2 내지 0.6 μm 인 PTFE, Asypore, polycarbonate(PC) 및 polyamide(PA) 막에 각각 투과시켰으며 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 투과유속은 초기 10분 이내에 급속히 감소하였으며 공칭크기가 3배 가량 변화하였지만 1시간 후에 투과유속은 25% 이내로 큰 변화가 없었다. 투과유속은 PC0.6, PA0.45, Asypore, PTFE 및 PC0.2 순으로 감소하였으며 각각 402, 370, 360, 319, 318 L/m²-hr 이었다.

4.3. 투과저항

4-1절에서와 같이 각 용액에 대한 PTFE 투과유속은 식 (2) 내지 (4)에 적용하여 투과저항을 계산하였으며 이를 Table 1에 요약하였다. 전체 투과저항은 투과유속이 큰 PMMA 용액의 경우가 가장 낮았으나

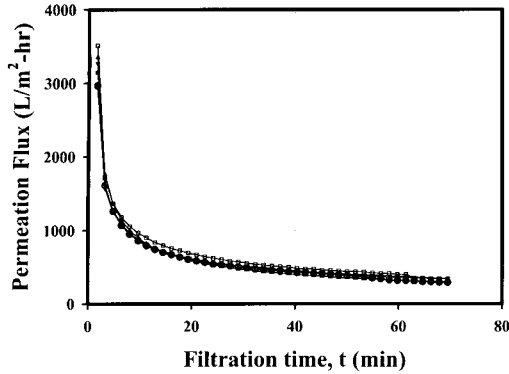


Fig. 4. Permeation fluxes of 0.1 wt% kaolin solution for various microfiltration membranes at 1 bar and 200 rpm.

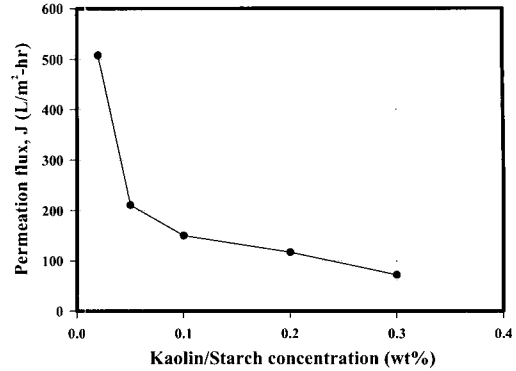


Fig. 5. Permeation flux for 0.2 μm PTFE membrane at 1 bar and 200 rpm as a function of kaolin/starch concentration.

막오염 저항이 전체 저항에서 차지하는 비중(R_t/R_t)은 4.3%로서 kaolin 용액의 경우보다 높았다. 이는 PMMA 입자가 분리막 세공보다는 훨씬 커서 세공내로 들어가지는 못하지만 분리막과의 전기적 특성등으로 인하여 타 입자용액과 동일한 방법으로 분리막을 세척할 경우 막 표면에 존재하는 PMMA 입자가 효과적으로 제거되지 않았기 때문일 것이다. 앞 절에서도 언급한 바와 같이 입자의 크기가 작은 starch 용액의 경우는 막오염 저항이 전체의 67.8%로서 주요 저항이며 나머지 1/3 가량이 케이크 저항으로 나타났다. 또한 bentonite 입자의 경우에도 막오염 저항은 23.7%로서 다른 입자에 비하여 높았다. Kaolin 혼합입자 용액의 경우는 비록 분리막 세공보다 작은 starch 입자가 혼합되어도 1% 미만의 막오염 저항을 나타내었으며 bentonite 혼합 입자의 경우에도 bentonite 단일 입자의 경우보다 작은 막오염 및 케이크 저항을 나타냈다.

또한 투과시작 1시간 후에 각각의 정밀여과막에

대한 투과저항을 요약하여 Table 2에 나타내었다. 케이크 저항이 95% 이상으로 나타났으며 PC막의 경우 막오염 저항이 다른 막에 비하여 높게 나타났다.

4.4. Kaolin/Starch 농도의 영향

Kaolin과 starch 입자를 50:50 wt%로 유지하면서 혼합용액의 농도를 변화시킬 경우 투과실험 시작 60 분후에 투과유속을 측정하여 Fig. 5에 나타내었다. 용액의 농도가 증가할수록 투과유속이 급속하게 감소하며 따라서 0.3 wt% 혼합용액에서의 투과유속은 0.02 wt% 경우의 15% 이하로 줄어들었다. 또한 각각의 경우에 투과저항을 계산하여 Table 3에 요약하였다. 케이크 저항(R_c)은 농도에 따라서 증가하였으며 R_c/R_t 값 역시 0.02 wt% 경우를 제외하고는 97% 이상이었다. 그러나 막오염 저항(R_t)는 0.02 wt% 용액일 때 높게 나타났으며 0.05 wt%에서 최소가 되었다가 다시 농도에 따라서 증가함을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 농도가 낮을 경우 용액중 입자의 밀도가 감소

Table 2. Microfiltration resistances for 0.1 wt% kaolin solution at the operating condition of 1 bar and 200 rpm

Resistance Membrane	R_m (kg/m ² -s)	R_f (kg/m ² -s)	R_c (kg/m ² -s)	R_t (kg/m ² -s)	R_c/R_t (%)
PTFE	4.49×10^7	0.07×10^7	84.99×10^7	89.55×10^7	94.9
Asypore	3.55	0.03	96.42	100.00	96.4
PA0.45	2.82	0.07	94.41	97.30	97.0
PC0.2	4.90	1.04	107.27	113.21	94.8
PC0.6	2.31	0.87	86.37	89.55	96.4

Table 3. PTFE microfiltration resistances for kaolin/starch mixed solution at the operating condition of 1 bar and 200 rpm.

