

HEPA Filter의 구조적 차압특성에 관한 연구

조 상 준* · 서 석 청**

A Study on the Characteristics of Structural Pressure Drop for HEPA Filter

Sang-Joon Cho* · Seock-Cheong Seo**

1. 서 론

고성능 필터(High Efficiency Particulate Air Filter : HEPA Filter)의 성능은 정격유량에서 직경 0.3 μ m 입자에 대하여 99.97% 이상 여과시키고, 이때 압력손실이 25.4mmAq(1.0 inch W.G.)이하 이어야 한다.¹⁾

분진여과효율은 고성능 필터의 주요구성품인 여재 [Filter Media, 본 연구에서는 미세유리섬유지(Glass Fiber Paper) 사용]의 분진여과성능에 따라 크게 좌우된다.

즉, 소정의 여과 효율을 갖는 여재를 사용하여 필터를 제작할때 제작과정에서의 결함(Pin Hole 등)이 없는 상태에서는 필터의 면풍속에 따라 여과 메카니즘이 변하기 때문에 필터의 효율이 증감한다.

또한 필터의 차압성능은 여재 자신이 갖는 차압과, 구조적 저항인 축소 확대의 공기유로

변화, 분리판(Separator)의 저항, 공기가 좁은 간극을 통과할 때의 유로저항 등에 의해서 지배 받는다.

여기서 여재자신의 차압은 여재의 특성으로 필터를 제작할 때의 문제에서는 제외된다. 단지 구조적 저항만이 제조기술에 따라 영향받는 것으로서 이를검토하고자 하며, 고성능 필터에 대한 기초연구가 이미 수행된바 있으나²⁾ 아직 이론적인 정립은 되어있지 않는 상황으로 본 연구에서는 시뮬레이션 모델실험을 통하여 설계기술의 기초 자료를 얻고자 한다.

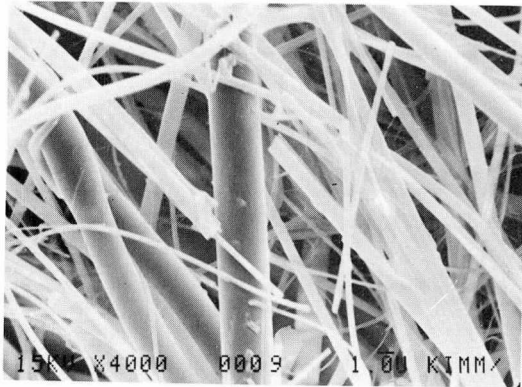
2. 차압특성

1) 여재의 차압 특성

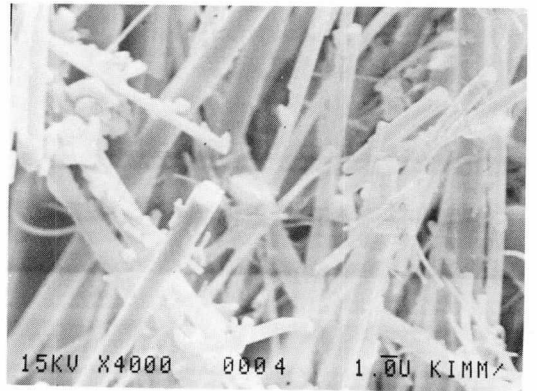
필터여재의 차압특성은 필터의 설계, 제작 및 성능에서 매우 중요한 인자로서 여재의 구성재

*공기조화 연구실 연구원

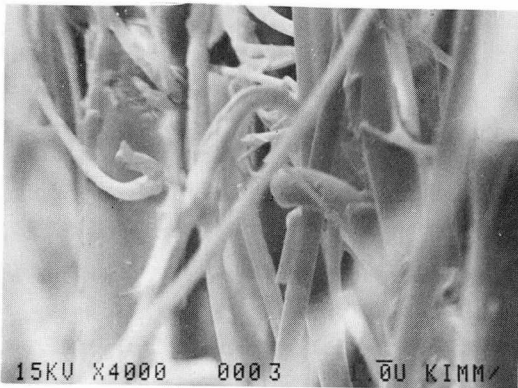
**공기조화 연구실 책임연구원



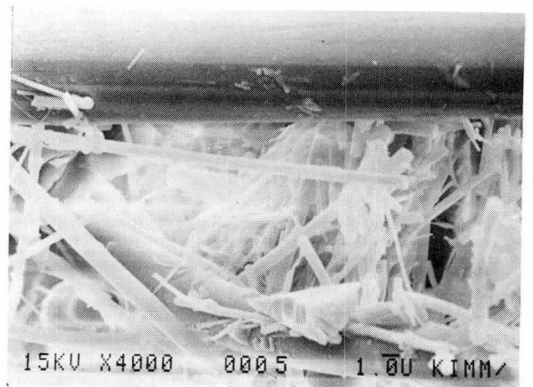
a. 여재앞면



c. 여재단명 중앙



b. 여재왼쪽 단면



d. 여재 오른쪽 단면

사진1. 실험에 사용된 여재(Lydair G.215의 SEM사진)

