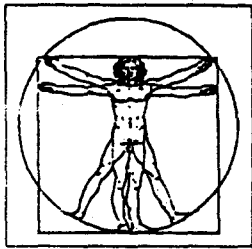


AIR FILTER 성능의 문제점과 과제 1)



1. 고성능 Air Filter 의 포집효율 측정 기술

1) HEPA 필터

HEPA 필터의 포집 효율 측정장치인 Q-107 DOP 투과율 측정장치는 $0.3 \mu m$ 의 단분산 Aerosol의 발생장치로서 알려져있다. 이 장치는 OWL이라고 칭하는 광학기계적 입경측정기를 사용해서 DOP Aerosol 입경을 광산란상대농도계로 측정하는 것이다. OWL은 비편향 광선이 입자에 닿아서 생기는 90° 방향의 산란광의 X, Y, 2편향면의 산란광의 강도비에 의해 입경을 측정하고 있다.

이 측정방법은, 현재와 같이 실용적인 광산란입자계수기가 아직 개발되지 않았던 시대에, Submicron 입자의 Aerosol 농도를 측정하기 위해 광산란상대농도계를 사용해서, Aerosol을 단분산으로 발생시켜, 목적으로 하는 입자경의 통과율을 측정할 수 있도록 했던 것이다. 최근 이 장치의 DOP Aerosol의 분산성에 대한 검증이 행해졌는데, 그 입자 중앙경 (D_e)은 $0.17 \sim 0.19 \mu m$ 로, 기하표준편차 σ_g 는 $1.3 \sim 1.4$ 로서 엄밀하게는 단분산이 아님이 밝혀졌다.

이 문제에 대해서는 18th DOE Nuclear Airborne Waste Management and Air Cleaning Confer-

ence에 있어서 W.Bergnian 및 A. Biermann에 의해 발표가 되었으며,²⁾ 그것에 의하면 그림 1의 3개의 입경분포

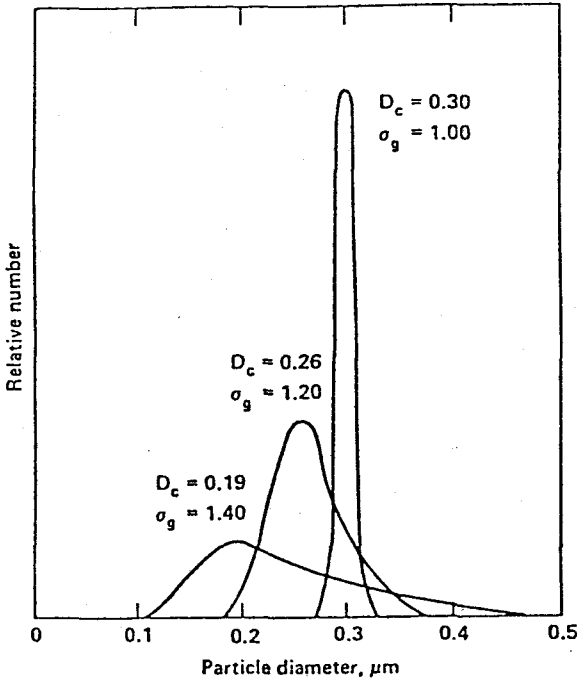


그림 1. OWL의 값이 같은 $0.3 \mu m$ 가 되는 3 종류의 입경분포

의 어느것도 같은 OWL의 $0.3 \mu m$ 를 나타내고 있다. Q-107 투과율 측정기에 의해 측정된 Aerosol은 피크가 제일 낮은 $D_c = 0.19, \sigma_g = 1.4$ 의 곡선이다.

이 장치의 DOP액이 $200^\circ C$ 근처에서 가열되기 때문에, 증기라기 보다는 오히려 연기상태로 되어 있어서 특이한 냄새가 나며, 그것이 필터여재에 부착해서 통과하는 공기중에 확산하기 때문에, 클린룸 및

클린벤취 등의 사용목적의 필터시험에는 문제가 된다.

HEPA필터의 포집효율측정에 사용되는 Q-107 DOP투과율 측정 장치는, 현재의 실용적인 광산란입자계수기가 개발되지 않았던 때에는 최고의 측정법이였다. 그러나, 이 장치가 대상으로 하고 있는 $0.3 \mu m$ 의 입경은, 여과이론 및 실제의 필터 성능면에서 보더라도 별로 의미가 없다. 또 입자농도측정에 있어서도 현재의 기술과 비교해 보아도 우수하다고는 말할 수 없다.

