

## 케이크 濾過에 影響을 미치는 要因에 関한 研究

장 재 선

경기전문대학

## A Study on the Factors Affecting Cake Filtration

Jae-Seon Jang

Department of Administration, Kyungki Junior College

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the change of average specific resistance according to filtration pressure, suspension concentration and filters for study phenomena occurring in cake filtration. As the results of this study, the following conclusions were obtained.

It was estimated that the average specific resistance of filtration was decreased in proportion to decreased of filtration pressure. But in very pressure, average specific resistance was increased. The average specific resistance value on filter medium by various pressure was showed as same trends under constant suspension concentration. This phenomenon was thought that a certain amount of fine particles in the cake was found to migrate through the cake in the case of very thin at very low pressure. In relation to the change of suspension concentration, average specific resistance value become low according to decreased in suspension concentration.

**Keywords :** filtration pressure, suspension concentration, filter medium.

### I. 서 론

일반적으로 여과과정을 분류하면 medium filtration, depth filtration, cake filtration의 세가지로 엄밀히 구분할 수 있으나 medium filtration과 depth filtration은 무시한 채 cake filtration으로 현재까지 여과이론이 정립되어 왔다. 케이크 여과는 filter medium 표면에 유체가 흐르는 동안 입자들의 층이 형성되어 이 입자들의 층에 의하여 액체 속의 입자가 포집되는 것으로 케이크의 성질을 나타내는 평균비 저항값이 중요한 지표가 되고 있다.<sup>1)</sup>

현재까지 사용되는 모든 케이크여과이론은 Tiller<sup>2)</sup>에 의해 정립되면서 여과기간중 케이크내부에서 일어나는 현상에 대한 많은 발전이 이루어졌으며, Ruth<sup>3)</sup>에 의해 케이크 내부현상을 규명하기 위한 CPC (compression permeability cell)가 개발된 이후 여과를 분석하는 가장 중요한 수단으로 사용되어 왔으나 이 실험은 여과 실험과 결부되지 않아 해석에 어려움이 있으며 또한 실험 기간이 오래 걸리고 속련된 실험자가 아니면 결과에 재현성이 적어 여

과가 진행되는 동안 케이크 내부에 일어나는 현상에 대하여 직접적인 정보를 제공하지 못한다. 그리하여 이문제를 해결하기 위해 Hutto<sup>4)</sup>는 여과 도중 염색한 입자를 소량씩 투입하여 케이크 내부의 공간율의 변화를 측정하였고, Shirato 등<sup>5)</sup>은 전기전도도를 이용하여 공간율의 변화율을 측정하였으며 또한 Rietema<sup>6)</sup>는 작은 입자가 여과도중 케이크 내부로 움직이기 때문에 여과지에 닿는 부분이 아니고 케이크의 중간과 여과지 사이에 가장 작은 공간율을 갖는다고 설명하였고, Yim 등<sup>7)</sup>은 여과 투과 방법을 제안하여 floc 여과와 입자 혼탁액의 여과 기간과 투과 기간에서 각각 평균비 저항값을 실험적으로 구하고 오랜동안의 투과 조작이 여과 평균비저항값에 미치는 영향과 여과 케이크의 양을 감소시키면서 여과 평균비저항값을 구하므로 케이크 내부에서 일어나는 현상을 밝히고자 하였다.

여과현상을 표현하기 위하여 아래 Darcy의 공식이 사용되어오고 있다.