료인 유리섬유(Glass Fiber)의 직경(사진1참조), 유리섬유의 충진율(공극율), 접착체 함유율, 공기 통과속도, 여재의 두께, 공기의 동점성계수 등에 따라 다르다. 여재의 차압은 고성능필터 차압의 약 70%를 차지하는 매우 중요한 변수로서, 이에 대한 이론적인 연구로서는 Fuchs and Stechkina의 식 등^{3,4)} 많은 연구가 있으며, 이 이론식을 이용하기란 여러가지 조건이 만족되어야만 하는 어려움이 있다.

2) 유로의 변화에 따른 차압 특성

고성능 필터는 필터틀, 분리판, 여재절곡 등의

형태에 따라 공기유로가 축소확대등의 변화를 갖게 된다. 이러한 변화는 유로저항을 증대시키며, 복합적인 구조적저항으로서 필터차압을 증대시키는 원인이 된다.

이때의 유로 저항은

$$\Delta P = \Sigma \xi \frac{\rho}{2} V^2 \text{ 로 나타낼 수 있으며,}$$

여기서,

ΔP : 차압(Pa)

ξ : 형상 계수

ρ : 공기 밀도(Kg/m³)

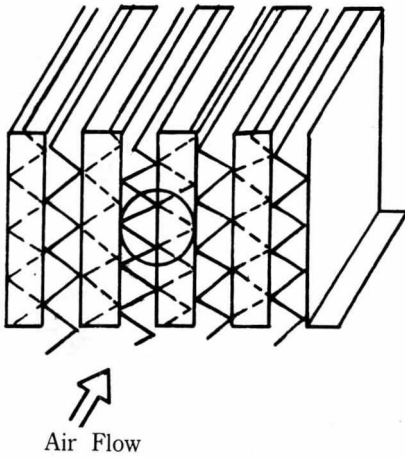


그림1. 고성능 필터의 구조

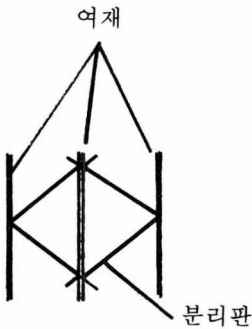


그림2. 분리판의 단면

V : 공기 통과 속도(m/s) 이다.

3) 분리판의 저항

분리판은 필터 여재를 보강시키며, 여재와 여재사이의 공기유로를 형성시키기 위해서 알루미늄 늑박판을 절곡시켜서 사용한다. 그러나 이 분리판은 고성능 필터의 전면 면적에서 공기통과 유효면적을 축소시키는 결과를 초래한다. 즉, 두께 40 μ m의 분리판을 사용할 때, 필터의 여러가지 제작조건에 따라 차이는 있지만 약 0.01m²의 공기통과 유효면적을 축소시키는 결과를 가져온다. 또한 분리판의 형상에 따라서 분리판과 여재의 접촉부에서 매우 좁은 공기유로가 형성되는데 이것 또한 공기통과 유효면적 축소시키는 요인이 된다. 일반적으로 분리판의 단면 모양은 삼각형인데, 여재와의 접촉부위가 뾰족한형, 둥근형이나에 따라서 여재의 공기통과 유효면적이 축소됨과 동시에 좁은 공기유로가 형성된다.

본 연구에서는 이러한 변수를 모두 검토하지는 못하였지만, 분리판의 높이 및 필터 깊이에 따른 차압의 변화에 대해 연구하였다.

