

# 금속 섬유 필터층을 이용한 미세 분진 집진 성능 관찰

## Examination of Dust Trapping Mechanism in a Metal Fiber Filter-bed

이 경 미 · 조 영 민\*

경희대학교 환경·응용화학대학, 환경 연구소  
(2004년 1월 30일 접수, 2004년 5월 6일 채택)

Kyung-Mi Lee and Young-Min Jo\*

*Dept. of Environmental Science & Engineering, Center for Environmental Studies,  
Kyunghee University, Kyunggido, Korea*

(Received 30 January 2004, accepted 6 May 2004)

### Abstract

A metal fiber bed has seldom been applied to the practical filtration process despite its excellent mechanical and chemical stability. The filter-bed used in this work was highly porous with open structure, of which apparent porosity was 80~90%. Although pressure loss across the filter-bed was very low, separation efficiency was found to be quite high. This paper focuses on the basic filtration mechanisms of a metal filter-bed and a thin ceramic filter from fly ash for reference. The experimental parameters were face velocity, dust loading and porosity of filter-bed. Pressure drop increased with increasing face velocity and dust feeding load for both filters. It also showed that dust particles deposited in the deep flow path, finally resulting in clogging the pore channels. It thereby indicates that the dominating mechanism of the metal filter-bed would be depth filtration. Meanwhile, the thin fly ash composite filters trapped the aerated dust mainly on the surface of the filter medium, so that the instantaneously formed dust layer might cause a steep increase of pressure drop across the filtration system.

**Key words** : Metal fiber filter, Depth filtration, Particle clogging, Pressure drop, Dust separation

### 1. 서 론

산업의 발전과 더불어 많은 양의 오염물질 배출이 환경 문제 뿐만 아니라 심각한 사회문제로 대두되고

있다. 특히 화석연료를 이용하는 발전소, 자동차, 소각로 등에서 배출되는 미세한 입자상 오염 물질은 건강에 부정적인 영향을 미친다. 규제 강화로 인해 가솔린 및 LPG를 연료로 사용하는 자동차는 촉매장치를 장착하여 오염물질의 배출을 현저히 저감시킨 반면 경유를 이용하는 자동차는 배출물질 저감에 대한 방지 기술이 발달되지 않아 대기오염의 주원인이 되고 있다(김민철 등, 1999). 선진국들은 연차적으로

\* Corresponding author  
Tel : +82-(0)31-201-2485, Fax : +82-(0)31-203-4589,  
E-mail : ymjo@khu.ac.kr

경유 연소에 대한 엄격한 규제치를 마련하여 시행하고 있으며, 이에 따라 경유 배가스 저감 장치 개발 대책이 시급하다. 고온, 고압의 산업 공정과 디젤 차량 및 각종 내연기관의 배기가스 내 입자상 물질을 제거하기 위한 방법으로 필터를 이용한 여과 공정이 가장 널리 사용되고 있다. 이러한 배가스는 온도가 높을 뿐만 아니라 부식성 가스와 작은 입자들을 포함하고 있어 필터 선정에 매우 주의하여야 한다. 필터로는 벌집형 세라믹 필터(honeycomb type ceramic monolith)나 세라믹 섬유상 필터(ceramic fiber filter), 세라믹 폼(ceramic foam), 금속 섬유 필터(metal fiber filter) 등이 있다. Corning Glass 사에서 개발한 벌집형 세라믹 필터는 세라믹 여과막을 통과하면서 입자상 물질을 필터 벽에 포집되고 가스상 물질만 통과되도록 표면 여과(surface filtration)방식이다(주용남 등, 2003). 그러나 입자상 물질이 축적됨에 따라 압력강하의 증가가 매우 크며, 낮은 열전도율로 국부적인 온도 상승이 일어나 열충격에 의한 필터 파손의 위험이 있는 단점이 있다. 반면 세라믹 섬유형 필터는 내부 여과(depth filtration) 방식으로 압력강하가 적게 걸리며 미세 입자에 대한 포집효율을 높일 수 있는 장점이 있다. 그러나 역시 갑작스런 유량과 온도 상승 시 파손의 위험이 있다. 따라서 압력강하가 낮으면서 열 충격에 강한 금속 섬유 필터를 이용한 후처리 장치에 대한 연구 및 개발이 활발히 이루어지고 있다(Pattas *et al.*, 1998). 금속 섬유 필터는 섬유가 방향성 없이 무질서하게 배열되어 있고, 기공이 양쪽에 연결되어 있어 분진이 쌓여도 압력강하가 크게 증가하지 않는 장점이 있다. 또한 필터의 공극보다 작은 크기의 분진이 필터를 통과하면서 주로 확산(diffusion)에 의해 포집된다. 따라서 미세 입자에 대한 포집 효율을 높일 수 있다. 여과 초기에는 분진이 필터 공극 사이로 통과(penetration)하지만 점차 수지상(dendrite) 형태를 형성하여 공극을 점차 막아 통과율이 감소하게 된다.

