超高性能 Air Filter式 集塵裝置의 特性

Characteristics of Dust Collection Equipment for the Ultra High Efficiency Air Filter Type

김 정 호
J. H. Kim
한국캠브리지필터주식회사

• 1949년생
• 각종 필터 및 공기 청정장치의 기술개발에 관심을 가지고 있음.

1. 서 론

초고성능 에어필터(ULPA : Ultra Low Penetration Air Filter)는 주로 반도체산업, 의약품산업, 우주산업, 연구소등 첨단산업에 사용되며 고도의 청정공간의 실현 및 각종 공정의 안전성 확보에 기여하고 있다.

0.1μm 이하의 입자를 제거하므로서 초고집적도의 반도체 생산이 가능하게 되었다. 나아가 첨단산업 발전에도 기여하게 되었다.

2. 超高性能 Air Filter의 必要性

2.1 반도체 산업에서의 필요성

반도체 생산에 있어서 제품의 불량율과 클린룸의 청정도는 밀접한 관계가 있다. K·Bit 정도의 집적회로는 0.5μm 크기의 입자는 거의 문제가 되지 않았다. 그러나 16M－Bit의 고집적회로에는 입자로 인한 오염이 크게 문제가 되었다. 시험결과 M－Bit급의 고집적도회로에는 0.1μm의 입자가 결함의 큰 문제임을 알게 되었다. 그러므로 반도체산업에 있어서는 0.1μm 크기 부근의 입자를 제거하는 것이 중요한 문제로 대두되고 있다.

2.2 0.1μm 입자의 측정 기술

입자계측기의 진보에 따라 μm 크기 부근의 입자를 비교적 간편하게 측정하게 되었다. 레이저 광선을 이용한 광산란형 카운터 EAA(Electrical Aerosol Analyzer)와 DB(Diffusion Battery)＋CNC(Condensation Nucleus Counter)가 있다. 또한 레이저 파티컬 카운터도 있다. 0.12～6.12μm 크기의 입자를 6－채널(channel)로 분리 측정한다. 광산란 방식의 측정기는 측정입자경이 작아지면 광산란 강도가 약화된다. 따라서 광원 레이저를 이용한 검출기는 0.1μm 크기까지는 측정이 가능하지만 그 이후의 크기에는 한계가 있다. DB＋CNC는 입자를 크게 생성시킨후 측정하므로 0.003μm 크기 이상의 입자는 측정이 가능하다. 그러나 입자경의 크기에 따라서 DB＋CNC의 판독(reading)율은 다르다. 그림 1은 입경별 판독율을 나타내고 있다.

특히 DB＋CNC는 시험유량이 300cc/min로서 미량이므로 계측시간이 오래 걸린다.

2.3 대기먼지의 입경분포

필터의 포집효율을 정확히 평가하기 위하여는 포집대상의 에어로졸(Aerosol)의 입경분포를 파악하는 것이 중요하다.

