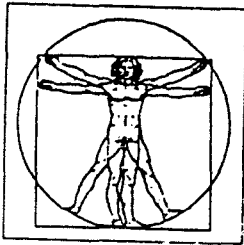


AIR FILTER 개론 (Ⅱ)



한국 캠브리지 필터 (주)
공장장 김 정 호

1. 머리말

본고는 공기중의 분진을 제거하는 목적으로 사용되는 AIR FILTER 중 최고높은 포집성능을 지닌 HEPA(HIGH EFFICIENCY PARTICULATE AIR) FILTER 및 ULPA(ULTRA LOW PENETRATION AIR) FILTER의 성능에 관하여 기술코저한다.

2. AIR FILTER의 기본개념

표 1은 당사에서 생산하는 AIR FILTER를 소개하고 있습니다.

아주 큰입자를 제거하는 조진용 PRE FILTER로 부터 초정정공간을 만드는 ULPA FILTER에 이르기까지 단계적으로 포집성능이 다른 FILTER가 사용되어 진다.

이것은 제거하는 모든 입자의 크기와 농도의 정도에 따라 가장 경제적인 필요한 청정도를 얻기위하여 FILTER가 선정됩니다.

FILTER의 포집성능평가방법도 그 FILTER의 용도에 적합한 방법으로 시행됩니다.

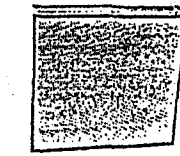
주로, 조진의 제거를 목적으로 하는 FILTER는 중량법이라고 하는 방법으로 시행합니다.

빌딩이나 공조등에 사용되는 세진용의 중성능 FILTER는 비색법이라고 하는 방법으로 시행합니다.

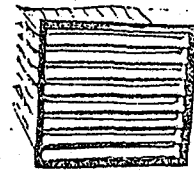
표 1. Air Filter의 종류

AIR FILTER의 종류	용도	AIR FILTER의 형식	품명	특징	0.12-0.17 μm 입자	포집효율
HEPA FILTER	LSI 공장, 병원, 제약, 연구소 등의 Clean Room 용 최종 FILTER	유니트형	ABSOLUTE-FILTER II(SECOND)	0.1 μm 입자 제어용 ULFA FILTER	99.999 % 이상	0.3 μm HOT DOP 비색법 증량법
			ABSOL-LUTE SILVER-Seal FILTER Standard	leak test 실시 · 합격 품 HEPA FILTER	99.99 % 이상	
준 HEPA FILTER	원자력 시설 · Radio I-sotope 시설 등의 급배기계 최종 FILTER	유니트형	L-Series ABSOL-LUTE FILTER	표준형 HEPA FILTER		99.97 % 이상
			MICRETAIN FILTER	HEPA FILTER와 중성능 FILTER의 중간성능을 가진 FILTER	95 % 이상	
중성능 FILTER	BUILDING 구조용 FILTER, 산업 플랜트의 외기처리 FILTER, HEPA FILTER의 전처리용 FILTER	주머니형	HI-FLO FILTER	HOLDING FRAME이 부착된 주머니형 중성능 FILTER		90 % 이상 80 % 이상 60 %
			CP-FILTER	유니트형 중성능 FILTER		90 % 이상 60 % 이상
PRE FILTER	HEPA FILTER, 중성능 FILTER 등의 전처리용 FILTER	주머니형	HI-CAP FILTER	HOLDING FRAME이 부착된 주머니형 PRE FILTER		30 % 이상
			HI-PAC PRE FILTER	판넬형 PRE FILTER		85 % 이상

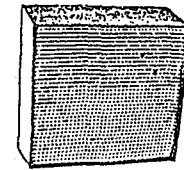
주: 비색법은 대기압 비색법명 균포집효율, 증량법은 증량법 포집효율을 말합니다. () 안의 수치는 참고치입니다.



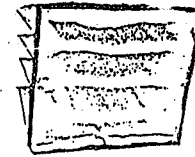
ABSOLUTE FILTER-II



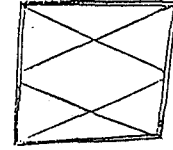
HI-FLO FILTER



CP-FILTER



HI-CAP FILTER



HI-PAC-PRE FILTER

무진, 무균의 환경을 만들기 위한 사양인 고성능을 요하는 HEPA, ULPA 등은 계수법이라고 하는 방법으로 시행합니다.

어떤 FILTER에 있어서도 세섬유로 구성된 여지에 따라 분진의 포집이 이루어지는 것은 공통적이다.

따라서 분진을 포집하는 기구는 전체적으로 같은 기구라고 볼 수 있다.

AIR FILTER가 분진을 포집하는 주기구를 표 2에서 설명하고자 한다.

실제의 공기여과의 기구는 표 2의 4가지 기구가 복합된 AIR FILTER에 의해 입자의 포집이 이루어진다.

표 2에서 알 수 있는 것과 같이 포집하는 입자의 크기와 여과속도에 따라 주로 포집 효율이 서로 다른 것을 알 수 있다.

그결과 AIR FILTER에 따라 입자포집은 도 1 및 도 2에 잘 나타나 있다.

도 1은 대단히 큰 입자와 대단히 작은 입자에서 효율의 양호도가 잘 나타나 있다.

또한 입자의 크기에 따라서 가장 포집이 어려운 크기의 입자가 무엇인지 알 수 있다.

그러므로 도 1에서 최대투과율을 식별할 수 있다.

도 2는 여과속도를 대단히 빠르게 할 경우와 대단히 느리게될 경우 포집효율의 높고 낮음의 정도를 알 수 있다.

통상 FILTER는 여과속도를 빠르게 하면 포집효율이 높아지는 것과 고성능 FI-

LTER는 여과속도를 느리게 하므로서 포집효율이 높아지는 것을 고려하여 설계가 이루어 지는 것을 알 수 있다.

도 3은 각종 FILTER의 입경과 포집효율의 관계를 표시하고 있다.

중성능, HEPA FILTER, ULPA FILTER는 최대투과율경이 $0.1 \mu\text{m}$ - $0.2 \mu\text{m}$ 의 범위에 있는 것을 알 수 있다.

3. HEPA FILTER 와 ULPA FILTER

3-1. 용 도

대단히 높은 포집성능을 갖고있는 HEPA FILTER 및 ULPA FILTER는 전자공업, 정밀기계공업, 우주공업, 신소재, 의약품, BIO-TECHNOLOGY, 원자력산업등 여러분야에 사용되고 있다.

표 3은 HEPA, ULPA FILTER의 주용도를 나타내고 있다.

현재 최고청정도를 필요로 하는 산업은 반도체 산업이다.

ULPA FILTER는 주로 반도체산업에 사용되어집니다.

3-2. 구 조

HEPA, ULPA FILTER는 그의 중요성 관계로 PRE FILTER와 중성능 FILTER와 비교해서 구조적으로 강도가 높은 재료를 사용한다.

이 구조를 도 4, 도 5와 같이 나타낸다.

표 2. Air Filter에 의한 입자포집기구

관성효과 INERTIA

공기의 흐름을 타고 섬유에 접근한 입자는 자신의 관성에 의해 기류로부터 벗어나 FILTER의 섬유에 충돌되어 포집됩니다. 입경·여과속도가 클때 이 효과는 나타납니다.

확산효과 BROWNIAN DIFFUSION

작은 입자는 공기의 흐름과 관계없이 BROWN 운동을 하고 있습니다. 따라서 기류를 타고 여지사이를 통과하는 큰입자까지도 여지사이에서의 이동거리가 길고 방향성이 없기 때문에 섬유에 걸려 포집됩니다. 입경·여과속도가 작을 때 효과가 큼니다.

차단효과 INTERCEPTION

입자가 공기의 흐름을 타고 운동을 하고 있어도 입자에는 크기가 있기 때문에 FILTER의 섬유에 부딪혀 포집됩니다.

