

국산규조토여과조제가 Cake Filtration의 특성에 미치는 영향

윤석호·나종복·조원선

충남대학교 공과대학 화학공학과
(1989년 3월 31일 접수, 1989년 6월 20일 채택)

Effects of Domestic Diatomite Filter Aid on the Characteristics of Cake Filtration

S. H. Yoon, J. B. Nah, and W. S. Cho

Department of Chemical Engineering, College of Engineering, Chungnam National University

(Received 31 March 1989; accepted 20 June 1989)

요 약

국산규조토여과조제를 사용하여 cake filtration에서 filter cake의 공극률과 국소여과비저항이 filter cake에 가해지는 압력에 따라 변화하는 특성을 filter cell에서 실험적으로 고찰하였다.

실험에 사용된 시료는 탄산칼슘, Talc(I) 및 Talc(II) 슬러리와 규조토여과조제였으며 여과조제는 body feeding 및 precoating 하여 사용하였다.

실험결과 압력이 증가함에 따라 filter cake의 공극률은 감소하였고 국소여과비저항은 증가하였다. 여과조제를 첨가하면 filter cake의 공극률이 증가되어 국소여과비저항을 줄일 수 있다.

Abstract—Variations of porosity and specific local filtration resistance in cake filtration were studied in a filter cell. Samples used were slurries of CaCO_3 , Talc(I) and Talc(II) and diatomite filter aids, which were used by body feeding and precoating.

From the experimental result, the porosity of filter cake decreased and the specific local filtration resistance increased with increasing pressure. The addition of filter aids increased the porosity of filter cake and it resulted in decreasing the specific local filtration resistance.

1. 서 론

국내의 화학공장 및 제약공장 등에서 다량의 고-액 분리를 효과적으로 처리하기 위한 여과방법으로 여과조제의 사용은 이미 널리 알려져 있다. 또한 새로운 여과조제의 개발 및 품질개선 그리고 여과조제의 효율적인 사용방법에 관한 연구 역시 광범위하게 진행되고 있다 [1-3].

지금까지 보고되어 온 문헌들에 의하면 filter cake의 내부흐름 메카니즘이 전체여과과정의 특성을 결정하

는 데 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있으며 [4-6], 여과의 이론적 해석은, Carman [7], Ruth [8] 등에 의해 압축투과기술이 도입된 이후 실험적인 상호관계를 얻는 데에 중점을 두어 오다가, 특히 Grace [9], Shirato 등 [10-15], Kottwitz와 Boylan [16] 등에 의해 체계화되었다. 이와 같은 내부여과 메카니즘의 분석적인 연구결과는 소위 현대여과이론에까지 발달하였고, 최근에는 이러한 이론에 입각하여 Yoon 등 [17]은 cake filtration에서 압력에 따른 공극률과 국소여과비저항의 변화특성을 연구하였다. 그러나 이러한 연구

는 여과조제의 사용방법이 body feeding 으로서 국한되어 있었다. 따라서 본 연구에서는 규조토여과조제를 body feeding 및 precoating 하여 첨가하였으며 filter cake 의 공극률과 국소여과비저항 등의 특성변화를 압력에 따라 고찰하여 국산규조토의 효율적인 사용 방법 및 적정첨가량 등을 규명하고자 한다.

2. 실험

2-1. 실험장치 및 방법

본 연구의 각 조업조건에 따른 filter cake 내부에서의 공극률(porosity), 국소여과비저항(local specific filtration resistance) 등의 여과특성 및 그 변화양상을 측정하기 위한 실험장치 및 방법은 이미 발표된 문헌[17]에 자세히 설명되어 있다. 따라서 기본실험장치 사양은 참고문헌 설명에 의존한다. 본 실험에서 새로이 사용된 precoating 층의 형성실험장치 및 방법은 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 내경이 7cm 이고 두께가 3mm 인 아크릴판 flange 를 쌓아서 구성된 실린더에 일정크기의 규조토여과조제를 4-6 wt% 첨가한 슬러리를 연속적으로 교반하면서 펌프를 사용하여 실린더에 주입시켰으며, 실린더 하단부의 screen 을 거쳐 나온 슬러리를 슬러리 tank 에서 재교반하여 실린더

