



HEPA, ULPA Filter의 특성에 대하여

徐 石 清*

A Study on the Characteristics of HEPA(High Efficiency Particulate Air) and ULPA(Ultra Low Penetration Air) Filter Units

Seo, Seock-Cheong*

1. 서 론

대기중에 부유하고 있는 입자들은 육안으로 볼 수 있는 것들과 볼 수 없는 아주 작은 크기의 것들이 있으며, 인체에 해로운 미생물, 방사능 입자, 담배연기, 중금속 및 작업 분진으로부터 자연현상인 안개, 아지랑이 및 이슬비등의 약 0.001 μm 크기로 부터 수백 μm 크기로 구성되어 있다.

그러나, 현재 환경 위생적으로나 과학기술적 목적으로 문제의 대상이 되고 있는 입자들의 크기는 직경이 약 0.01 μm 에서 10 μm 정도이며, 이러한 크기의 입자들을 가장 효과적으로 제거할 수 있는 공기청정 장치가 HEPA Filter이다.

과학기술이 급속도로 진전되고 있는 오늘날 국내의 전자 및 정밀화학기기, 의약품 및 식품가공 분야, 특히 세계적으로 경쟁의 박차를 가하고 있는 반도체 VLSI 제조의 성장, 발전으로 고성능 필터의 수요는 급증하고 있으며, 원자력시설에서의 방사능 제어설비, 병원수술실의 무진 무균화 설비, 현대 유전공학 실험실등 청정도가 높은 환경조건에 필수적으로 요구되는 고성능 필터의 중요성은 절대적이다.

국내에서는 그동안 이러한 시설에 소요되는 고

성능필터를 전량 수입에 의존해 왔으나, 날로 증대되고 있는 고성능 필터의 수요에 부응하여 수입대체로 외화를 절약하고 더 나아가 수출의 기반을 조성하기 위해 관련 국내 중소기업은 자체 기술축적이 미흡하여 미국, 일본등과 합작 또는 기술제휴로 DOP Tester 를 갖추고, '85 년부터 주요부품을 수입하여 조립생산하고 있는 실정이다. 또한, 품질보증의 미비로 제품에 대한 신뢰도를 얻지 못하고 있는 반면, 외제 선호도로 더욱 국산화개발에 애로를 겪고 있는 것이 한국의 실정이다. 미국, 일본에서는 완전 무진 무균에 가까운 조건을 갖춘 초고성능 필터(ULPA Filter)까지 개발하여 산업체에 보급, 수출에 박차를 가하고 있는 기술의 안정화 단계가 1982년 이후 부터 실현되고 있는 실정이다.

2. Filter 의 개요

에어 필터는 그 분류방법에 따라서 여러가지 유형으로 나눌 수 있겠지만, 여기에서는 제거해야 할 입자의 크기와 제거 효율을 중심으로 Table 1 과 같이 분류해 보았다.

* 정회원, 한국기계연구소

Table 1. Types of Air Filters

Class	Type	Range of Particle Size	Pressure Drop mmH2O	Efficiency (0.3 μm DOP)	Operating Air Velocity	Main Applications
A	Prefilter	≥ 5 μm	5 ~ 15	Low (중량별 40 ~ 80 %)	100 ~ 250 cm/sec	Prefilter for HEPA or ULPA Filter
B	Medium Filter	≥ 1 μm	10 ~ 20	Medium (30 ~ 80 %)	lower than Prefilter	Extract or Recirculation
C	HEPA Filter	≥ Submicron (0.3 μm)	12.5 ~ 25.4	high (≥ 99.97 %)	1 ~ 6 cm/sec	Clean Room
D	ULPA Filter	≥ Submicron (0.1 μm)	19 ~ 35	Ultra high (≥ 99.999 %)	1 ~ 6 cm/sec	Super Clean Room

기체중의 미립자를 대상으로한 각종 필터로서는 반도체공장에 있어서는 Clean Room에 이용되는 HEPA Filter, ULPA Filter 및 이들 필터 앞에 설치하는 Pre-Filter로서 굵은 먼지 제거용 필터, 중·고성능필터, 더우기 Process Gas의 정화를 목적으로한 라인필터가 있다.

미생물의 제거를 목적으로한 필터로서는 식품공장, 제약공장의 Biological Clean Room 및 유전자 조작이나 항균체 배양시설에 필요한 Bio-Hazard 대책실에 이용되며, HEPA Filter, 배양조로의 공급공기의 정화 및 조(槽)로 부터의 Vent Gas 중의 미생물 제거를 목적으로한 필터 등이 있다.

HEPA (High Efficiency Particulate Air) Filter는 0.3 μm 미립자에 대해 99.97 % 이상의 포집율을 가진 필터이며, ULPA(Ultra Low Penetration Air) Filter는 0.1 μm 이상의 입자에 대해 99.999 % 이상의 포집율을 가진 필터이다.

미국 IES (Institute of Environmental Sciences)에서는 현재 HEPA, ULPA Filter 등의 규격을 수정보완중에 있으며, ULPA Filter가 대상으로 하는 입자경은 0.12 μm 이상으로 하고 있다.

Fig.1은 HEPA Filter의 구조를 나타낸 것으로 섬유경 1 μm 전후의 Glass Fiber로 이루어지는 두께 약 1mm의 Filter Media를 여러겹으로 접은 구조로 되어 있다. (SEM조직 구조 사진 참조)

Filter Unit로서 새로 개발된 것은 미국 FI ELDTEC Co.,의 Vector Air HEPA Filters

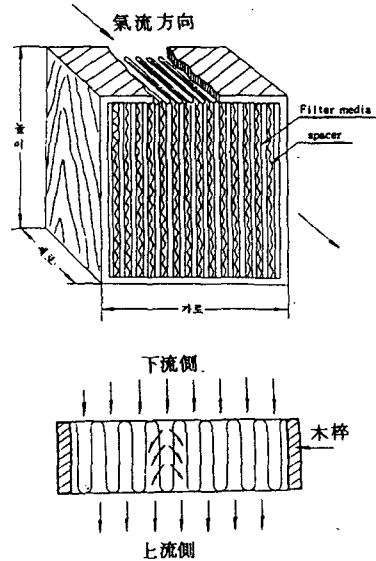


Fig.1 HEPA filter의 구조

로서 Fig.2에 보이는 바와 같다. 1/4 원주상의 HEPA Filter를 이용하여 정밀기계 공장등에서 필요로 하는 청정구역 혹은 병원 수술실의 수술대를 Clean화 함을 겨냥한 것이다.

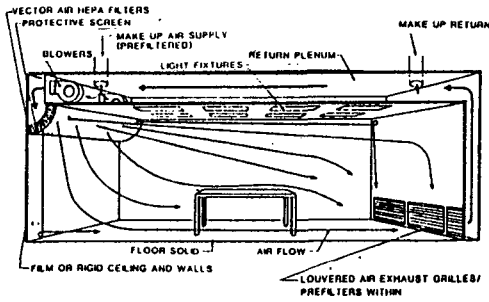


Fig.2 Vector Air Flow Clean Room.

3. Air Contamination

1) Air Contamination의 정의
공기중에 필요없거나, 유해한 물질이 어느 한

도 이상의 양이 포함되어 있는 것으로, 유해한 물질로서는

- 미소입자 (부유분진)
 - 분진(Dust)
 - 연기(Smoke)
 - 흄 Fume
 - 안개 Mist
 - 안개(fog)
 - 미생물
 - 세균(Bacterium)
 - Virus
 - 꽃가루
 - 포자
 - gas
 - SO₂
 - NO₂
 - CO
 - O₃
 - ⋮
- } 고체입자
} 액체입자

Table 2에 입자상 오염물질인 분진을 종류별로 생성원인과 발생원을 기술하면 다음과 같다.

Table 2. 분진(입상오염물질)의 종류

구분	명칭	입자경 (μm)	생성원인 (μm)	발생원
고체입자	dust	100-1	고체물질의 붕괴	각종 금속의 용해로등, 예컨대, 제철, 아연공업 알루미늄 제철등
	fume	1-0.01	여러가지 화학반응에 의해 발생한 증기가 응결하여 고체로 된 것	
	smoke	0.3-0.001	연료의 연소과정에서 발생하는 고체 입자가 액적으로서 일반적으로 어느 정도색을 띠고 있는 것	
액체입자	mist	100-1	여러가지 화학반응에 의해 발생한 공기의 응결에 의해 생긴 액체입자와 액체의 분무에 의해 생긴 액적	유산공장의 유산mist 등
	fog	50-5	대기중의 고체입자와 이온을 핵으로 하여 수증기가 응결한 수적	

2) Air Contamination의 제거장치

Air Cleaning Equipment인 공기청정장치로서는

- 부유분진용 {
 - baffle plate
 - cyclon
 - filter (bag filter 포함)
 - electric precipitator (전기집진기)
 - 미소입자용 {
 - HEPA filter
 - electric Precipitator
 - gas 용 {
 - air washer
 - gas filter (활성탄사용)
 - adsorber
- 등이 있다.