신뢰성이 높은 입자계수기가 개발되어 $0.1 \mu m$ 이상의 입경에 대해서 신속하고 정확하게 측정이 가능하게 된것을 생각하면 HEPA필터의 측정에도 광산란입자계수기가 사용되어야만 하리라 생각된다.

2) ULPA필터

앞에서 서술한 것 같이 Q-107 DOP 투과율 측정장치에 의한 측정은 $0.3 \mu m$ 의 입자에 대하여 포집효율을 시험하고 있다고는 말할 수 없다. 이것은 시험유량이 최대 1분간에 수십 m^3 의 유량이 되는 필터시험에 있어서, 입자의 입경의 단순분자를 고농도로 발생하는 것은 매우 어려운 기술이기 때문이다.

그러나, 최근의 광산란입자계수기의 진보에 의해 $0.1 \mu m$ 이상의 입자를 계수할 수 있게 되어, 단분산입자를 발생시키지 않아

도 입자의 입경에 대하여 포집효율이 측정 가능하게 되었다. 또, 광산란입자계수기는 입자 한개 한개를 계수하는 것이기 때문에, 입자전체의 산란광으로 부터 농도를 측정하는 광산란상대농도계에 비해, 저농도의 측정에 우수하며 고성능필터의 포집효율측정에 적합하다.

이것은 HEPA필터보다 포집효율이 높은 ULPA필터가 개발되었을 때, 측정대상의 입경이 $0.3 \mu\text{m}$ 에서 부터, 일반적인 사용조건에 있어서 가장 포집하기 어려운 $0.1 \mu\text{m}$ 로 작아진 최대요인이다. 현재 필터의 메이커에서는 일반적으로 ULPA필터의 포집효율측정에 광산란입자계수기가 사용되고 있으며, 상류층에 고농도의 시험입자를 도입하기 위해 희석 장치를 사용해서 상류층의 입자농도를 측정하고 있다.

아래에 광산란입자계수기를 사용한 ULPA필터의 포집효율측정에 있어서의 각 요소별의 주의점을 서술한다.

① 고농도 시험입자

필터유닛의 시험유량은 1분간 최대 수십 m^3 의 유량이 되며, 이와 같은 대유량에 있어서는 발생농도가 높고 안정된 발생기가 필요하다. 단, 측정대상이 되는 입경이외의 입자는, 필터에의 불필요한 부하를 줄이기 위해 가능한 없는 것이 좋다. 또한 입자가 균일하게 분산되어 있어야 하며, 장소에

의한 농도차가 없어야 한다.

이러한 조건을 만족하는 것으로서는, HEPA필터의 측정에 사용되고 있는 것과 같은 Oil물질에 의한 증발응축형의 발생기가 적합하지만 재증발과 냄새 발생등의 가능성이 있기 때문에 검토가 필요하다.

② 광산란입자 계수기

일반적으로 1대의 입자계수기로 상류, 하류측의 입자농도를 교대로 측정하지만 시험입자의 시간적 농도변동의 영향을 없애기 위해서는, 2대의 입자계수기를 사용해서 동시에 측정하는 것이 바람직하다. 또 입자계수기는 샘플링유량이 크게 되면, 최대가측농도가 낮게되는 특성을 갖고 있기 때문에, 하류측 농도측정에는 대유량의 계수기를, 상류측에는 소유량의 계수기를 사용하는 것이 바람직하다. 2대의 입자계수기를 사용하는 방법은, 양계수기의 농도상관을 완전하게 파악하지 않으면 사용할 수 없다.(즉, 계수기의 오차교정이 필요하다) 또, 측정에는 저농도(하류측)로 부터 고농도(상류측)까지의 넓은 범위의 농도를 측정하기 위해, 계수기의 직선성이 어느 정도의 농도범위까지 성립하는가의 확인도 필요하다.

③ 희석장치

ULPA필터와 같이 $0.1 \mu\text{m}$ 입자에 대해서 99.999%이상의 포집효율을 가지고 있는 필터를 측정하는데는, 상류측과 하류측의

입자농도비율이 적어도 10^5 이 필요하다.

(상류, 하류에서 같은 샘플링시간의 경우). 단시간으로 측정을 하는데는 상류측 농도를 높이지 않으면 안되는데, 그때 광산관입자계수기의 계측범위를 초과하기 때문에 희석장치를 사용한다.

