Air Filter 여지의 성능에 관한 기술

자 료 제 공
한국캠브리지필터(주)

1. 서 론

여지는 Air Filter 핵심재료로서 여지의 규격은 MIL-F-51079C에 규정되어 있다. 이 규격에는 여지의 성능, 강도면 등에 대하여 규정하고 있다.

그러나 이 규격은 여지의 재질에 대하여는 특별히 언급된바 없다. 특별히 고성능 내연성 여지에 대하여 규정하고 있다.

성능면이나 가연물량을 고려하면 고성능 내연성 여지는 Air Filter에 사용되는 여지인 Glass Fiber는 방사선을 차단하는 효과를 고려하여 Glass Fiber소재에 아연, 옥소등이 함유되어 있다.

또한 HEPA 이상의 Grade에 사용되는 여지는 매우 포집효율이 높고, 강도가 강하다는 것이 실험에 의하여 입증되어져야 한다.

여지의 변천과정은 1814년 경에는 천을 사용하였으며 1825년 경에는 양모를 사용하였으며 1871년 경에는 마층을 사용하였으며 1915년 경에는 수지를 이용한 섬유(정전기 효과 이용)를 사용하였으며 1939년 경에는 아스베스트와 양모 pad를 사용하였으며 1951년 경에는 셀루로즈와 아스베스트 여지를 사용하였으며 1960년 부터 MIL-STD-282의 제정과 아울러 Glass Fiber여지가 사용되어 HEPA, ULPA등 초고성능 Air Filter생산이 가능하게 되었다.

본 연구는 최신 여지의 각종 성능 및 Filter와의 관계, 여지의 선택등에 대한 기술을 연구하여 향후 우리나라의 Air Filter 생산기술 향상에 다소나마 기여하고자 한다.

2. 여지의 종류

2-1. 재질에 따른 종류

여지는 재질에 따라서 여러가지 종류로 분류되고 있다.

여지의 천연소재로는 무명린터(Cotton Linter)이며, 특별한 목적을 위하여 천연 광섬유인 석면이 사용되고 있고, 인공적인 필터 여지로서 레이온(Rayon), 폴리아미드(Polyamide, trevira), 나일론(Nylon), 펄론(Perlon), 폴리에스테르(Polyester Teryrylene, Trevira), 폴리 염화비닐(Polyvinylchloride), 폴리비닐중합체(Polyvinylcopolymer)등도 많이 사용되어지고 있다.

고성능 필터를 위한 여지로서는 유리섬유

(Glass Fiber)가 주로 사용되어 지고 있다.

유리섬유는 직경이 서브미크론에서 수미크론에 걸쳐 있으며 내열성이 좋아서 500℃까지의 온도에서도 견딜 수 있으나, 200℃ 이상에서는 사용 접착제(Binder)의 연소나 약화로 그 강도가 현격히 저하된다.

필터여지의 성능을 향상시키기 위한 연구로서 산성가스에 대한 고성능필터여지의 성능을 향상시키기 위한 연구로서 산성가스에 대한 고성능 필터여지의 강도가 중요시되고 있는데, 유리섬유에 석면을 혼용하여 열에 대한 강도를 증가시킬수 있으나 이 석면은 인체에 해롭다는 보고가 있어 사용을 꺼리고 있는 실정이다.

석면 대신 NOMEX, KEVELAR와 같은 물질을 일정비율 혼합하여 실험한 결과 200ppm HNO3,2ppm HF의 산에 대해서 석면이 혼용된 여지는 100% 유리섬유 여지보다 훨씬 양호하며, 1100ppm HNO3,5ppm HF의 산에 대하여 15% KEVLAR, 5%, NOMEX보다 양호함을 알 수 있다.

또한 최근에는 정전 여지 : Electret·membrane(dielectric synthtic polymer), Gore-tex·membrane(특수제법 Glass 섬유 및 막) PTFE 테프론여지, Quartz·Fiber 여지, Melt Blown Polypropylene Laminate여지, Boronfree 여지등이 개발되어 여러가지 용도로 사용되어지고 있다.

2-2. 여지의 포집효율은 Grode 용도에 따른 분류

여지의 포집효율 및 용도에 따라 분류하면 표 1과 같다.

표 1. 여지의 포집효율의 Grade 및 용도에 따른 분류.

NO	포집효율의 Grade	여지의 종류	용 도	비 고
1	중성능 이하의 포집효율 (NBS 90%이하)	(1) 화학섬유부직포 여지	(1) Pre Filter의 여지 (2) 중성능 Filter의 여지	* 정전 여지 Electret membrane포함
		(2) Non. Woven Glass. Fiber여지	(1) 중성능 Filter의 여지 (2) Roll Filter의 여지	
		(3) Micro Glass Fiber 여지	(1) 중성능 Panel형 Filter의 여지 (2) 중성능 염해방지용 filter의 여지	해염입자제거
		(4) Non woven micro Back Laminate glass fiber 여지	(1) Bag-Type형 Filter의 여지 (2) Aeropleated형 Filter의 여지	