4. 입자의 특성

대기중에 존재하는 부유입자의 형태별 분포를 보면 Fig.3에서 보는 바와같이 사각형인 입자가 40 wt%로서 가장 많다. 그리고 공기중에 있는 입자의 크기와 질량면에서는 5 μm 이상이 약 91 wt%를 차지하고, submicron 크기의 입는 3 wt%에 불과하지만 수량적으로는 submicron 입자가 거의 100%를 차지하고 있다.(Table 3 및 Fig.4 참조) 이러한 부유입자의 특성






Description	Appearance	Kinds	Percent Present by Weight	
			Range	Average
Spherical		Smokes Pollens Fly ash	0-20	10
Irregular cubic		Minerals Cinder	10-90	40
Flakes		Minerals Epidermis	0-10	5
Fibrous		Lint Plant fibers	3-35	10
Condensation floccs		Carbon Smokes Fumes	0-40	15

Fig. 3 Distribution of airborne particulates in the atmosphere, by particle shape. From K.T. Whitby

은 입자의 크기, 분포 및 동력학적 성질에 따라 좌우된다.

입자운동에 영향을 미치는 동력학적 특성은 입자의 형태, 입자고유의 성질, 계면현상등 입자 자체가 갖는 독특한 성질과 분산매질, 유동성 등 외적 요인들을 들 수 있다.

입자자체가 갖는 독특한 성질은

- (1) 물리적 배치 ... 모양, 구조, 밀도
- (2) 재료의 성질 ... 화학적 조성, 열전도도, 쌍극자, 모우멘트, 전자기적 극성, 굴절지수
- (3) 계면현상 ... 정전하, 점착성, 표면장력, 화학적 반응도, 흡착성등이 있다.

그리고 외적요인은 중력, 전자기적인 힘, 온도, 압력, 속도 등이 있다.

Table 3 Distribution of particles in typical urban air sample

Mean particle size (μm)	Particle size range (μm)	Approximate particle count per cubic foot of air	Percent by weight	Percent by count
20.0	50-10	12.5 × 10 ³	28	1 × 10 ⁻¹⁰
7.5	10-5	10 × 10 ⁴	63	8 × 10 ⁻¹⁰
2.5	5-1	12.5 × 10 ⁶	6	1 × 10 ⁻⁷
0.75	1-0.5	10 × 10 ⁷	2	8 × 10 ⁻⁷
0.25	0.5-0.1	12.5 × 10 ⁸	1	1 × 10 ⁻⁴
0.05	0.1-0.001	12.5 × 10 ¹³	<1	99.9999

Source: From the Frank Chart, American Air Filter Co., Louisville, Ky.

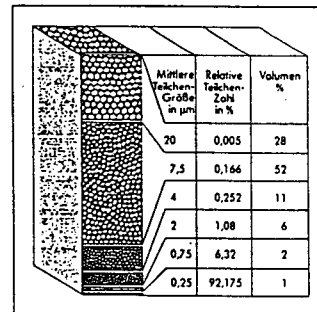


Fig. 4 Particle size distribution in the a tomosphere source:from the Viledon Filter Industry, Carl Freudenberg, W.Germany

5. 고성능필터 (HEPA Filter)의 특성

1) 여과기구와 여과효율

고성능필터에 관한 여과이론을 이해하는 것은 필터의 성능을 결정짓는 변수들의 영향을 예측하는데 있어서 도움이 된다. 여기에 잘 알려진 주요 여과기구(Filtration Mechanisms)를 간략히 기술한다.

고성능필터 여재는 얇은 종이와 같은 물질의 형태로 미세한 유리섬유들로 구성되어 있다. 이 섬유 상호간의 거리는 섬유의 반경과 제거될 입자들의 크기에 비하여 크다. 필터의 전체 부피당 섬유의 부피로 정의되는 충전밀도는 일반적으로 1/10보다도 적으며, 즉, 기공율은 약 전체 부피의 약 90~95%를 차지한다. 이 기공율은 기본적으로 여재의 주요 사양인 차압과 풍량에 영향을 준다. 필터의 여과효율은 크게 섬유의 반경의 크기에 좌우되며, 유리섬유의 대부분이 $2\mu\text{m}$ 보다 작은 반경으로 이루어져 있으며, 더 큰 섬유들은 미세하고 깨어지기 쉬운 옆의 섬

유들을 위한 매개체 역할을 한다. 여과효율이 더 높은 필터는 보다 더 작은 반경의 유리섬유들로 구성되어 있다.

고성능 필터의 미립자포집효율은 주로 확산(Diffusion), 인터셉션(Interception), 관성력(Inertia) 및 걸름(Straining) 등과 같은 여러가지 물리적이고 기계적인 작용 뿐만아니다. 입자와 섬유 상호간의 정전기적인 작용에 의해서 결정된다. Fig.5는 여과 기구별로 입자가 섬유에 포집되는 과정을 보여주고 있다.

가. 걸름효과(Straining Effect)

두 섬유간의 간격보다 더 큰 직경을 가진 입자는 통과하지 못한다. (Fig.5-a)

나. 관성효과(Inertia Effect)

공기속을 흐르는 입자의 관성에 좌우되며, 무거운 입자는 필터 섬유 주위에서 유선을 따라 굽어흐르지 않고 직진하려는 경향이 있어 섬유와 직접 충돌하여 포집된다. (Fig. 5-b) 이 효과는 유속과 입자의 직경이 증가할 수록 그리고 섬유의 직경이 감소할 수록 커진다.

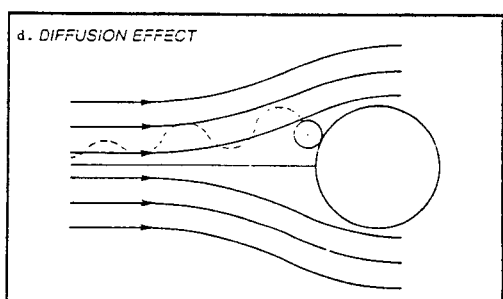
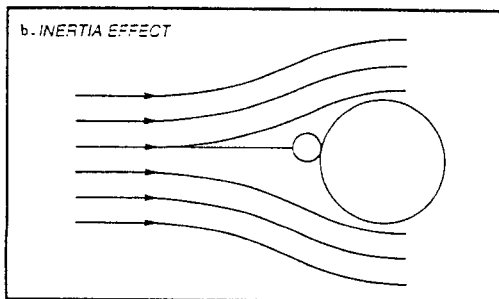
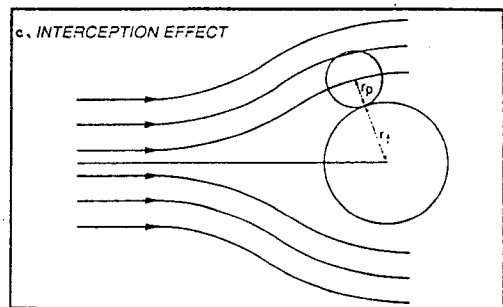
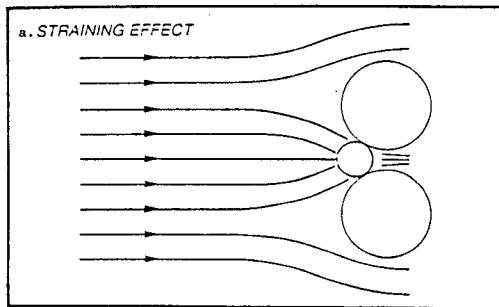


Fig. 5 Particle collection as achieved by different filtration effects.

다. 인터셉션 효과 (Interception Effect)
 작고 가벼운 입자가 유선을 따라서 입자의 반경(γp) 보다 더 큰 섬유(γf) 옆을 지날때 이 입자는 섬유에 부딪친다. (Fig.5-c) 이 효과는 흐름의 형태가 변하지 않는 한 유속의 영향을 받지 않으며, 입자의 크기가 증가할 수록 섬유간의 간격이 감소할 수록 증가한다.

라. 확산효과 (Diffusion Effect)
 공기중에서의 분자의 열적운동인 브라운 운동 (Brownian Motion)에 의해서 영향을 받는 작은입자($<1 \mu m$)들은 유선에서 벗어나 섬유에 접촉하게 된다. (Fig.5-d) 이 효과는 속도, 입자경 및 섬유경이 감소할 수록 증가한다.

마. 정전기적인 인력 (Electrostatic Forces)
 보통 입자들은 비교적 낮은 전하를 띄지만 특별한 조건아래에서는 입자의 전하는 특히, 입경이 $0.1 \sim 1 \mu m$ 범위의 입자들에 대해서는 주요한 입자포집메카니즘이 될 수 있다. 현재 고전압 분리판을 갖춘 필터 유니트 앞에 입자에 대해 전하를 띄우게 하는 정전력장을 활용한 구조의 필터가 개발되었다. 이 효과는 필터의 효율을 10~100배 증가시킬 수 있으며, Fig.6은 서독Del-

bag 사의 정전기를 활용한 HEPA필터의 전기적인 도식을 보여주고 있다.