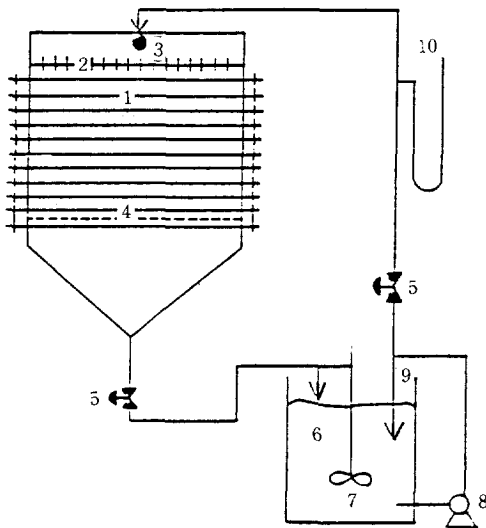


Fig. 1. Experimental apparatus.

- | | |
|-----------------------|------------------|
| 1. Acryle plate | 6. Slurry tank |
| 2. Slurry distributor | 7. Stirrer |
| 3. Sprayer | 8. Metering pump |
| 4. Screen | 9. Recycle line |
| 5. Valve | 10. Manometer |

로 순환시켜 precoating 층을 형성시켰다. 이때 screen 은 Dialite #200, #250, #300의 경우 80, 100, 150 mesh 를 사용하였으며 screen 위에 precoating 층이 얇은 입자부터 점차적으로 형성되도록 sprayer 및 slurry distributor 를 사용하여 슬러리를 균일하게 분산시켰으며 슬러리의 순환속도(단위시간 및 단위면적당 슬러리의 screen 통과량)를 조절하였다.

이렇게 하여 얻어진 precoating thin layer 는 높이에 따라 각각 아크릴판 flange 를 하나씩 제거하면서 sampling 하여 건조시킨 후 여과조제의 size distribution 을 각 sample 마다 Coulter Counter (Model-TA II)를 사용하여 측정하였다. 형성된 precoating thin layer 는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 생성된 precoating 층의 밑부분으로 갈수록 입자의 size 가 크므로 filter cake 의 밑부분이 위쪽으로 가도록 시편을 취하여 압축-투과장치 위에 부착하여 cake filtration 실험을 행하였다. 그리고 실험에 사용된 슬러리는 탄산칼슘, Talc(I) 및 Talc(II)의 세 종류 입자를 사용하였으며 입자의 전밀도는 각각 2.58, 2.90, 2.84(g/cm³)이며 여과조제로는 전밀도가 각각 2.50, 2.31, 2.22, 1.23(g/cm³)인 Dialite #200, Dialite #250, Dialite #300 및 Coperlite 의 4종류의 제품(한국규조토공업주식회사, 경주)을 사용하였다. 규조토여과조제의 특성은 겉보기 밀도가 0.15 g/cm³으로 매우 작아서 물에 혼합하면 오랫동안 부유한다.

3. 결과 및 고찰

Cake filtration 에서 filter cake 에 가해지는 압력

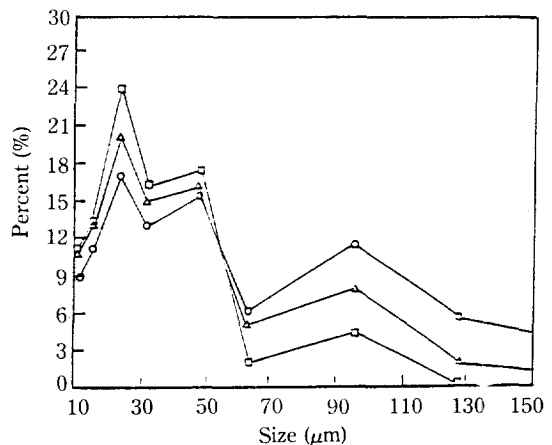


Fig. 2. Size distribution of filter aid in precoat layer.