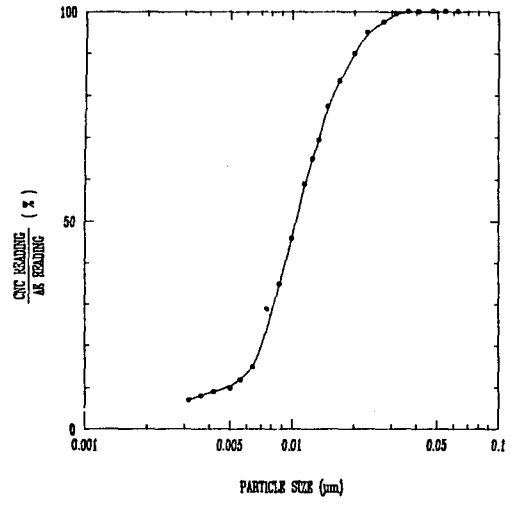

그림 1 DB+CNC에 의한 입경별 입자수 판독율

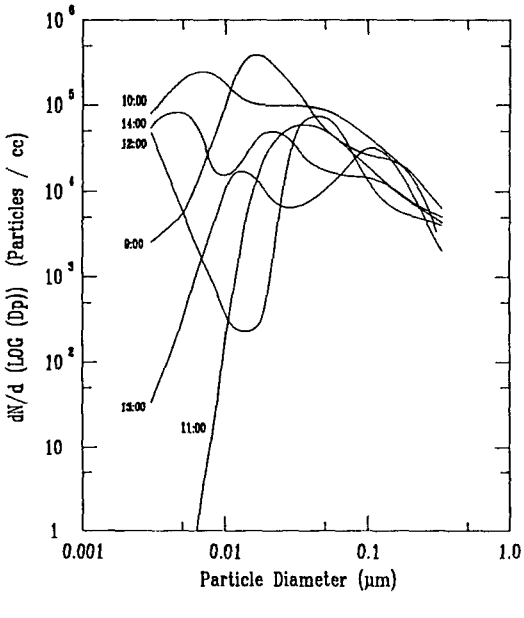

그림 2 대기먼지 입경분포의 시간변동에 따른 현황
측정계절 : 봄(5월)
측정계기 : DB+CNC
측정장소 : 북위 30~40도의 온대지역

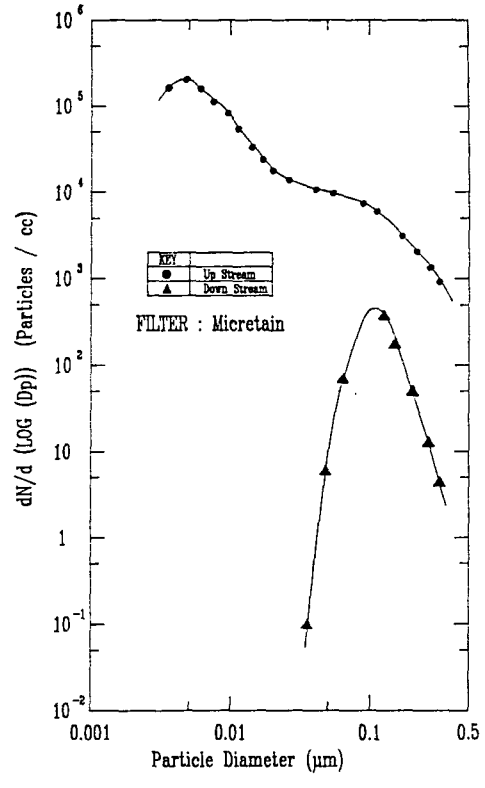

그림 3 필터 통과 전·후의 대기먼지 분포

그림 2는 대기먼지의 입경분포를 DB+CNC로 측정한 결과이다.

이 그림에서는 0.1μm 이하의 입자계수 농도가 0.1μm 이상의 입자에 비해 높게 분포함을 알 수 있다. 또한 0.1μm 이하의 입자는 시간에 따라 농도변화가 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 0.1μm 이상의 입자는 비교적 농도가 안정되어 있음을 알 수 있다.

그림 3은 필터 통과 전·후의 대기먼지의 입경분포 변화를 나타내고 있다. 필터 통과 전에는 0.1μm 이하의 입자가 대단히 많음을 알 수 있고, 필터 통과 후에는 0.1μm 크기 부근의 입자의 농도가 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 여기에서 0.1μm 크기 부근의 입자제거가 매우 중요함을 알 수 있다.

3. 0.1μm 입자용 필터의 개발

3.1 여과지(media)의 포집성능 향상

여과지의 포집효율에 영향을 주는 인자로는 섬유의 직경크기, 충진율, 두께, 올의 흩어진 상태 등이다.

그림 4는 여과지의 충진율이 같은 2종류의 여과지로 필터를 만들어 입경별 포집효율을 나타내고 있다. 실제 시험결과 섬유경이 작은 것이 포집효율이 크다는 것을 알 수 있다.