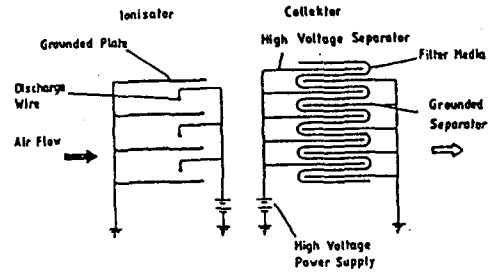


Fig. 6 Electrical diagram of electrostatic HEPA-Filter (Delbag, W/Germany)

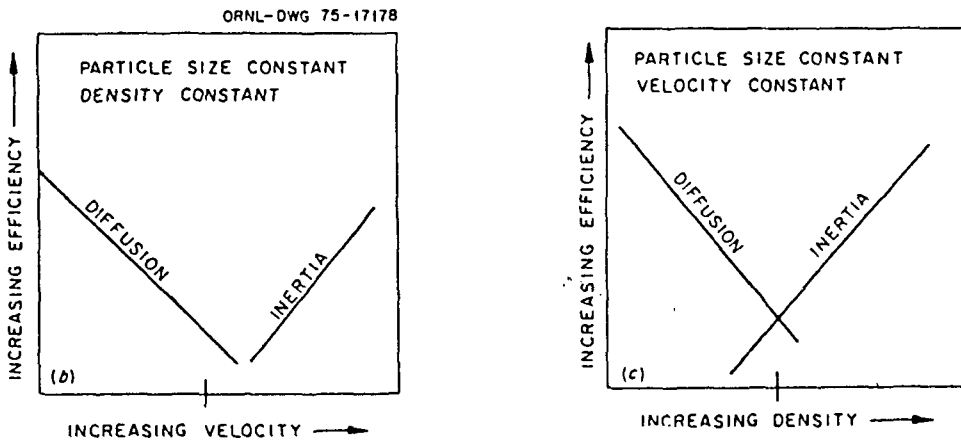


Fig. 7 General effect of Principal mechanisms that affect the arresting efficiency of the HEPA filter. Effectiveness of diffusion (a) mechanism decreases with increasing particle size; effectiveness of inertial mechanism increases, at a given velocity. (b) Effectiveness of diffusion decreases with increasing velocity; effectiveness of inertial effects increase for a given particle size. (c) For a given particle size and velocity, increased density decreases effectiveness of diffusion and increases effectiveness of inertial effect.

이러한 관성과 확산효과가 입자의 크기, 속도 및 밀도등에 따라 어떻게 변하는가에 대한 효율의 변화가 Fig.7에 나타나 있다. 이 그림에서와 같이 여러 기능이 복합되어 통계적인 제거효율을 나타낼뿐, 주어진 입자에 대한 절대적인 효율을 나타내는 것은 아니다.

실제 고성능 필터의 전체 입자포집 효율은 위에서 언급된 여러가지 다른 여과효과들과 입자의 동력학적 특성과의 복합적인 결과이며 또한 섬유상의 필터로 포집하기 어려운 입자의 최소 크기가 있는 것이 틀림없다. Fig.8은 유리섬유 매트포집 필터의 입자포집 효율에 관한 여과효과와 입자의 크기와의 관계를 보여주고 있다.

입자의 크기가 $1\mu\text{m}$ 이하에서는 입자의 크기가 감소할수록 확산에 의한 입자포집 효율은 증가하지만, 입자의 크기가 $1\mu\text{m}$ 이상에서는 확산의 효과는 거의 없어지고 주로 인터셉션과 관성 효과가 중요한 작용을 하며, 투과율은 입자의

크기가 증가할수록 감소된다. 이것은 어느 특정한 크기의 입자에 대해서 투과율이 최대로 될 수 있다는 것을 의미하며 HEPA 필터를 시험할 때 명심해야 할 사항이다.

속도의 영향으로서는 낮은 속도에서는 확산효과보다는 관성효과가 더 큰 역할을 하며, 인터셉션 효과는 속도와는 관계가 없다. 크기가 $1\mu\text{m}$ 이상 되는 입자들은 주로 충돌에 의해서 포집되는 반면 $0.1\mu\text{m}$ 보다 작은 입자들은 원칙적으로 브라운확산(Brownian diffusion)에 의해서 포집된다. 그리고 $1\mu\text{m}$ 이하의 입자가 한번 필터 섬유에 부착, 포집되면 입자와 섬유간의 정전기적 인력 및 퇴적된 입자 상호간의 응결작용에 의하여 더욱더 강하게 결합되므로 재비산이 안되며, 털어내기도 어려우므로 한번 사용한 HEPA 필터는 재사용이 어렵다.

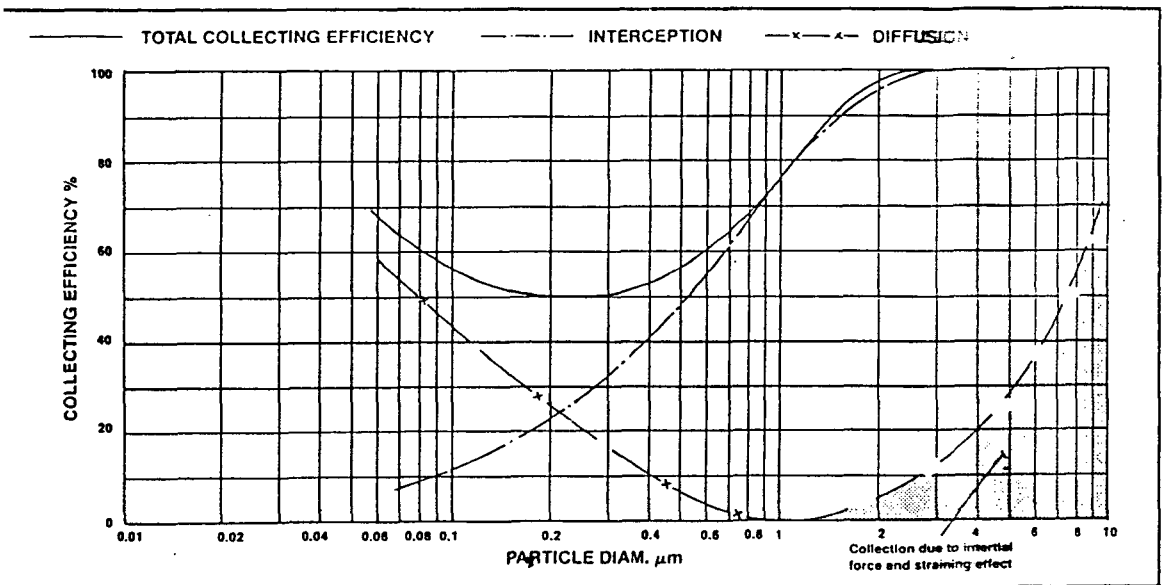


Fig. 8 Influence of filtration effect and particle size on collecting efficiency of fine filter with glass fibre mat.

2) 투과율과 압력강화

단분산 연무질 (Monodisperse Particulate Cloud) 과 이상적인 필터매트에 대한 기본적인 여과방정식(Filtration Equation)은 다음과 같다.

$$n = n_0 e^{-\tau}$$

n : 필터를 투과한 입자의 농도

n_0 : 필터에 투입되는 입자의 농도

τ : 매트 의 여과지수

압력강하가 매트의 두께가 증가함에 따라 증가된다면, 필터의 압력강하는 필터의 깊이와 여과지수에 비례한다.

$$\tau = k_1 \cdot \Delta P$$

$-k_1$ = quality factor of the filter medium

$$f = \frac{n}{n_0} = e^{-k_1 \cdot \Delta P} \quad (\text{여재의 품질인수})$$

f = fraction of penetration (투과율)

$$\log f = -k_1 \cdot \Delta P$$

ΔP = pressure drop at defined velocity for

clean filter (정해진 속도에서의 필터의

$$k_1 = \frac{-\log f}{\Delta P} \quad (\text{압력강하})$$

여러가지 필터미디어에 있어서 압력강하에 대한 투과율은 압력강하를 횡축으로 투과율의 로그리즘(Logarithm)을 종축으로 한 반대수 그래프에서 이론적으로는 Fig. 9에서와 같이 직선이 된다. 이때 공기의 속도와 입자의 크기는 일정하다고 본다. 그러나 일반적으로 말해서 높은 효율을 얻기 위해서는 높은 압력강하를 극복하는데 많은 에너지가 소모되어야 한다.

3) 압력강하와 속도

필터를 구성하고 있는 섬유들이 매우 작고 필터를 통하는 공기의 흐름이 균일한 층상(laminar)이기 때문에 필터의 압력강하는 Fig.10에서와 같이 공기의 속도에 직접 비례하여 증가한다.

4) 투과율과 속도

Fig.11에서도 보아서 알 수 있는 바와 같이 필터의 입자포집 효율은 공기속도의 영향을 크

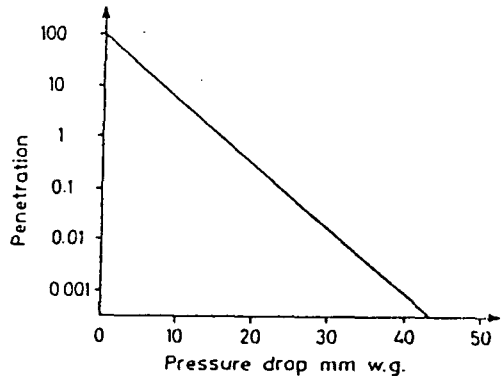


Fig.9 Penetration versus pressure drop for various filter media

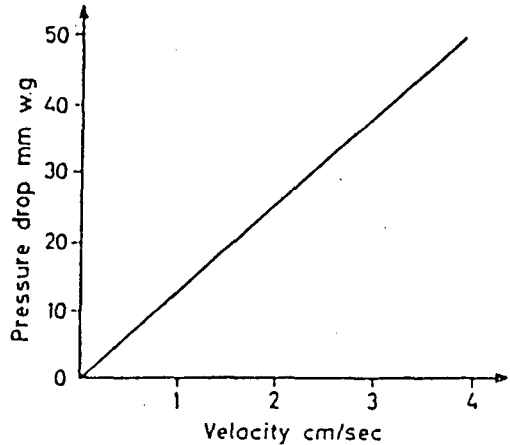


Fig.10 Pressure drop versus velocity through fibrous filters.