본 연구에서는 기계적 강도가 우수할 뿐만 아니라 화학적, 열적 안정성이 높은 Fecralloy (Fe-Cr-Al) 금속 재질의 섬유상 wire를 일정량 충전시켜 여과층을 형성하여 여과 기초 성능 특성 실험을 실시하였다. 또한 자체 제조한 석탄회 세라믹 필터를 비교 시험용 필터로 사용하여 표면 여과(surface filtration)와 내부 여과(depth filtration)의 특성을 비교, 관찰하였

Table 1. Characteristics of Fecralloy fiber.

Characteristics	Fecralloy fibers
Chem. composition (%)	Fe : 72.8 Cr : 22 Al : 5
Density (kg/m <sup>3</sup> )	7,400
Tensile strength (MPa)	560
Max. operating temperature (°C)	1,400
Melting point (°C)	1,500
Thermal conductivity (at 23°C) (Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	16
Coefficient of thermal expansion (at 20~1,000°C) (× 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	15

고, 표면 여과와 내부 여과의 막힘 현상(clogging)이 여과에 미치는 영향을 각각 조사하고 각 여과 메커니즘의 차이를 관찰하였다.

## 2. 실험방법 및 장치

### 2.1 실험재료

#### 2.1.1 실험용 필터

본 연구에서 사용한 금속 섬유는 강도가 우수하며 내열성이 매우 좋은 Fe-Cr-Al로 구성된 Fecralloy 합금을 이용하였으며(FiberTech), 섬유의 직경은 80~90 μm이었다. Fecralloy에 대한 물리화학적 특성은 표 1과 같다.

본 연구에서는 Fecralloy 금속 섬유 일정량을 module내에 다양한 두께 및 공극률로 충전시켜 분진 여과 실험을 실시하였다. 이때 필터층 공극률( $\epsilon$ )은 식 (1)과 같이 섬유가 충전되어 있는 공간의 부피와 섬유가 차지하는 부피의 비로 정의하였다.

$$\epsilon = 1 - M/(\rho_f V) \quad (1)$$

여기서  $M$ 은 섬유의 총 질량이고,  $V$ 는 섬유가 충전되어 있는 공간의 부피이며,  $\rho_f$ 는 Fecralloy 섬유의 밀도(7,400 kg m<sup>-3</sup>)를 의미한다. 본 연구에서는 일정한 양을 필터 module과 같은 직경의 틀에 채운 후 압축기를 이용하여 균일하게 압력을 가하여 공극률이 91%, 88%, 83%인 필터층을 제작하였다.

또한 비교용 필터로서 사용한 세라믹 필터는 FA 복합 세라믹 필터(fly ash composite ceramic filter)로서 금속 mesh 지지체에 폐석탄회 슬러리를 dip coat-

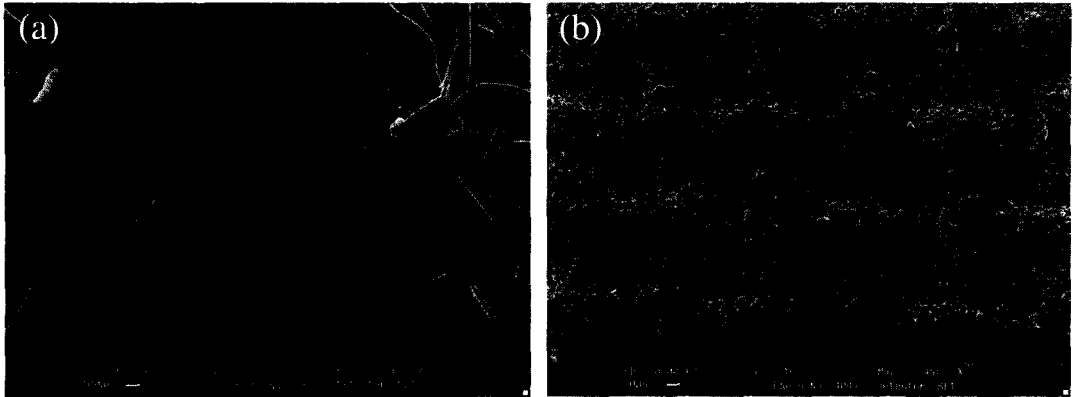


Fig. 1. Micrographs of metal filter-bed (a) and FA ceramic filter (b).

ing 하여 열처리 한 것으로 mesh의 wire 사이에 입자들이 충전되어 공극을 이루고 있다 (Jo *et al.*, 1996). 세라믹 필터 제조용으로 사용한 석탄회는 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등 무기금속산화물이 다량 포함되어 있어 실험용 세라믹 재료로서 매우 우수하다. 그림 1은 본 연구에서 사용한 금속 섬유 필터와 FA 세라믹 필터의 표면을 SEM을 이용하여 관찰한 결과이다. 본 연구의 여과 실험에서 사용한 필터에 대한 특징을 표 2에 요약하였다.

2.1.2 실험용 분진

분진 여과 실험에서 분진 입자의 크기와 형태 등 각종 특성들은 여과공정에 매우 중요한 영향을 미친다. 본 연구에서는 실험용 분진으로 보령화력발전소에서 발생한 석탄회를 이용하였다. 미세 분진 준비를 위하여 원시료를 26µm 표준체로 선별하여 작은 크기 부분을 포집하였다. 유로 내에서의 응집을 방지하기 위해 105°C의 vacuum oven에서 12시간 이상 건조 시킨 후 필터 모듈에 공급하였다.