희석장치는 고농도의 시험 Aerosol 과 청정공기를 혼합하는 것에 의해서 희석을 하는 것이 보통이며, 각각의 유량으로부터 희석배율이 계산된다.

주의사항으로서는 장치내의 입자손실, Aerosol 과 청정공기와의 완전한 혼합, 온도·압력에 의한 유량변화 등이 있다.

④ 필터하류측 계수치

필터전체로서의 포집효율을 측정하기 위하여, 하류측의 공기는 완전히 혼합되어 균일한 농도로 되어 있어야 한다.

매우 큰 시험유량으로 부터 소유량 샘플링하는 입자농도 측정에 있어서는, 얻어진 계수치의 분포는 포아슨 분포에 따른다. 따라서 균일한 입자가 분산되어 있다고 해도 계수치 n 은 최소 $\pm\sqrt{n}$ 정도의 변동을 가지고 있다. (변동계수로서 표현하면 $1/\sqrt{n}$).

하류측 계수치의 통계오차를 $\pm 10\%$ 정도로 할려면 100 이상의 계수가 필요하다. 포집효율측정에서는, 이 계수치가 얻어질 수 있는 상류측 농도가 필요하며, 상류측 농

도측정과 같은 샘플링시간에서의 하류측의 계수치가 작은 경우에는 하류측의 샘플링시간을 길게하는 수법도 행해진다.

⑤ 대상입경

ULPA필터의 포집효율측정에서의 대상입경은 현재 $0.1 \mu m$ 부근의 입경으로 되어 있다. 이것은 광산관입자계수기의 성능상의 한계가 첫번째의 이유라고 생각되어 지지만, 유리섬유의 여재를 사용한 필터에서는 일반적인 사용조건에 있어서 가장 포집하기 어려운 입경부근이라고 하는 것으로 부터 적절한 대상 입경으로 여겨진다.

기술발달에 의해, 더욱 미소입경의 측정이 가능하게 되어지겠지만, 대상입경을 한 마디로 이야기하면, 측정되는 필터가 가장 포집하기 어려운 입경으로 하는 것이 타당하리라 생각된다.

2. Leak의 측정방법

필터는 클린룸 등에 취부되어 있는 상태에 의해 크게 영향을 받아, 미립자의 Leak 원인이 되고 있다.

Leak에는 ① 필터여재의 Pinhole ② 필터여재나 Frame과의 불완전한 접착 ③ 필터의 불완전한 Seal에 의한 것이 있다. 이것들은 필터여재 그 자체의 결합 또는 필터의 운송시, 필터의 취부시 등에서도 일어나기 때문에 필터 출하시 외에

도 최종적으로 시공후 클린룸의 사용전에 검사할 필요가 있다. 또 사용후에도 정기적인 Leak검사를 행하는 것이 바람직하다. 현장에 있어서의 Leak검사는 대기진 또는 다분산형 DOP입자발생기가 사용되고 있다.

미국의 IES에서는 클린룸의 HEPA 필터시험방법으로서 상류농도를 균일하게 하고, 하류농도의 10^4 배 이상의 고농도로 해야한다고 규정하고 있다.

3. 온도에 의한 영향

온도에 의한 영향은, 필터소재, 필터유닛에 미치는 영향외에도 필터유닛과 천정 Frame의 접촉면의 Seal에의 영향이 있다.

온도의 절대치에 관해서는 필터소재의 최고사용온도가 약 250°C , 필터유닛의 구성재료의 최고사용온도가 약 100°C 로서, 통상의 클린룸에서의 사용상태에서는 문제가 되지 않는다. 그러나 고온에 접하면 필터 여재의 바인더가 변질해서, 포집효율이 저하하며, 압력손실이 증가하는 것이 확인되고 있다.

온도의 변화율에 관해서는, 건설기간이 수개월~십수개월이 걸리는 경우, 외기온도가 $-10^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 변화하지만, 건설기간의 외기온도가 필터성능에 미치는 영향은 그다지 크지 않다.