게 받는다. 저속에서는 확산이 효과적이어서 투과율도 낮지만, 고속에서는 확산에 의한 효과는 감소되고 관성력이 더 주도된다. 최대 투과율은 확산효과가 낮고 관성력이 여전히 작은 중간 정도의 속도(10~40cm/sec)에서 일어난다. 표준 고성능필터에 있어서 여재를 통과하는 속도는 약 2cm/sec이며, 투과율은 편흡이나 파괴된 부분이 없으면 속도가 어느 한계까지 증가할수록 투과율도 증가한다는 것은 분명하다.

또한 입자의 크기와 유속에 따른 제거효율의 변화가 Fig. 12에 도시되어 있다. 이들 그림에서

보여주고 있는 제거효율은 필터를 통과하는 유속이 증가됨에 따라 저하되고 있는데, 0.3 μm 입자에 대해 99.97% 이상의 제거효율을 얻으려면 유속이 5 fpm(2.5 cm/sec) 이하는 운전되어야 한다는 것을 알 수 있다. Fig.13에 나타나 있는 전형적인 고성능필터의 입자 크기에 대한 평균 제거효율은 0.3 μm 의 입자를 99.97% 이상 제거할 수 있는 기본보다 훨씬 높은 성능을 나타내고 있다.

5) 투과율과 먼지 부하

일반적으로 투과율은 필터에 먼지가 부하됨에 따라서 감소한다. 그 이유는 먼지가 새어나갈 수 있는 간격이 점점 작아지고 필터의 표면적이 점점 더 커지기 때문이다. Fig.14에서 나타낸 바와 같이 퇴적량에 대한 투과율의 로그리즘 관계는 거의 직선이 된다.

이것은 또한 필터의 압력강하를 증가시켜 일정량의 풍량을 공급하기 위해서는 더 많은 에너지가 소모된다는 것을 의미한다.

그러나, 타르 같이 끈끈하거나 기름기 있는 먼지가 부착되면 물리적 또는 화학적 반응에 의해 필터의 구조가 손상당하여 투과율이 증가되는 경우도 있다.

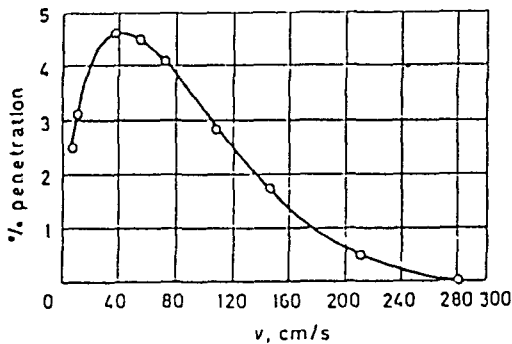


Fig.11 Variation of penetration with velocity through a paper filter. (Courtesy Butterworth and Co. Ltd., London.)

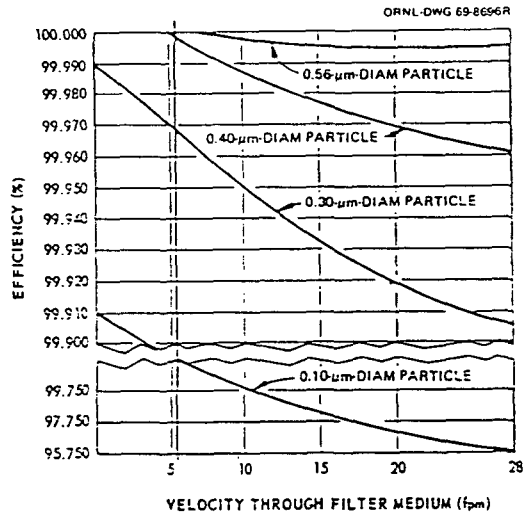


Fig.12 Penetration of HEPE filter medium by submicron particles as function of flow rate through medium normal flow rate at manufacturer's rated filter capacity, is approximately 5 fpm (vertical line). From MSA Ultra-Aire Filters, Bulletin No. 1505-20. Mine Safety Appliances Co.

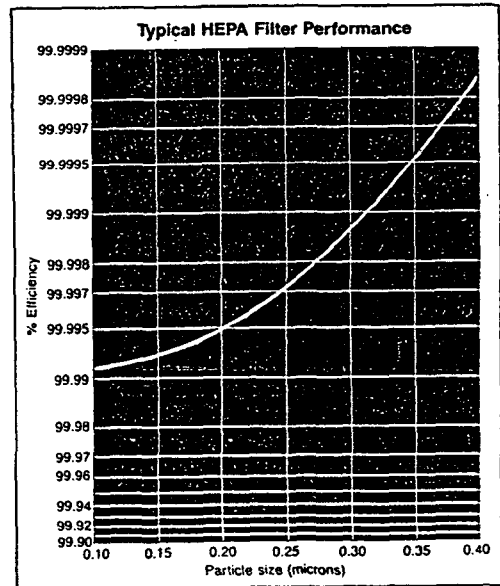


Fig.13 Average efficiency of a typical HEPA Filter (Courtesy Cambridge Filter Corp.)

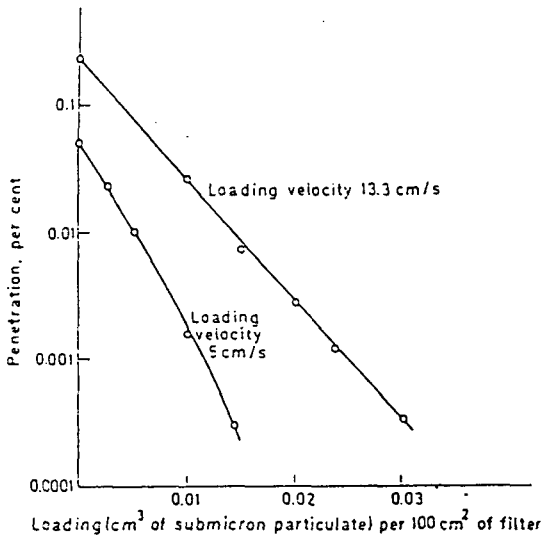


Fig. 14 Loading-penetration characteristics of a glass paper filter. (Courtesy Butterworth and Co. Ltd., London.)

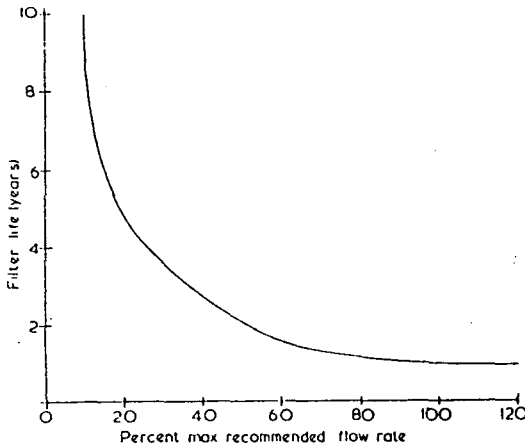


Fig. 15 Percent maximum recommended flow rate.

6) 유효 수명과 교체시기

고성능 필터의 여재는 보통 청소할 수 없고 부하로 오염되었을 경우에는 교환한다. 고성능 필터의 정상적인 내용연수는 전치필터(Prefilter)를 통하여 100% 외기로 환기시킬 때 1년으로 보고 있으며, 그러나 만약에 75%가 재순환될

때 필터의 수명이 10년이 된다고 하여도 이상할 것은 없다. 고성능 필터를 연속 설치해서 사용할 경우 마지막 필터의 수명은 20년을 넘을 수도 있을 것이다.

판넬 형의 전치필터와는 달리 제조자에 의해서 권고되는 최대 풍량 이하에서 고성능 필터를 운전함으로써 얻을 수 있는 잇점은 많다.

필터 여재의 막힘율은 풍량에 정비례하므로 필터의 수명은 권고되는 최대 풍량의 피센테지에 반비례한다. 필터의 저항이 크린 필터 저항의 2배가 될때 고성능 필터의 교체시기라고 기초를 둔 Fig. 15는 필터가 권고되는 최대 풍량 이하에서 운전될 때의 예상 수명을 보이고 있다.

고성능 필터를 권고되는 최대 풍량 이하에서 사용함으로써 얻을 수 있는 실제적인 이익은 투과율의 현저한 감소와 낮은 압력강하이다. 예를 들면, 고성능 필터가 권고되는 최대풍량의 20%에서 운전될 때 100% 외기로 예상되는 수명은 5년이며, 압력강하는 1mm w.g. 이고 투과율은 훨씬 줄어든다.

6. 고성능 여재 (HEPA Filter Media)

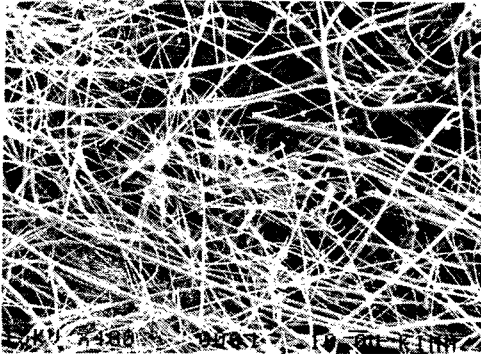
고성능 필터의 개발 당초의 여재, 즉 여지는 Cellulose 와 Asbestos 섬유를 혼합한 것이었다. 현재는 제조기술의 진보에 따라서 필터에 적당한 미세한 섬유를 안정시켜 전체를 유리섬유로 만드는 것이 가능하게 되었다.