입경과 섬유경의 차가 클때 이 효과는 나타납니다.

중력효과 GRAVITATIONAL SETTLING

공기의 흐름을 타고 섬유에 접근한 입자가 자신의 중력때문에 공기로부터 벗어나 FILTER의 섬유상에 침강되어 포집됩니다.

입경이 크고 여과속도가 작을 때 이 효과는 나타납니다.

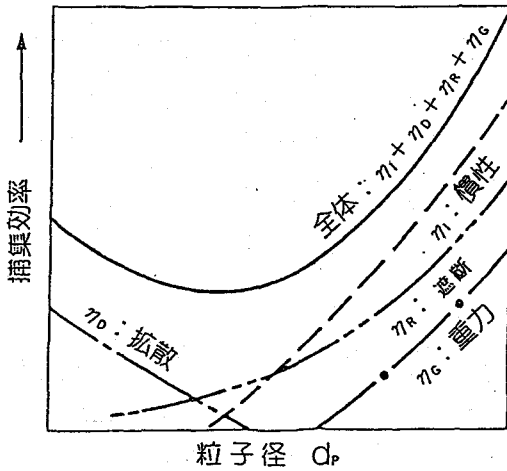
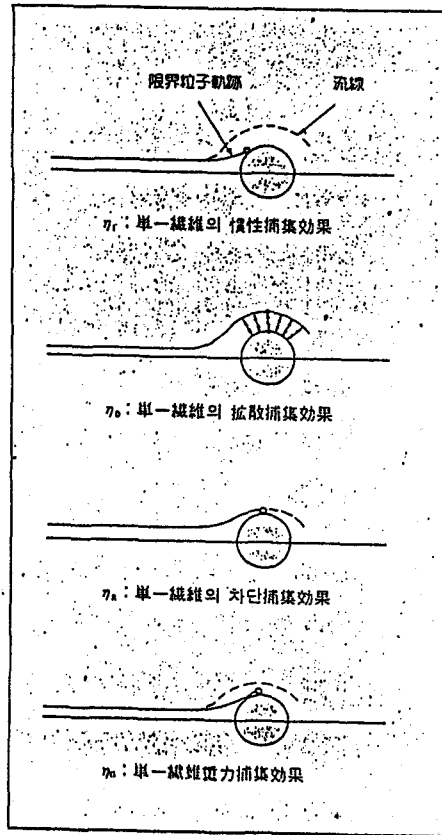


그림 1. 입자경과 포집효율의 관계

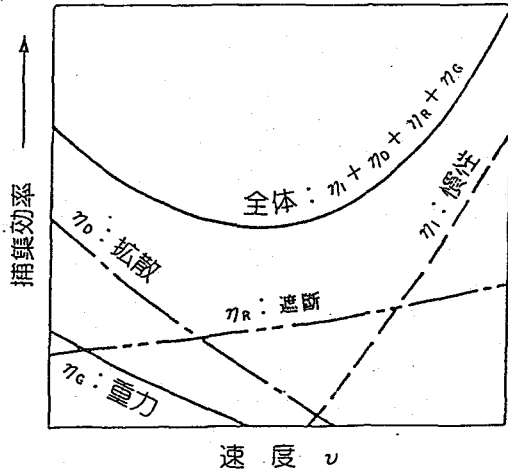
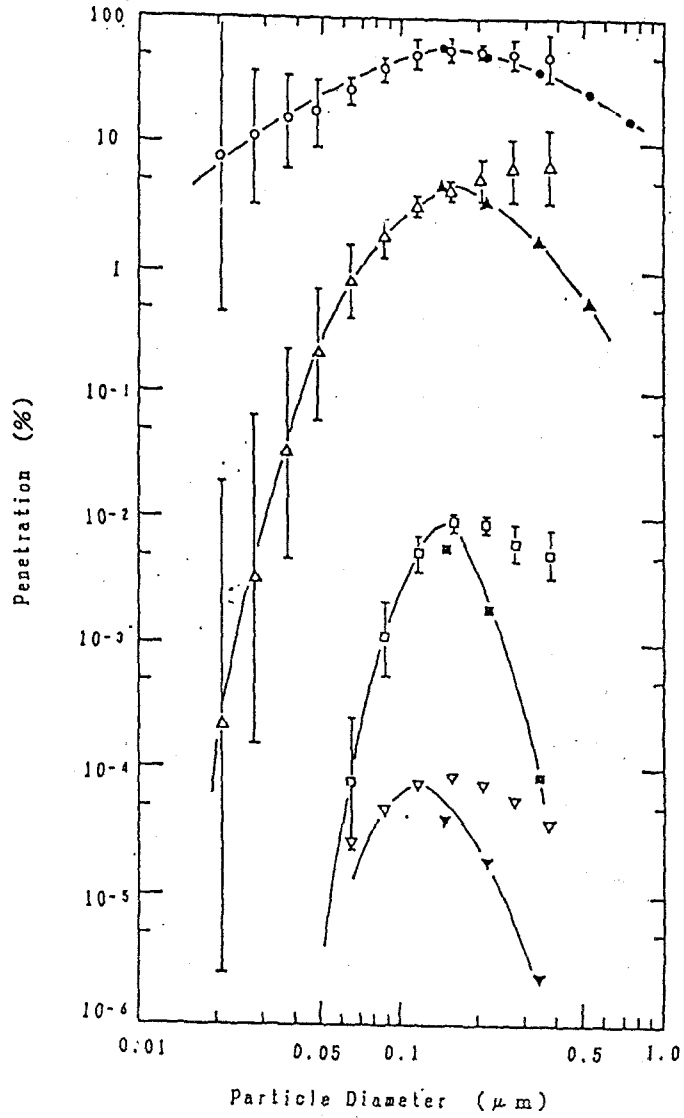


그림 2. 여과속도와 포집효율의 관계



KEY Table

FILTER	Analyzer	
	CNC+DB	LAS-226
CP-9	○	⊙
Microtain	△	▲
Absolute	□	■
Absolute Second	▽	▼

그림 3. FILTER의 입경별 포집효율

표 3. HEPA, ULPA FILTER의 용도

(입경 0.5 μ m 이하)

산업분류	용도	CLASS				
		10	100	1000	10,000	100000
반 도 체 공 업	결정 정제					
	확산					
	에칭 공정					
	위치합 공정					
	표면 처리					
	금속 증착					
	조립, 시험					
	원료					
	연마					
	포장					
	반제품 보관					
LASER 공 업	가스 - LASER					
	고체 - LASER					
	반도체 - LASER					
	LASER-MASS					
광 학 기 구	Lens 연마 공정					
	목적조각					
	의학용 Camera 가공, 조립					
	Lens 조합공정					
	필름 제조, 건조					
	Micro 필름, 현상, 건조					
	조립					
	도장					
시 계 정 밀 기 계	시험, 검사					
	전자시계, 부품조립					
	로켓용 부품가공, 조립					
	인공위성 제어장치					
	고신뢰도부품, 장치					
	Miniature-Bearing					
전 자 계 산 기	보통 Bearing					
	조립, 검사					
	자기 Drum					
전 자 기 기	자기 Tape					
	가공, 조립, 시험, 검사					
전 자 계 측 기	Brown 판					
	고신뢰판					
	프린트판					
	소형릴					
전 자 계 측 기	정밀전기계기					
	부품, 가공, 조립, 검사					

* 우주공학, 신소, 신재료에는 ICR이 필요함.

산업분야	청 정 도 용 도	CLASS			
		100	1,000	10,000	100,000
약 품 의 학 병 원	제조공정				
	주사액 봉입				
	혈액, 링겔액, 약진보관				
	무균수술실				
	일반수술실				
	회복실, ICU,CCU				
	무균병실				
	신생아, 미숙아실				
	무균실				
	수술용 기구보관				
	무균동물실험				
	세균실험				
	약제실				
	일반병실				
	진료실				
식 품 양 조	우유, 주, 유산균음료				
	청량음료수의 병마개, 병마개 닫는 공정				
	우유제품, 생과자포장공정				
	슬라이스 제조				
	목류관련식종				
	식육가공				

* Bio-technology, Medical engineering 에는 BCR이 필요함.