그외에 클린룸설비의 시운전중 또는 가

동중에 있어서의 문제로서, 순환공기의 급격한 온도변화가 있다. 구체적인 예로서 외기조화기를 이용한 시스템에서는 로점제어가 행해지는 것이 일반적으로, 외기조화기의 출구에 있어서의 급기온도는 $11 \sim 12^{\circ}\text{C}$ 정도이다. (온도제어의 관점에서 부터 재열하는 경우도 있지만, 에너지절약상 그대로 송풍하는 경우도 있다). 반면, 순환공기의 온도는 $22 \sim 23^{\circ}\text{C}$ 정도 이므로, 순환계통의 고장, 긴급시의 순환계의 정지 등의 이유때문에 $22 \sim 23^{\circ}\text{C}$ 정도였던 필터유닛이 갑자기 $11 \sim 12^{\circ}\text{C}$ 의 공기에 접하는 경우가 있다. 이때, 필터유닛, 천정 Frame, Seal재의 팽창율의 차에 의해 Seal이 파손되는 것이 보고되고 있다.

따라서, 각 부위의 온도에 대한 정적인 내구시험뿐만 아니라, 온도가 급격하게 변화하는 경우에 있어서의 박리의 유무, 기계적강도 등을 조사하는 것이 필요하다.

4. 미립자의 재비산

HEPA 필터의 입자포집효율은, 통상문제가 되는 $0.01 \sim 10 \mu\text{m}$ 의 넓은 입경 범위에 있어서 99.99% 이상의 높은 값을 가지고 있다. 필터에 입자가 포집되는 기구는 여재인 유리섬유 한개한개에 입자가 관성, 브라운확산, 차단, 중력, 정전기력 등에 의해 충돌하여 부착되는 것이다.

일반적으로 $1\mu\text{m}$ 이하의 입자가 섬유에 부착하는 경우에는, 부착력이 매우 크기 때문에 입자를 이탈시키는 것은 곤란하다. 그러나 실제로 HEPA 필터의 2차측에서 필터로부터 입자가 재비산하는 현상이 관찰되고 있으며, 그 예로서는

- ① 급격한 온도변화
- ② 외부로부터의 기계적 충격
- ③ 운전 ON, OFF 시
- ④ 정상운전시

①에서는 입자의 재비산이라고 하기 보다는, 여재의 바인더가 온도상승에 의해 발진원이 되기도 하기 때문에 바인더를 전혀 사용하지 않은 극미세 유리섬유류의 Fe-1t 상태의 여재를 스텐레스 망으로 겹겹히 한 것을 사용하기도 하며 ³⁾ 테프론박막 필터와 유리섬유여재와 복합여재를 사용하는 ⁴⁾ 등의 개선책이 제안되고 있다. 각각의 개선전후의 데이터를 그림 2~그림 5에 나타낸다. ³⁾⁴⁾