2.2 실험장치 및 방법

그림 2는 본 연구에서 사용한 분진여과 실험 장치의 개략도이다. 준비된 분진을 진동 공급 장치(1)를 통해 규칙적으로 주입하였다. 이 때, 진동의 세기를 조절하여 분진의 공급 농도를 변화시켰다. 본 연구에서는 미세 분진에 대한 여과 실험을 실시하기 위하여 원심력 분급 장치 역할을 할 수 있는 사이클론

Table 2. Characteristics of test filters.

	Metal filter-bed	FA composite filter
Materials	Fecralloy fiber	Fly ash
Porosity (%)	91, 88, 83	30 ~ 40
Thickness	8, 6, 4 mm	90 µm

(4)을 필터 모듈 입구에 설치하였다. 원심력 분급기는 분립체 입자를 크기에 따라 분리하는 장치로 산업 현장에서 광범위하게 사용되고 있다 (하병길, 2003). 그 결과 그림 3에서 보는 것처럼 유입되는 원시료 분진이 사이클론의 vortex finder에서는 약 2µm의 직경으로 분리되어 배출됨으로써 필터 모듈에 공급됨을 알 수 있다. 여과가 진행됨에 따라 증가하는 필터모듈 내의 압력강하(6)를 측정하기 위하여 미세 차압계와 수은주 차압계를 설치하였다. 또한, 분진 집진부(5)의 효율을 측정하기 위해 후반부에 스텐레스 재질의 HEPA 필터(7)를 장착하였으며, 필터 모듈을 통과하는 분진을 완전히 포집한후, 크기 분포를 측정함으로써 개별집진효율을 계산하였다. 여기서 입도 분석은 0.05~880µm 범위 내에서 분석 가능한 Malvern Mastersizer-S (version 2.19)를 사용하였다. Filter-bed의 잔여 압력강하 측정 시에는 여과 후 필터 표면 위에 쌓인 분진층을 부드러운 솔을 이용하여 제거한 후, 압력을 다시 측정함으로써 확인하였으며, 데이터의 신뢰성을 높이고자 수차례 반복 실험을 실시하였다. 본 연구에서는 금속 섬유층 여과 기초

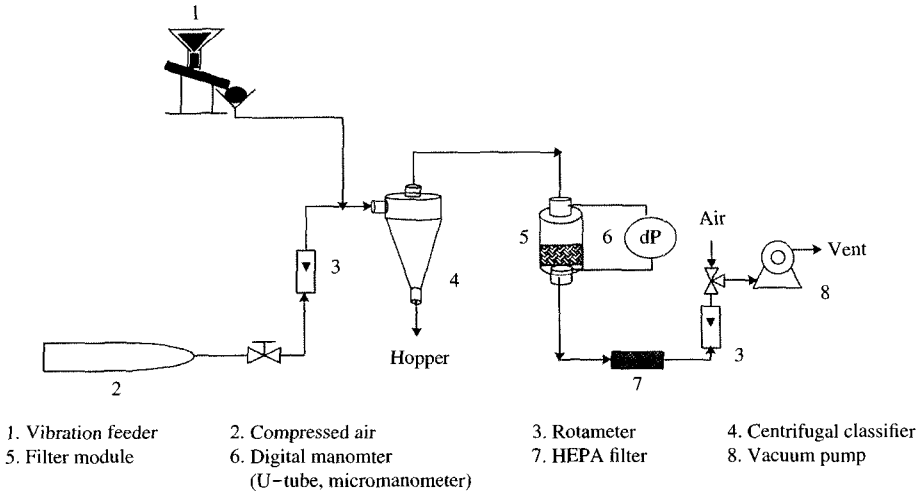


Fig. 2. Schematic diagram of the set-up for filtration.

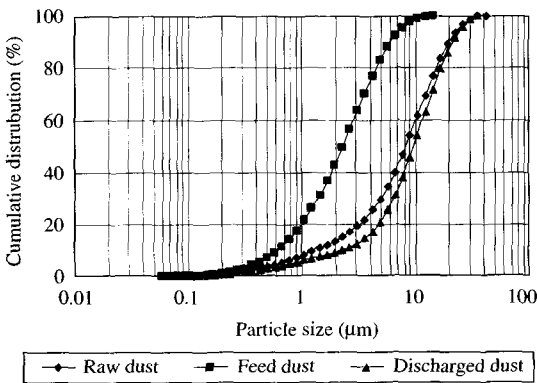


Fig. 3. Particle size distribution of classified dust.

Table 3. Experimental condition.