HEPA, ULPA FILTER 는 FILTER UNIT내에 넓은 면적의 여재를 절곡하여 삽입하고 여지통과속도를 늦게 하므로서 저압력손실화, 고폐집효율화, 장수

명화를 이룩하고 있다.

도 4에 나타난 SEPARATOR TYPE의 FILTER는 광범하게 보급되어 있다.

FILTER의 강도가 높고 FILTER 하류

측의 풍속분포가 균일한 것이 특징으로 되어있다.

한편 도 5에 나타낸 MINI-PLEAT TYPE FILTER는 여지의 공간을 지지하는 수지 또는 실(糸)로서 SPACING을 유지시키므로써 SEPARATOR를 사용하지않는 TYPE이다.

그러므로 경량화가 가능하다.

여지를 절곡하여 접어넣는 수를 증가시키는 것이 가능하기 때문에 FILTER의 박형화가 가능한 이점이 있다.

CLEAN BENCH, CLEAN BOOTH 등에 사용이 가능하다.

내압강도, 풍속분포의 균일성은 SEPARATOR TYPE의 FILTER와 비교시 열세이다.

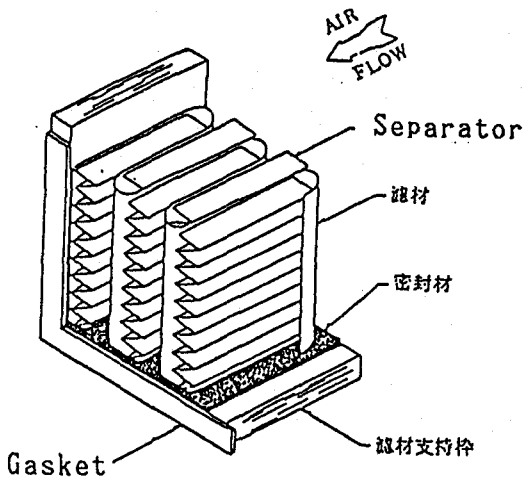


그림 4. SEPARATOR 방식 FILTER

3-3. 설계상의 상위

HEPA, ULPA FILTER는 설계상의 기본적 부분에 있어서 다른점은 PLEAT수가 다르다.

다시 말해서 여재면적이 상위하다.

ULPA FILTER 용 여지는 HEPA FILTER용 여지보다도 미세한 GLASS FIBER를 많이 사용한다.

이것은 포집효율이 높은 반면 압력손실도 높다.

여지사용에 있어서 HEPA FILTER와 동일한 압력손실의 ULPA FILTER를 만들기 위해서는 절곡된 여지의 면적은 HEPA FILTER의 약 1.4배 정도가 된다.

다른점에 있어서는 크게 상위점은 없다.

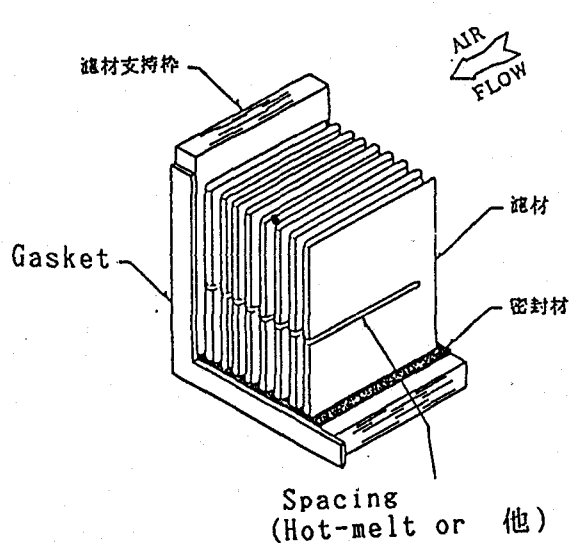


그림 5. MINI-PLEAT 방식 FILTER

3-4. 포집 효율 시험의 상위

3-4-1. HEPA FILTER의 포집 효율 시험 방법

HEPA FILTER의 포집 효율 시험 방법은 도 6에 표시된 Q-107형 시험장치로 시행한다.

이 장치는 MIL-STD-282에 정해진 측정기로 입경이 $0.3\mu\text{m}$ 의 거의 균일한 DOP의 AEROSOL (煙霧質)을 발생시켜 FILTER 통과 전후의 AEROSOL 농도를 PHOTOMETER 측정한다.

3-4-2. ULPA FILTER의 포집 효율 측정 방법

HEPA FILTER의 포집 효율 측정 방법은 규격제정 당시에는 HEPA FILTER의 최대 투과율경이 $0.3\mu\text{m}$ 부근에 있음을 알게

되어 $0.3\mu\text{m}$ 의 입자를 사용하여 포집 효율을 측정하게 되었다.

그러나, 측정기의 진보에 따라서 전술한 사양의 FILTER의 최대 투과율경은 $0.1-0.2\mu\text{m}$ 부근에 있음을 알게 되었다.

ULPA FILTER는 최대 투과율경 부근 ($0.1-0.2\mu\text{m}$)에서 포집 성능을 측정할 수 있게 되었다.

ULPA FILTER의 포집 효율 측정 방법은 현재 통일된 방법이 없고 FILTER MAKE 별로 각각 다른 방법으로 독자적으로 시행하고 있다.

도 7은 당사의 포집 효율 측정 장치를 나타내고 있다.