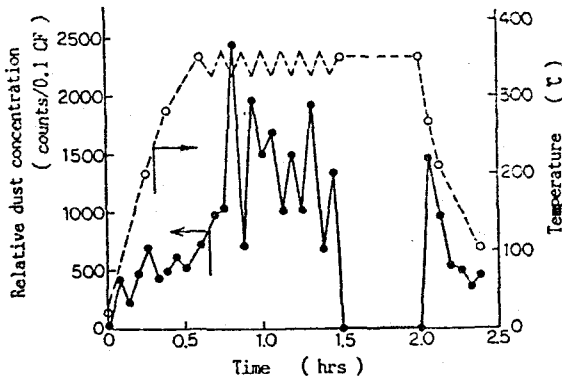


그림 2. 고온도 (350°C) 조건에서의 HEPA 필터의 발진성 ³⁾

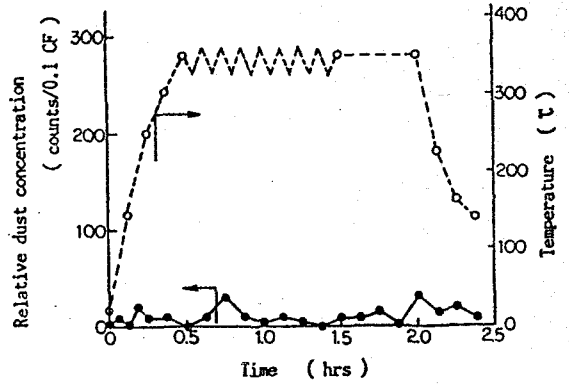


그림 3. 고온도 (350°C) 조건에서의 신개발 여재의 발진성 ³⁾

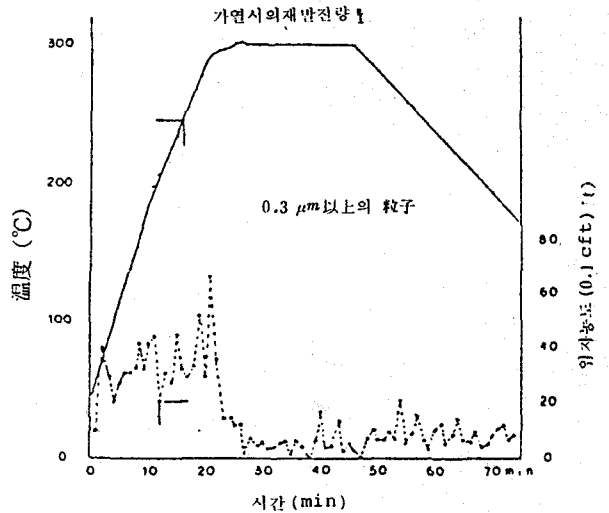


그림 4. 고온도조건에서의 HEPA 필터의 발진성 ⁴⁾

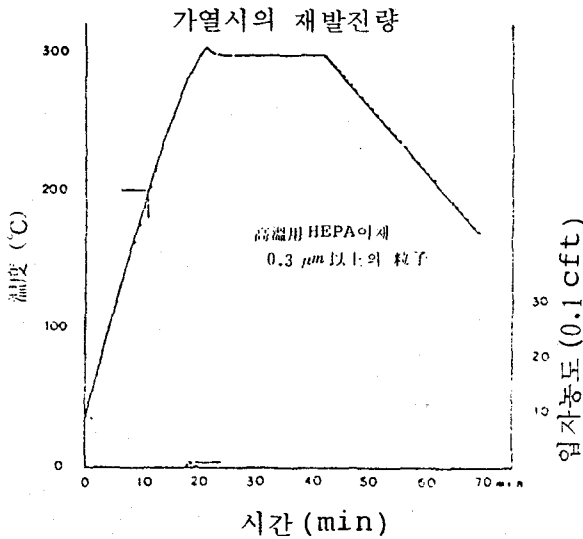


그림 5. 고온도조건에서의 복합여재에 의한 발전성의 개량 4)

입자가 직접여재에 부착하는 것이 아니고, 입자위에 입자가 차례 차례로 겹쳐서 Dendrite 상태가 되어 도중에서 잘라지기도 하며, 불안정한 상태에서 부착한 입자는 기계적인 충격 또는 공기흐름의 급격한 변화에 의한 충격에 의해서 이탈할 수 있다. 그림 6은 유리섬유의 ULPA여재와 유리섬유여재, 테프론박막필터의 복합여재를 이용한 경우의 기계적 진동에 의한 발전성을 조사한 결과이다.⁵⁾ 같은 보고가 초순수 여과용 필터에서도 행해졌다.⁶⁾

정상적인 운전중에서도 입자의 재비산현상이 보고되고 있다. 필터 아래에 놓여졌던 웨이퍼상의 입자를 분석한 결과, 특정의 필터 아래에서는 입자수가 증가하며, 필터를

교환한 후에는 상기의 현상이 없어진 경우도 있다. 입자의 조성분석 결과로부터 입자가 부착하고 있던 필터의 유리섬유가 이탈해서 낙하한 것으로 결론지워지고 있다.⁷⁾

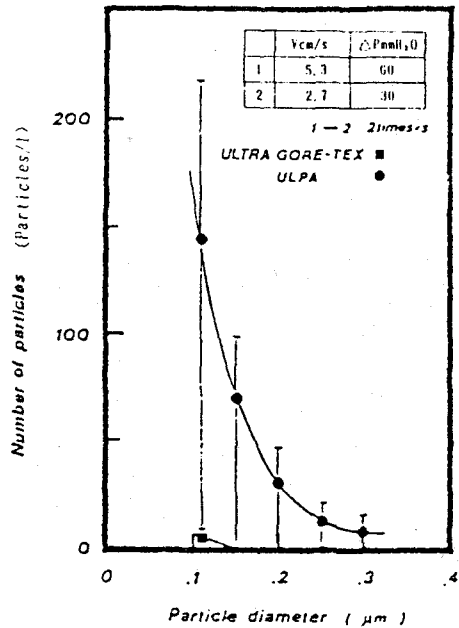


그림 6. 진동에 의한 HEPA필터 여재로부터의 발전

어떻든, 클린룸의 청정도가 Class 1, 또는 그 이상의 청정도 요구가 있는 경우에는 사용하는 필터로부터의 입자재비산은 무시할 수 없는 현상이다.