Temperature (°C)	Room temp. (18~30°C)
Filtration face velocity (m/s)	0.05~0.17
Filtration area (m <sup>2</sup> )	1.0 × 10 <sup>-3</sup>
Duration of filtration time (min)	20~100
Dust type	Coal fly ash
Mean diameter (μm)	2~3

실험 개념으로 상온에서 실시하였고, 유량계와 미세 조절 밸브를 통하여 여과 속도를 변화시켰다. 이상의 분진 여과 실험 조건을 표 3에 요약하였다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 두 가지 종류의 필터를 대상으로 분진 여과 시 발생하는 압력강하의 특성을 고찰함으로써 주요 여과 메커니즘을 비교하고, 분진제거 효율과의 상관성을 추정하였다.

#### 3.1 금속 섬유 필터의 압력강하와 개별입자집진 효율

그림 4(a)는 몇 가지 공극률로 준비한 금속 필터층의 압력강하 변화를 나타내는 그래프이다. 필터의 공극률은 초기 압력강하와 필터의 여과 능력 및 집진 효율에 직접적으로 영향을 미치는 인자 중 하나이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 공극률이 91%인 경우 압력강하가 가장 적었고, 압력강하의 변화율 또한 적음을 알 수 있다. 이는 공극률이 클수록 필터를 통과하는 유체의 유로가 단순하며 저항을 적게 받기 때문이다. 분진 여과가 진행되면서 증가하는 압력강하는 선형증가 형태를 보이고 있으나, 여과가 지속되어 분진 입자가 필터 내부와 표면에 쌓이게 되면, 그 형태가 여과 조건에 따라 변화할 수 있을 것으로 사료되며, 이에 대하여는 다음 절에서 논의하기로 한다.

그림 4(b)에서 볼 수 있듯이 개별여과효율은 필터층 공극률에 비하여 비교적 높은 여과 효율을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 섬유 내부에서 미세 분

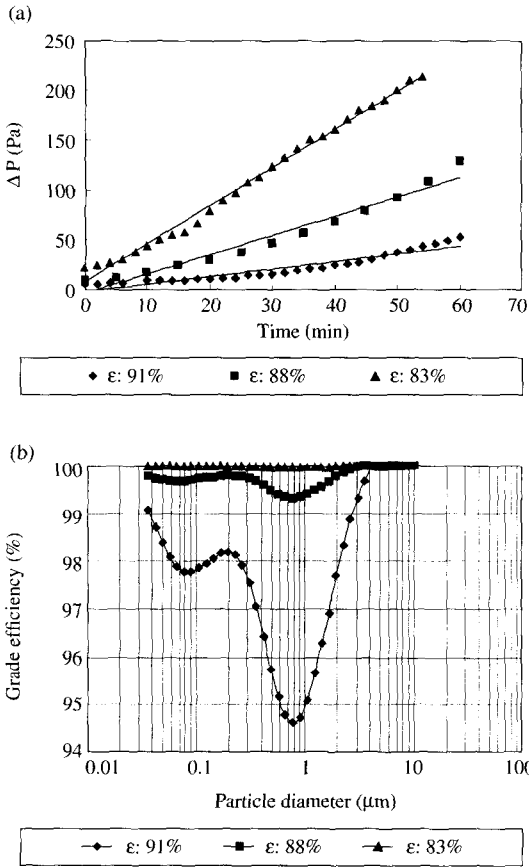


Fig. 4. Pressure drop (a) and grade efficiency (b) of metal filter-bed ( $u = 0.05 \text{ m/s}$ ,  $\text{Conc.} = 1 \text{ g/m}^3$ ).

진의 경우 확산 효과에 의해 주로 포집되고, 특히 금속성 재질로 인한 정전기적 힘에 의해 많은 양의 미세입자가 응집되면서 금속 섬유에 부착되어 여과 효율을 높여주기 때문에 사료된다. 또한 공극률이 88%인 것과 83%인 filter-bed의 여과 효율의 차이는 그다지 크게 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구의 실험 조건하에서 여과 효율은 매우 우수하면서도 압력강하가 최소로 유지되는 공극률 88%의 필터 조건을 적용하는 것이 더 유리할 것이라 판단된다.

그럼 5(a)는 공극률 88%인 필터층의 여과 속도에 따른 압력강하 변화율을 본 것이다. 같은 농도의 분진이 공급될 때 여과 속도가 증가할수록 압력강하도 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 Darcy의 법칙에서