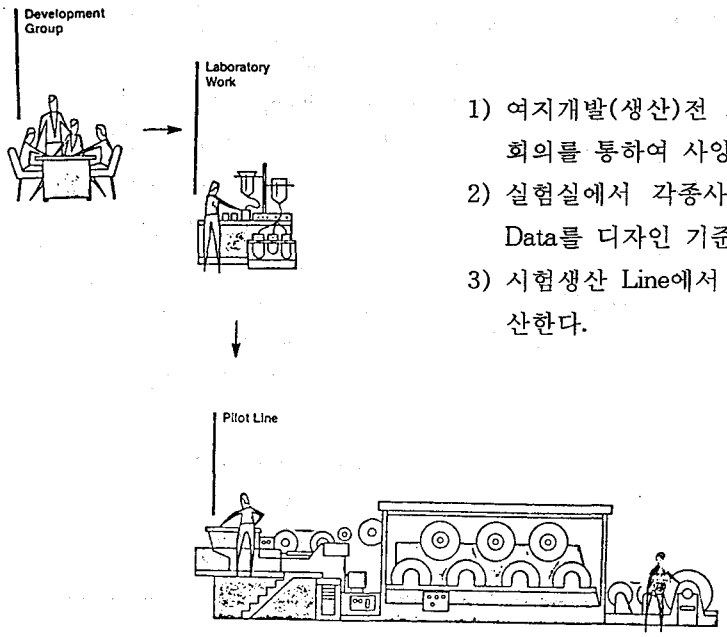
2	HEPA이상의 포집 효율(0.3 μm, 99.97%)	(1) Borosilicate Glass microfiber + Acrylic Resin binder 여지	(1) 준 HEPA Filter의 여지 (2) HEPA Filter의 여지 (3) 여러가지 유형의 HEPA Filter의 여지	붕규산 유리
		(2) Borosilicate Glass microfiber Nomex, Kevlar+ Acrylic resin binder여지	(1) 내산성 HEPA Filter의 여지 (2) 내열성 HEPA 필터의 여지(250℃ 보증)	* HNO3 및 HF등의 분위기속에서 HEPA 필터의 수명연장 (표준 필터의 2~3배 이상)
		(3) Borosilicate Glass microfiber+laminated Special woven Glass여지	(1) 초고내열성 HEPA 필터여지	* 350℃ 보증
3	ULPA이상의 포집 효율 (0.12~0.17 μm, 99.999% 이상 Hot DOP test 0.05 μm, 99.999999% 이상 DB+CNC test, 0.03 μm, 99.9999999이상)	(1) Borosilicate Glass microfiber + acrylic resin binder여지	(1) New super UlPA Filter의 여지	
		(2) Gore-test mem-brane(특수제법 glass섬유 및 막여지)	(1) ULPA filter의 여지 (2) filter의 고온 사용시 (200℃ 이상) acrylic resin binder토출방지용 필터의 여지	
		(3) PTFE 테프론 여지	(1) 無 outgasing化의 New-super ULPA filter의 여지 (2) Boron free용 New-super ULPA filter의 여지.	

		(4) Quartz fiber여지	(1) 無 outgasing化의 New − super ULPA filter의 여지 (2) Boron free용 New−super ULPA filter의 여지	
		(5) Melt blown polypropylene laminate여지	(1) 내산성 ULPA필터의 여지	
		(6) Borosilicate glass microfiber+ synthetic polyester+acrylic resin binder여지	(1) 내산성 ULPA 필터의 여지	* HNO3 및 HF등의 분위기속에서 ULPA filter의 수명연장(표준 필터의 2~3배이상)

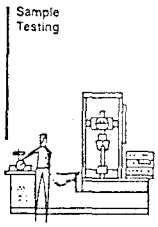
3. 여지의 성능

여지의 성능을 이해하고 적합한 여지를 선정하기 위해서는 먼저 여지의 생산 공정을 이해하여야 한다.

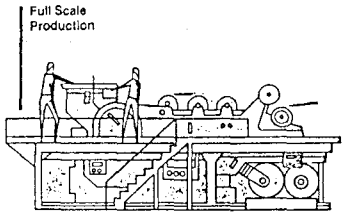
3−1. 여지의 생산공정 검토



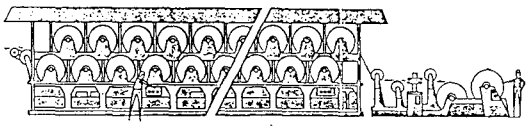
1) 여지개발(생산)전 개발부서에서 디자인 회의를 통하여 사양을 확정한다.
2) 실험실에서 각종사양을 시험하여 시험 Data를 디자인 기준으로 재확정한다.
3) 시험생산 Line에서 Sample량을 시험 생산한다.



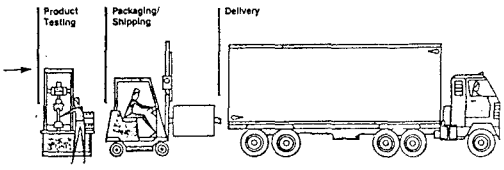
4) Sample 여지를 재시험 한다.



5) 재시험결과 합격되면 본생산을 한다.
6) 원료(Microfiber acrylic Resin Binder)를 원료통에 넣고 mixing 한다.
7) 원료를 그물망으로 떠서 상하롤러를 거쳐 이동시킨다.



8) 이동시키면 눌러서 수분을 제거시키면서 건조 시킨다.
9) 공정이동중 여지의 각종 성능을 감지하여 품질을 조정한다.(효율, 압력손실, 두께, 외관향상, 색깔등)



10) 생산된 여지의 최종 성능 시험을 한다.
11) 생산된 여지를 필요한 크기로(24인치, 30인치, 36인치 등) 재단한다.
12) 여지가 운반 및 적재도중 하중에 의하여 찌그러지지 않도록 중심에 Plastic core를 넣는다.
13) 여지는 개별로 비닐 및 Box포장하여 창고에 보관 및 출하한다.