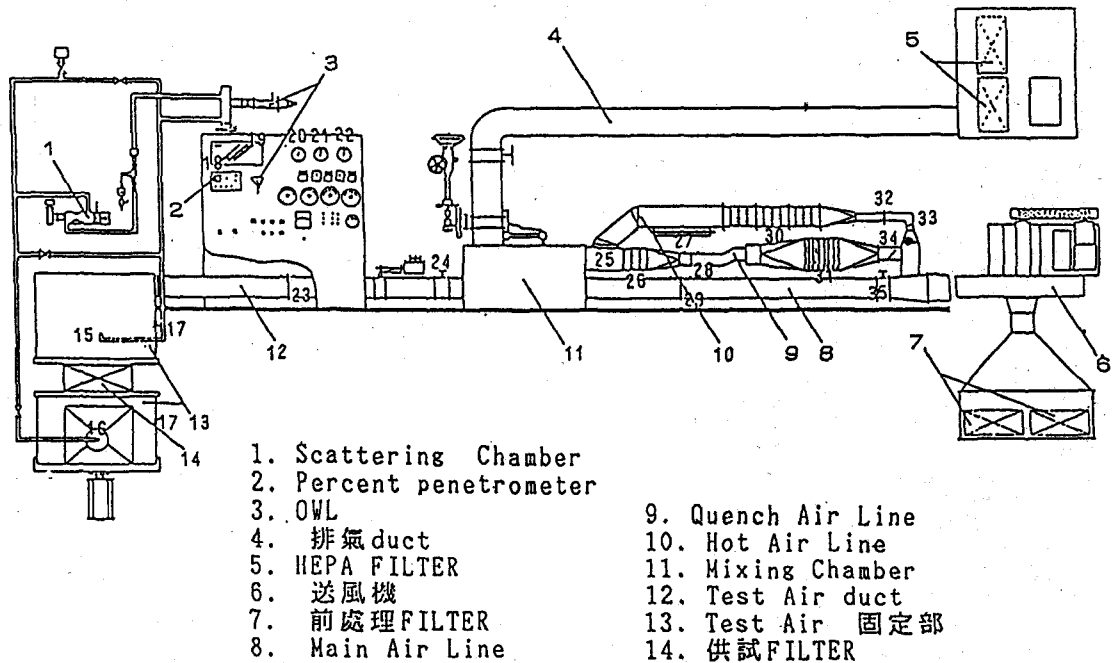


그림 6. Q - 107형 시험장치

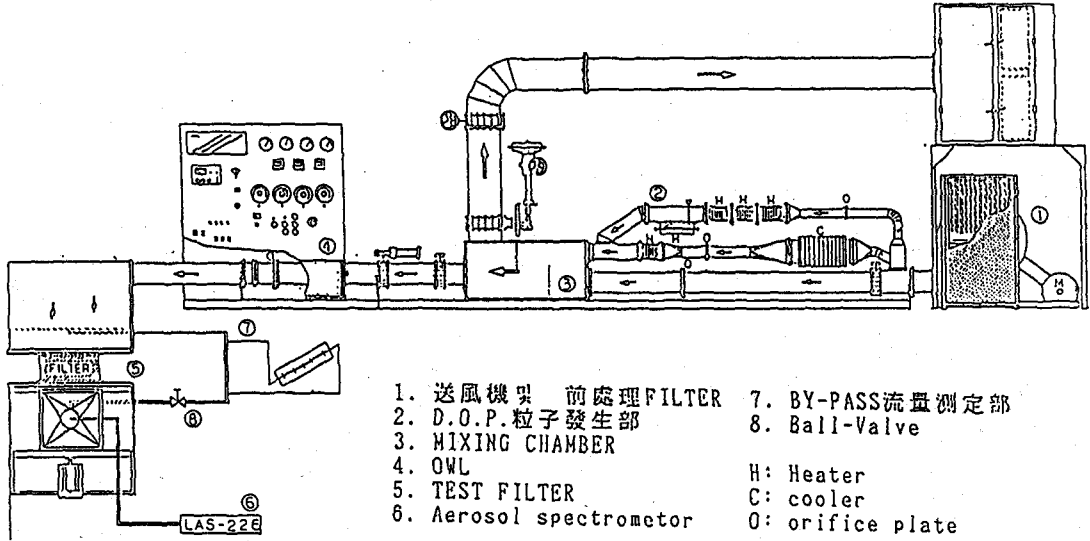


그림 7. ULPA FILTER 성능시험장치

이 장치는 Q-107형 시험장치로서 시험 FILTER의 상류와 하류 사이에 BY-PASS 관로를 설치하여 FILTER의 최하류에 LASER PARTICLE COUNTER로 입경별 입자농도를 측정하는 사양으로 되어 있다.

이 장치로 BY-PASS 관로를 CLOSE 한 상태의 하류측 입자농도를 C1, BY-PASS 관로를 OPEN 시킨 상태의 상류측 입자농도를 C2, BY-PASS 관로유량을 q, 시험유량을 Q로 하면 FILTER의 포집효율 Eff.는 다음식이 된다.

$$Eff. (%) = (1 - C1/C2) \times 100$$

$$= [(C2 - C1)Q / ((C2 - C1)Q + C1q)] \times 100$$

이 방법에 의거 FILTER의 입경별 포집효율 측정이 가능하게 되었다.

3-4-3. SCAN TEST

통상 CLEAN ROOM, CLEAN BENCH 등에 사용되는 HEPA, ULPA FILTER는 FILTER에 미소한 누설이 있는가 확인하기 위하여 포집효율측정과 별도로 시행하고 있다.

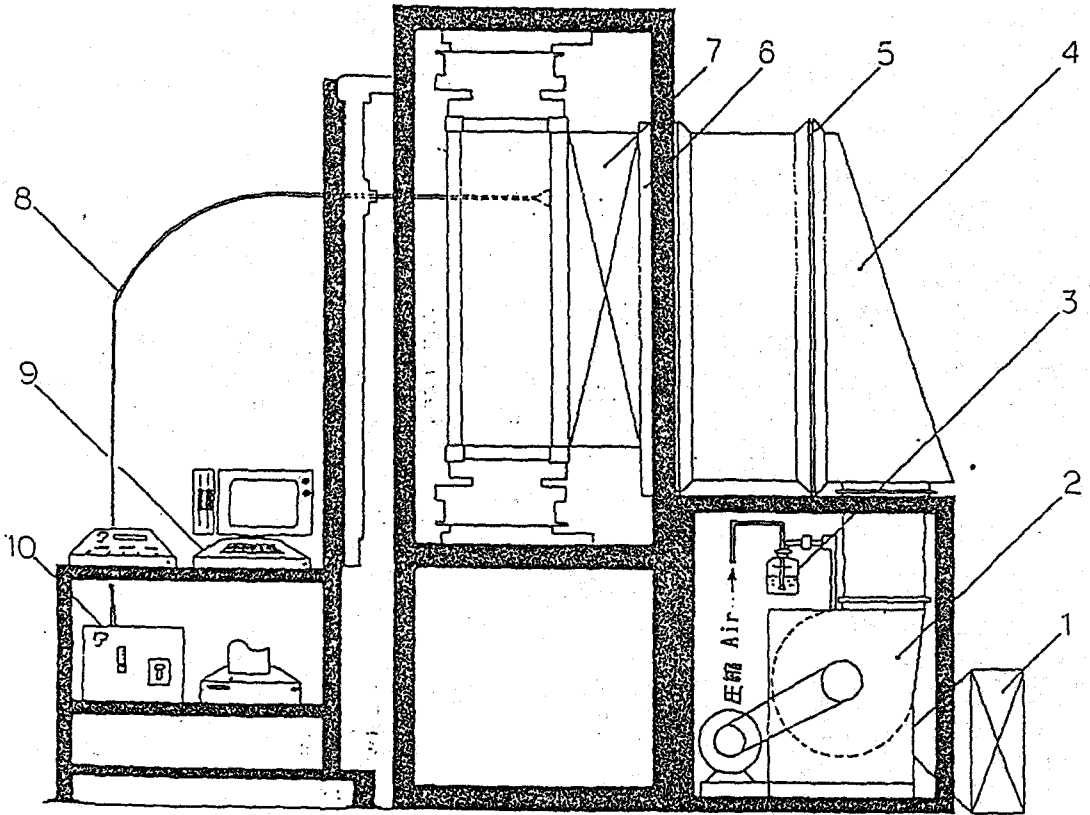
SCAN TEST는 도8에 나타난 장치로 시행하고 있다.

FILTER전면을 PARTICLE COUNTER로 주사한다.

HEPA FILTER와 ULPA FILTER에 는 이 시험의 기준이 서로 다르다.

(표 4 참조)

ULPA FILTER의 방법은 HEPA FILTER보다 100배 엄격한 시험을 하고 있다.



- | | | |
|----|--------------------|----------------|
| 1. | PRE FILTER | |
| 2. | 送風機 | |
| 3. | 라스킨 NOZZLE型 DOP發生部 | |
| 4. | CHAMBER | |
| 5. | 整流板 | 8. Sample Tube |
| 6. | PANEL | 9. Computer |
| 7. | 供試 FILTER | 10. 微粒子計測機 |

그림 8. SCAN TEST 장치

표 4. SCAN TEST 시험조건

FILTER 조건	HEPA SILVER SEAL	ULPA ABSOLUTE SECOND
주 사 속 도	50 mm / sec	
주사PITCH	50 mm	
통 풍 속 도	0.4 m / S	
측정입자경	0.5 μm 이상	0.3 μm 이상
상 류 농 도	1×10 ⁷ 개 / FT ³	1×10 ⁹ 개 / FT ³
재 측정 조건	3 개 / sec 이상	
재 측정 시간	10 sec	
합 격 기 준	재 측정하여 165 개 / 10 sec 이하 (1000 개 / FT ³ 이하)	

4. HEPA FILTER와 ULPA FILTER의 성능비교

4-1. 초기압력손실특성

HEPA, ULPA FILTER의 초기압력손실은 정격유량시에 (DEPTH 150 mm의 F-FILTER면속 약 0.84 m / sec) 25.4 mm Aq 이하로 동일하다.