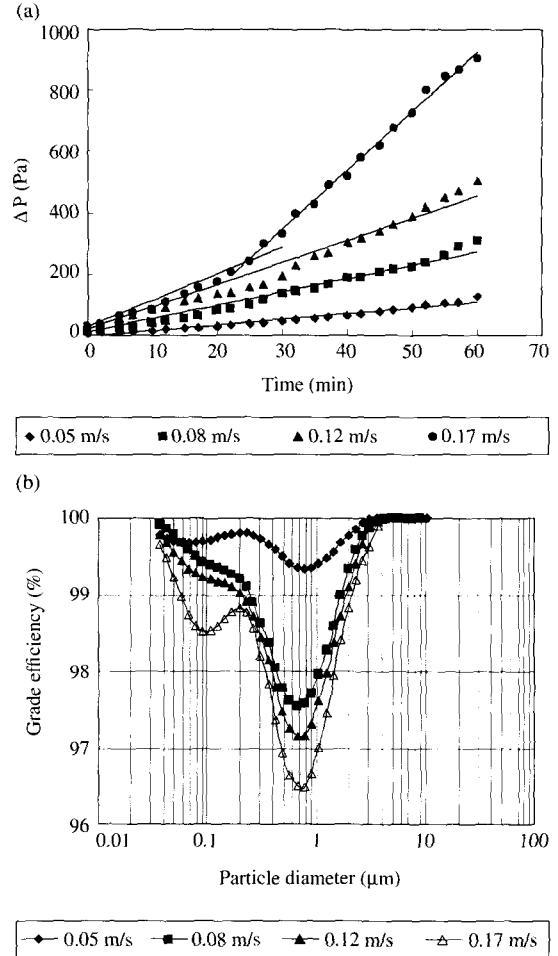


Fig. 5. Pressure drop (a) and grade efficiency (b) as a function of face velocity ( $\epsilon = 88\%$ ,  $\text{Conc.} = 1 \text{ g/m}^3$ ).

제시된 유속과 압력손실의 비례관계로부터 예측할 수 있을 뿐만 아니라 같은 여과시간에 상대적으로 많은 양의 분진이 필터층에 도달함으로써 자연적인 압력강하의 증가를 유발한다. 금속 섬유처럼 입자의 크기보다 공극의 크기가 큰 경우 여과 속도가 증가할수록 미세 분진은 필터 내부로 깊숙이 침투하게 되고, 확산 효과와 정전기력 (electrostatic deposition)에 의해 미세 입자들이 금속 섬유에 부착하게 된다. 여과가 진행됨에 따라 섬유상에 부착된 입자들은 주위에 수지상 (dendrite) 형태로 성장하면서 필터의 공극을 축소시킴으로써 필터 모듈의 압력강하가 증가하게 된

다. 따라서 여과 속도가 증가할수록 미세 분진은 더욱 더 필터 내부 깊숙한 위치에서 포집되어 좀 더 빨리 막힘 현상이 나타나게 된다(Declan, 1996).

그러나 한편으로는 여과 속도가 증가할수록 미세한 입자는 유체 유로나 분진층의 공극 사이로 많은 양이 통과할 가능성이 높다. 실제 그림 5(b)에서와 같이  $1\mu\text{m}$  이하의 입자들에 있어서 속도가 증가할수록 집진 효율의 감소폭이 커지는 것을 확인할 수 있었다. 속도가 느린 조건에서는 분진이 필터층의 유로를 통과하는 시간이 그만큼 길기 때문에 입자들과의 가교형성이 더욱 용이하므로 대부분 포집되어 공극적으로 분리 효율을 높일 수 있다. 본 연구에서 사용한 금속 섬유 필터층처럼 공극률이 높은 경우 오히려 여과 속도를 낮게 유지해야 미세 분진에 대한 고효율의 포집 효과를 얻을 수 있다.

분진의 공급 농도는 필터 내부에서 형성되는 수지상(dendrite)의 분진 응집과 필터 매체 표면에 형성되는 분진층(dust cake)의 구조에 많은 영향을 미친다. 본 연구에서는 진동 공급기(vibrating feeder)의 진동 세기를 조절하여 공급농도를  $1\sim 5\text{g/m}^3$ 로 변화시켜가며 여과 필터의 압력강하와 집진 효율을 관찰하였다. 그림 6(a)에서 볼 수 있듯이 분진의 절대 농도가 높을수록 시간에 따른 압력강하가 증가하는 것을 알 수 있다. 공급 농도가 높은 경우 분진은 동시에 많은 양이 필터층에 도달하게 된다. 따라서 필터 내부에서 포집되기 보다는 필터 표면에 쌓이는 양이 상대적으로 많아지게 된다. 반면 저농도의 경우, 필터층 내부로 침투하는 분진양이 상대적으로 많아지며 점차적으로 필터의 공극을 차단함과 동시에 필터 표면에서는 좀 더 견고한 분진층을 형성한다. 그림 6(a)를 살펴보면  $5\text{g/m}^3$ 로 분진이 공급될 경우, 압력강하의 변화가 선형으로 이단 변화하는 것을 볼 수 있는데, 이는 필터 표면에 쌓인 불안정한 초기 분진층이 무너지고 견고한 분진층을 형성하면서 보다 급격한 증가를 유발하기 때문이다.

또한 일반적으로 여과 필터의 경우 분진의 농도가 높을수록 집진 효율이 우수하다. 고농도 분진은 많은 양이 동시에 필터 공극 부위에 도달하여 필터 표면에서의 상호 충돌 및 응집 작용에 의해 궁극적인 분리 효율이 높게 된다. 그림 6(b)에서  $5\text{g/m}^3$ 의 경우는 가장 높은 농도임에도 불구하고  $3\text{g/m}^3$ 의 경