또한 여지의 원료 성분 함유량은 표 2~4와 같다.

표 2. HEPA 여지의 원료 성분별 함유량 현황

ELEMENT	MIN. (%)	NOR. (%)	MAX. (%)	비고
• SiO2	64.75	65.5	66.25	
• A1203	2.7	3.1	3.5	
• Fe203	—	—	.07	
• B203	4.8	5.3	5.8	
• Na20	15.4	16.0	16.6	
• K20	.4	.7	1.0	
• Ca0	5.45	5.85	6.25	
• Mg0	—	—	—	
• Ba0	—	—	.01	
• F2	.75	.9	1.05	
TOTAL	94.25	97.35	100.53	

표 3. ULPA 여지의 원료 성분별 함유량 현황

ELEMENT	MIN. (%)	NOR. (%)	MAX. (%)	비고
• SiO2	57.25	58.0	58.75	
• A1203	5.4	5.8	6.2	
• Fe203	—	—	.05	
• B203	10.5	11.3	12.1	
• Na20	9.5	10.2	10.7	
• K20	3.0	3.3	3.6	
• Ca0	1.4	1.8	2.2	
• Mg0	—	.3	.5	
• Ba0	4.6	5.0	5.4	
• ZNo	3.6	4.0	4.4	
• F2	.45	.6	.75	
TOTAL	95.7	100.3	104.65	

표 4. ULPA 특수여지의 원료 성분 및 성분별 함유량 현황

ELEMENT	ULPA BORONFREE NOR. (%)	ULPA LONG FIBER NOR. (%)	비 고
• SiO2	99.8	54.4	
• A1203	.0042	14.0	
• Fe203	.044	0.5	
• B203		8.0	FLUX
• Na20	.006	1.0max	
• K20			
• Ca0	.01	19.3	
• Mg0	.002	2.5	
• Ba0			
• ZNo			
• F2			
• SO3		0.01	
TOTAL	99.8662	99.71	

3-2-1. 여지의 포집이론 검토

Micro fiber glass를 media로 사용하는 ULPA와 HEPA filter등에서의 미립자 포집은 media에 공기를 통과시켜 micro fiber glass표면에서 미립자를 포집시켜 제거하는 것이다.

흔히 media를 구성하는 glass fiber에 형성되어 있는 섬유와 섬유사이의 공간부분에 미립자가 위치되어 포집되거나 혹은 media를 pleating한 부분의 공간에 미립자가 위치되어 있어 포집되는 것으로 알고 있는 경우도 있다. 그러나 일반적으로 filter를 구성하는 meida의 충진율은 5% 전후임을 감안할때 pleating부분의 공간에 미립자가 포집된다는 것은 무리이며 실제로는 섬유안에서의 포집효과가 대부분을 이루고 있다.

사진 1은 media를 전자현미경으로 찍은 것으로 위 설명과 일치함을 알 수 있다.

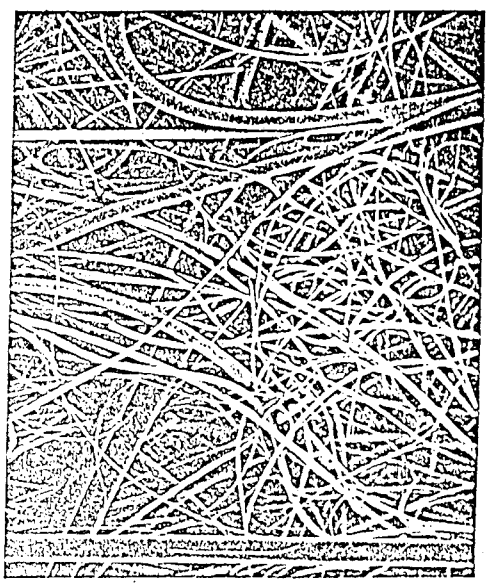


사진 1. ULPA 여지의 micro fiber 현황(X 1000배) : SEM

사진 2 및 3은 미립자가 media에 포집된 상태의 전자현미경 사진이며 이들미립자는 섬유와 섬유사이의 공간에 포집되어 있는 것이 아니고 섬유 표면에 포집되어 있음을 볼 수 있다.

또한 섬유와 섬유사이의 거리는 포집대상이 되는 sub micron의 미립자 크기보다 월등 큰 간격을 가지고 있다. 그러므로 섬유안에서의 미립자 포집원리는 섬유를 한올, 분리시킨 unit fiber로서 고려하면 간단히 이해하리라 생각한다.