도 9 , 도 10 은 HEPA, ULPA FILTER의 압력손실특성 실측예를 나타내고 있다.

HEPA, ULPA FILTER의 유량과 압력손실의 관계는 거의 정비례하는 것을 알 수 있다.

4-2. 포집효율

HEPA, ULPA FILTER는 포집효율에 있어서 상호 구별된다.

통상 HEPA FILTER는 정격유량으로 0.3 μm DOP 입자로서 99.97% 이상의 포집효율을 갖는다.

「통상 ULPA FILTER는 0.1 μm 이상의 전입자경에 있어서 99.999 %이상의 포집효율을 갖는 FILTER로 정의한다.」

「HEPA FILTER와 ULPA FILTER는 입경의 입자 고려하여 10 배이상의 차이가 있다.」

도 11에서 실측의 예를 나타내고 있다.

도 12, 13은 유량을 변화시킬 경우의 HEPA, ULPA FILTER의 포집성능의 변화를 나타내고 있다.

HEPA, ULPA FILTER 공히 포집효율 경향은 동일하다.

정격유량에 대한 유량비(%)

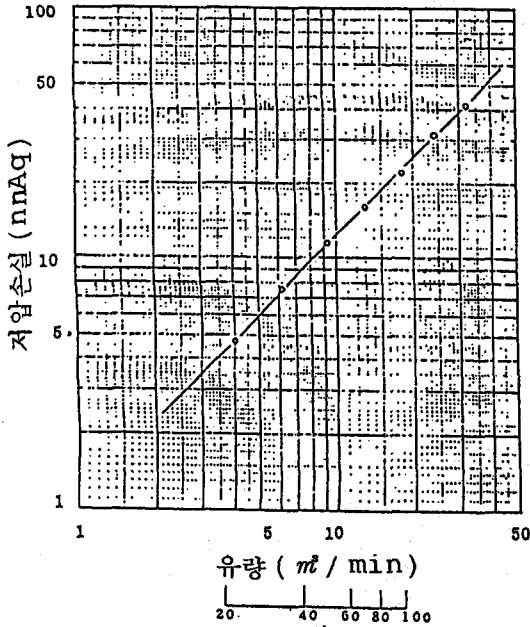


그림 9. 1 D - 600S 유량 - 압력손실특성
정격유량 : 18 m³/min
Serial No.91282002

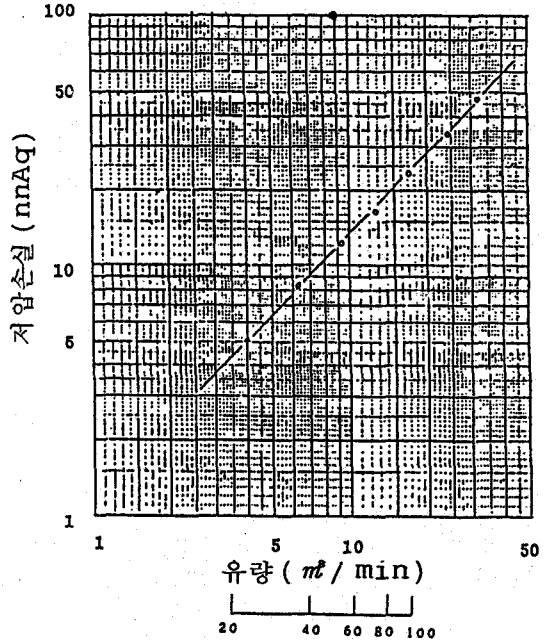


그림 10. 2 D - 600 유량 - 압력손실특성
정격유량 : 17 m³/min
Serial No.21772007

유량을 저하시키면 전입경에 있어서 포집효율은 향상된다.

유량저하에 따라 포집효율 상승을 분석하면 입자경이 작을수록 현저히 양호함을 알 수 있다.

HEPA, ULPA FILTER 는 저유속으로 분진을 여과함에 있어서 확산효과의 영향으로 포집이 잘 이루어 진다.

설계상에 있어서는 미소입자가 더 효과적임을 알 수 있다.

그러나, 유량저하의 영향이 너무 크면 효과가 나빠진다.

도 14, 15에서 살펴보면 유량의 저하에 의거 전입자경에 있어서 포집효율이 상승됨을 알 수 있다.

최대투과율경이 점점 대입자측으로 갈때에 포집효율이 상승됨을 알 수 있다.

확산효과가 포집에 있어서 지배적임을 알 수 있다.

이상의 사실에서 HEPA, ULPA FILTER 를 정격풍량이하로 유량을 사용하면 포집효율이 높아지고 압력손실을 저하시키는데 대단히 유효하다는 것을 알 수 있다.

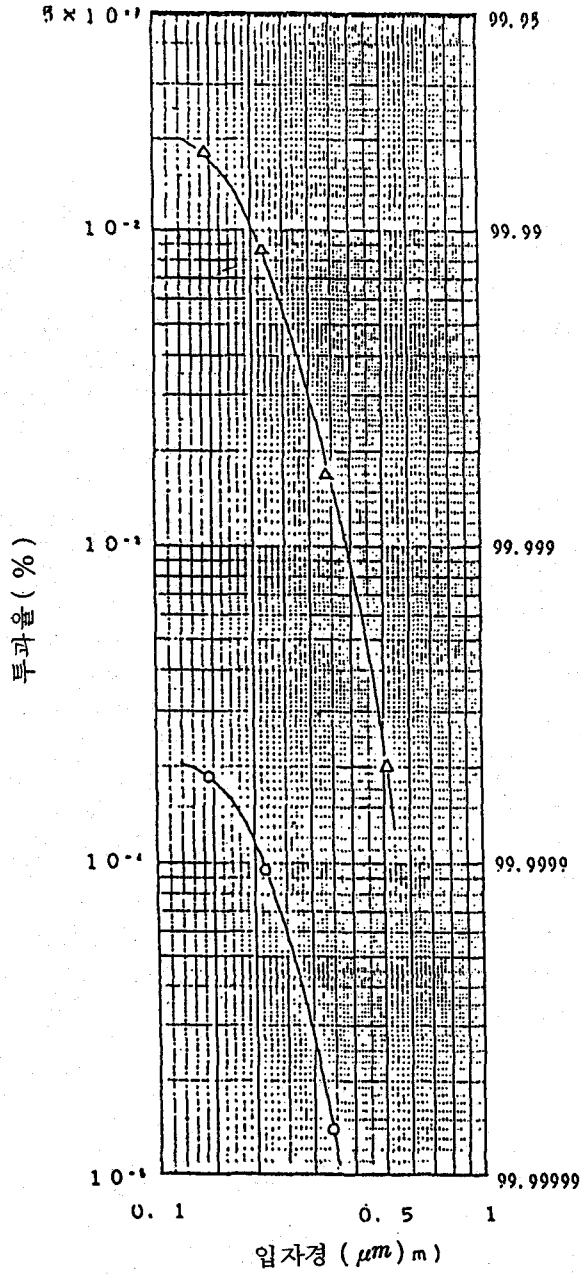


그림 11. HEPA, ULPA 포집성능

KEY	FILTER
○	ULPA
△	HEPA

測定器 : ROYCO LAS-226
 AEROSOL : D.O.P.
 FILTER定格流量時

점적유량에 대한 유량비(%) 정적유량에 대한 유량비(%)