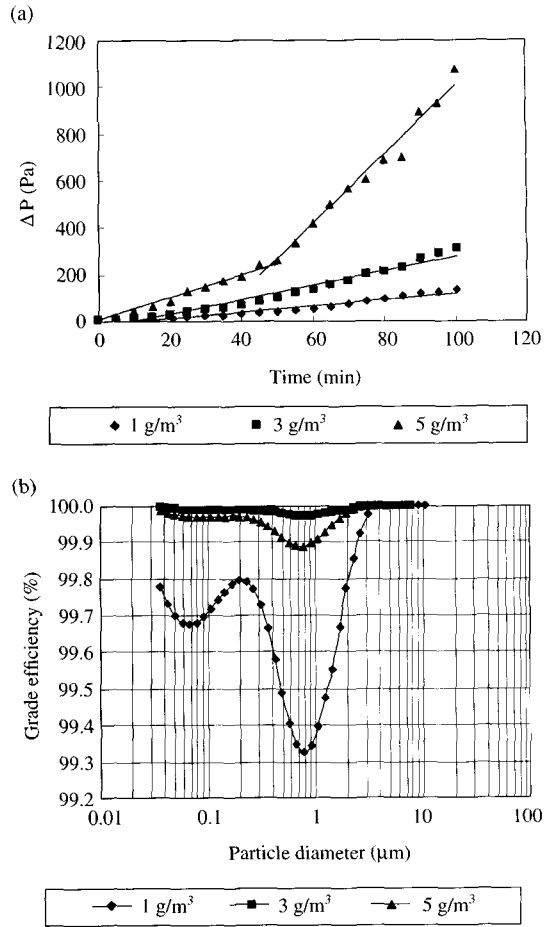


Fig. 6. Pressure drop (a) and grade efficiency (b) as a function of dust concentration ( $\epsilon = 88\%$ ,  $u = 0.05\text{ m/s}$ ).

우보다 여과 효율이 낮게 관찰되었다. 이는 위에서 언급했었던 것처럼 일정한 양이 필터 표면에 불안정하게 쌓여 어느 순간 분진이 붕괴될 때 다량의 미세 분진이 빠져 나가기 때문이다. 특히 본 연구에서처럼 공극의 크기가 크고 성긴 필터층 구조의 경우 더욱 뚜렷이 관찰할 수 있다.

### 3.2 내부 여과와 표면 여과의 특성 비교

그림 7은 여과 공정이 어느 정도 진행된 후 필터 표면에 쌓인 분진층을 부드러운 솔로 제거한 후 다시 반복 여과 실험을 실시하여 측정된 filter-bed의 압력강하 변화를 나타낸 것이다. 그래프에서 볼 수

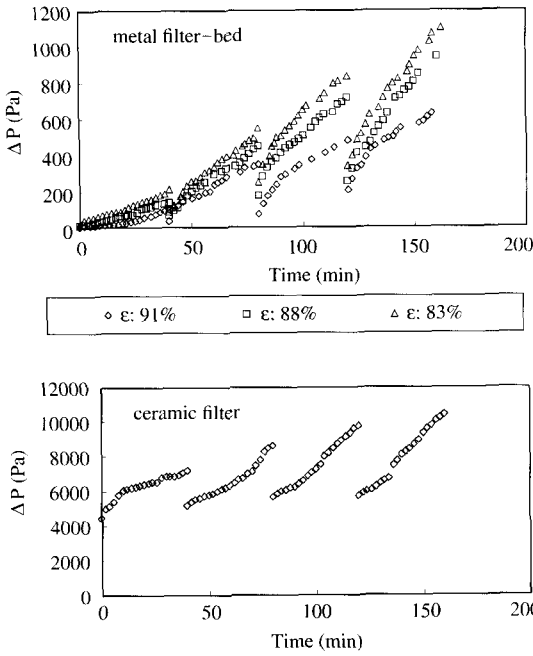


Fig. 7. Pressure drop with cleaning the deposited dust ( $u = 0.05 \text{ m/s}$ ,  $\text{Conc.} = 1 \text{ g/m}^3$ ).

있듯이 금속 filter-bed는 횡수가 증가할수록 압력강하의 변화율이 크게 증가하는 반면 세라믹 필터의 경우 잔여 압력강하가 초기 medium에 의한 압력강하와 비교하여 크게 증가하지 않은 것을 알 수 있다. 이를 보아 금속 filter-bed는 분진이 주로 필터층 내부에 포집되는 내부 여과(depth filtration)방식이며, 반면 fly ash 세라믹 필터는 분진이 필터 표면에 직접 차단(direct interception)에 의해 포집되는 표면 여과(surface filtration)가 지배하고 있음을 알 수 있다. 또한 fly ash 세라믹 필터의 경우 압력 증가 기울기가 처음과 비교해서 크게 변하지 않는 반면, 금속 filter-bed의 경우 처음의 압력 증가 기울기가 여과 횡수를 거듭할수록 커지는 것을 알 수 있다. 이는 여과 초기에 분진 입자가 필터 내부에 포집되어 점차 공극을 막고, 필터 표면에 분진층이 형성되면서 표면 여과를 수행하기 시작하기 때문에 기울기가 점차 증가하는 것이다.