필터로부터의 재비산 현상은 순간적인 것도 있다. 통상의 입자계수기는 특히 가측 입경이 작으면 작을수록 S/N비가 저하해서, 장시간의 적분측정으로 겨우 유의차가 있는 측정치가 되며, 필터의 출구측의 입자

수를 상시 측정하고 있어도 재비산 입자를 식별하는 것은 매우 곤란하다.

5. 포집분진중에서의 미생물의 거동

HEPA필터의 세균, 곰팡이, 비루스 등의 미생물에 대한 포집성능에 관해서는 수개의 보고가 있다. 古橋는 그림 7에 나타내고 있는 실험장치를 이용해서 각종의 Air Filter의 세균여과효율을 측정했다.⁸⁾ 보고개요는 다음과 같다.

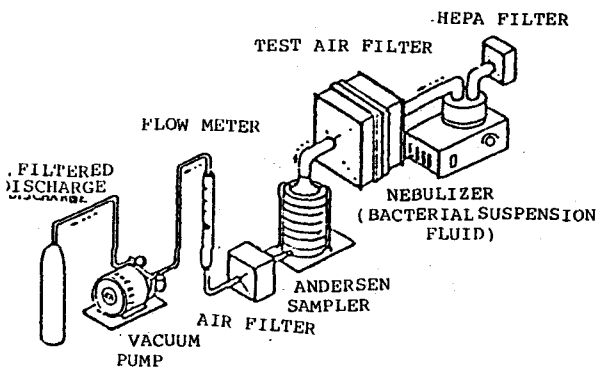


그림 7. Air Filter의 BFE 측정을 위한 실험장치의 개요

① 실험재료

Cambridge사, Flanders사, O사의 3사의 HEPA 필터 (DOP 99.97%) 및 DOP 95, 90, 85, 80, 75, 60, 50%의 Air Filter의 평판상의 여지를 사용했다.

② 공시균

황색 포도구균과 영균(靈菌)의 2종

③ 균액의 조제

상기의 균을 Trypticase soy broth(T S B) 배지에서 배양을 해서, 이것을 T S B 또는 생리식염수로 희석해서 균수 $1.8 \sim 2 \times 10^6$ Cell/ml의 균부유액으로 했다.

④ 배지의 조제

Andersen Sampler 전용 Petri 접시에 Trypticase soy agar(T S A) 배지를 27 ± 1 ml를 넣어서 잠균혼입에 의한 균의 발육이 없는 것을 확인하고 난 후 실험에 사용하였다.

⑤ 세균여과효과의 측정법

조정한 공시균부유액을 분무기 또는 초음파발생장치로 Aerosol화 시켜, 진공펌프에 의해서 이것을 공시필터를 통해서 배지를 넣은 Petri 접시를 장착시킨 Andersen Sampler에 유입시켜, 배지에 포집된 균을 배양해서 그 수를 계수해서, 다음식에 의해 세균여과효율(Bacterial Filtration Efficiency : BFE)을 산출했다.

$$BFE (\%) = (C - F) / C \times 100$$

여기에서, C : Control 측정시의 Andersen Sampler 전 6단의 Petri 접시의 균수의 합계, F : 시료를 넣어서 측정했을때의 전 6단의 Petri 접시의 균수의

Investigators	Biological aerosol	Particle size	Collection efficiency	Air flow rate
Thorne and Burrows (1960)	Foot and Mouth virus (口蹄疫)	0.01~0.012 μ m	99.999%	0.1m/s
Washam, C. J. et al. (1966)	E. coli-T phage	>1 μ m	99.999%	0.2m/s
Harstad, J. B. et al. (1966)	E. coli-T-1 phage	0.094~0.170 μ m	99.997%	0.3m/s
Harstad, J. B. et al. (1966)	B. subtilis var. niger (spore)	1.0 μ m	99.9993%	0.3m/s
Roelants, P. et al. (1968)	S. virginiae-S-1 phage	0.05~0.45 μ m	99.997%	0.5m/s
Furuhashi, M. et al. (1977)	Serratia marcescens	0.5 \times 1.0 μ m	99.9964~ 99.9999%	0.025m/s
Furuhashi, M. et al. (1977)	Staph. aureus	1.0 μ m	100%	0.13m/s

표 1. HEPA 필터의 미생물여과 효과에 관한 연구결과

함계이다.