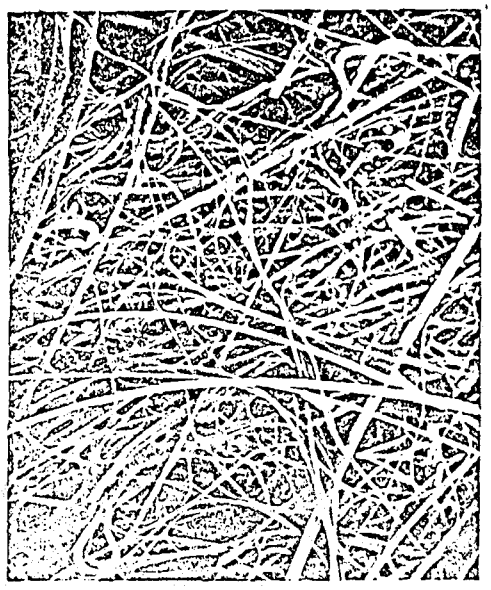


사진 2. ULPA여지의 입자 포집된 현황(1) (X 1000) : SEM

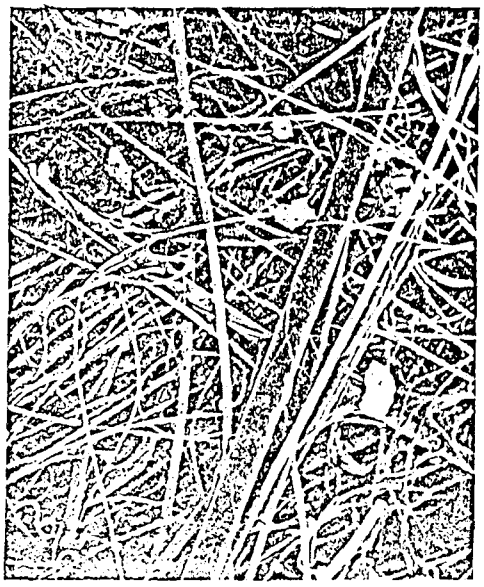


사진 3. ULPA여지의 입자 포집된 현황(2) (X 1000) : SEM

3-3-2. 필터의 여지 여과 효율의 이론적 검토

지금까지 문헌상에 나타난 필터 여지의 여과효율에 대한 이론은 매우 다양하며 꾸준히 발전되어 왔다.

이러한 이론적 검토는 유리섬유지(glass fiber paper)의 제조에 실질적인 도움이 되리라 믿으며, 5가지의 분진 포집 방법에 대하여 간단히 소개한다.

1) 차단효과(interception) : 입자가 공기의 흐름을 타고 운동을 하고 있어도 입자에는 크기가 있기 때문에 Filter의 섬유에 부딪혀 포집된다.
입경과 섬유경의 비가 클때 이 효과는 커진다.

2) 관성효과(inertia) : 공기의 흐름을 타고 섬유에 접근한 입자는 자신의 관성에 의해 기류로부터 벗어나 Filter의 섬유에 충돌되어 포집된다. 입경과 여과속도가

클때 이 효과는 커진다.

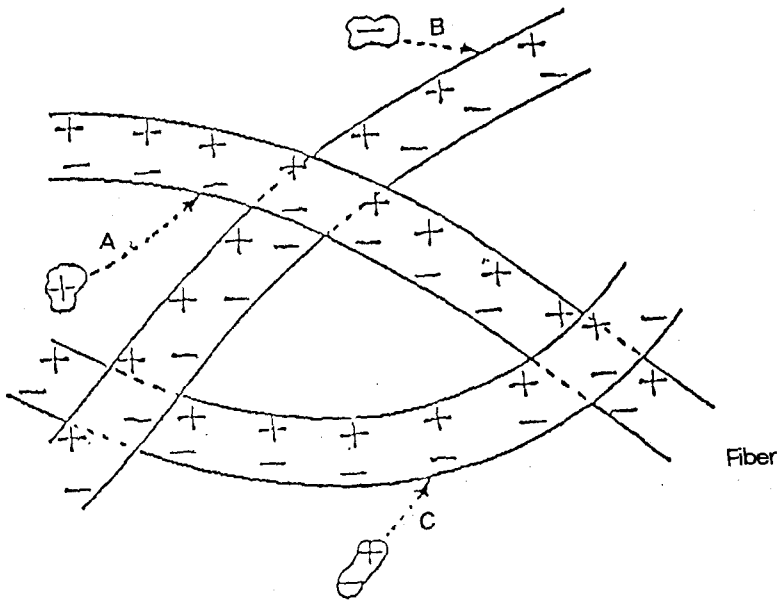
3) 확산효과(brownian diffusion) : 작은 입자는 공기의 흐름과 관계없이 Brown운동을 하고 있다. 따라서 기류를 타고 여지사이를 통과하는 큰 입자까지도 여지사이에서의 이동거리가 길고 방향성이 없기 때문에 섬유에 걸려 포집된다.
입경과 여과 속도가 작을때 이 효과는 커진다.

4) 중력효과(gravitational settling) : 공기의 흐름을 타고 섬유에 접근한 입자가 자신의 중력때문에 기류로부터 벗어나 Filter의 섬유상에 침강되어 포집된다.
입경이 크고 여과속도가 작을때 이 효과는 커진다.

5) 정전기 효과(electrostatic collection) : 전화를 띤 입자가 정전기력에 의하여 유리섬유에 포집되는 효과로 실질적으로 입자의 전하량의 측정이 어렵기 때문에, 임의로 입자를 정전기적으로 대전시키는 경우를 제외하고는 일반적으로 이 효과는 무시한다.

필터 여지의 여과 효율은 이러한 다섯가지의 여과 메카니즘에 의하여 일어나는데, 공기의 속도 및 분진의 크기, 질량에 따라서 큰 효과를 갖는 몇개의 메카니즘의 합으로서 필터 여지의 여과 효율을 나타낸다.

정전여지 electret membrane의 입자포집 현황을 그림으로 나타내면 그림 1과 같다.



A, B : Coulombic force
C : Electrostatic induction force
(initilally uncharged particles)

그림 1 정전여지 electret membrane의 입자포집 현황

정전여지 electret membrane의 풍속과 포집 효율의 현황은 그림 2과 같다.