□ HI △ MID ○ UND

에 따른 filter cake의 공극률(ϵ) 및 국소여과비저항(α)의 변화는 cake filtration의 특성을 해석하는데 중요한 정보가 된다. Filter cake의 공극률과 국소여과비저항은 각각 식 (1)과 (2)에 의해 구할 수 있다.

$$\epsilon = \frac{A_2 L - W/\rho_s}{A_2 L} = 1 - \frac{W}{A_2 \rho_s L} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{A_2^2 \rho g \Delta \theta}{A_1^2 \mu W \ln \left(\frac{h_1 - h_0}{h_2 - h_0} \right)} \quad (2)$$

이에 관한 이론적인 고찰은 이미 발표된 문헌[17]에 자세히 설명되어 있다.

3-1. 여과조제 Body Feeding시의 영향

압축-투과 실험에서 피스톤에 가해지는 압력 P 와 filter cake에 가해지는 압력 P_s 의 변화에 따라 각각 평형압력에 도달되었을 때의 filter cake의 공극률은 식 (1)에 의해 구할 수 있으며, 이를 Talc(II)의 고농도(30 wt%) 슬러리에 여과조제로 Dialite #300를 body feeding 한 것에 대하여 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에서 볼 수 있듯이 filter cake의 공극률은 압력 P , P_s 의 증가에 따라 log-log 그래프에서 선형적으로 감소하였고 여과조제를 첨가하지 않은 경우보다 여과조제를 첨가한 경우가 공극률이 증가하였다. 이와 같은 여과조제의 첨가에 의한 공극률의 증가는 여과조제 내부의 pore 때문인 것으로 판단된다[3, 18, 21].

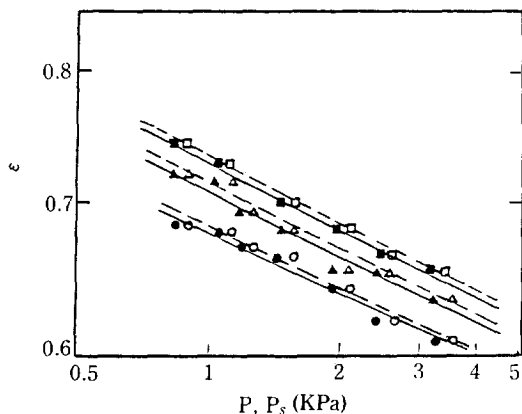


Fig. 3. Effects of filter aid body feeding on porosity in cake filtration (Slurry:Talc(II), Filter Aid: Dialite #300).

Filter Aid	○	●	△	▲	□	■
Amount(wt %)	0	0	2	2	3	3
Pressure	P	P_s	P	P_s	P	P_s

동일 여과조제에서 슬러리 종류에 따른 공극률의 변화를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 3의 경우와 같이 압력 P , P_s 가 증가함에 따라 공극률이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그런데 고체입자의 밀도가 작고 직경이 큰 탄산칼슘 슬러리의 경우가 Talc(I), Talc(II) 슬러리보다 압력에 대한 공극률의 감소기울기가 비교적 완만하게 나타났다[3].

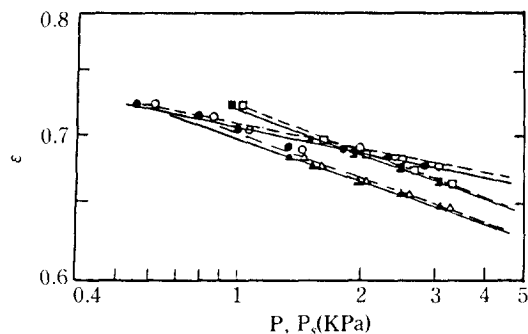


Fig. 4. Porosity dependence on the kind of slurry in cake filtration (Filter Aid: Dialite#300, Filter Aid Amount: 4 wt %) (Body Feeding).

Slurry	○	●	△	▲	□	■
Pressure	P	P_s	P	P_s	P	P_s

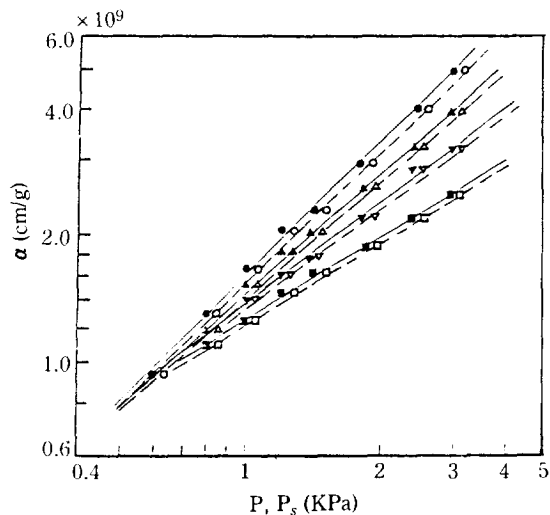


Fig. 5. Effects of filter aid body feeding on α in cake filtration (Slurry:CaCO₃, Filter Aid: Dialite#300).