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\Delta P}{\mu(\alpha_{av} \cdot W + Rm)} \quad (1)$$

이 식에서  $V$ : 여과지 단위 면적당 여액의 부피 ( $m^3/m^2$ )  
 $t$ : 여과시간(s)  
 $\Delta P$ : 여과압력(Pa)  
 $a_{av}$ : 여과 케이크의 평균비저항값(m/kg)  
 $\mu$ : 여액의 점도(Pas)  
 $W$ : 여과지 단위 면적당 여과 케이크의 질량( $kg/m^2$ )  
 $Rm$ : 여과지의 저항( $m^{-1}$ )

여과가 진행되는 동안 여과지 단위 면적당 케이크의 질량  $W$  값이 계속 증가하기 때문에 위의 식을 그대로 사용할 수 없다. 그러므로 여과 도중의 케이크의 양을 알 수 있도록 물질수지식으로부터 이 값을  $V$ 의 함수로 표현한다.

$$\frac{W}{S} = \frac{W}{Sc} + \rho V \quad (2)$$

이 식에서  $\rho$  : 여액의 밀도( $kg/m^3$ )  
 $S$  : 여과 대상액의 고체분율(–)  
 $Sc$ : 여과 케이크의 고체분율(–)

이다. 따라서 단위면적당 건조고형물의 양인  $W$ 는 다음과 같이 나타내어진다.

$$W = \frac{\rho S}{1 - S/Sc} V = CV \quad (3)$$

여기서  $C$ : 여액 부피당 형성되는 여과 케이크의 질량( $kg/m^3$ )이다. 식(3)을 식(1)에 대입하여 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu}{\Delta P} a_{av} CV + \frac{\mu}{\Delta P} Rm \approx \frac{\Delta t}{\Delta V} \quad (4)$$

또 이를 적분하여 다시 정리하면 식(5)와 같다.

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu}{2\Delta P} a_{av} CV + \frac{\mu}{\Delta P} Rm \quad (5)$$

식(4)는 미분식이므로 실험이 정밀하지 않는 경우에는 적용하기 어려우나 본 연구에서는 실험을 정밀히 하여 식(4)를 사용하였다.

식(4)와 식(5)는  $C$ ,  $a_{av}$ ,  $Rm$  값이 여과기간을 통하여 변화하지 않을 경우에만 사용될 수 있다.<sup>8)</sup> 따라서 이 식의 사용에는 몇 가지 문제점이 있다. 첫째는 여과 기간 전반에 걸쳐 filter medium의 막힘 현상이나 여과 도중의 filter medium의 swelling현상 등으로 인해  $Rm$  값이 변화하는 경우에도 그 변화를 무시하고 여과 평균비저항값을 구하는데 위에 나타

낸 식을 사용하고 있다. 둘째로 여과 초기에 침전하는 물질을 함유한 혼탁액을 여과할 경우 여과가 진행되는 도중에 여과 대상액의 고체분율인  $S$ 값이 일정한 상태이어야 하는데 실제 실험에서는 입자의 침전에 의해  $S$ 값이 계속 변화할 수 있다.<sup>9)</sup> 또한 여과 평균비저항값도 여과초기에는 상당히 다른 값을 가질 수 있다.<sup>10)</sup> 그러나 통상적인 압력, 온도, 농도의 경우에는 사용될 수 있다.

그리하여 본 연구는 케이크 여과에서 영향을 미치는 요인 즉 여과 압력, 혼탁액의 농도, filter medium의 종류에 따른 여과 평균비저항값의 변화를 실험적으로 측정, 분석하여 여과 케이크 내부에서 일어나는 현상을 이해하고자 한다.

## II. 실험 재료 및 방법

### 1. 실험재료

(1) 입자없는 물과 혼탁액의 제조  
실험에 사용한 입자없는 물(particleless water)은 실험실에서 사용하는 종류수를 ADVENTEC사의 TOYO 5C 여과지 두장을 감압식 여과장치로 여과한 후 사용하였다. 또한 혼탁액은  $CaCO_3$ 를 105°C에서 4시간 건조·침강하여 입자없는 물에 24시간 동안 500 rpm에서 교반한 후 사용하였다. 본 실험에 사용한 혼탁액의 농도는 1.0%와 0.1%(W/W)이다.

#### (2) Filter medium

본 연구에서 사용한 여과지는 ADVENTEC 동양여지주식회사(일본)에서 제조한 염산과 불화수소산으로 복산 처리된 TOYO 5C와 TOYO 5A를 사용하였다.