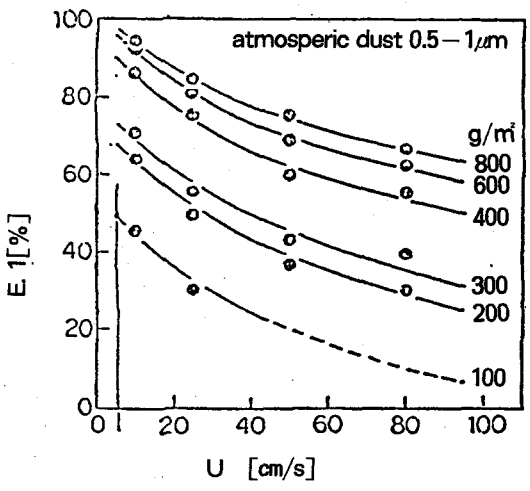


그림 2 TYPE : Air velocity VS Filtration efficiency

정전여지 electret membrane의 풍속과 포집 효율의 현황은 그림 3과 같다.

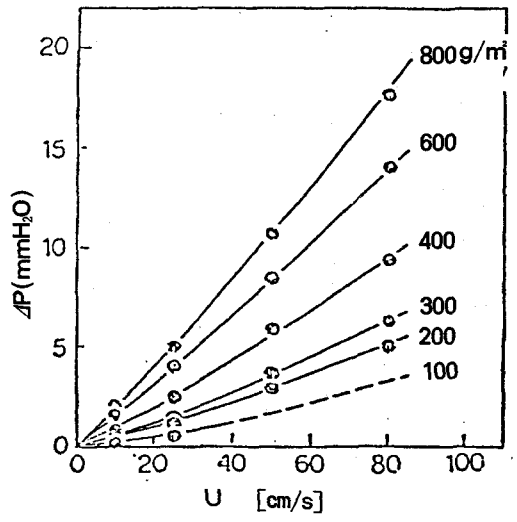


그림 3 TYPE : Air velocity VS pressure drop

또한 결과적으로 유리섬유의 한올 한올의 직경 크기에 따른 포집효과를 보면 유리 섬유직경이 작으면 여과효율은 증가하며, 특히 여지의 공기통과속도에 따라 여과효율은 큰 폭으로 변화됨을 알 수 있다. 공기통과속도가 빨라질수록 최소 여과효율을 보이는 분진의 직경은 작아지며, 0.2~0.29 μm의 범위에 있다. 위 수식의 실제와의 일치성은 실제여지를 구성하고 있는 유리섬유가 얼마나 균일하게 구성되어 있는가. 유리섬유 직경과 충진율을 정확하게 측정 할 수 있느냐에 달렸다.

일반적으로 알려진 고성능 필터 여지들의 유리섬유 직경 1.0 μm, 공기통과속도 2.0cm/sec에서의 최고 여과효율을 갖는 분진 직경은 0.21 μm이다.

3−3. 여지의 성능 성적서 검토

여지의 성능 성적서 검토 대상 내역은 다음 표9와 같다.

이상의 NO 5~18은 관련규격의 합격 기준치 이상의 성적이 되어야 필터의 여지로 사용할 수 있다.

또한 여지의 특수성능 기준은 표 10과 같다.

여지의 성능 성적서 검토 대상 내역은 다음 표 9와 같다.

NO	항 목	항목의 의미	단 위	정량내역	관련규격	상세내역
1	Grade NO	HB−5336 : 각 maker의 여지분류 code 내역참조				
2	Lot No	62385 : 각 maker별 order별 Lot No 결정				
3	Roll size	24.00인치, 30.00인치, 36인치, 기타 필요한 size로 재단가능				
4	Roll No	Roll별 개별 번호				72인치로 생산하여 Roll size별로 재단하여 NO+A.B.C 명기
5	Basic weight	평량	LB/3000 FT^2	LB/3000FT^2 1.6275g/m^2	TAPPI−T −410	9인치 X12인치 크기의 무게를 측정
6	Thickness	두께	인치	1 인 치 = 25.4mm	TAPPI−T −411	두께측정기계로 측정 model : TMI − 459
7	Ignition Loss	가연물 함유량	Wt %	보통 : 5% 이하	TAPPI − T −413	binder(접착제)의 함유량 1697°F(925℃) 2인치×6인치 : 10분간
8	Machine direction tensile strenghth	종방향 인장강도	LB/IN	1 LB=453.59g	TAPPI−T −494	인장강도 시험기에 의거측정
9	Cross machine direction tensile strength	횡방향 인장강도	LB/IN	1 LB=453.59g	TAPPI − T −494	인장강도 시험에 의거 측정
10	MD elongation	종방향 신장율	%/IN	−	TAPPI − T −494	인장강도 시험시의 data, speed 및 인장강도에 의거 계산
11	CD elongation	횡방향 신장율	%/IN	−	TAPPI − T −494	

12	MD stiffness	종방향 경도	mg	–	TAPPI－T－494	media가 굽혀질때의 경도를 계기로 측정
13	CD Stiffness	횡방향 경도	mg	–	TAPPI－T－494	MEDIA가 굽혀질대의 힘을 계기로 측정
14	MD holded tensile strength	종방향절곡후 인장강도	LB/IN	–	TAPPI－T－494	소정의 방법에 의거 여지의 절골후 인장강도를 측정
15	CD holded tensile strength	횡방향절곡후 인장강도	LB/IN	–	TAPPI－T－494	소정의 방법에 의거 여지의 절곡후 인장강도를 측정
16	DOP Smoke penetration	DOP투과율	%	0.3 μm DOP입자 320cm/min	Q－127	Q－127 형과 같은 사양의 소형시험기로 측정
17	Air flow resistance pressure	압력손실	mmH_2O	320cm/min	Q－127	Q－127 형과 같은 사양의 소형시험기로 측정.
18	Water repellency	발수성	mmH_2O	–	Q－101	여지에 물이 통과시의 압력(수주：水柱)을 측정)