이상의 결과에 따라 0.1μm 입자용 필터에 사용하는 여과지는 보다 미세한 섬유를 많이 충진하는 것이 중요한다.

3.2 유량에 의한 포집성능

그림 5와 그림 6에서 나타난 것과 같이 포집효율이 낮은 중성능 필터는 포집효율에 있어 유량에 의한 변화가 작고 포집효율이 높은 고성능 필터는 유량에 의한 변화가 크다.

이상과 같이 미소입자를 고효율화하기 위해서는 여과지에 통과풍속을 저하시키는 것이 매우 효과적임을 알 수 있다.

0.1μm 크기의 입자제거 필터는 접어넣는 여과지의 면적을 크게하여 미세입자에 대응하여 포집효율을 높일 수 있게 된다. 여과지의 면적이 커지면 그만큼 여과풍속이 감소하기 때문이다.

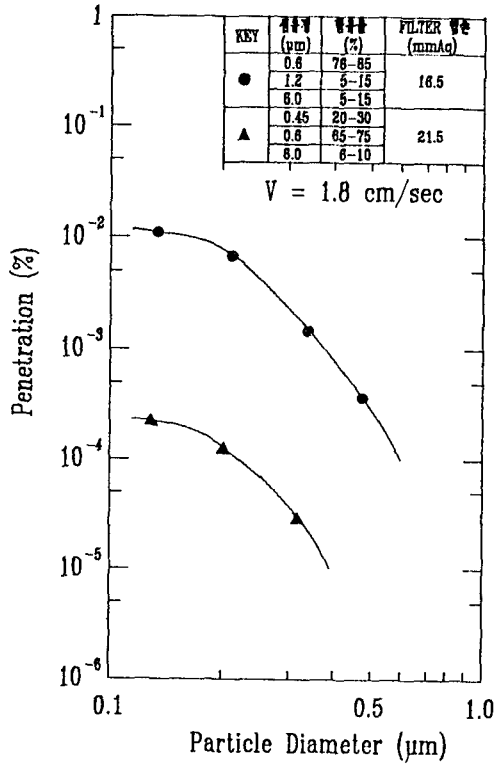

그림 4 여지의 섬유경이 포집효율에 미치는 영향
Aerosol : DOP
측정계기 : LAS-226

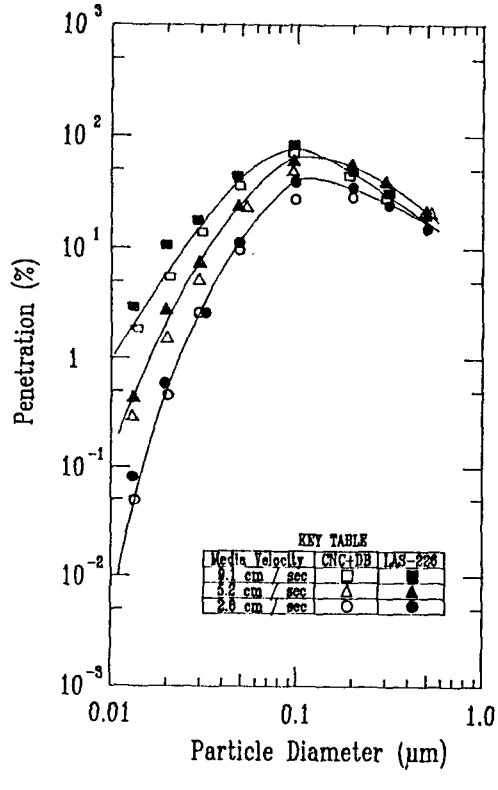

그림 5 중성능 필터의 유량 변화에 따른 입경별 포집효율의 변화
Aerosol : Nacl

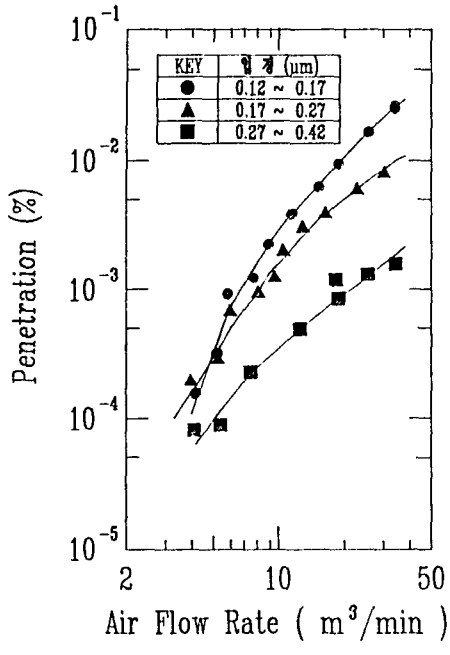

그림 6 고성능 필터의 유량과 포집효율의 관계
Aerosol : DOP
측정계기 : LAS-226