그리고 석면섬유는 노동위생상 유해하므로 사용되지 않게 되었으며, 인장강도를 높이기 위해서는 Polypropylene 과 Polycarbonat 와 같은 합성 섬유를 특별한 정전기적 스피닝 공정 (A Special Electrostatic Spinning Process)에 의해서 제조하거나, 화학적으로도 안정하고 고온에서 사용하기 위하여 Alumino-Silicate 같은 세라믹 재료를 이용하기도 하며, 더 나아가 보다 높은 효율의 필터를 위하여 새로운 물질의 섬유를 연구개발중에 있다.

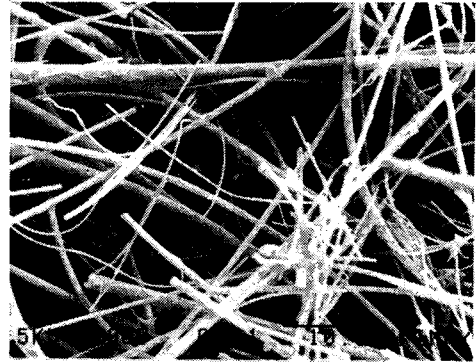
고성능 필터의 여지는 전자현미경의 사진에서 보여지고 있는 바와같이 보다 큰 직경의 섬유 (1-4 μm) 매트릭스내에 서브미크론 크기의 아주 미세한 유리섬유를 두께 0.3~0.5mm 정도의 층상으로 한 섬유층이며, 유리섬유 사이에는 띄운 공간(기공율 약 95%)이 있고, 섬유자체가 여지 전체에 대해서 차지하는 체적율(충진율)은 약 5% 전후에 지나지 않는다(Fig.16~20 참조).

유리섬유가 서로 교차하고 있는 부분에 막상의 물질이 보이는데 이것은 섬유를 결합하기 위한 유기성 접착제(Organic Binder)로서 5~7% 정도이다. 일반적으로 공기여과장치에 사용되고 있는 여재용 섬유들의 물성이 Table 4에 나와 있으며, Fiber Glass가 여러가지 물성중 특히, 강도에 있어서 우수하다.

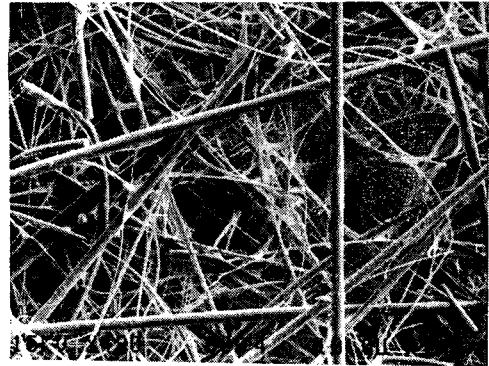
그리고 MIL-F-51079C에서 요구하는 HEPA Filter 여재성능을 Table 5에 기술한다.



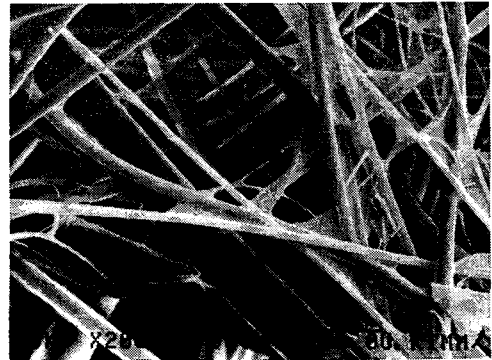
16.1 독일 Binzer HEPA F. Media (99.97%),
mat (x 480) 섬유경의 분포 및 접착상태



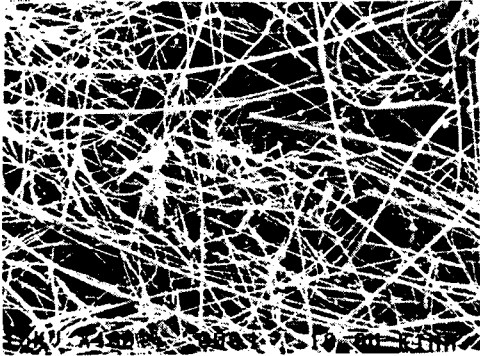
16.2 독일 Binzer HEPA F. Media (99.97%),
mat (x 2000)



17.1 Lydall Grade 224 Medium F. Media (90-95% Ashrae), Smooth (x 480)
섬유경의 분포 및 접착제 도포상태

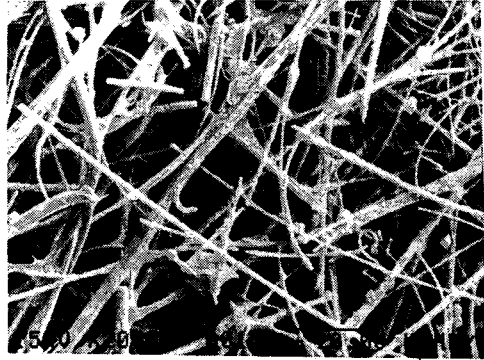


17.2 Lydall Grade 224 Medium F. Media (90-95% Ashrae), smooth (x 2000)



18.1 HV HEPA F. Media (99.97-99.99%),
mat (x480)

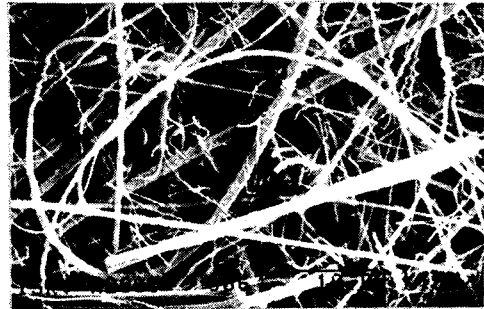
섬유경 및 접착제 분포상태
등근 오염물질이 보임.



19.2 HV ULPA (99.999%), mat (x2000)

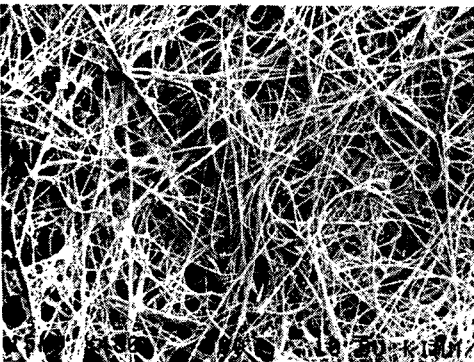


18.2 HV HEPA F. Media (99.97-99.99%),
mat (x2000)



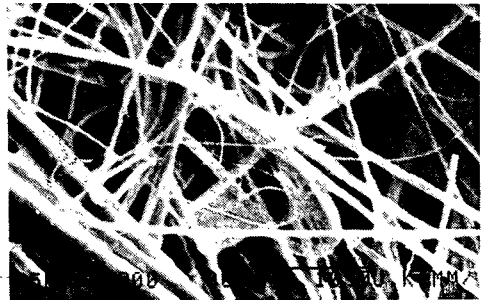
20.1 Lydall Grade 255 HEPA F. (중간층)
(x2000)

중간층에 미세한 석면이 균일하게 분포되어 있어 내산(HF) 및 효율증가시킬 수 있으며 접착제의 도포가 적은 것이 특징



19.1 HV ULPA (99.999%), mat (x480)

등근 흰점은 오염물질로 보인다.
섬유분포 및 접착상태



20.2 Lydall Grade 255 HEPA F. (표면)
(x2000)

유리섬유로만 구성
접착제가 많이 도포되어 유리섬유간의 결합 강도를 높이고 있다.

Table 4 Fibre characteristics

Fibre	Commercial brands	Toughness (strength) (g/dtex)	Temperature of maximum continuous use (°C)	Chemical resistance					
				to mineral acids	to organic acids	to alkalis	to solvents	to oxidising agents	
Cotton	—	1.7-4.5	105	P	F	G	G	F	
Wool	—	1.2-1.6	95	F	F	P	E	P	
Poly Vinyl Chloride (P.V.C.)	Thermovyl	2.4-3.3	90	E	G	E	G	E	
Polyamide	Nylon-Perlon-Rilsan	4.3-8.4	120	P	F	G	G	P	
Polyester	Trevira-Terylene-Dacron-Tergal	4.3-7.1	150	F	F	P(G)*	E	E	
Acrylonitrile	Orlon	2.8-3.2	135	G	G	P	E	G	
Acrylonitrile homo polymere	Dralon T	4.3	140	G	G	P	E	G	
Polypropylene	Merakion, Herkulon	4.4-7.7	100	E	E	E	G	F	
Polyamide aromatique	Nomex, Conex	5	210	F	G	F	E	G	
Glass	Fiberglass	5.5-6.6	280	G	G	P	E	E	
PTFE	Teflon, Hotstallon	1.4	270	E	E	E	E	E	
Metal	Bekinox	2-2.5	500	E	E	E	E	E	

*Certain special types of polyester have an improved resistance to alkalis

7. 고성능 필터의 기초설계

1) 고성능 필터의 설계 구조상의 특징

고성능 필터 즉, 설계구조상의 용어로 확대 여재 필터(Extended Media Filter)는 기본적으로 여재 면적이 필터의 전면 면적의 수—수십배가 되도록 주름을 잡아 양을 늘린 여재를 갖고 있다. 여재를 통과하는 공기의 속도는 필터의 공기 접근 속도(Air Approach Velocity of the Filter)와 비교하여 동일인자 즉, 여재면적이 증가됨에 따라 감소한다.