Resistance wt% Concentration	R_m (kg/m ² -s)	R_f (kg/m ² -s)	R_c (kg/m ² -s)	R_t (kg/m ² -s)	R_f/R_t (%)	R_c/R_t (%)
0.02	4.60×10^7	3.03×10^7	63.24×10^7	70.87×10^7	4.3	89.2
0.05	4.06	1.15	165.41	170.62	0.7	97.0
0.1	4.40	1.76	233.84	240.00	0.7	97.4
0.2	4.52	3.48	299.69	307.69	1.1	97.4
0.3	4.05	4.17	491.78	500.00	0.8	98.4

하며 이때 크기가 작은 starch 입자가 kaolin 입자의 영향을 상대적으로 적게 받으면서 막 표면에 도달하여 분리막 세공을 보다 쉽게 막은 것으로 판단된다. 현재까지 이와같은 현상을 보다 정량적으로 규명하는 바는 없으나 막오염에 미치는 혼합입자의 상대적 영향을 규명하기 위한 보다 상세한 연구를 진행 중에 있다.

4.5. 투과모델

Fig. 3에 투과 실험결과에 입각하여 막오염 과정을 예측하기 위하여 등압여과 모델을 적용하였으며 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Kaolin 입자의 경우는 Fig. 6(a)에서와 같이 투과실험 초기에는 CFM이 잘 적용되나 중반 이후에는 케이크층에 부가하여 SPBM 이 적용됨을 알 수 있다[6]. 이와는 대조적으로 입자가 작은 starch 용액의 경우는 초기에 starch 입자가 자유롭게 막세공으로 침입하여 내벽에 부착하므로 세공의 크기를 축소시키는 SPBM이 적용된 후 세공의 크기가 충분히 세공이 작아지면 막표면 위에 starch 케이크가 형성되는 cake 모델을 적용할 수 있었다(Fig. 6(c)). 그러나 kaolin 과 starch 입자의 혼합용액에 경우는 Fig. 6(e)에서와 같이 전반적으로 CFM이 잘 적용됨을 확인할 수 있었으며 bentonite, PMMA 단일입자 및 기타 혼합입자 용액에 대하여도 CFM이 잘 적용되었다(Fig. 6(b, d, f, g, h)).

5. 결 론

- Kaolin 입자에 PMMA 또는 starch 입자를 동일하게 혼합한 0.1 wt% 용액의 경우 입자가 큰 PMMA에 의한 막오염 완화 현상보다는 입자가 작은 starch 의 막오염 효과가 큰 것으로 나타났다. Starch와 같이 분리막 세공보다 작은 입자가 분리막 세공을 막을 경우 분리막 표면에 축적되는 농도분극에 비하여 투과유속에 큰 영향을 미칠 수 있다.
- 침착성이 강한 bentonite 입자의 경우, 크기가 큰 PMMA가 존재하더라도 분리막 표면 근방에서의 농도분극 현상을 효과적으로 줄일 수 없으므로 kaolin의 경우보다 낮게 투과유속이 향상되었다.
- 동일한 양으로 혼합된 kaolin/starch 입자 용액의 농도를 변화시킬 경우, 막오염 저항 용액의 농도가 0.05 wt%일 때 최소가 되었다가 다시 농도에 따라서 증가함을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 농도가 낮을 경우 용액중 입자의 밀도가 감소하며 이때 크기가 작은 starch 입자가 kaolin 입자의 영향을 상대적으로 적게 받으면서 막 표면에 도달하여 분리막 세공을 보다 쉽게 막을 수 있었던 것으로 판단된다.
- Starch입자의 PTFE 정밀여과막에 대한 투과 모델은 초기에 분리막 세공이 오염되어 세공의 단면적이 충분히 감소된 후(SPBM), 분리막 표면에 케이크가 형성되는 것은 CFM이 적용되었다. 그러나 상대적으로 크기가 큰 kaolin이나 bentonite 입자와의 혼합입자일 경우, 전반적으로 CFM이 잘 적용되었다.