### 2. 실험장치

본 연구에서 사용한 실험장치는 Fig. 1과 같다.

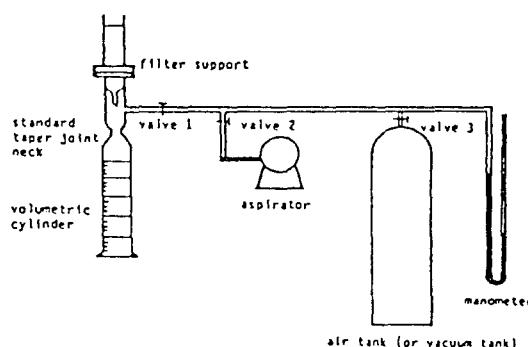


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

장치는 기존의 Büchner funnel 여과장치를 보완한 실험장치를 설치하고 여과대상 혼탁액으로  $\text{CaCO}_3$  용액을 각 농도에 따라 filter paper와 압력을 변화시키면서 여과실험을 행하였다. 이 실험장치에서는 filtering funnel의 경사진 부분에서의 침전 시료잔류 문제점을 보완하기 위해 일직선의 곧은 아크릴로 만든 여과(cell)을 사용하였다. 그리고 여액을 받기 위해 500 ml volumetric cylinder에 filter support를 고정시킨 standard taper joint neck를 연결시켰다. Standard taper joint neck에 달려 있는 두개의 가지중 한쪽은 aspirator에, 다른 한쪽은 실험도중 압력의 fluctuation을 최소화하여 효율적인 정압상태를 유지시키기 위한 air tank(vacuum tank)에 연결시켰다. 실험 시작전에 valve 1을 잠그고 aspirator를 작동시켜 air tank의 압력을 원하는 압력까지 낮추고 aspirator를 끈 다음 air tank의 감압으로 실험을 진행시켰다. Air tank(vacuum tank)의 용량은 40 l이고 여액을 받은 volumetric cylinder 용량은 500 ml이다.

### 3. 실험방법

본 실험에서 사용한 혼탁액은  $\text{CaCO}_3$  분말을 105°C에서 4시간 건조, 칭량하여 입자없는 물에 500 rpm으로 24시간 이상 교반한 후 사용하였다. 여과 시작 전 먼저 여과장치에 연결된 valve 1을 닫고 valve 2를 연 다음 aspirator를 작동시켜 air tank 내부의 압력을 manometer에 나타난 눈금을 보면서 실험을 위한 적정압력까지 감압시켰다. 그 후 valve 2를 닫고 aspirator의 작동을 정지시켰다. 시료를 흄더(holder)에 매우 조심스럽게 투입한 후 valve 1을 열어 여과를 시작한다. 여과가 진행되어 혼탁액이

감소하고 원하는 정도의 케이크가 형성되면 Büchner funnel을 보완한 실험장치의 윗부분의 흄더(holder)에 입자없는 물을 조심스럽게 첨가해 주면서 분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 압력변화에 따른 여과실험

압력변화에 따른 ADVENTEC TOYO 5C의 1%  $\text{CaCO}_3$  혼탁액의 여과실험 결과는 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 2의  $5.3 \times 10^4$  Pa의 압력하에서  $d\tau/dV$ 와 V graph에서 기울기가  $1.58 \times 10^4$  s/m<sup>2</sup>으로 식(4)를 사용하여

$$\frac{dt}{dV} = \frac{\mu}{\Delta P} \alpha_{av} \cdot CV + \frac{\mu}{\Delta P} Rm \approx \frac{\Delta t}{\Delta V}$$

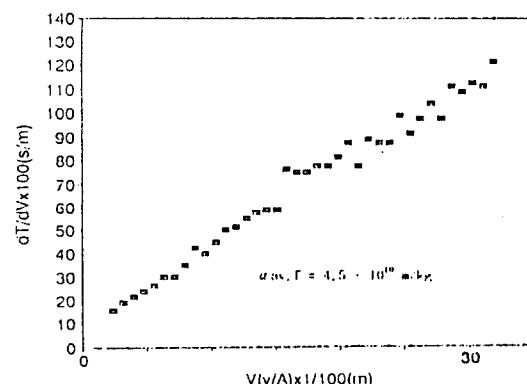


Fig. 3. Filtration result with  $\text{CaCO}_3$  suspension in  $1.3 \times 10^4$  Pa.