Filter Aid	○	●	△	▲	□	■	▽	▼
Amount(wt %)	0	0	2	2	3	3	5	5
Pressure	P	P_s	P	P_s	P	P_s	P	P_s

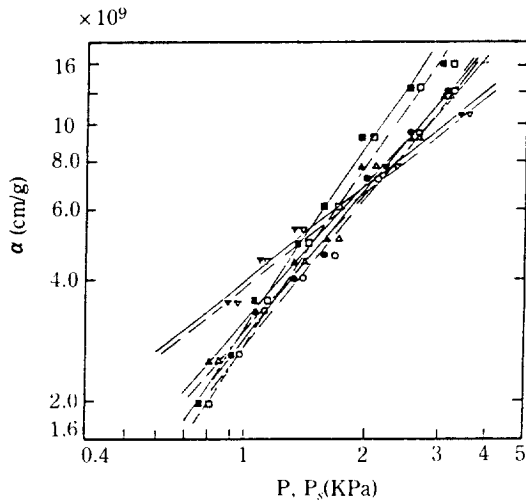


Fig. 6. Effects of filter aid kind on α in cake filtration (Body feeding, Slurry: Talc(II), Amount of Filter Aid: 3 wt%).

Filter Aid :	○	●	△	▲
	Dialite#300		Dialite#250	
Pressure :	P	P_s	P	P_s
Filter Aid :	□	■	▽	▼
	Dialite#200		Coperlite	
Pressure :	P	P_s	P	P_s

압축-투과실험에서 형성된 filter cake에 대한 투수실험의 결과로부터 식 (2)에 의해서 국소여과비저항을 구할 수 있으며, 이를 압력 P, P_s 에 대하여 Fig. 5와 6에 도시하였다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 압력 P, P_s 에 대해 국소여과비저항(α)는 log-log 그래프에서 선형적으로 증가하였다. 여과조제를 첨가한 경우 첨가하지 않은 경우보다 국소여과비저항 값이 현저하게 감소하였는데, 특히 여과조제의 첨가량이 3wt%인 경우 현저하게 감소하였다. 이는 슬러리에 다공성입자인 여과조제를 첨가하여 만들어진 filter cake의 평균 공극률이 다공성입자를 첨가하지 않은 경우의 filter cake의 공극률보다 증가하므로 filter cake 내부로 통과하는 물의 흐름에 대한 저항이 감소하였기 때문이라고 볼 수 있다.

Talc(II) 슬러리에서 여과조제의 종류에 따른 비저항에 대한 영향을 Fig. 6에 나타내었다.

Fig. 6의 경우도 역시 Fig. 5에서와 같이 압력 P, P_s 가 증가함에 따라 국소여과비저항도 증가하였다. 또한 밀도가 작은 Coperlite의 경우 비저항의 증가 기울기가 가장 완만하였다.

Fig. 3, 4, 5 및 6에서 나타난 경향은 기존의 연구결과[17]와 잘 일치하고 있다.

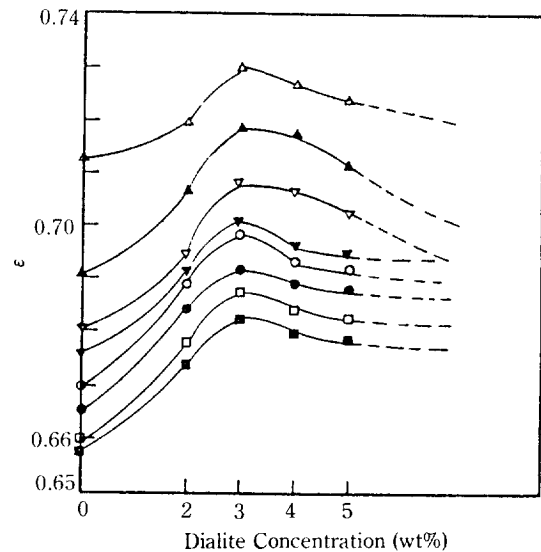


Fig. 7. ϵ vs. dialite concentration (Slurry: CaCO_3 , Filter Aid: Dialite#300).

