

PE16) Dead-end Filtration에서 Dust Cake 비저항과 기공율에 대한 다공성 필터 구조의 영향
Effect of Porous Filter Structure on Specific Cake Resistance and Porosity in Dead-end Filtration

이선희 · 조영민 · 유정근¹⁾

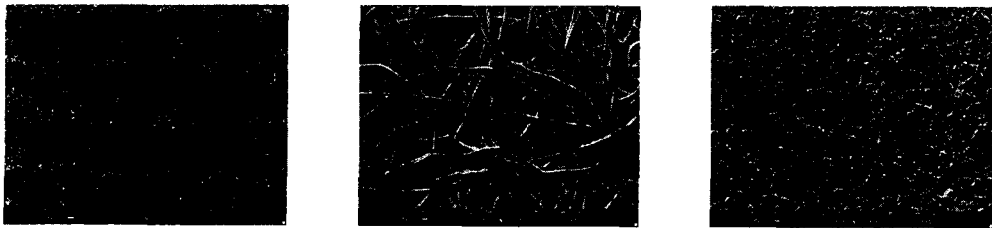
경희대학교 환경·응용화학부, ¹⁾한서대학교 화학공학과

1. 서 론

분진여과시 형성되는 분진 케이크는 궁극적인 여과 성능을 좌우하며, 필터의 구조, 분진 입자의 형태나 크기, 분진농도, 여과속도 등에 의해 영향을 받는다. 특히 필터의 표면 구조나 기공 크기는 여과 초기 단계의 케이크 층의 구조를 결정하며, 연속적인 여과시 초기 케이크 층은 다음에 쌓이는 케이크 형성과 비저항에 영향을 주므로 필터 medium 구조 또한 분진여과 과정에서 중요한 영향 요인이 된다. 본 연구에서는 필터 medium의 구조가 서로 다른 고온가스정화용 복합 세라믹 필터, metal fiber mat, 스테인레스 필터를 이용하여 분진농도와 여과속도를 변수로 하여 분진 여과 실험을 함으로써 각각의 필터에 대한 케이크 비저항과 기공율을 실험과 이론식으로부터 추정하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서 사용한 3가지 필터는 제조 물질이나 제조 방법이 각각 다르기 때문에 필터 medium 표면 구조가 그림 1과 같이 차이를 보인다. 복합 세라믹 필터는 지지체인 금속 mesh(#100)에 폐석탄회 슬러리를 dip-coating한 후 열처리하여 제조한 것으로 mesh의 wire와 wire 사이에 세라믹 입자들이 충전되어 있으며, metal fiber mat은 진공상태에서 고온 가열을 통해 금속 섬유를 non-woven mat 형태로 제조되어 높은 다공성 구조를 이루고 있다. 마지막으로 스테인레스 필터는 스테인레스 파우더를 고온에서 진공 소결시켜 제조한 것으로 미세 기공 채널이 전체적으로 분포하고 있다.



[composite ceramic filter] [metal fiber mat] [stainless filter]

Fig. 1. Surface observation of three filters showing structural difference.

본 연구에서 사용한 전체적인 분진여과 실험 장치는 그림 2에 도시하였다. 분진의 입자 크기나 형태, 입자간의 상호작용은 분진케이크의 기공 분포와 압력강하에 영향을 준다. 본 실험에서 분진시료로 사용한 석탄회는 평균직경이 약 8 μ m 이며, 그림 3과 같이 대체로 구형을 띠고 있다. 석탄회는 스테인레스 망이 부착된 진동 분진 공급 장치(vibratory dust feeder)을 통해 규칙적으로 주입하였다. 스테인레스 망은 비정상적인 크기의 입자나 불순물의 유입을 방지하고, 덩어리진 입자를 분쇄시켜주는 중요한 역할을 한다. 필터의 압력차는 전자식 미세 차압계와 수은주 차압계를 압력 범위에 맞추어 적절히 선택하여 측정하였으며 여과실험은 상온(25 $^{\circ}$ C)에서 이루어졌다.