표10. 여지의 특수성능 성적서 검토 현황

(HEPA 여지의 경우)

규격번호	MIL－F－51079B　　MIL－F－51079C	비　　고
규격제정년월일	29/3/1974　　4/3/1980	

DOP투과율		0.03% 이하 (320cm/min)		Q−127
공기저항		40mmH_2O 이하 (320cm/min)		Q−127
인장강도	종 방 향	2.5LB/IN 이상		TAPPI−T−494 MD : 종방향 CD : 횡방향
	횡 방 향	2.5LB/IN 이상	2.0 LB/IN 이상	
	신 장 율	1.0%이상	0.5%이상	
	내 열	0.75 LB/IN 이상 : MD (800+50°F)	0.6 LB/IN 이상 : CD (700+50°F)	
	내 수	1.25LB/IN 이상 : MD	1.0LB/IN 이상 : CD	
	내 선	1.0LB/IN 이상 : MD, CD ($8\times10^7-1\times10^8$ RADS)	1.0LB/IN 이상 : MD, CD ($6\times10^7\times6.5\times10^7$RADS)	
발 수 성	상 태	20 IN H_2O 이상	AVE. 20 IN H_2O이상 MIN. 18 IN H_2O이상	Q−101
	내 선	6 IN H_2O 이상 ($8\times10^7-1\times10^8$RADS)	AVE. 6 IN H_2O 이상 MIN. 5 IN H_2O 이상 ($6\times10^7\times6.5\times10^7$RADS)	
두 께		0.05~0.04 IN		TAPPI−T−411
가연물량		5%이하	7%이하	TAPPI−T−413
PH치		6~8	규정없음	
환경과 혹시험		규 정 없 음	극한대 (−65°F) 열대 (113°F, 88% RH) 사막지대 (160°F, 10% RH) CYCLE 시험	
여지의 절곡 부분의 강도		folding characteristics and flexing characteristics	flexing characteristics	

3-4. 여지의 구조 저항 검토

ULPA여지의 구조저항을 검정하기 위하여는 KOZENY-CARMAN의 식을 이용하여 ULPA여지의 이론적 구조저항과 설측치를 비교하여야 한다.

여지의 구조저항(pressure drop)은 Air를 ULPA여지로 흐르게 하는데 필요한 섬유가 받는 힘과 ULPA여지의 압력손실의 balance에 따라 다음식이 성립된다.

△ P.VS.A=F.L.VO.A.T·····A) 식

여기에서 VS=VO.(L-a)

VS : 면속　　L : 섬유 전체의 길이

VO : 여과속도　　T : media thickness

a : 충진율　　A : Air flow area

F=CD. DF.ρ. VS2/2g　　CD : 여과농도

DF=섬유경

ρ : 공기밀도

g : 980cm/sec2

KOZENY-CARMAN식에 따라

$$CD=\frac{8\pi k}{RE}\ \frac{\alpha}{(1-\alpha)}$$ ·····B) 식

RE=(DF. VS.ρ)/μ　　μ : 공기점도

K : 실험치

이들의 식을 다음식

$$E=1-\exp(-\frac{4}{\pi}\cdot\frac{\alpha}{1-\alpha}\cdot\frac{T}{DF}\cdot NF)$$·····C) 식

E : 포집효율

NF : 단일섬유 포집효율

C)에 대입하여 정리하면

$$\triangle P=16k(\frac{\alpha}{L-\alpha})^2(\frac{\mu.VS.T}{DF.g})$$

K : 실험치 DATA표

α	k
0.2	5.23
0.1	7.24
0.05	10.8
0.02	19.2

실제로 어떤 ULPA여지의 예를 들면

α=0.05(K=10.8)

T=0.04cm

df=0.05 μ m=5×10^{-5}cm

g=980cm/sec^2

μ =1.8×10^{-4}g/cm. sec

VS=5.3cn/sec의 ULPA여지는

$$\triangle P=16\times10.8(\frac{0.05}{1-0.05})^2(\frac{1.8\times10^{-4}\times5.3\times0.04}{(5\times10^{-5})^2\times980})$$

△P=7.46(g/cm^2)=74.6(mmAq)이다.

ULPA 여지의 이론적 계산치의 구조 저항이 74.6mmH_2O이나 이여지의 실측치의 구조저항은 52.5mmH_2O이었다.

이론적 계산치는 실제로 측정한 수치 보다 높은 치가 되지만 이것은 섬유에 직각으로 균일한 충진을 가정하고 있기 때문이다.

정압손실의 단위로는

mmH_2O(mmAq), INCHH_2O, Pa등이 사용된다.

3-5. 여지의 내산성 검토

각종 화학 공장 및 clean room에는 각종산을 사용하게되는데 사용 과정에서 발생되는 각종 산화성 분위기 중에도 ULPA여지가 산화되고 있으므로 ULPA여지의 내산화가 필요하게 되었다.

내산용 ULPA의 용도와 특징은 다음과 같다.