665.21	880.39	1096.56	1322.63	1538.3
△	▲	▽	▼	○
1987.84	2523.13	3043.84 [g/cm²]		
●	□	■		

Fig. 7에는 정압하에서 여과조제 첨가량에 따른 공극률의 변화를 도식하였다. 여과조제의 첨가량이 증가함에 따른 공극률이 증가하다가 4wt% 이상에서는 공극률이 감소하는 것으로 나타났다. 규조토 첨가량이 4wt% 이상에서 공극률이 완만하게나마 감소하는 이유는 bulk density가 큰 규조토의 함량이 증가할수록 filter cake의 bulk density가 공극률의 증가 이상으로 크게 증가하기 때문으로 판단된다.

Fig. 8에는 정압하에서 여과조제 첨가량에 따른 국소여과비저항 변화를 나타내었다. 규조토 첨가량이 증가함에 따라 국소여과비저항은 감소하다가 역시 4wt% 이상에서는 완만하게 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서 본 실험조건에서는 탄산칼슘 슬러리에 규조토 첨가량이 4wt%까지는 압축성 cake 이론에 잘 부합되고 있으며 실제 여과공정에서 최적투입량을 예측할 수 있는 filter cake의 특성을 잘 보여주고 있다.

규조토 첨가량의 변화에 따른 압축압력을 고려한 값을 최소자승법으로 구하여 여과조제의 첨가량 ξ (wt%)과 압축성(λ)에 대하여 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있었다.

$$\lambda = 0.0057 \exp(\xi) + 1.129 \quad (3)$$

식 (3)으로부터 규조토 첨가량에 따라 압축성은 지수적으로 감소함을 알 수 있다.

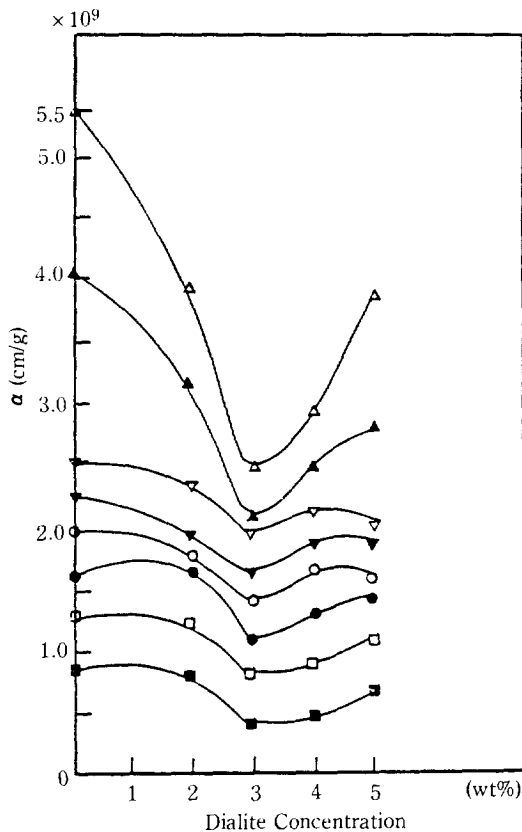


Fig. 8. α vs. dialite concentration (Slurry:CaCO₃, Filter Aid:Dialite#300).

3043.84 2523.13 1987.84 1538.30 1522.63
 \triangle \blacktriangle ∇ \blacktriangledown \circ
 1056.56 880.89 665.21 [g/cm²]
 \bullet \square \blacksquare

3-2. 여과조제 Precoating 시의 영향

Precoating 층의 형성실험에서 슬러리의 순환속도 (단위시간 및 단위면적당 슬러리의 precoating screen 통과량)가 빠르면 precoating 층이 불균일하게 형성되며 precoating 층의 높이에 따른 size distribution도 불균일하였다. 균일하게 precoating 층이 형성되고 precoating 층의 높이에 따른 size distribution이 뚜렷하게 나타나도록 하기 위하여 슬러리의 순환속도는 0.2-0.3 cm³/sec·cm² 이하가 적당하였다. Dialite # 250의 경우 이와 같이 형성된 precoating 층의 높이에 따른 size distribution을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 precoating 층의 밑부분으로 갈수록 size가 작은 입자의 분율은 작고 size가 큰 입자의 분율이 큰 것으로 나타났다.