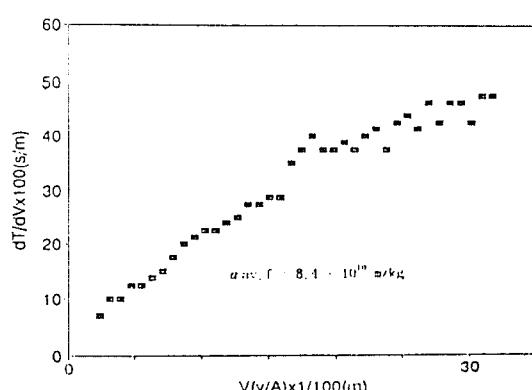


Fig. 2. Filtration result with  $\text{CaCO}_3$  suspension in  $5.3 \times 10^4$  Pa.

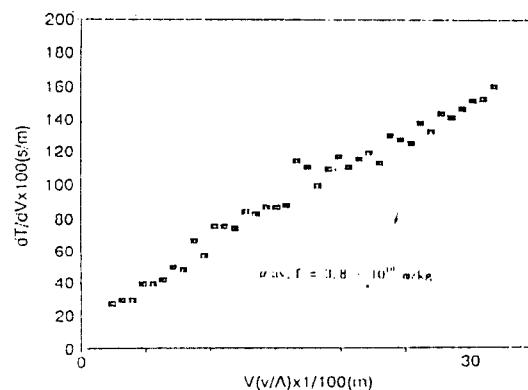
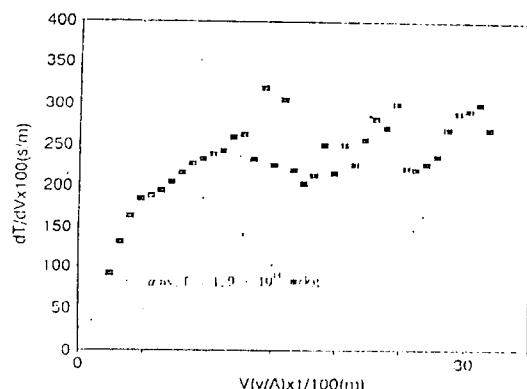


Fig. 4. Filtration result with  $\text{CaCO}_3$  suspension in  $8.2 \times 10^3$  Pa.



**Fig. 5.** Filtration result with  $\text{CaCO}_3$  suspension in  $4.2 \times 10^3 \text{ Pa}$ .

평균비저항값( $\alpha_{av, f}$ )은  $8.4 \times 10^{10} \text{ m/kg}$ 으로 계산되었다.

Fig. 3의  $1.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ 에서 평균비저항값은  $4.5 \times 10^{10} \text{ m/kg}$ 으로  $5.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ 의 압력보다 거의 반정도가 감소한 값을 나타내었다.

Fig. 4의 더 낮은 압력인  $8.2 \times 10^3 \text{ Pa}$ 에서 평균비저항값( $\alpha_{av, f}$ )은 더욱 더 감소한  $3.8 \times 10^{10} \text{ m/kg}$ 을 나타내었다.

Fig. 5의 아주 낮은 압력인  $4.2 \times 10^3 \text{ Pa}$ 에서는 평균비저항값이 상승한  $1.9 \times 10^{11} \text{ m/kg}$ 으로 나타내었다. 이 경우에는 여과 기간의 실험 결과가 직선을 나타내지 않으므로 정확한 여과 평균비저항값이라고 볼 수 없다. 단지  $\alpha_{av, f}$ 값이 커진 것은 낮은 압력에서 여과 속도가 늦어지고 이 늦어진 여과 기간중에 상당한 정도의 침전현상이 일어난 것으로 생각한다.