이 종류의 필터를 구별하는 것 다시 말해서 바람직한 특성의 원인이 되는 것은 이 여과풍속의 감소이다.

고성능 필터의 가장 중요한 두가지 특징은 다음과 같다.

(1) 여과 속도가 낮기 때문에 필터에 과도한 압력을 발생시키지 없이 높은 효율의 여재를 사용할 수 있다.

(2) 필터의 여재 면적을 크게 취할 수 있으므로 단위시간, 단위 면적당에 포집되는 먼지의 양을 크게 줄이도록 할 수 있고, 이것에 의해 실제로 필터의 수명을 연장시킬 수 있다.

2) 필터의 설계와 압력강화

고성능 필터의 설계에 있어서 가장 중요하게 고려되어야 할 사항은 필터의 주요 사양인 여과

Table 5. Requirements of filter media by Mil-F-51079C-1980

특성 항목	규격 내용
1. 압력손실	상온에 있어 미디어(Media) 통과속도가 320 cm/min. 일 때 그 압력손실은 40 mmH ₂ O 이하일 것.
2. D.O.P 투과율	0.3 μmDOP 스모크(Smoke)를 혼합한 공기를 상기와 같은 풍속으로 미디어에 통과시켜 상류측의 스모크 농도에 대한 하류측의 스모크 농도가 0.03% 이하일 것.
3. 인장강도	TAPPI T494의 시험법에 의함.
3.1 인장강도와 연신율	길이방향 2.5 Lb/inch (1.13kg/inch) 가로방향 2.0 Lb/inch (0.9kg/inch) 또 그 인장방향 파단시 0.5% 이상
3.2 열풍시험후의 인장강도	강제통풍중에서 700° ± 50°F (371° ± 10°C)의 온도에서 5분간 노출한 후 전향과 같은 인장강도 시험수행하여 가로 방향에서 평균 0.6 Lb/inch (0.27kg/inch) 이상일 것.
3.3 습윤인장강도	상온에서 15분간 수중에 침적한 후 전향과 같은 인장강도 시험을 행하여 가로방향에서 평균 1 Lb /inch (0.456kg/inch) 이상일 것.
3.4 선조사후의 인장강도	2.5 megarad/hr 이하의 조사율로 γ선을 조사하여 적산피복선량이 6.0 × 10 ⁷ ~ 6.5 × 10 ⁷ red 가 된후 전향과 같은 인장강도 시험을 행하여 길이방향, 가로방향, 평균 1 Lb/inch (0.457kg/inch) 이상일 것.
4. 방수특성 (Water Repellency)	Q101 방수시험기 (Water Repellency Indicator)에 의거 시험
4.1 선조사전	18 inch H ₂ O (457 mmH ₂ O) 이하의 측정치가 하나도 없고 평균치가 20 inch H ₂ O (508 mmH ₂ O) 이상일 것.
4.2 선조사후	3.4 와 같은 조건에서 γ선을 조사한 후 평균치가 6 inch H ₂ O (152 mmH ₂ O) 이상으로 5 inch H ₂ O (127 mm H ₂ O) 이상의 측정치가 하나도 없을 것.
5. 곰팡이 특성 (Mildew Resistance)	Fed. Test Method No. 191-5750의 시험에 의거 곰팡이의 생장이 인정되지 않을 것. 구입자는 계약관의 승인하에서 이 시험대신으로 미디어가 진균을 생장시키지 않은 것을 보증하는 문서를, 방균제를 사용할 경우는 정부가 허락한 것일 것.
6. 두께	0.015~0.04 inch (0.381-1.016 mm), TAPPI T411 ²⁵
7. 가연성 물질	가연성 물질(유기접착제)이 7% 이하, TAPPI T413 ²⁶

Table 5. (Continued)

특성 항목	규격 내용
8. 절곡특성 (折曲特性)	
8.1 절곡	직경 3/16inch의 봉 주의를 최소 180 °C의 호를 그리며, 전후에 5회 인장해서 굽힌 다음 파손, 갈림, 섬유이탈이 없을 것.
8.2 DOP 스모크 투과율	8.1의 시험후 0.3 μm D.O.P 스모크 투과율이 0.03 % 이하일 것.
9. 환경폭로내성 (環境曝露耐性)	
9.1 환경조건	필터메디아는 3주간을 1 사이클로 하여 3개의 사이클에 대하여 행한다. 각 사이클은 1주간마다 극저시험 : -65 °F (-54 °C), 사막시험 : 160 °F (71 °C) 10% RH, 열대시험 : 113 °F (45 °C), 88% RH, 각 사이클의 절환은 15분 이내에 행할 것.
9.2 폭로사이클	필터메디아는 다음의 3가지 사이클(합계 9주간)에 대하여 행한다. 사이클 1 - 열대, 한대, 사막 사이클 2 - 한대, 사막, 열대 사이클 3 - 사막, 열대, 한대
9.3 폭로사이클후의 시험	각 환경폭로사이클 후, 앞에 기술한 통기저항, DOP 통과율, 인장강도와 신장의 규격치를 만족시켜야 한다. 여기에 추가하여 사이클 3의 후에는 습윤 인장강도, 방수성, 절곡특성이 적합할 것.

효율, 단위시간에 처리할 수 있는 공기량 및 필터 전후의 압력강하이다. 이 중에서 여과효율은 목표로 하는 여재의 선택 및 선택된 여재를 손상 및 누설이 없도록 제작작업을 수행함으로써 가능하므로 설계상으로는 별문제가 될 것이 없다. 그러나 풍량 및 차압의 설계는 일반적으로 확대 여재를 사용하는 고성능 필터에 있어서는 압력강하를 최소한으로 하고 처리할 수 있는 풍량을 최대한으로 하는 것을 목표로 하고 있다. 그러므로 제한된 공간에 여재를 어떻게 확대시키고 배열해야 하는 구조적인 문제가 필터의 성능을 결정함에 있어서 가장 중요하다.

일반적으로 공기 여과용 필터 - 여재의 압력 강하는 풍량에 거의 정비례 할지라도, 조립되어

진 필터는 풍량이 증가함에 따라 압력강하는 정비례 보다는 조금 큰 증가를 보인다. 이것은 공기가 필터 구조를 통해서 흐를 때 공력적 손실 (Aerodynamic Loss)이 생기기 때문이다. 이 손실은 공기의 방향 및 속도의 변화에 기인하여 일반적으로 풍량의 자승에 정비례 한다. 따라서 이 형식의 필터에 대한 압력 강하식은 다음과 같이 표시된다.

$$\Delta P = C_1 \frac{Q}{A} + C_2 Q^2$$

ΔP : 필터 전후의 압력강하

A : 확대여재 면적

Q : 풍량

C_1, C_2 : 상수

C_1Q/A 는 여재 단독의 압력강하를 나타내고 있고, C_1 은 알고 있는 풍량에서 단편(Flat Piece)의 여재의 압력 강하를 측정함으로써 간단히 결정될 수 있다. C_1 은 주로 여재의 두께, 밀도 및 섬유경에 의존하고, 또한 여재의 효율에 밀접한 관계가 있다. C_2 는 바람직하지 못한 압력 손실 계수이며, 필터 설계의 주요한 목표중의 하나로 가능한 한 작게 유지해야 하는 것이다. 하나의 지침이 되는 원리는 여재의 주름 잡기(pleat) 또는 구부러 접음(Fold)은 제어된 여재 간격(Controlled Media Spacing)으로 알려져 있는 V형으로 정렬되어야 한다는 것이다.

이것은 그 위치에서 풍량에 정확히 비례하며 폭이 여러가지인 공기 통로를 제공하게 된다. 이렇게 하여 국부 속도는 여재의 상류측과 하류측에 대해 가능한 가장 낮은 값으로 일정하게 유지된다. 상류면과 하류면은 가능한 한 개방되어야 할 것이다. Fig 21은 U형 및 V형의 주름잡기 효과를 나타내고 있다.

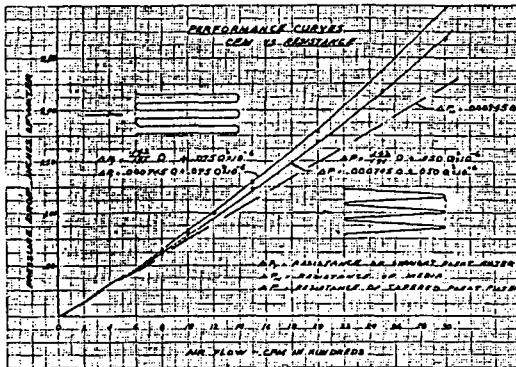


Fig. 21 Effect of vee pleats an air velocity

C_2 는 경험적으로 평가될 수도 있겠지만, 이것은 C_1 이 결정되어진 필터의 전압강하(Total Pressure Drop)를 이미 알고 있는 풍량에서 측정함으로써 실제로 결정되어진다. 실험결과에 의하면 C_1 및 C_2 를 주의깊게 평가하면 이 압력강하공식은 여러가지 풍량에 있어서 이들 필터

의 압력강하를 예측하는데 거의 정확하다.