Precoating 층을 사용한 압축-투과실험에서 압력

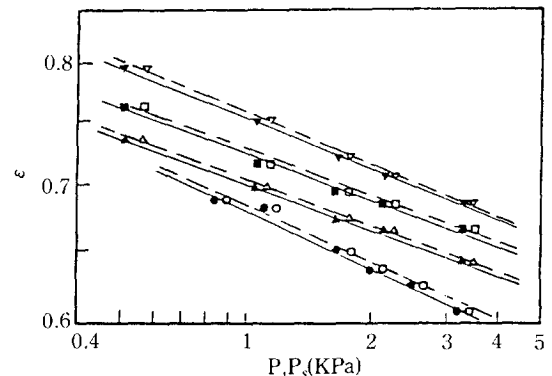


Fig. 9. Effects of filter aid precoating on ϵ in cake filtration (Slurry:Talc(II), Filter Aid:Dialite#300).

Filter Aid : \circ \bullet \triangle \blacktriangle \square \blacksquare ∇ \blacktriangledown
 Amount(wt %) : 0 0 2 2 3 3 5 5
 Pressure : P P_s P P_s P P_s P P_s

P, P_s에 대한 filter cake의 공극률을 식 (1)에 의해 구할 수 있으며, 이 관계를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 filter cake의 공극률은 압력 P, P_s의 증가에 따라 log-log 그래프에서 선형적으로 감소하였고 여과조제를 첨가하지 않은 경우보다 첨가한 경우가, 그리고 여과조제의 첨가량이 증가함에 따라 공극률이 증가하였다. 이와 같이 여과조제를 첨가함에 따라 공극률이 증가하는 현상은 body feeding의 경우와 마찬가지로 여과조제 내부의 pore 때문인 것으로 판단된다. Precoating 층을 사용한, 압축-투과실험에서 형성된 filter cake에 대한 투수실험의 결과로부터 식 (2)에 의해서 국소여과비저항을 구할 수 있으며, 이를 압력 P, P_s에 대하여 Fig. 10에 도시하였다. Fig. 10에서 볼 수 있듯이 압력 P, P_s에 대하여 국소여과비저항은 log-log 그래프에서 선형적으로 증가하였고 여과조제를 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우보다 국소여과비저항 값의 현저한 감소를 가져왔으며, 이는 body feeding의 경우와 마찬가지로 슬러리에 다공성 입자인 여과조제를 첨가하여 만들어진 filter cake의 평균 공극률이 다공성입자를 첨가하지 않은 경우의 filter cake의 공극률보다 증가하므로, filter cake 내부를 통과하는 물의 흐름에 대한 저항이 감소하기 때문이라고 볼 수 있다.

3-3. 여과조제 Body Feeding 시와 여과조제 Precoating 시의 영향 비교

압축-투과실험에서 압력 P, P_s과 공극률 및 국소여

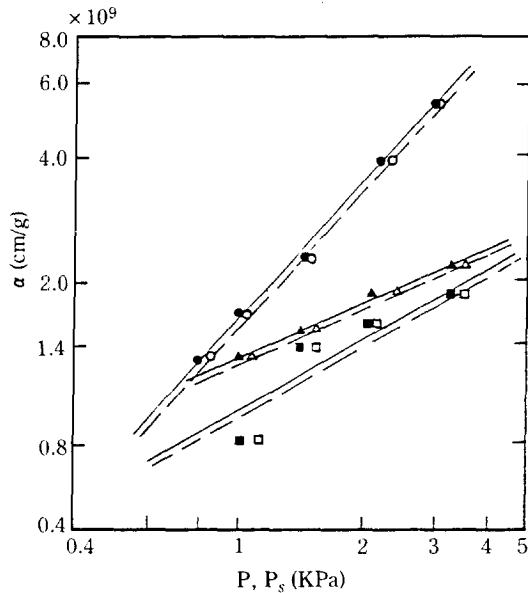


Fig. 10. Effects of filter aid precoat on α in cake filtration (Slurry:CaCO₃, Filter Aid: Dialite#250).