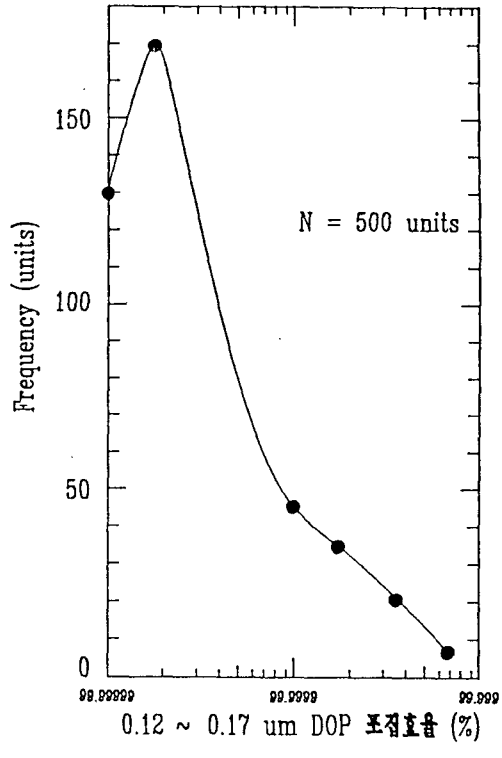

그림 7 ULPA 필터 500매의 포집효율
합격기준 : 99.999% 이상

3.3 0.1μm 입자용 초고성능 필터 개발시 주의점

여과지의 미세섬유 함유량을 증가시켜 포집효율을 향상시켜야 한다. 또한 여과지의 접어넣는 면적을 증가시켜 여과지에 통과되는 풍속을 저하시켜야 한다. 이때 필터의 압력손실 변화를 고려하여 여과지의 구조저항을 최소화시켜야 한다. 이상을 주의하여 생산된 ULPA 필터 500매를 무작위로 선택하여 포집효율을 측정한 결과 전수량의 약 90% 정도가 99.999% 이상의 포집효율을 갖는 좋은 결과를 얻게 되었다.

4. 0.1μm 입자용 필터의 성능평가법

현재 필터의 메이커별 성능평가법이 모두 다르지만 일반적인 성능 평가방법은 다음과 같다.

4.1 전수검사의 필요성

HEPA 필터의 여과지에 관하여는 미국육군 규격인 MIL-F-51079에 검사기준이 있으나 ULPA 필터의 여과지에 관해서는 검사기준이 없는 실정이다. 또한 여과지 생산 메이커에서도 많은 분량의 여과지 전면의 전수검사는 불가능하다. 그러므로 필터 메이커에서는 필터 하나, 하나에 대한 누설검사(Pin-Hole Test)와 포집효율 검사를 필히 실시하여야 한다.