## 2. Filter medium에 따른 여과실험

1%  $\text{CaCO}_3$  혼탁액의 여과에서 압력 변화와 filter medium의 종류에 따른 실험 결과치는 Table 1에 나타내었다.

$5.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ 과  $1.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ 인 압력변화에서 TOYO 5C(pore size 1  $\mu\text{m}$  정도)와 TOYO 5A(3  $\mu\text{m}$  정도)가 실험 오차 이내의 동일한 여과 평균비저항값을 나타내고 있어 일반적인 케이크 여과 이론의 타당성을 입증한다. 즉 케이크 여과에서는 여과 주체가 여과 대상물질로 구성된 케이크이므로 filter의 종류에 따라 여과 평균비저항값이 변하지 않는다.  $4.2 \times 10^3 \text{ Pa}$ 의 경우 낮은 압력하에서 TOYO 5C나 5A의 경우 모두 평균비저항값( $\alpha_{av, f}$ )을 결정짓기 어렵다. 그 이유는 낮은 압력하에서 여과의 유출속도가 늦어지고

**Table 1.** Average specific resistance by filter medium  
(unit: m/kg)

Pressure (Pa)	TOYO 5C	TOYO 5A
$5.3 \times 10^4$	$8.4 \times 10^{10}$	$8.2 \times 10^{10}$
$1.3 \times 10^4$	$4.5 \times 10^{10}$	$4.4 \times 10^{10}$
$8.2 \times 10^3$	$3.8 \times 10^{10}$	$5.7 \times 10^{10}$
$4.2 \times 10^3$	$1.9 \times 10^{11}$	$2.9 \times 10^{11}$

**Table 2.** Average specific resistance of suspension concentration in TOYO 5C filter  
(unit: m/kg)

Pressure (Pa)	Suspension concentration	
	1%	0.1%
$5.3 \times 10^4$	$8.4 \times 10^{10}$	$1.2 \times 10^{11}$
$1.3 \times 10^4$	$4.5 \times 10^{10}$	$6.4 \times 10^{10}$
$8.2 \times 10^3$	$3.8 \times 10^{10}$	$5.4 \times 10^{10}$
$4.2 \times 10^3$	$1.9 \times 10^{11}$	$1.5 \times 10^{11}$

이에 따른 여과기간 중의 침전이 잘되어 케이크에 들어가는 혼탁액의 농도의 변화로  $dt/dV$  대  $V$ 의 graph가 직선을 벗어나기 때문이다.

$1.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ 와  $8.2 \times 10^3 \text{ Pa}$ 의 압력에서 TOYO 5A인 경우 낮은 압력에서 오히려 평균비저항값( $\alpha_{av, f}$ )값이 크게 나타내고 있는데 이는 낮은 압력 하에 생긴 케이크 내부에 미립자가 이동되어 케이크내 좁은 곳을 막음으로 여과 평균비저항값( $\alpha_{av, f}$ )값이 상승된 것이라 생각된다.

## 3. 혼탁액의 농도에 따른 여과실험

1%와 0.1%  $\text{CaCO}_3$  혼탁액에서 압력 변화에 따른 TOYO 5C의 실험 결과치는 Table 2에 나타내었다.  $5.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ 에서  $8.2 \times 10^3 \text{ Pa}$ 까지 1%와 0.1%  $\text{CaCO}_3$  혼탁액은 모두 여과압력이 감소함에 따른 평균비저항값( $\alpha_{av, f}$ )값이 감소로 비슷한 경향을 나타내고 있으며 0.1%의 혼탁액은 1%의 혼탁액의 결과보다 여과 평균비저항값( $\alpha_{av, f}$ )값이 더 큰 경향을 보이는데 이는 1%  $\text{CaCO}_3$  혼탁액 보다 0.1%  $\text{CaCO}_3$  혼탁액에서 유속이 대단히 빨라 첫 임자부터 상당한 정도로 놀리므로 케이크가 더 compact하게 되어 높은 여과 평균비저항값을 나타내게 된 것으로 생각된다.  $4.2 \times 10^3 \text{ Pa}$ 인 압력에서 1%와 0.1% 혼탁액의 경우 여과 평균비저항값이 예상값보다 매우 높았다. 이 현상은 침전 혹은 케이크내의 미립자의 움직임에 기인한다고 생각된다.