3. 실험장치와 실험방법

1) 시뮬레이션 모델

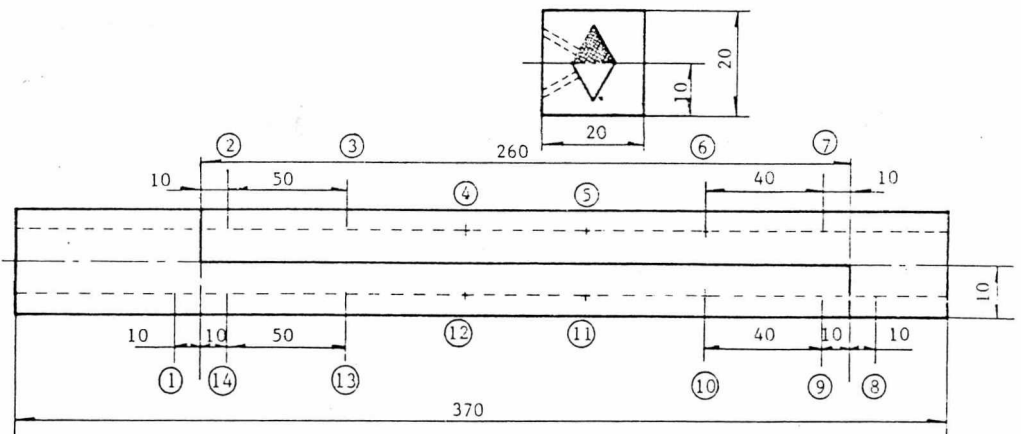


그림3. 시뮬레이션 모델

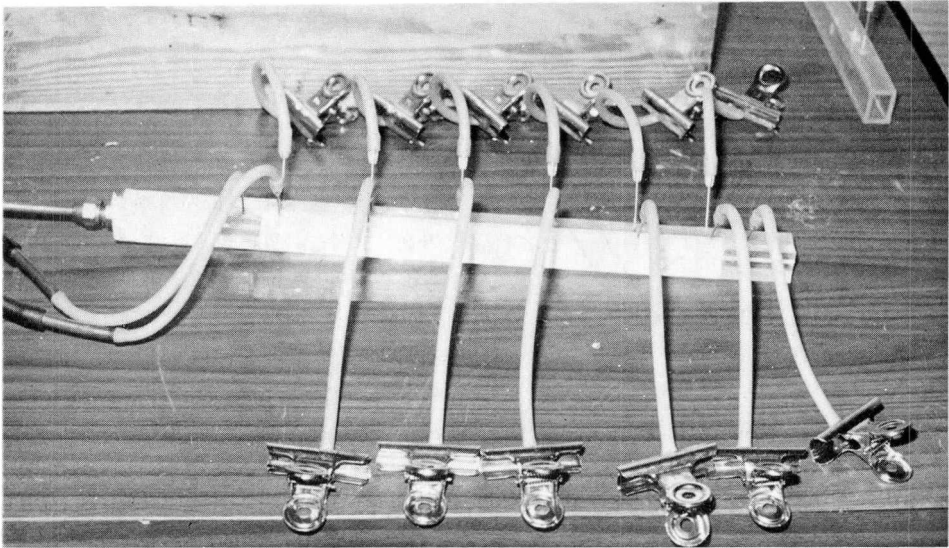
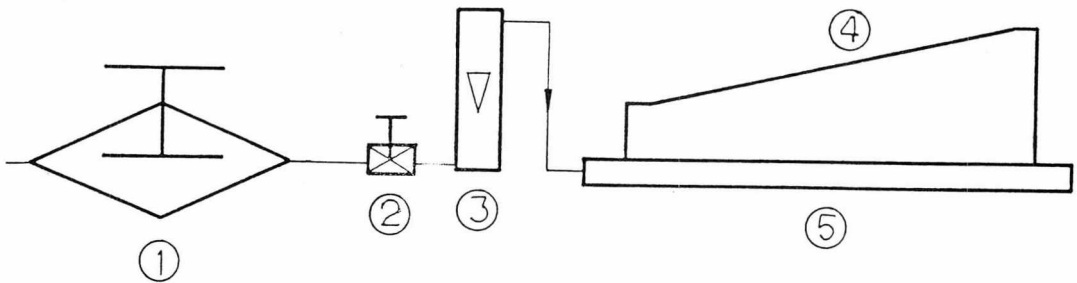


사진2. Simulation 모델



NO.	장 비 명	사 양
1	감압밸브	Filter Regulator AW 401 0.5~8.5kg/cm ²
2	유량조절밸브	Needle Valve 1/4"
3	로타메타	KOJIMA Model 1600/0.0~2.0 l/min.
4	경사마노메타	Wihl Lambrecht KG/653 M16 : 0~1600Pa
5	모 델	Simulation Model : 20×20×370(mm)