4.2 포집효율 검사방법

ULPA 필터의 포집효율 시험은 Q-107 DOP 시험장치에서 실시한다. 필터 상류와 하류사이에 By-Pass관을 설치하여 시험한다. 계측기는 레이저 파티컬 카운터(LAS-226 또는 LAS-236 등)를 사용한다. 포집효율은 계산식 1과 2에서 구하여 진다.

$$Co-\{(C2-C1)Q+C1/q\}/q \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (1)$$

$$\eta(\%)=(1-C1/Co)\times 100$$

$$=[(C2-C1)Q/\{(C2-C1)Q+C1/q\}]$$

$$\times 100 \quad \cdots\cdots (2)$$

C1 : By-Pass관 閉 : 하류측 입자농도
C2 : By-Pass관 開 : 하류측 입자농도
q : By-Pass관 開 : 유량
Q : 시험필터의 유량
Co : 상류측 입자의 농도
η : 시험필터의 포집효율

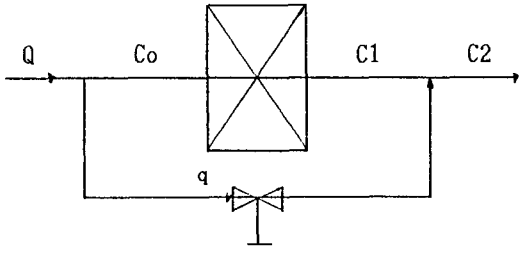

그림 8 포집효율 시험장치의 By-pass관 현황

By-Pass 관은 직관을 사용하고 밸브는 볼 밸브(ball-valve)를 사용한다.

4.3 누설검사(Pin-Hole Test)방법

ULPA 필터는 전수누설검사를 한다. 또한 필터 전체의 면을 누설검사한다. 누설검사는 정밀검사장치(SCAN test equipment)를 사용한다.

시험조건은 상류측 농도를 2×10^8개/CFM로 하고 시험입자는 0.3μm의 DOP 입자를 사용한다. 합격기준은 이상 부분에 10초간 측정하여 33개 이하의 입자수가 되면 합격이 된다. Pin-hole이 있는 상태에서의 포집효율의 변화를 알기 위하여 Pin-hole을 인위적으로 만들어 시험하였다. Pin-hole이 없는 경우와 0.2×1.4mm 직경의 Pin-hole이 있는 경우를 시험하여 다음의 그림을 얻게 되었다.

그림에 나타난 바와 같이 Pin-Hole의 입경크기 변화에 따라 포집효율이 변화되는것을 알 수

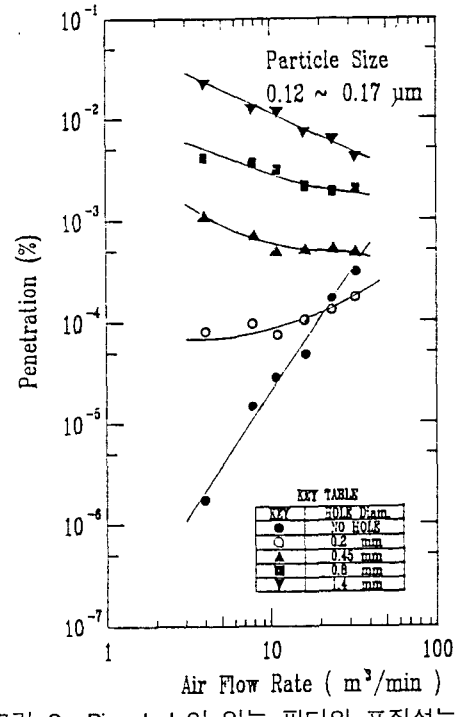

그림 9 Pin-hole이 있는 필터의 포집성능 (입경크기 : 0.12~0.17μm)