일반적으로 표면 여과(surface filtration)가 중요한 메카니즘이 될 경우 필터와 필터 위에 퇴적된 분진층을 통과할 때 발생하는 전체 압력강하는 다음과

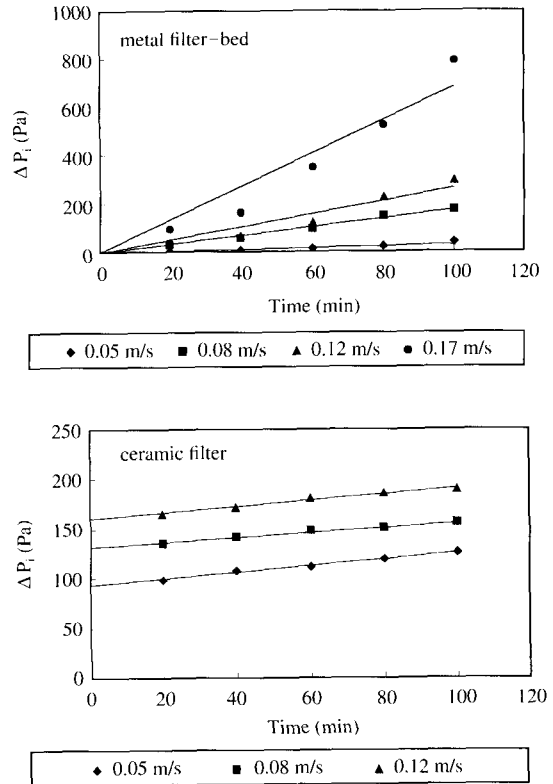


Fig. 8. Comparison of metal filter-bed and fly ash ceramic filter for  $\Delta P_i$ .

같이 나타낼 수 있다(Leith & Allen, 1986).

$$\Delta P_i = \Delta P_m + \Delta P_c \quad (2)$$

분진 여과가 진행되면서 필터 자체의 압력강하( $\Delta P_m$ )는 분진층에 의한 압력강하보다 매우 작아 무시되기도 한다. 그러나 내부 여과의 경우 먼저 필터 내부에서 분진의 포집이 일어나 분진 입자에 의해 공극이 조밀해지면서 필터 표면에서 차츰 분진층이 형성하게 된다. 즉, 표면 여과와는 달리 필터 medium에 의한 걸보기 압력강하는 여과 공정이 진행됨에 따라 크게 증가하여 전체 압력강하 관찰 시 무시할 수 없는 요인이 된다. 따라서 전체 압력강하를 필터 medium 자체의 압력강하( $\Delta P_m$ )와 필터 표면의 분진층에 의한 압력강하( $\Delta P_c$ ), 그리고 필터 내부에 포집된 분진에 의한 압력강하( $\Delta P_i$ )의 합으로 다시 표현할 수 있다(식(3)).

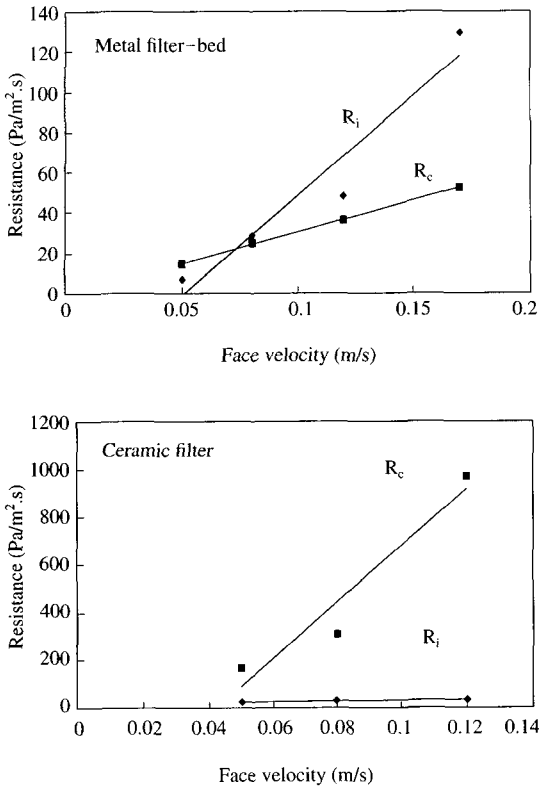


Fig. 9. Flow resistances with face velocity.

$$\Delta P_t = \Delta P_m + \Delta P_c + \Delta P_i \tag{3}$$

따라서  $\Delta P_i$ 와  $\Delta P_c$ 에 의한 유체 저항은 다음과 같이 각각 표현할 수 있다.

$$R_i = \frac{\Delta P_i}{A \cdot t} \tag{4}$$

$$R_c = \frac{\Delta P_c}{A \cdot t} \tag{5}$$

$R_i$  값은 필터 내부의 공극 막힘 (pore clogging)에 따른 drag에 의한 저항 (resistance)을 의미하며,  $R_c$ 는 필터 표면에 쌓인 분진층에 따른 drag에 의한 저항 값이다. 이 값을 비교함으로써 내부 여과와 표면 여과 현상의 차이를 확인할 수 있다.