HEPA 필터의 미생물여과효과의 결과를 표 1에 나타낸다.⁹⁾ 이것들의 측정법은 미생물을 입자에 부착시켜서 필터중에 흘러 보내, 출구측에서 검출되는 미생물수와 의 비율로 구해져 있다. 일반적으로 세균은 입자에 부착한 상태에서 공기중에서 부유한다고 생각되고 있어서, 상기의 측정법은 타당할 것이다. 단, 그외에 공기중으로 포자를 만드는 균류도 있어서, 이것들의 포자는 공기중에 확산되어서 단독으로 부유하리라고 생각되어 진다.¹⁰⁾

필터에 포집된 미생물은, Smissen 등의 보고에 의하면¹¹⁾ 곰팡이균은 필터내에 존재하면서 필터의 취출면까지 관류하기도 한다.

그러나 일반의 세균은 필터내에서 증식하지 않으며, 취출면까지 관류하는 경우도 없다. 세균이 필터내에서 증식하지 않는 것은 필터의 함수율이 낮은 때문이라고 생각되어진다.¹²⁾

필터내에 포집되어 있는 입자를 염색하거나 방사화처리를 행한 후에, 필터출구측에서 규격화된 입자를 검출하는 것도 가능하리라 생각된다.

미생물에 관해서는, 입자와 달리 그 장소에서의 관찰이 곤란해서, 배양처리후에 측정하기 때문에 재비산현상의 관측은 더욱 어렵다.

6. 필터의 강도와 여재의 관계

Air Filter에 사용되는 여재는, 유리섬유가 많다. 유리는 시간경과와 함께 약해지며, 특히 물이나 수증기가 표면에 흡착되면 영향이 크다. Schurkov¹³⁾는 유리섬유에 관한 이러한 사실을 실험적으로 확인하고 있다.

HEPA필터에 사용되는 여재에 관해서, 실제로 클린룸에 사용되는 HEPA필터로부터 여재를 뽑아내어서 인장강도를 조사한 결과를 그림 8에 나타낸다. 이것에 의하면

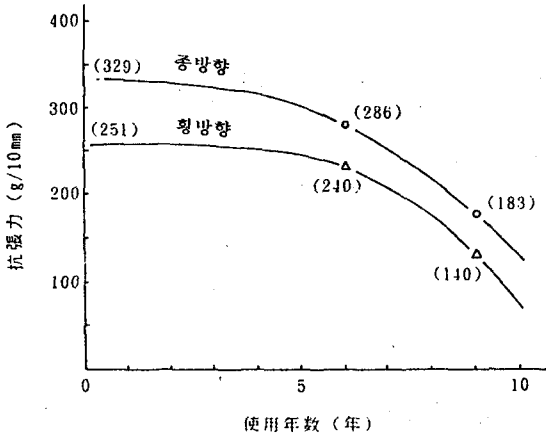


그림 8. HEPA 필터여재의 시간경과에 따른 변화

분명히 시간경과에 따라 약해지는 것을 알 수 있지만, 여재는 바인더 (접착제)에 의해서 구성되어 있기 때문에, 전부가 유리섬유의 인장강도의 저하라고는 생각하기 어렵

지만, 9년간에 56%까지 저하하고 있다. 여재의 골절부는 더욱 저하율이 크기 때문에, 필터의 수명도 간단히 압력손실의 증가만으로 판단하는것은 위험하다.

7. 필터의 구성재료에 관해서

1) 여재

HEPA필터에 관한 미국육군규격 MIL-F-51079에는 가연물함유량이 7%이하의 기준이 있으며, HEPA필터의 대부분은 유리섬유이다. 유리섬유는 직경 $1\mu\text{m}$ 이하의 미세섬유로 하는 것이 가능하기 때문에 고폐집효과가 가능하며, 또한 포집된 입자에 의한 막힘이 없어서 압력손실이 낮은 여재를 만들수 있다. 그러나, 유리섬유끼리는 접착제에 의해 결합되어 있어서, 물리적 충격과 온도변화 등에 의해 섬유가 이탈한다는 보고가 있다. 또, 내알칼리성, 내불산성이 약하다는 결점이 있다.

합성섬유를 사용한 여재 (폴리프로필렌, 폴리에스테일 등)는, 가연성이라는 것이 문제가 된다. 또, 미세섬유를 값싸게 제조할 수 없기 때문에 저압력손실, 고폐집효율의 여재를 제조하는 것이 어렵다. 섬유자체가 대전되어 있는 electret여재가 개발되어 그성능은 비약적으로 향상되었다고는 이야기할 수 있지만, 아직 ULPA, HEPA 용의

여재로서는 부적합하다.