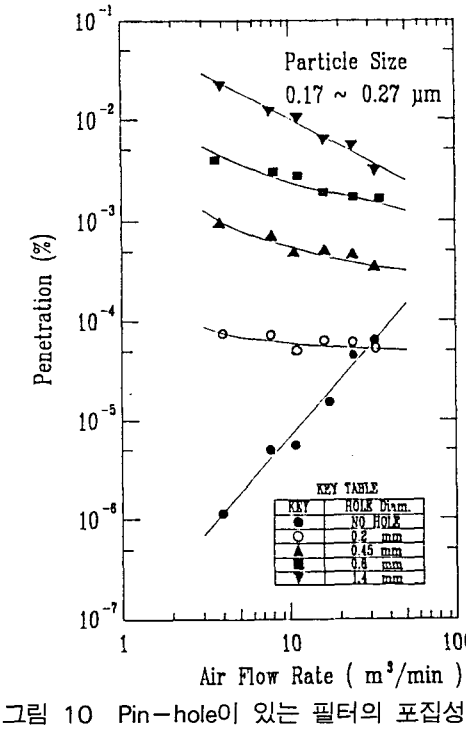

그림 10 Pin-hole이 있는 필터의 포집성능 (입경크기 : 0.17~0.27μm)

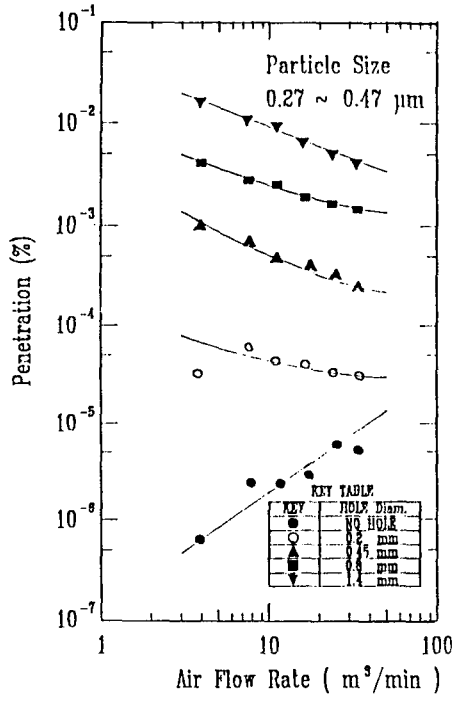

그림 11 Pin-hole이 있는 필터의 포집성능
(입경크기 : 0.27~0.42μm)
Aerosol : DOP
측정계기 : LAS-226

있다. 또한 여과풍속이 감소하면 포집효율도 감소함을 알 수 있다.

5. 결 론

필터의 3요소는 포집효율, 압력손실 및 수명이라고 할 수 있다. 그러므로 특히 여과지의 고유특성을 알고 여과지의 사용면적과 풍속의 관계를 충분히 이해하여야 한다.

또한 필터 성능의 이론치와 실측치의 차이점을 이해하고 필터를 설계하여야 한다. 아직까지도 필터의 고유특성중 상당 부분이 알려지지 않고 있다. 끝으로 본고가 필터의 설계자나 사용자에게 부족하나마 도움이 되길 바란다.

후 기

본 연구는 초고성능 필터의 개발 및 각종 성능개선을 위하여 실험한 자료를 정리하고 이론화하여 수록한 것입니다.

참 고 문 헌

1. CAMBRIDGE FILTER KOREA 1993, "Air filter product guide", pp.8~23.
2. CAMBRIDGE FILTER JAPAN, 昭和 61年 11月, "エアーフイルタについで, pp.6~46
3. MARCEL DEKKER, INC. New York and Basel, "Filteration Principles and Practices(in two parts)", pp.4~183.
4. MIL-F-51079C, 4 March 1980, pp.1~13.
5. MIL-F-51079D, 4 March 1985, pp.1~10.
6. IES-RP-CC-006-84-T, November 1984, "Testing Clean Room" pp.1~16.
7. IES-RP-CC-002-83-T, November 1983, "Laminar Flow Clean Air Devices", pp.1~8.
8. IES-RP-CC-001-83-T, November 1983, "Hepa Filters", pp.1~8.