그림 8은 필터 내부에 포집된 분진에 의한 압력 ( $\Delta P_i$ )을 각각의 필터에 대해 조사한 것이다. 금속 filter-bed의 경우 여과 시간이 진행됨에 따라  $\Delta P_i$  값

이 유속에 대하여 비례적으로 증가하는 반면, 세라믹 필터의 경우는 상대적으로 증가폭이 매우 작으며 여과가 어느 정도 진행된 후는 값이 일정한 것을 알 수 있다. 이를 다시 저항 형태로 환산해 보면 그림 9와 같다. 우선 금속 섬유 filter-bed에서 내부에 포집된 분진에 의한 저항과 표면에 쌓인 분진층에 의한 저항을 비교해보면  $R_i$ 가  $R_c$ 에 비해 여과 속도에 따라 급격히 변하는 것을 알 수 있고, 반면에 세라믹 필터는  $R_c$ 가 더 급격히 변하는 것을 알 수 있다. 또한 세라믹 필터의  $R_c$ 와  $R_i$ 의 값을 비교해 보아도  $R_i$ 의 값이 상대적으로 현저히 적음을 알 수 있다. 즉 금속 filter-bed의 경우는 내부 여과 (depth filtration) 현상을, 세라믹 필터의 경우는 표면 여과 (surface filtration)를 확인할 수 있었다. 이를 살펴 본 결과 필터 여과 공정에 있어서 내부 여과는 표면 여과와 달리 내부에서의 공극 막힘 현상 (clogging)에 의해 필터의 저항값이 속도와 여과 시간의 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 따라서 내부 여과의 경우 유로 내부에 포집된 분진에 의해 여과 공정 후 재생 방법으로 back flushing 적용이 어려울 것이라 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기계적 강도뿐만 아니라 열충격에도 강한 Fecralloy 금속 섬유 filter-bed에 대한 기초 여과 성능 특성을 조사하였고, 자체 제조한 fly ash 세라믹 필터와 비교, 관찰하였다.

금속 filter-bed의 공극률과 여과 속도 및 분진의 농도에 따른 압력강하를 관찰한 결과, 공극률이 작을수록 압력강하가 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러나 금속 섬유 필터층의 구조적 특징으로 인하여 전체 압력강하는 비교적 낮게 유지되었다. 고농도 분진 흐름의 경우 불안정하게 쌓인 분진층이 붕괴 현상으로 압력강하가 단계적 변화를 보이며 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

각 운전 변수에 따른 개별집진효율을 측정된 결과, 공극률이 가장 낮은 83%인 경우가 가장 높은 여과 효율을 나타내었으나 공극률이 88%인 경우도 99% 이상의 고효율을 나타내었다. 따라서 높은 여과 효율을 가지면서 압력강하도 낮게 유지되는 공극률 88%



인 경우가 여과 공정 시 가장 적절하다고 판단된다. 따라서 높은 공극률을 갖는 금속 filter-bed 적용 시 비교적 낮은 속도와 낮은 농도를 유지하는 것이 중요하다. 또한 여과 속도가 증가할수록 많은 양의 분진이 빠져 나가며, 고농도의 경우에도 불안정한 분진층에 의해 여과 효율이 떨어지는 것으로 확인할 수 있었다.

금속 filter-bed의 경우  $R_i$ 의 값이 여과 속도에 따라 급속히 증가하는 반면, 세라믹 필터는  $R_i$ 의 증가율이 매우 작았고, 어느 정도 증가한 후 계속 일정한 값을 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 세라믹 필터에서  $R_i$ 와  $R_c$  비교시  $R_i$ 의 값이 매우 작음을 알 수 있다. 즉 금속 filter-bed는 주로 내부 여과(depth filtration)를 통해 집진이 일어나며, 내부에 포집된 분진이 여과 공정에 많은 부분 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 기초 성능 여과 실험으로 상온에서 실험을 실시하였으나 고온에서의 분진 여과 특성 조사가 진행될 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R02-

2002-00164-0) 지원으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 김민철, 권순박, 이규원, 김종춘, 정일록, 류정호, 엄명도 (1999) 디젤엔진에서 배출되는 미세 입자의 크기 분포, 한국대기환경학회지, 15(5), 657-665.
- 주용남, 홍민신, 문수호, 이동섭, 임우택 (2003) 세라믹 섬유필터를 이용한 디젤 입자상물질 배출저감에 관한 기초 연구, 한국대기환경학회지, 19(3), 297-306.
- 하병길, 김용진, 정상현, 홍원석, 황순철, 허병수 (2003) 원심터보 분급장치의 입자 분급 특성 실험, Proceedings the 4th Korean Conference on Aerosol and Particle Technology, 69-70.
- Declan, C.W. (1996) Recent Advances in the understanding of fibrous filter behaviour under solid particle load, Filtration & Separation, 33(6), 501-506.
- Jo, Y.M., R.B. Hutchison, and J.A. Raper (1996) Preparation of ceramic membrane filters from fly ash, Waste Management Research, 14(3), 101.
- Leith, D. and R.W.K. Allen (1986) Dust filtration by fabric filters, Progress in Filtration & Separation, 4, 1-54.
- Pattas, K., N. Kyriakis, Z. Samaras, T. Manikas, and A. Mihailidis (1998) The behavior of metal DPFs at low temperatures in conjunction with a cerium based additive, SAE, 980543, 1-9.