그러나, 고성능 필터에서 적용되는 낮은 속도에서는 $C_1 \gg C_2$ 이고, 깨끗한 필터나 더러워진 필터에 대해서도 마찬가지로 압력강하/속도 커브는 지각적으로 직선이므로 C_2 는 무시될 수 있다. C_1 과 C_2 는 물론 먼지 부하가 걸리게 되면 증가한다. 상대적으로 높은 속도에서 운전되고 있는 중성능 필터(Medium Filter)나 전치필터(Prefilter)에 대해서는 C_2 값이 C_1 보다 여전히 낮다고 할지라도 무시될 수는 없으며, 압력강하/속도 커브는 직선이라기 보다는 오목한 형태를 취하게 될 것이다.

그러므로, 낮은 여과속도에서 운전되고 있는 고성능 필터의 경우에 압력강하는 거의 다음과 같은 식으로 표시할 수 있다.

$$\Delta P \cong C_1 \frac{Q}{A} = C_1 V$$

따라서 이 압력강하식으로 여재의 압력강하값으로부터 고성능 필터를 설계할 수 있다. 즉, 설계 목표 용량에서 여과속도, 여과효율 및 압력강하 등 설계 기본개념에 의한 여재의 용량을 결정할 수 있다.

여재면적은 목표로 하는 여재의 압력강하 값에 따라 달라질 수 있으며, 여재의 면적을 크게 취할수록 여재를 통하는 공기 속도는 감소되어 충분히 2.5 cm/sec의 균일한 직선흐름(Laminar Air Flow)을 얻을 수 있고, 여과효율은 높게 되고 압력손실은 낮게 된다.

또한 필터의 막힘율도 줄어들어 오래 사용할 수 있으나, 경제성을 감안한 최적의 용량을 결정할 필요가 있다.

고성능 필터의 설계에는 고성능 필터의 주요 사양인 정격용량, 여과효율 및 압력강하에 대한 기초설계 이외에 운전 및 취급상의 특성 즉, 고성능 필터로서의 용도에 맞는 제성능을 만족시킬 수 있는 재질을 가진 구성부품들의 선정과 제조 및 조립공정 등 제조기술을 포함한 설계가 이루어져야 할 것이다.

8. Super Clean Room의 Filter 구성

“에”와 성능

Clean Room의 각종 실험용으로 만들어진 Super Clean Room에 있어서의 각종 필터의 미립자 포집 성능에 대해 설명한다. 미립자의 정화 시스템으로서는 외기 처리공조기내에 프리필터(중량법 포집율 85%), 다음에 메인 공조기에 있어서 고성능 필터(비색법 포집율 95%), 최종 단으로서 Clean Room의 천정전면에 ULPA 필터($0.1\mu\text{m}$ 용 99.9995%)가 설치되어 있다. 여기서는 과혹한 조건에서 ULPA 필터 성능을 조사하기 위해 Clean Room 환기 공기에 외기를 도입하여 미립자 농도를 높이고 있다 (Fig.22).

$0.11\mu\text{m}$ 이상의 미립자에 주목해 보면, 취입 외기중의 농도는 약 10^8 개/ ft^3 이며, 이것이 프리필터에서 10% 전후 제거되고 이 공기와 Clean Room으로 부터의 환기공기와 혼합되어 약 5×10^6 개/ ft^3 의 농도가 되고, 고성능 필터에서 약 60% 제거되어 2×10^6 개/ ft^3 의 농도로 되어 Clean Room 천정 Chamber에 공급되고 이것이 ULPA 필터에 의해 $0.11\mu\text{m}$ 이상의 미립자에 대해서는 완전히 제거되어 Clean Room 내에서는 농도제로이다. 그러면 Super Clean Room 내에 있어서 $0.1\mu\text{m}$ 이하의 미립자 농도는 어떻게 되어 있는 것인가?

CNC(Condensation Nucleus Counter $0.02\mu\text{m}$ 이상에 대하여 측정가능)를 이용하여 64 시간 연속 측정한 결과를 Fig. 23에 나타냈다. 측정 기간중의 샘플링 공기량은 1,152 l이며, 이 사이 35개의 미립자가 검출되었다. 즉, $0.02\mu\text{m}$ 이상에 대해서는 0.86 개/ ft^3 의 청정도이다. 단, 이 레벨에 달하기 위해 시스템 천정에 붙어있는 연감지기, 조명기구, 기타 새어들어올 수 있는 누설 오염공기를 철저히 방지하였다.

이와같이 Clean Room 내에서 발견이 없는 경우는 ULPA 필터 상류층이 매우 고농도임에도 불구하고, 하류층에서 만족할 만한 청정도가 얻어진다.

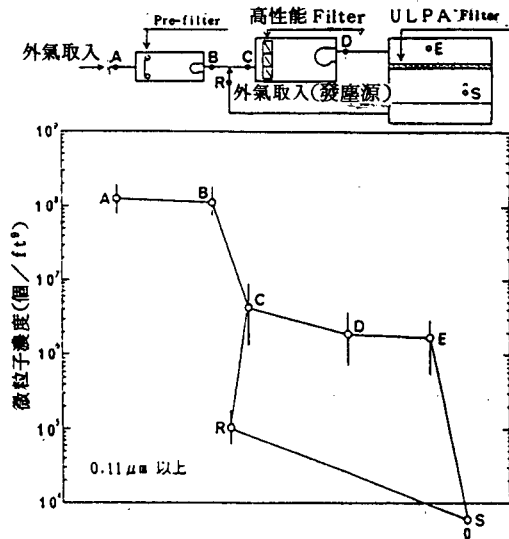


Fig.22 공기청정 System과 각 부위의 청정도 (청수전설취) Clean Room 실험동 측정예)

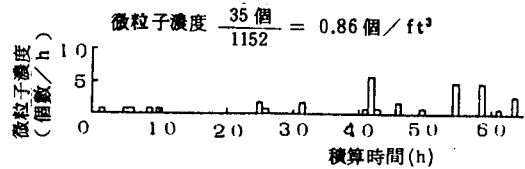


Fig. 23 CNC에 의한 Super Clean Room 내, 청정도, 측정결과 ($0.02\mu\text{m}$ 이상)

9. HEPA, ULPA Filter의 성능

HEPA Filter의 성능은 미립자 포집율과 압력손실의 특성에 따라 MIL-STD에 규정되어 있다.

포집율: 열발생 DOP 입자(입경 $0.3\mu\text{m}$)에 대해 99.97% 이상

압력손실: 정경풍량에 있어서 $25.4\text{mmH}_2\text{O}$ 이하,

여기서는 주로 포집율에 대해서 설명하기로 하면, HEPA Filter에 대해서는 표준 처리 풍량형 이외에 저압력 손실형, 다풍량형, 소음형, 초박형(超薄型) 및 폐기물로서의 소각을 가능하게 한 감용형(減容型) 등이 있으나 여기서는 Table 6에 나타낸 바와 같은 종류(일본 Maker - 6개사)의 성능 측정치를 나타낸다.

Table 6. 製플링된 Filter 의 Catalog 의 性能과 測定結果

Filter 의 種類	記号	捕集效率 (%)		压力損失 mm H ₂ O		定格處理風量 (m ³ /min)	測定値 捕集效率 (%)		測定値 压力損失 (mmH ₂ O)	
		粒徑 (μm)	Catalog 值	Label 值	Catalog 值		Label 值	粒徑 0.1 μm (0.09-0.11)		粒徑 0.3 μm (0.24-0.36)
標準型 HEPA	A	0.3	99.97	99.993	25.4	18.7	17.0	99.9534	99.9875	18.5
	D	0.3	99.97	99.998	25.4	21.5	18.0	99.9896	99.9981	23.2
	F	0.3	99.97	99.989	25.0	25.0	17.0	99.9220	99.9840	20.2
	I	0.3	99.97	99.99	25.4	24.3	17.2	99.9702	99.9934	23.5
	L	0.3	99.97	99.980	25.4	17.3	17.0	99.9223	99.9682	17.7
	N	0.3	99.97	99.990	25.0	22.0	17.0	99.9716	99.9950	22.2
低压力 損失型 HEPA	B	0.3	99.97	99.994	12.5	12.5	17.0	99.9127	99.9800	13.4
多風量型 HEPA	G	0.3	99.97	99.982	25.0	14.7	27.0	99.9338	99.9914	14.4
	J	0.3	99.97	99.998	25.4	25.1	27.0	99.9869	99.9970	27.1
	O	0.3	99.97	99.999	25.0	25.7	28.0	99.9207	99.9750	25.1
ULPA	C	0.1	99.995	99.9995	25.4	25.0	17.0	99.99995	---	28.5
	E	0.12 - 0.17	99.999	99.9997	25.4	19.0	17.0	99.99940	---	20.7
	H	0.1	99.999	99.9995	25.0	21.0	17.0	99.99968	---	21.3
	K	0.1	99.999	99.999	25.4	23.9	17.2	99.99988	---	22.6
	M	0.09 - 0.125	-	99.9996	-	25.0	17.0	99.99968	---	24.8
	P	0.1	99.9995	99.9995	25.0	22.5	17.0	99.99980	---	21.6

Table 7. HEPA Filter의 Test Results

Filter의 종류	기호	포집 효율 (%)		압력 손실 mmH ₂ O		정격처리 공량 (m ³ /min)	측정치 포집 효율 (%)		측정치 압력 손실 (mmH ₂ O)
		입경(μm)	Catalog치	Label치	Catalog치		Label치	입경 0.1 μm (0.09-0.11)	
Stand'd HEPA 610x610x292	a	0.3	99.97	-	25.4	17.0	-	99.990	21.0
	b	0.3	99.97	-	25.4	17.0	-	99.985	20.0
	c	0.3	99.97	-	25.4	17.0	-	99.983	22.0
	d	0.3	99.97	-	25.4	17.0	-	99.976	22.0
	e	0.3	99.97	-	25.4	17.0	-	99.986	21.5
610x610x150	f	0.3	99.97	-	25.4	8.5	-	99.967	22.5
	g*	0.3	99.97	-	25.4	8.5	-	99.962	23.0
Stand'd HEPA 610x610x292	**	0.3	99.97	-	25.4	17.0	-	99.986	21.8
	II	0.3	99.97	-	25.4	17.0	-	99.990	21.3
	J	0.3	99.97	-	25.4	17.0	-	99.992	21.4
	k	0.3	99.97	-	25.4	17.0	-	99.980	21.4

* AAF Singapore Astrocel I [24x24x5 $\frac{7}{8}$ (Inch)]

** Lydair Grade 255 Filter Media

(주) Test Apparatus

- TDA-120, S/N 6555 Q107 DOP-Aerosol Penetrometer
Air Techniques Incorporated, Baltimore, Maryland, U.S.A.
- HEPA D.O.P Test System, JST-08501 Type
Japan Air Filter Co., Ltd.