	○	●	△	▲	□	■
Filter Aid :	0	0	2	2	5	5
Amount(wt %)						
Pressure :	P	P_s	P	P_s	P	P_s

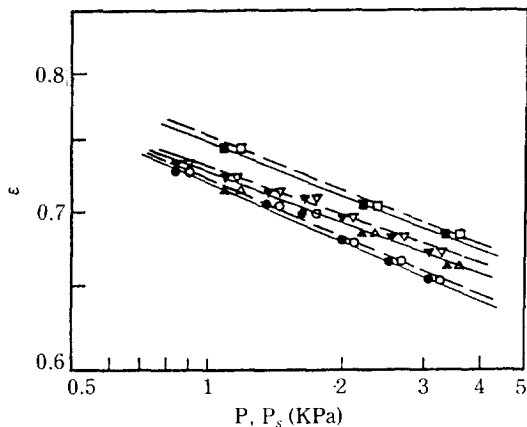


Fig. 11. Comparison between the body feeding effects and precoat effects of filter aid on ϵ in cake filtration (Slurry:Talc(II), Filter Aid:Dialite#300).

	△	▲	□	■	○	●	▽	▼
	Precoating : body feeding							
Filter Aid :	3	3	5	5	3	3	5	5
Amount(wt %)								
Pressure :	P	P_s	P	P_s	P	P_s	P	P_s

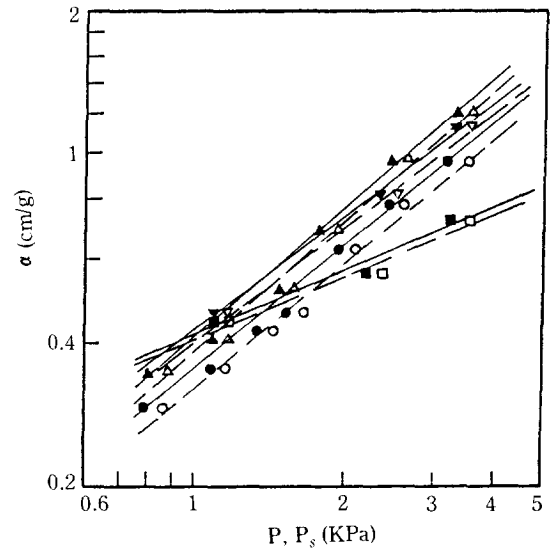


Fig. 12. Comparison between the body feeding and the precoat of filter aid in cake filtration (Slurry:Talc(II), Filter Aid:Dialite#300).

	○	●	△	▲	▽	▼	□	■
Mode	body feeding Precoating							
Filter Aid :	5	5	3	3	3	3	5	5
Amount(wt %)								
Pressure :	P	P_s	P	P_s	P	P_s	P	P_s

과비저항의 관계를 각각 Fig. 11과 12에 나타내었다. Fig. 11과 12에서 보는 바와 같이 여과조제 body feeding의 경우보다 여과조제 precoat의 경우가 공극률은 높게, 국소여과비저항은 낮게 나타났으며, 이러한 현상은 여과조제의 첨가량의 큰 경우에 보다 현저하게 나타났다.

4. 결 론

이상과 같은 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 고농도 슬러리의 cake filtration에서 filter cake의 특성은 압력의 증가에 따라 공극률은 감소하고 국소여과비저항이 증가하여 압축성 cake의 이론에 잘 부합되고 있으며 규조토 첨가량이 약 4 wt%까지는 이 이론에 적합함을 알 수 있다. 규조토여과조제의 첨가량 ξ (wt%)의 변화가 여과조제 혼합 cake의 압축성(λ)에 미치는 영향은 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$\lambda = -0.0057 \text{ EXP}(\xi) + 1.129$$

규조토 첨가량이 5wt% 이상인 여과조제 혼합 cake 특성은 비교적 비압축성이며 고농도 슬러리 처리에 규조토여과조제의 최적첨가량은 약 3wt%임을 알 수 있다.