그림4. 공기분배장치

본 연구에서 선택한 모델은 분리판의 단면형상이 정삼각형이며, 그 높이가 2.0~4.0mm 정도의 벌집모양으로 제작되어 있다. 하나의 공기 유로의 깊이에 따른 차압의 변화를 측정하기 위해서, 그림 1과 같은 구조에서 그림2와 같은 하나의 분리판과

여재만을 선택 분리시키고 아크릴과 실제 필터를 제작할 때 사용하는 여재를 사용하여 그림3과 같이 가장 단순화된 형을 선택하였으며, 필터의 깊이(아크릴의 길이)방향으로 일정한 간격의 정압공을 뚫고 주사바늘을 사용하여 필터깊이에

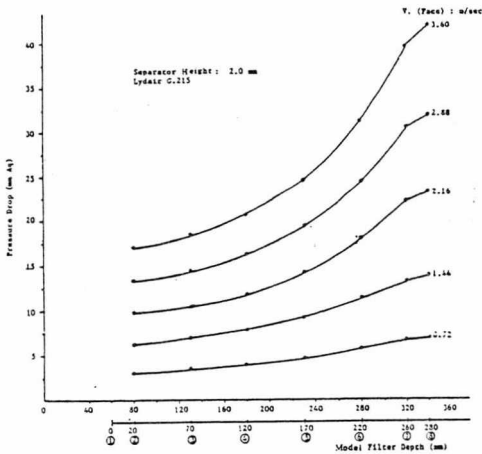


그림5. 시뮬레이션 모델 실험에 의한 필터 깊이에 따른 면풍속-차압과의 관계

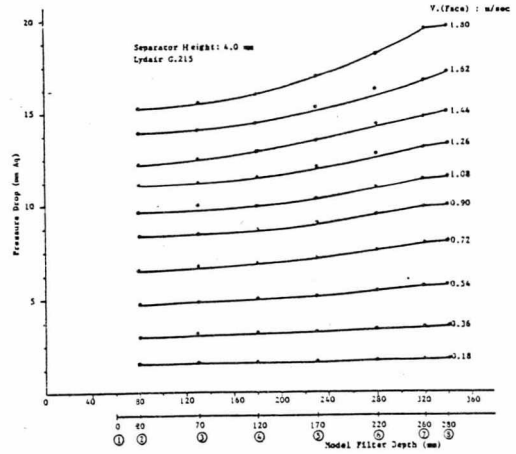


그림7. 시뮬레이션 모델 실험에 의한 필터 깊이에 따른 면풍속-차압과의 관계

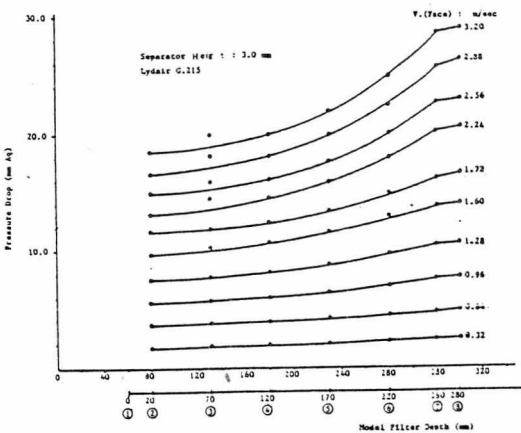


그림6. 시뮬레이션 모델 실험에 의한 필터 깊이에 따른 면풍속-차압과의 관계

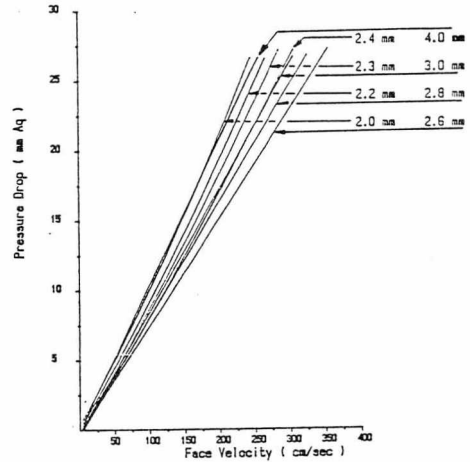


그림8. 시뮬레이션 모델에서 분리판의 높이에 따른 면풍속-차압과의 관계

따른 정압의 변화를 측정할 수 있게 하였다.