성능측정법에 있어서는 현재 Clean Room 을 대상으로 한 HEPA, ULPA Filter 의 측정을 위한 규격은 없기 때문에 MIL-STD나 JIS Z4812 를 준용하고 있다. 그러나 이 시험방법에서는 여러가지 문제가 있다. 또한 메이커에서의 시험방법도 서로 다른 것으로 알려지고 있다.

여기서는 크기가 610×610 인 Filter 를 Sampling 하고, 필터 상류측에 중간정도의 입경 0.137 μm DOP 입자를 약 1×10¹² 개/min(입경 0.09 μm 이상에 대해) 공급해서 시험하였다.

0.1 μm 입자의 결과에 대해서는 Fig.24에 보이는 바와같이, HEPA와 ULPA에서는 역역하게 차이가 있다.

국내 2개사의 Filter Maker 에서 조립생산된 HEPA Filter 를 Sampling 하여 측정할 결과를 Table 7 에 참고로 나타냈다.

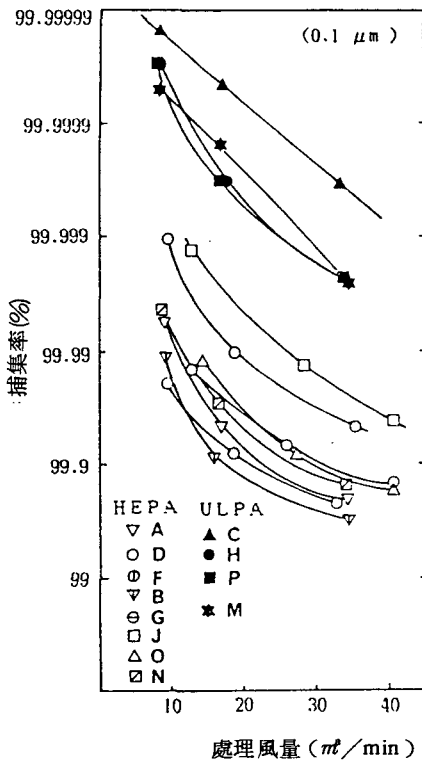


Fig. 24 處理風量과 捕集率의 關係 (0.1 μm)

보통 Clean Room에서 사용되는 처리풍량은 정격의 절반 이하이지만, 이 풍량에 있어서 HEPA 라 하여도 ULPA의 통칭 성능인 99.999%에 달하는 것도 있다.

0.3 μm 입자의 결과에 대해서는 Fig.25에 표시된 바와 같이 HEPA Filter 의 성능이 낮은 것은 규격치 정도이며, 고성능의 것은 이것보다 한 단계가 좋다.

ULPA Filter 에서는 필터 하류측에서 0.3 μm 입자는 검출되지 않는다. 입자경과 포집율의 관계는 Fig.21 과 같으며, 최소 포집율 입자경이 존재한다.

종래 이 최소포집율 입자경은 0.3 μm 부근에 있는 것으로 알려져 왔으나, 측정기의 발달 등에 따라 분명해지고 있으며, Filter Media 에 대한 측정 “예”에서는 0.1~0.2 μm에 있는 것으로 알려지고 있다.

실제의 Filter Unit 에 있어서도 Fig.26에 나타난 것 처럼 최소포집율 입자경은 0.1~0.2 μm 의 범위에 있다.

지금 0.1 μm 이하의 입자경에 대하여 고폐집율 표시의 필터도 나타내고 있으나, 이 최소포집율 입자경에 대한 포집율에도 주목해서 평가하고 Clean Room의 성능에 대해 적절한 필터를 선정할 필요가 있다.

HEPA, ULPA Filter 의 각 Unit 에 기재된 Label 값과 실제 측정한 측정 결과를 비교하면 Fig.27 와 같다. Label 값과 측정치가 잘 일치하고 있는 Maker 와 Label 값보다 측정치가 상당히 낮은 Maker 도 발견되었다. 이것은 측정방법, 대상 미립자등의 차이에 따른 것으로 생각되지만, 앞으로 더욱 검토해야 될 사항으로 생각된다.

Fig. 24 에서 HEPA와 ULPA Filter 의 성능 차이가 뚜렷하게 있었던 것을 알 수 있었다. 앞에서도 언급했지만 이러한 차이점의 근거를 알기 위해 각각의 전자현미경 사진을 살펴보면 ULPA, HEPA가 외견상으로는 차이가 명확히 없으나, 각 필터의 300 분 이상의 섬유경을 측

정해서 평균경을 구하면 ULPA 0.62 μm , HEPA 0.81 μm 임을 알 수 있었다.

필터 두께, 충전율은 동일하다고 할 때 동일 풍량에서는 분명히 ULPA Filter 쪽이 성능이 양호하다는 것이 미립자 포집 이론으로부터 이해할 수 있다.

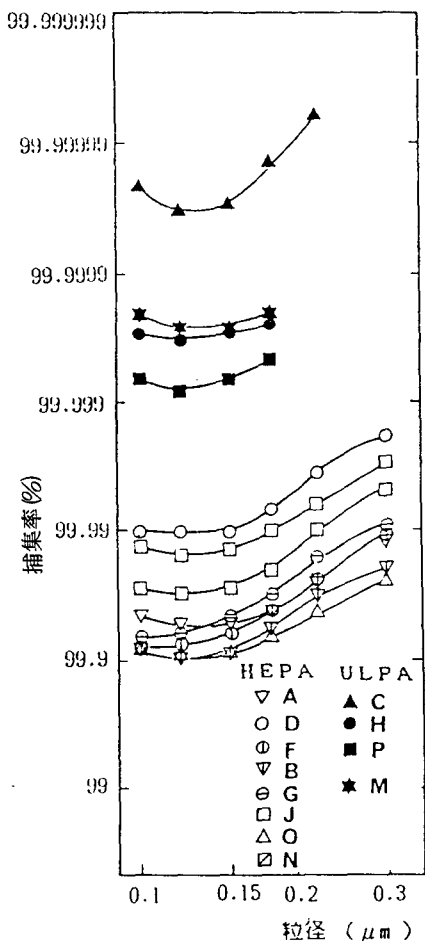


Fig. 26 粒径과 捕集率의 關係 (定格風量)

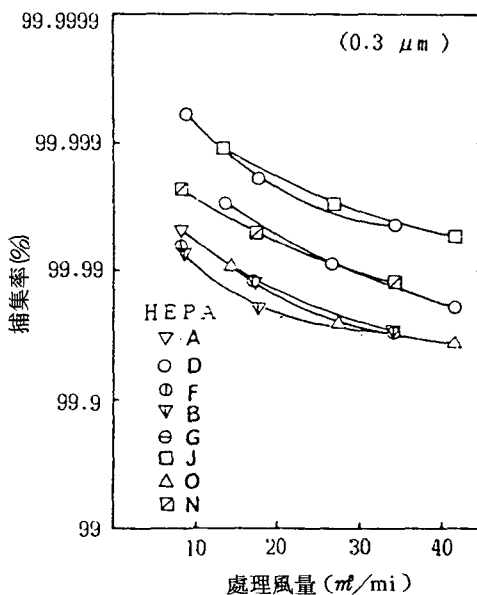


Fig. 25 處理風量과 捕集率의 關係 (0.3 μm)

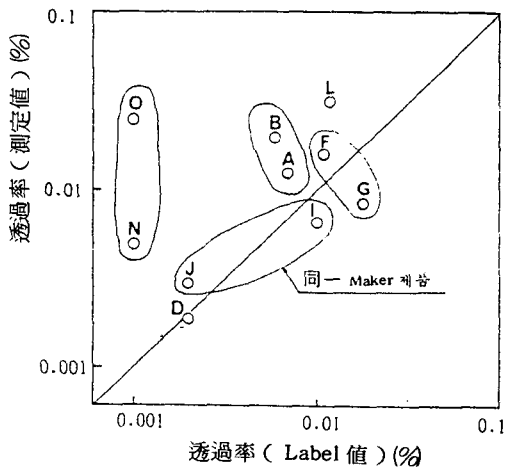


Fig. 27 透過率의 Label 値와 側測定値의 比較 (HEPA Filter)