* 용도

○ 반도체 전자관의 제조공장 및 원자핵연료 제조시설

○ 불화수소산 분위기에서 초밀립자의 포집을 필요로 하는 clean room 및 배기계

등

* 특징

○ 내약품성의 순수한 화학섬유 및 특수 glass fiber여지 사용

○ 장시간 사용에 성능저하가 없는 초고성능 ULPA여지

ULPA 여지의 재질은 glass fiber+화학섬유, quartz fiber등이 있다.

표11. ULPA(glass fiber+화학섬유)의 내산성 시험 결과

[normal 농도별 sulfuric acid(H_2SO_4)에 시험결과]

농 도	0.01 N		0.1 N		1.0 N		비 고
구 분	표준형	내산형	표준형	내산형	표준형	내산형	※ 24시간 침적 시험결과
인장강도 G/INCH	535	3040	750	3655	1090	1345	
절곡인장강도 G/INC	280	2130	325	2335	580	835	

※ 0.01N, 0.1N, 1.0N별 각각 절대비교치임.

24시간 침적후 증류수로 leachout(희석시켜 내기)하는 조건이 각각 차이가 있으므로 0.01N, 0.1N, 1.0N각각 절대비교 하여야 한다.

표12. 내산성 ULPA여지(glass fiber+화학섬유)로 만든 ULPA filter사양현황

형 식	외형치수 (mm)	정격 풍량 (m^3/min)	포집효율(%) 0.12~0.17 μm	초기압력손실 (mmAq)
2CF-600	610×610×150	17 CMM	99.999 이상	25.4 이하
2CF-1000	610×610×292	28 CMM	99.999 이상	25.4 이하

3-6. 여지의 無 out-gassing化 검토

반도체가 점차 고집적화(64 MEGA DRAM 이상)되어감에 따라 대기중에 유해 gas는 물론 filter나 clean room의 각종 부재에서도 無 out-gassing化 되어야 한다. 특히 기류를 처리하는 filter의 구성 부재는 반드시 無 out-gassing化 되어야 한다. 현재까지 알려진 無 out-gassing化 여지의 재료는 다음과 같다.

표13. ULPA 여지의 out-gas 발생 가능성 현황

NO	ITEM	포집 효율	OUT GAS 발생가능성	내산성	내습성	내열성(100~200℃)	경제성
1	glass fiber+glass fiber+binder	◎	X	X	○	○	◎
2	glass fiber+membrane	○	◎	○	○	◎	△

3	PTFE 테크론	○	◎	○	○	○	○
4	special. Q. fiber+special. Q. fiber+binder	◎	◎	○	○	◎	△
5	melt. blown polypropylene+laminate	○	○	○	△	○	○
6	boron. free	◎	◎	○	○	◎	○

◎ : 우수　　○ : 양호　　△ : 보통　　X : 추천불가

NO 1의 여지에는 B_2O_3 성분이 상당량(4%이상)함유되어 있으므로 B_2O_3와 HF(불화수소)가 반응하면 Boron성분이 방출되어 반도체 결함 발생의 요인이 되므로 B_2O_3의 함유량을 Zero화 하여야 한다.

화학 반응의 예 :

$B_2O_3+6HF=2BF_3+3H_2O$

4. Filter와 여지와의 관계

4-1. Filter와 여지의 압력손실 관계

필터의 각종 구성 재료의 구조저항에 의거 필터의 정압손실이 발생된다. 정압손이 발생되는 요인을 크게 6가지로 구분하면 다음과 같다.

첫째 : media의 집어넣는 깊이의 크기에 의하여 변화되고

둘째 : media와 media의 pleat사이의 길이 크기에 의하여 변화되고

셋째 : separator가 media에 접촉 되므로 media의 유효면적이 감소되므로 변화하고

넷째 : serparator의 표면 거칠기에 따라 통풍저항이 변화되고

다섯째 : filter의 크기에 따라 frame의 두께가 변화되고 frame칫수의 크기에 따라서도 변화된다.

여섯째 : media는 grade별로 정압손실이 다르므로 필터의 정압손실이 변한다. 그러므로 filter의 압력손실은 media의 압력손실과 filter의 형상에 의해 생기는 구조저항의 합한 수치만큼 발생하게 된다.

filter의 압력손실=여지의 압력손실+각종 구조저항

표14. filter별 압력손실 시험치 현황

Filter의 종류 및 크기(mm)	풍량 CMM	여지 압손 mmAq	구조 저항 mmAq	필터 압손 mmAq	5.3cm/sec의 여지압손 mmAq	separator 구조 및 종류
HEPA HXWXD 610×610×150	18	23.0	0.7	23.7	40	1 : 1 AL.sep
		21.5	0.2	21.7	39	1 : 1 AL.sep
준 HEPA 610×610×150	18	7.1	1.2	8.3	33	1 : 1 AL.sep

준 HEPA 610×610×292	32	6.0	4.4	10.4	31	1 :1 paper. sep
HEPA 610×610×292	32	18.9	3.9	22.8	37	1 : paper. sep
다풍량 HEPA 610×610×150	28	15.7	4.4	20.1	29	1 : 1 AL. sep
중성능 610×610×150	28	2.7	4.0	6.7	3.25	1 : 1AL. sep
		2.9	3.7	6.6	3.3	1 : 1AL. sep
다풍량 HEPA 610×610×292	50	15.3	8.8	24.1	30	1 : 5 AL. sep

통상 필터의 처리 풍량과 압력손실 관계식은 다음과 같다.