2) 실험 장치 및 실험방법

그림3(사진2참조)에 보인 시뮬레이션 모델을 그림4와 같은 실험 장치에 연결하였다. 실험장치는 7kg/cm²의 압축공기를 ①번 감압밸브를 사

용하여 1kg/cm²으로 감압시키면서 공기 중의 습분을 제거시키고, ②번 밸브로 공기 유량을 조절하면서 ③번 유량계로 공기유량을 측정한다. 임의의 유량에서 ④번 시뮬레이션 모델의 길이 방향에 따른 각각의 점에서의 정압을 그림3의 점①과의 차압으로 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

3의 2) 실험 방법에 따라 얻은 값들을 정리하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림5,6,7을 보면 분리판의 높이가 2.0mm인 경우 필터의 정면 풍속이 빨라질수록 ①점과의 차압이 길이에 따라 급격히 증가함을 알 수 있다. 이러한 현상은 분리판의 높이가 높아지면 점점 더 완만해 지며, 4.0mm인 경우는 면풍속이 1.62m/sec인 경우까지 완만한, 거의 비례적인 증가를 보인다. 미시적으로 검토해 보면, 2.0,3.0,4.0mm인 경우, 모두 면풍속이 1.44m/sec까지는 면풍속의 증가에 대한 차압의 증가가 완만하다. 다만 ①-②점 사이의 차압은 2.0, 3.0, 4.0mm순으로 크다. 이 결과는 분리판의 높이가 낮아지면, 여재의 공기통과 속도가 낮아져 차압이 작아짐을 알 수 있다. 그러나, ①-⑧점 사이의 차압 즉, 필터의 차압은 3.0, 2.0, 4.0 mm의 순으로 크다.

이 결과는 필터 길이가 깊어짐에 따라 분리판의 높이가 낮은 경우는 차압이 급격히 증가하며, 필터 길이 292mm인 경우에 대하여 최적의 분리판 높이가 존재한다는 것을 의미한다. 이것을 규명하기 위하여 분리판의 높이를 좀 더 세분하여 실험을 수행한 후 그 결과를 Least-Square Method에 의하여 수식화하여 그리면 그림8과 같다.

즉 분리판의 높이가 4.0,3.0,2.8,2.6mm의 순으로 낮아질수록 필터의 차압도 작아졌으나, 분리판의

높이가 더 낮은 2.4,2.3,2.2,2.0mm의 순으로 갈수록 오히려 필터의 차압은 증가하였다. 이것은 분리판이 있는 고성능 필터의 분리판 최적 높이가 2.6mm라는 것을 보이는 중요한 실험결과이다.

분리판의 높이가 낮아지면 하나의 고성능 필터를 제조하기 위한 여재의 양이 많아지며, 이는 제조원가와 직결되는 문제가 된다. 즉, 분리판의 높이가 2.0mm인 경우와 2.6mm인 경우를 비교하면, 2.6mm인 경우가 2.0mm인 경우보다 약 23%의 여재 재료비를 절감할 수 있으며, 더구나 2.0mm인 경우 오히려 필터 차압이 커짐을 알 수 있었다. 간접적인 영향으로는 제조시간 단축 및 분리판 재료비의 절감도 얻을 수 있다.

5. 결 론

지금까지의 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

분리판이 있는 고성능 필터에서는 여재와 구조적인 저항에 의해서 필터의 차압특성이 크게 달라지는데, 필터 제조자가 향상시켜야 하는 구조적인 차압 특성은 분리판의 높이, 분리판의 형상 등이다. 분리판의 최적 높이는 2.6mm이며, 이는 필터의 제조원가와 직결되는 문제로서 재료비 및 인건비의 절감이 기대된다.

본 연구에서 제기된 문제점에 대해서는 앞으로 지속적으로 검토 보완되어야 할 필요가 있다. ❖

『참 고 문 헌』

1. IES-RP-CC-001-83-T "HEPA Filters"
2. 고성능 필터(HEPA Filter)의 국산화 개발(I)
BSI-051-708·C 과학기술처, 한국기계연구소
3. A.A Kirsch, I.B.Stechkina "Inertial Deposition of Aerosol Particles in Model Filter at Low Reynolds Numbers", J. Aerosol Sci., Vol. 8, 1977, pp. 301-307
4. Marion Hollingsworth, JR. "A New Filter Media Flow Resistance Tester", ASHRAE Trans., Vol. 84, Pt. I, 1978, pp.590-599