2. 규조토여과조제를 사용한 precoat thin layer의 형성실험에서는 슬러리의 순환속도(단위시간 및 단위면적당 슬러리의 precoat screen 통과량)가 낮을수록 precoat층의 높이에 따른 size distribution이 확실하게 나타났으며 또한 precoat thin layer를 사용한 경우의 여과비저항은 이 층을 사용하지 않은 경우 보다 작게 나타났으며 투수율도 좋은 것으로 나타났다.

3. Cake filtration에서 여과조제 precoat의 경우가 여과조제 body feeding의 경우보다 공극률이 높고 국소여과비저항은 낮아서 보다 효율적인 것으로 나타났다.

감 사

본 연구는 한국과학재단의 연구비지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

NOMENCLATURE

- A_1 : cross sectional area of permeability gauge [cm^2]
 A_2 : cross sectional area of cylinder [cm^2]
 g : gravity acceleration [cm/sec^2]
 h_o : height of water level in cylinder [cm]
 h_1 : height of water level in permeability gauge at the start of permeation [cm]
 h_2 : height of water level in permeability gauge at the end of permeation [cm]
 L : thickness of filter cake [cm]
 W : weight of dry filter cake [g]

Greek Letters

- ρ : density of filtrate [g/cm^3]
 ρ_s : true density of solid particles [g/cm^3]
 μ : viscosity of liquid [g/cm-sec]
 α : specific local resistance [cm/g]

- ϵ : porosity of filter cake [-]
 θ : filtration time [sec]
 λ : compressibility of filter cake [-]
 ξ : amount of added filter aid [wt%]

REFERENCES

1. Yoon, S.H.: *J. KICChE.*, **5**(3), 171 (1967).
2. Dillingham, J. H. and Baumann, E. R.: *AWWA J.*, **56**, 793 (1964).
3. Culver, R.H.: *Chem. Eng. Progr.*, **71**(12), 51 (1975).
4. Shirato, M., Sambuichi, M., Murase, T., Aragaki, T., Kobayashi, K., and Iritani, E.: *J. Nagoya Univ. Japan*, **37**(1), May (1985).
5. Shirato, M. and Sambuichi, M.: *Chem. Eng. Japan*, **2**, 1 (1964).
6. Carman, P.C.: *Trans. Instn. Chem. Engrs.*(London), **15**, 150 (1937).
7. Carman, P.C.: *Trans. Instn. Chem. Engrs.* (London), **16**, 168 (1938).
8. Ruth, B.F.: *Ind. Eng. Chem.*, **38**(6), 564 (1964).
9. Ruth, B.F.: *Chem. Eng. Progr.*, **49**(8), 427 (1953).
10. Shirato, M., Sambuichi, M., and Okamura, S.: *AIChE J.*, **9**(5), 299 (1963).
11. Shirato, M., Aragaki, T., Ichimura, K., and Dotsuji, N.: *J. Chem. Eng. Japan*, **4**(2), 172 (1971).
12. Shirato, M., Aragaki, T., Mori, R., and Sawamot, K.: *J. Chem. Eng., Japan*, **1**(1), 86 (1968).
13. Shirato, M. and Aragaki, T.: *Filtration & Separation*, **9**, 290 (1972).
14. Shirato, M., Sambuichi, M., Murase, T., Aragaki, T., Kobayashi, K., and Iritani, E.: *Memoirs of the Faculty of Engng. Nagoya Univ.*, **37**(1), 38 (1985).
15. Shirato, M., Murase, T., Iritani, E., and Hayashi, N.: *Filtration & Separation*, **20**, 404 (1983).
16. Kottwitz, F.A. and Boylan, D.R.: *AIChE J.*, **4**(2), 175 (1958).
17. Yoon, S.H., Kang, Y., and Ko, H.H.: *J. KICChE*, **25**(4), 419 (1987).
18. Smith, G.R.S.: *Chem. Eng. Progr.*, **71**(12), 37 (1975).
19. Yoon, S.H.: *Korean J. Chem. Eng.*, **3**(1), (1986).
20. Yoon, S.H.: *Proc. World Congress III of Chem. Eng.*, Tokyo 81-156, 121 (1986).
21. Kikuchi, K.: R&D Report of Showa Chem. Ind. Co. LTD., Japan, (1983).