#### IV. 결 론

본 연구는 여과 케이크 내부에서 일어나는 현상을 구명하고자 케이크 여과에 영향을 미치는 요인인 여과압력, 혼탁액의 농도, filter medium의 종류에 따른 여과 평균비저항값의 변화를 측정, 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 여과압력 변화에 따른 영향은 여과압력 감소에 따라 여과 평균비저항값이 감소하였다. 그러나 아주 낮은 압력인  $4.2 \times 10^3$  Pa에서 오히려 상승하였다. 이 현상은 여과속도가 늦어지고 이 늦어진 여과기간에 상당한 정도의 침전 현상이 일어난 것으로 보았다.

2. Filter medium의 종류에 따른 영향은 ADVEN-TEC TOYO 5A와 TOYO 5C 모두  $5.3 \times 10^4$  Pa와  $1.3 \times 10^4$  Pa인 압력변화에서 동일한 여과 평균비저항값을 나타내었으나 TOYO 5A인 경우  $1.3 \times 10^4$  Pa보다  $8.2 \times 10^3$  Pa의 압력에서 여과 평균비저항값이 오히려 상승하였다. 이는 낮은 압력 하에 생긴 케이크 내부에 미립자가 이동되어 케이크내 좁은 곳을 막음으로 상승한 것으로 생각된다.

3. 혼탁액의 농도에 따른 영향은 여과압력이 감소함에 따라 평균비저항값이 감소로 비슷한 경향을 나타내고 있으나 0.1% 혼탁액이 1% 혼탁액 결과 보다 더 큰 경향을 나타내었다. 이는 0.1% CaCO<sub>3</sub> 혼탁액에서 유속이 빨라 케이크 윗부분이 상당한 정도로 눌리므로 케이크가 더 compact하게 되어 높은 여과 평균비 저항값을 나타낸 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

- 1) Richards, J. A. and Anthony, S. W. : Liquid Filtration Theory and Filtration Pretreatment, Filtration : Principles and practices edited by clyde Orr, 1, 1977.

- 2) Tiller, F. M. : The Role of Porosity in Filtration: Numerical Methods for Constant Rate and Pressure Filtration Based on Kozeny's Law, *Chem. Eng. Progr.*, 49(9), 467-479, 1953.
- 3) Ruth, B. F. : Correlating Filtration Theory with Industrial Practice, *Industrial and Engineering Chemistry*, 38(6), 564-571, 1946.
- 4) Hutto, F. B. : Distribution of Porosity in Filter Cake, *Chem. Eng. Progr.*, 53, 328, 1957.
- 5) Shirato, M. and Okamura, S. : Liquid Pressure Distribution within Cakes in the Constant Pressure Filtration, *Kagaku Kogaku*, 19, 104, 1955.
- 6) Rietema, K. : Stabilizing Effects in Compressible Filtration Cakes, *Chem. Eng. Sci.*, 2, 88, 1953.
- 7) Yim, S. S. and Aim R. B. : Highly Compressible Cake Filtration: Application to the Filtration of Flocculated, 4th World Filtration Congress, A1-A6, 1986.
- 8) Tiller, F. M. and Chow Rudolph : Clogging Phenomena in the Filtration of Liquefied Coal, *Chem. Eng. Progr.*, 77, 61-68, 1981.
- 9) 임성삼, 황인태 : Filtration-Permeametry에 대한 연구, 대한환경공학회지, 10(2), 56-63, 1988.
- 10) Tiller, F. M. and Cooper : The Role of Porosity in Filtration IV. Constant Pressure Filtration, *AI. C. E. Journal*, 8(4), 445-449, 1962.