케이크의 비저항을 조사하기 위해, 여과 면적 7cm²인 필터 media를 가로지르며 통과하는 유체로부터 분리 포집된 분진량에 대한 총 압력강하를 여과 속도에 따라 실험적 결과로부터 추정하였으며, 케이크의 높이는 Dial height gauge(Mitutoyo사, series no.192)를 사용하여 0.001mm 단위로 측정하였다. 케이크의 기공율은 Ergun 식의 첫 번째 항(Re<1)으로부터 Newton-Raphson 방법을 사용하여 계산하였다.

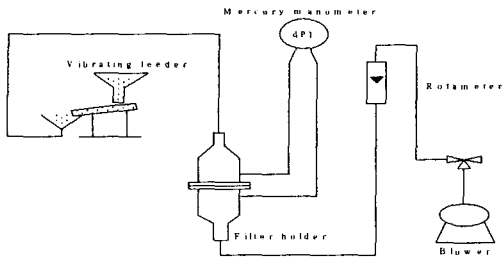


Fig. 2. Schematic diagram of apparatus used for filtration test.

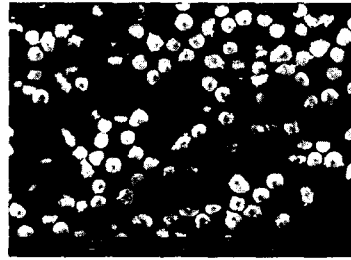


Fig. 3. Particle shape of fly ash.

3. 결과 및 고찰

케이크에 의한 유체 저항을 알아보기 위해, 케이크 비저항(K_c)은 필터 media와 케이크를 통과할 때의 포집된 분진의 양에 대한 총 압력강하를 유속에 따라 도식화하여 식 (1)로부터 실험적으로 추정하였다. 상온(25℃)에서 유체의 점도를 $0.17 \times 10^{-4} \text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 로 계산하였다. 3 가지 필터에 대한 케이크 비저항을 비교해 본 결과, 여과속도 0.1m/s, 분진농도 $0.5 \text{kg}/\text{m}^3$ 에 대하여 다공성이 가장 낮은 스테인레스 필터가 미세입자들의 막힘(clogging) 현상으로 인해 여과 초기 단계에서 급격히 증가하였으며, 케이크 비저항치는 $2.1 \times 10^9 \text{kg}/\text{m}$ 이었다. 일반적으로 3 가지 필터에 대하여 여과속도와 분진농도가 증가함에 따라 케이크 비저항치는 감소하였다. 다공성 필터 media와 분진 케이크를 관통하는 유체는 저속 흐름을 유지하여 laminar 상태를 형성시켰으며 Ergun 식에 부응하는 관계이다. Ergun 식의 첫 번째 항을 분리시킨 식 (2)로부터 케이크 두께(L)에 대한 케이크 압력강하를 유속에 따라 도식화함으로써 기울기를 통해 케이크의 기공율을 얻을 수 있다. 미세 기공 구조를 형성하는 스테인레스 필터는 다른 필터에 비해 표면 위에서 케이크 층이 더 빠르고 두껍게 형성되며 연속적인 여과 동안 뒤따라오는 미세 분진 입자들이 더 안정된 지점을 찾아 케이크 층 내부로 더 깊게 침투하므로 케이크가 더 밀집된 형성 구조를 보였다.

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_m + \Delta P_c = K_m \mu u + K_c \mu w u \quad \dots (1)$$

$$-\frac{\Delta P_c}{L} = \frac{150 \mu}{D_p^2} \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} u \quad \dots (2)$$

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R02-2002-00164-0) 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- Sabri Ergun (1952) Fluid flow through packed columns, *Chem. Eng. Prog.*, Vol. 48(2), 89~94
 P. M. Heertjes (1957) Studies in filtration, *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 6, 269~276
 Sung-Sam Yim, Jung-Hwan Kim (2000) An experimental and theoretical study on the initial period of cake filtration, *Korean J. Chem. Eng.*, Vol. 17(4), 393~400
 Yoshiyuki, E., Da-Ren, C., David Y. H. P. (2001) Air and water permeation resistance across dust cakes on filters-effects of particle polydispersity and shape factor, *Powder Technology*, Vol. 118, 24~31