Serial No 91282002
Aerosol Spectrometer : LAS- 226

Serial No 21772007
Aerosol Spectrometer : LAS- 226

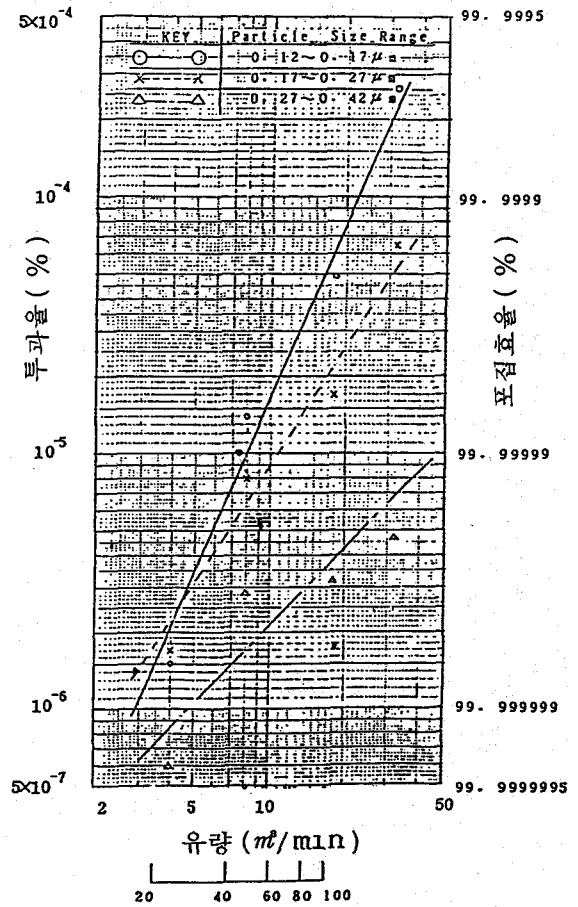
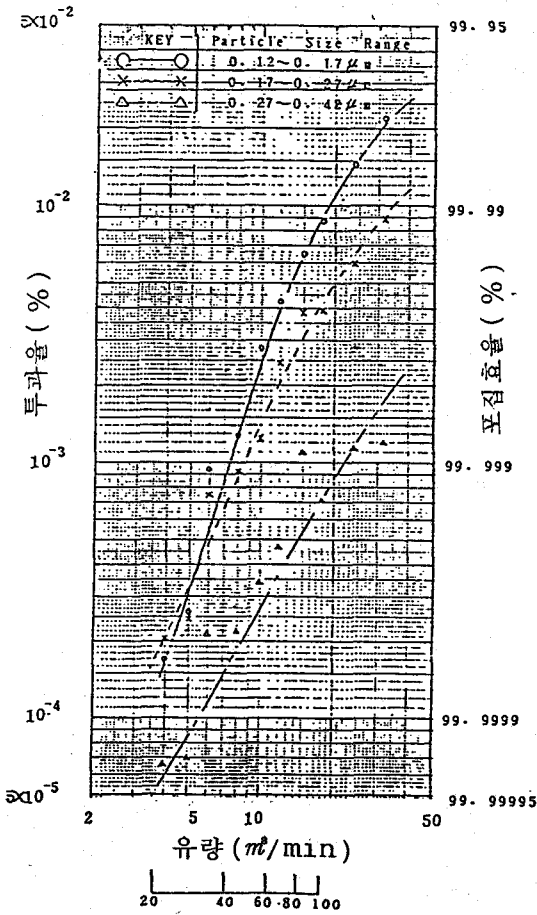
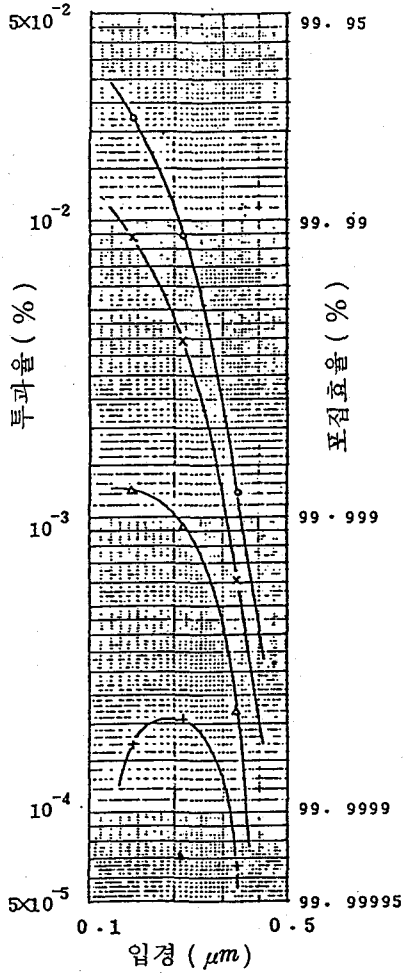


그림 12. 1D-600 유량과 포집성능의 관계

그림 13. 2D-600 유량과 포집성능의 관계

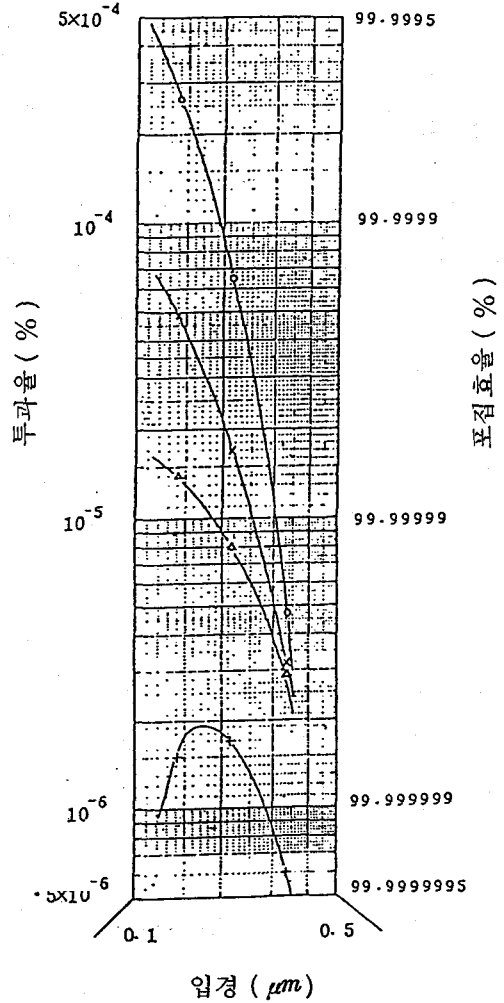
정격유량 : 18m³/min
Serial No. 91282002

정격유량 : 17m³/min
Serial No. 21772007



KEY	유량 (m ³ /min)
○	32
×	18
△	8
+	4

그림 14. 1D-600S 유량변화에 따른 입경 별 포집성능의 변화



KEY	유량 (m ³ /min)
○	32
×	18
△	8
+	4

그림 15. 2D-600 유량변화에 따른 입경 별 포집성능의 변화

5. HEPA, ULPA FILTER 에 의한 대기진의 여과

여기서는 실제 CLEAN-ROOM 에 HEPA, ULPA FILTER를 사용할 경우 입자경의 정도에 따른 CLEAN ROOM의 청정도의 차가 어떻게 되는가 검토하고자 한다.

5-1. 대기진의 일반적입경분포

도 16에는 DB(Diffusion Battery) 와 CNC(Condensation Nucleus Counter)를 사용하여 측정된 최근에 있어서의 대기진의 입경분포를 잘 나타내고 있다.

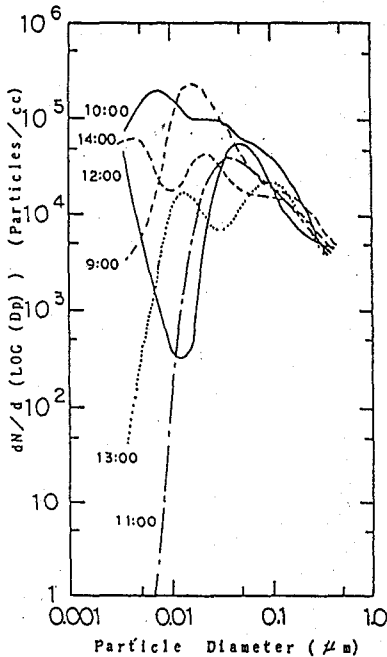


그림 16. 대기진입경분포의 시간변화

0.1 μm이하의 입자개수농도가 0.1 μm 이상의 입자에 비해 꽤 높다는 것을 알 수 있다.