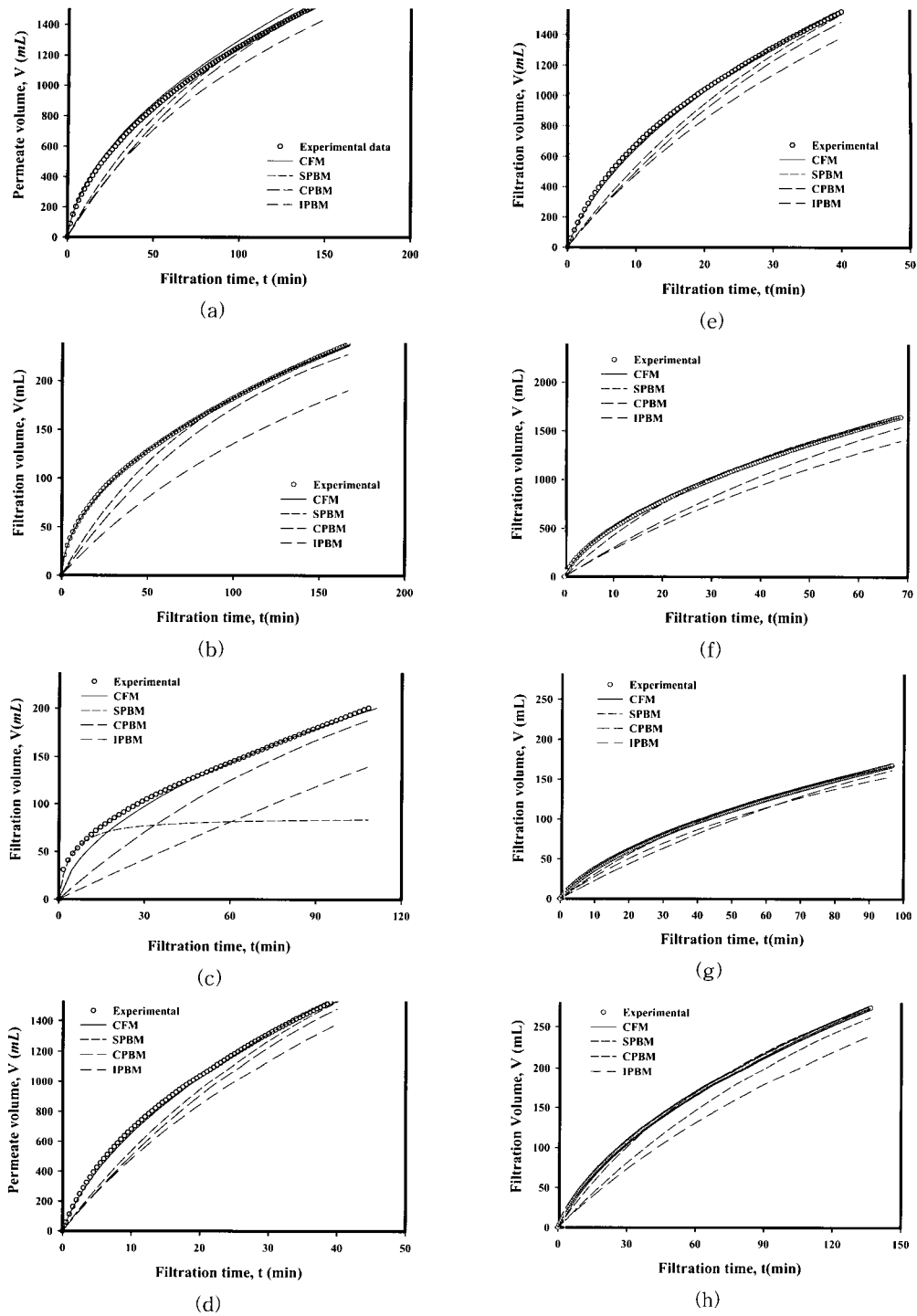


Fig. 6. Comparisons of filtration volumes from experiment and filtration models (a) kaolin, (b) bentonite, (c) starch, (d) PMMA, (e) kaolin/starch, (f) kaolin/PMMA, (g) bentonite/starch and (h) bentonite/PMMA solutions.

감 사

이 논문은 서울산업대학교 교내 학술연구비에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

1. G. Belfort, R. H. Davis, and A. L. Zydney, *J. Membrane Sci.*, **96**, 1 (1994).
2. H. B. Winzler and G. Belfort, *J. Membrane Sci.*, **80**, 35 (1993).
3. E. S. Tarleton and R. J. Wakeman, *Trans. IchemE*, **71** part A, July, 399 (1993).
4. E. S. Tarleton and R. J. Wakeman, *Trans. IchemE*, **72** part A, May, 431 (1994).
5. E. S. Tarleton and R. J. Wakeman, *Trans. IchemE*, **72** part A, July, 521 (1994).
6. K. Y. Chung and K. M. Chang, *J. Ind. Eng. Chem.*, **7**, 250 (2001).
7. M. Cheryan, "Ultrafiltration and Microfiltration", Technomic Publishing Co., Lancaster, PA(1998).
8. R. Jiratananon, D. Uttapap and P. Sampranpiboon, *J. Membrane Sci.*, **140**, 57 (1998).
9. W. R. Bowen, J. I. Calvo, and A. Hernandez, *J. Membrane Sci.*, **101**, 153 (1995).
10. A. B. Koltuniewicz, R. W. Field, and T. C. Arnot, *J. Membrane Sci.*, **102**, 193 (1995).