최근에 테프론막을 사용해서 제조된 여재가, ULPA, HEPA용 여재로서 개발되고 있다. 이 여재는 고가이지만, 접착제에 의해 섬유를 결합하는 것이 아니기 때문에, 섬유 이탈 방지라는 점에서 주목되고 있다.

2) Separator, Spacing

① 알루미늄 Separator

비교적 싸며, 가공이 쉽기 때문에, Separator식 필터의 대부분은 이것이 사용되고 있다. 내부식성에 조금 문제가 있지만, 에폭시수지 및 아크릴수지를 코팅해서 대처할 수 있다.

② Kraft 지

가격은 싸지만 습기에 약하며 가연성이다. 내습성을 개선하기 위해, 소재는 플라스틱이지만 성질이 종이와 비슷한 합성지가 사용되는 경우도 있다.

③ 플라스틱

산성, 습기에는 강하지만, 열에는 약하며 가공이 어렵다.

④ 스텐레스 Separator

내약품성, 내부식성에 우수하지만, 중량이 무겁고 가공이 어렵다.

⑤ Separatorless Filter

Hot Melt계 수지의 실, 실에 수지를 침투시킨 것 등이 Spacer로서 사용되고 있다.

3) Frame

① 알루미늄압출재 (알루미늄트처리) 발진이 없으며, 비교적 경량, 외관이 미려하기 때문에 많이 사용되고 있다.

② 강판 (아연도금)

원자력산업용에는 많이 사용되고 있음

③ 스텐레스강판

내부식성, 내약품성이 요구되는 경우에 사용되고 있으며 중량이 무겁고, 가공이 어렵다.

④ Plywood

가격이 싸지만 습기에 약하며, 소재 자체로부터의 발진이 있다. 또 기밀성이 떨어진다.

4) 밀봉제

우레탄수지계, 에폭시수지계의 접착제가 주로 사용된다. 그외에 고온용필터에는 실리콘계, 세라믹계의 접착제가 사용되고 있지만, 전자는 가스발생의 문제, 후자는 내충격성, 발진, Seal에 문제가 있다.

5) Gasket

독립기포의 클로로플렌고무가 주로 사용되고 있다. 계속해서 많이 사용되어 왔지만, 강도 및 장시간의 사용에 따른 반발탄성의 저하 등의 문제가 있다. 내열성이 요구되는 경우에는 실리콘 고무, 유리섬유여재의 적층품등이 사용된다.

8. 필터 Seal의 신뢰성

필터 Seal부 (여재와 Frame사이)로부터의 Leak는, 필터 뒷면에 접착제가 잘 스며들지 않아서 생기는 관통 Leak가 주로였다. 현재, HEPA 및 ULPA 필터에서는 유동성이 있으며, Frame과 잘 접착이 되는 우레탄수지계, 에폭시수지계의 접착제가 주로 사용되게 되어서, Seal부로부터의 Leak는 매우 드물게 되었다. 향후 여러 조건하에서의 Seal의 내구성에 관한 검토가 필요하리라 생각된다.

< 참고문헌 >

- 1) 超清淨空間の評價基準に係わる調査研究, (社)日本機械工業連合會, P. 156-167 (1989)
- 2) Bergman, W. and Biermann, A., "Effect of DOP Heterodispersion on HEPA Filter Penetration Measurements", 18th DOE Nuclear Airborne Waste Management and Air Cleaning Conference (1984)
- 3) 大竹, 渡邊: 第6回空氣清淨とコンタミネーションコントロール研究大會豫稿集, P. 9 (1987)
- 4) 川村: ibid, P. 5 (1987)
- 5) 内山: 第7回空氣清淨とコンタミネーションコントロール研究大會豫稿集, P. 39 (1988)
- 6) 水庭: SEMI STEP/Particle, Panel Discussion (Dec. 1988)
- 7) Davis, C.M. et al: J. Environmental Sci., P. 27 (Mar/Apr., 1981)
- 8) 古稿: 空氣清淨, Vol. 15, No 7, 1 (1978)
- 9) 古稿: 空氣清淨技術講習 시리즈第18回, 日本空氣清淨協會, P. 19 (1979)
- 10) 服部勉: 微生物生態入門: 東京大學出版會 (1978)
- 11) Smissen: Besonderheiten bei der Abscheidung von Keimen in Schweb-Stofffiltern; Reinraumtechnik I (1973)
- 12) Rueden et al: Proc. International Symp. Contami. Control (Sept. 1974)
- 13) ガラス工學, 成瀬省著, Schurkov Sowjet (1932)