0.1 μm 이하의 입자는 시간변화에 따라 크게 변동됨을 나타내고 있다.

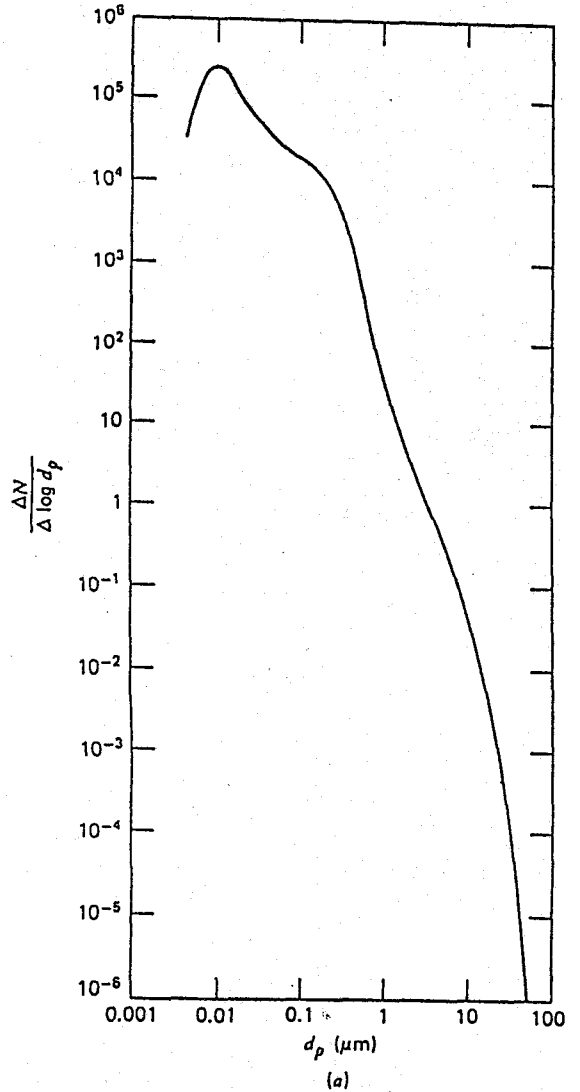


그림 17. Average size distribution of Los Angeles aerosol in 1969.

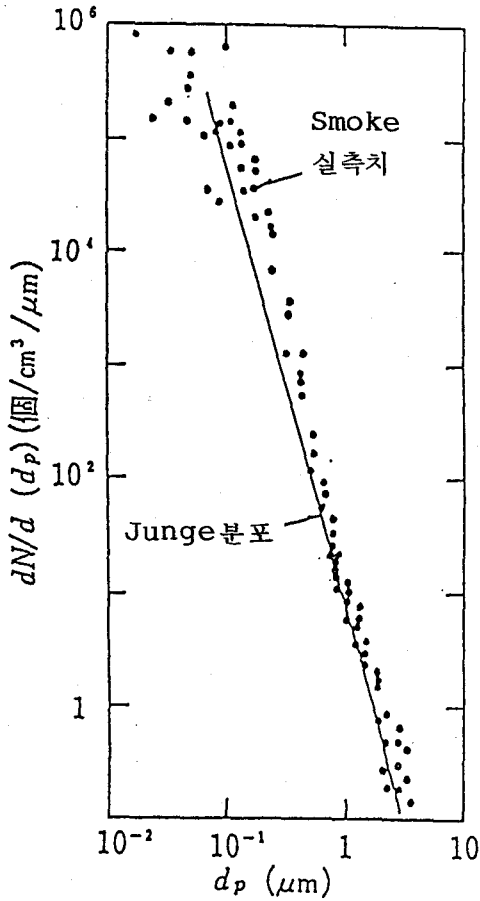


그림 18. 대기 Aerosol 입자의 입경분포

0.1 μm 이상의 입자는 비교적 안정되어 있음을 알 수 있다.

도 17은 LOS ANGELES 의 1969년에 있어서 대기진의 평균분포를 나타내고 도 18은 SMOG의 입경분포를 나타내고 있다.

어떤 경우에 있어서도 0.1 μm 이하의 입자의 개수가 대단히 많다는 것을 알 수 있다.

5-2. FILTER 하류측에 있어서의 입경분포

도 19 및 도 20은 각각 준 HEPA FILTER (MICRETAIN, DOP 포집효율 95%)와 HEPA FILTER의 통과전후의 대기진의 입경분포를 나타내고 있다.

FILTER 통과전에는 0.1 μm 이하의 미소립자가 대단히 많음을 알 수 있다.

FILTER 통과후에는 0.1 μm 입자부근에 거의 집중되어 있는 것을 알 수 있다.

이것은 FILTER의 최대투과율경이 0.1 μm -0.2 μm 임을 알 수 있다.

5-3. FILTER의 상류농도와 하류농도와 관계

이론상으로는 AIR FILTER의 포집효율은 FILTER의 상류의 입자농도를 일정하게 하고 FILTER의 하류측에 있어서의 청정도는 FILTER의 포집효율을 알 수가 있다면 계산에 의거 구할 수도 있다.

그렇지만, 실제에는 0.1 μm 이상의 입자가 10 개/ft³ 이하의 청정도가 되면 현상의 입자측정기로서는 SAMPLING 공기량이 적어지면 오차가 크게 되고 실제의 측정으로 청정도를 결정하는 것은 대단히 어렵게 된다.

도 21 및 도 22에 HEPA, ULPA FILTER의 상류농도와 하류농도관계를 나타내고 있다.

도 21은 상류농도가 10⁵ 개 / ft³ 이하에는 HEPA FILTER와 ULPA FIL-

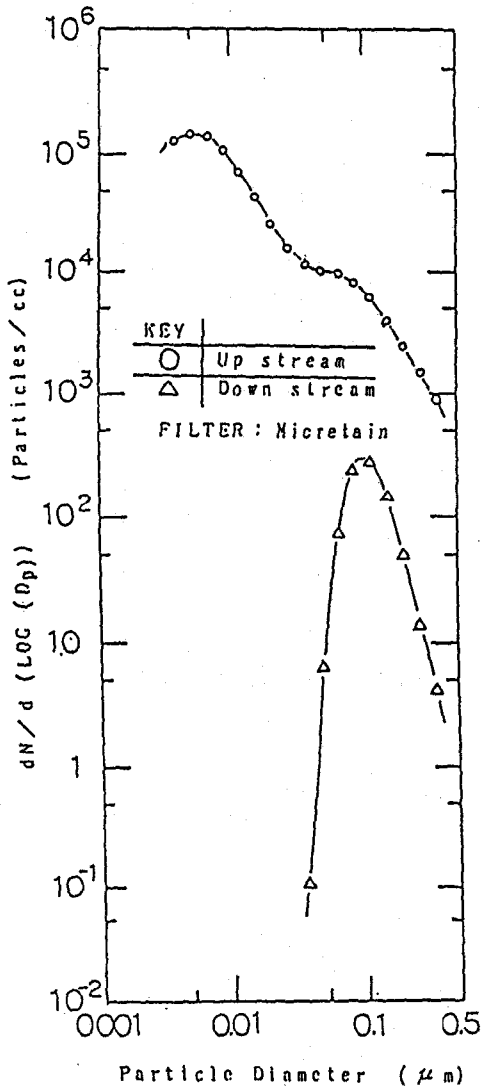


그림 19. Filter 통과전후의 대기진 입경분포

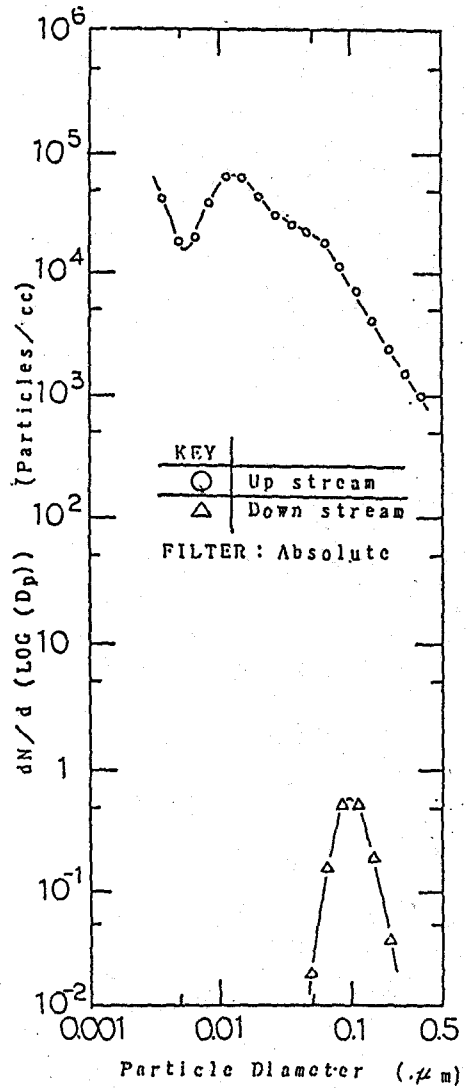


그림 20. Filter 통과전후의 대기진 입경분포
측정기 : CNC + DB
유 량 : $32 m^3/min$

TER에 차이가 없는것 같이 보여진다.

그러나, 측정기의 SAMPLING 공기량을 많이하여 측정기를 사용하면 도 22와 같이 상류농도가 10^5 개 / ft^3 이하의 농도에 HEPA 및 ULPA의 하류의 청정도가 분명히 차이가 있는 것을 알 수 있다.

도 22는 FILTER의 상류농도가 10^5 / ft^3 이하의 상태에 있으면 HEPA FILTER를 사용하여도 토출풍량을 0.5m/sec 정도로 낮추면 0.1 μm 이상의 입자가 1개 / ft^3 이하의 초청정공간을 만들 수 있다는 것이 중요한 초점이 된다.

6. 맺음말

최근에는 ULPA FILTER 중에도 특히

포집효율이 높은 초ULPA FILTER라고 부르는 FILTER가 제품화되어 판매되고 있다.

이런 종류의 FILTER를 사용하면 FILTER의 토출면에 있어서 청정도를 향상시키는 것이 가능하다.

이러한 청정도는 필요하지만 LSI의 LOSS 감소와 기계의 신뢰성 향상에 직접 기여한다고 생각하지 않는다.

CLEAN ROOM내 모든 공정에서 사용하는 HEPA, ULPA FILTER는 그 공정에서 꼭 FILTER가 필요하여 FILTER를 사용하는 것이 아니라 CLEAN ROOM전체의 청정도 관리상 FILTER가 사용되어진다.

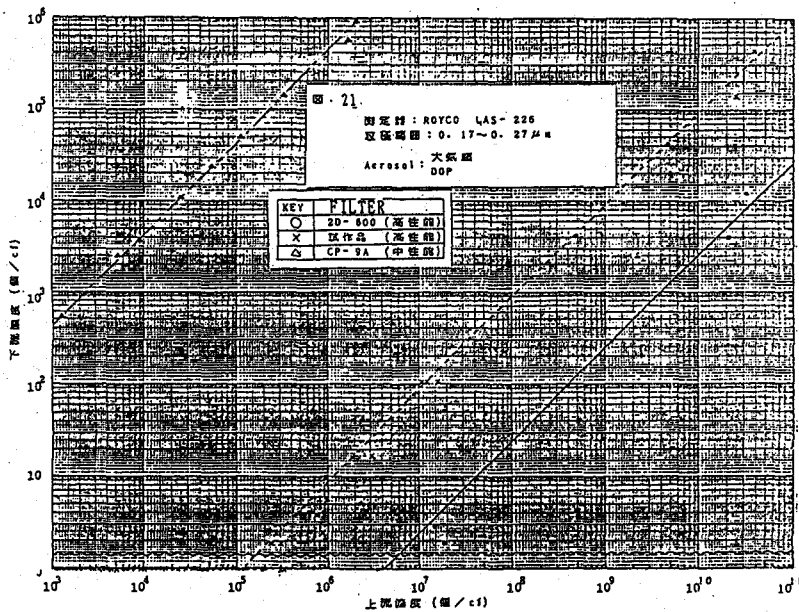


그림 21. Filter 상류농도와 하류농도의 관계

Key	FILTER
○—○	HEPA
●—●	ULPA

○—○ ; 上流濃度の 變動幅을 表示

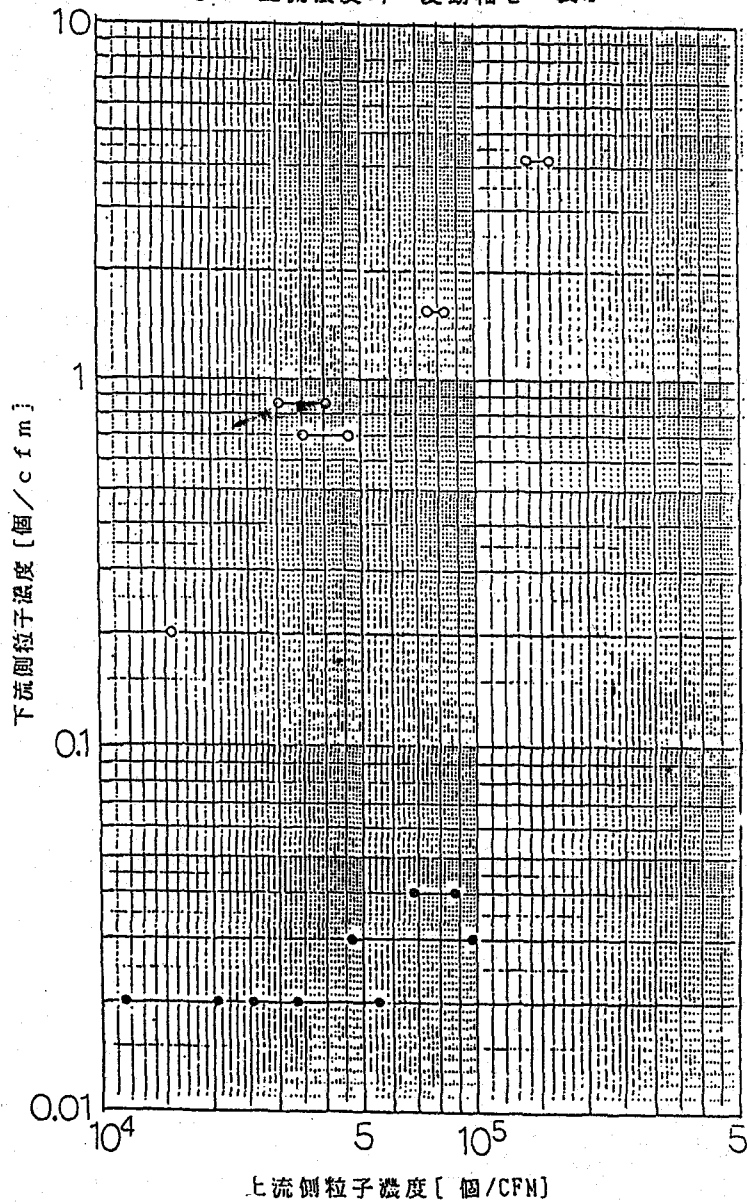


그림 22. HEPA, ULPA FILTER의 상류 농도와 하류농도의 관계

對象粒子徑 : 0.1 - 0.2 μ m 試驗風速 : 0.5 M/Sec
 Sample 流量 : 1 ft³/min (28.3 L/min)