$\triangle P = aQ^2 + bQ + C$

aQ^2 : 구조저항(각종 구조물의 저항)

bQ : 여지저항(media 및 섬유의 저항)

C : 통상 zero임

△P : 필터의 압력손실

Q : 필터의 처리풍량

여기에서 $aQ^2 > bQ$ = 구조저항 > 여지저항

pre filter는 여지 저항에 비하여 구조저항이 매우 크므로 구조저항이 filter의 압력 손실을 좌우한다. 그러므로 $\triangle P = aQ^2$로 표시된다. 또한 $aQ^2 < bQ$ = 구조저장 < 여지저항

HEPA filter는 구조저항에 비하여 여지저항이 매우 크므로 여지저항이 filter의 압력 손실을 좌우한다.

따라서 $\triangle P = bQ$로 표기되고 b의 수치가 다음의 등호로 표기된다.

이상의 이유에 따라 $\triangle P = bQ$로 표기되고 b의 수치가 다음의 등호로 표기된다.

1 < HEPA의 b < pre filter의 b < 2

실험에 따른 필터별 b의 실험치는 다음표와 같다.

filter 별		b
ULPA		1.064
HEPA. 다풍량 HEPA		1.05
준 HEPA		1.1
중성능 ASHRAE 90%		1.3
중성능 ASHRAE 60%		1.5
pre-filter		1.6
Bag-filter	ASHRAE 60%	1.4
	ASHRAE 60%	1.2
	ASHRAE 60%	1.15

예를 들면

HEAP filter의 크기 : 높이 : 610mm

폭 : 610mm

깊이 : 292mm

* 풍량 : 32 CMM

* 압력손실이 25.4mmAq가 되려면 다음식에 의하여

$\triangle P = aQ^b$ $\quad 25.4 = a32^{1.05}$

$a = 0.66746$이 된다.

또한 위의 필터별 b의 수치를 구하기 위하여는 HAGEN-POISEUILLE의 식에 의하여

실험하여 결과치를 구하게 된다.

진직 원통관내의 층류에 대한 다음의 HAGEN−POISEUILLE의 식이 성립된다.

$$Q=\frac{\pi r}{8\mu\ell}\triangle P \quad \cdots\cdots[1]$$

Q=관내유량(m^3/sec)

μ=유체점도(poise)

r=원관내경(m)

$\triangle$P=길이 ℓ 내의 압력강화 [mmAq]

$$\ell o=0.065d\,Re \quad \cdots\cdots[2]$$

ℓo=BOUSSINESQ의 이론 및 NIKURADSE 의 실험에 따른 구간 길이

d=관경

Re=Reynold수

$$\frac{\triangle P}{\gamma}=(\eta+\lambda\frac{\ell o}{d})\frac{u^2}{2g} \quad \cdots\cdots[3]$$

γ=비주량

λ=관마찰계수

d=관경

ℓo=구간길이

u=관내평균유속

g=중력가속도

n의 수치도 이론 및 실험으로 구하여 진다.

BOUSSINESQ의 이론 : $\eta=2.24$

SCHILLER : $\eta=2.16$

HAGEN의 실험 : $\eta=2.7$이 된다.

구간 거리의 보증

길이 ℓ의 진직 원통관에 있어서 유량과 압력손실의 관계는 구간 ℓo 있어서

$$\triangle P=\frac{8\mu(\ell-\ell o)}{\pi r^4}Q+r(\eta+\lambda\frac{\ell o}{d})\frac{u^2}{2g}$$

$$=\frac{8\mu(\ell-\ell o)}{\pi r^4}Q+\frac{8\mu\ell o}{\pi r^4}Q+r\eta\frac{u^2}{2g}$$

$$=\frac{8\mu\ell}{\pi r^4}Q+\frac{\rho\eta}{2\pi^2 r^4}Q^2 \quad \cdots\cdots[4]$$

의 식이 구해진다.

HAGEN−POISEUILLE의 식의 검정

$\triangle P=aQ^b$−[5] ┌ $\triangle P$=mmAq
└ Q=ℓ/min

d(mm)	ℓ (mm)	적용유량범위	a	b	r^2	임계 Re=2320의 Q
6	913	0.2≦Q≦2.0	0.6679	1.016	0.9942	9.58L/min
		5≦Q≦10	0.6854	1.296	0.9979	
		12≦Q≦18	0.2289	1.859	0.9970	
6	377	0.2≦Q≦2.0	0.2952	1.031	0.9889	9.58L/min
		5≦Q≦10	0.2601	1.500	0.9950	
		12≦Q≦26	0.1541	1.762	0.9994	
8	1208	5≦Q≦11	0.3355	1.177	0.9974	12.8L/min
		15≦Q≦33	0.8397	1.803	0.9997	
4	347	0.2≦Q≦2.0	1.629	1.075	0.9986	6.38L/min
		4≦Q≦6	1.368	1.426	0.9953	
		8≦Q≦10	0.8602	1.768	0.9981	

4	693	0.2≦Q≦2.0 4≦Q≦6	2.946 2.560	1.042 1.311	0.9972 0.9997	6.38L/min
4	1002	0.2≦Q≦2.0	4.134	1.004	0.9980	6.38L/min
4	1301	0.2≦Q≦2.0 4≦Q≦6	5.190 4.726	1.022 1.244	0.9970 0.9994	6.38L/min
8	1208	0.2≦Q≦2.0	0.2649	0.9979	0.9940	12.8L/min

$$\triangle P = aQ^b \quad \begin{cases} a = 18.53 \\ b = 1.044 \\ r^2 = 0.9992 \end{cases}$$

HAGEN－POISEUILLE의 실험치 현황

Test 1			Test 2		
Q(L/min)	△P(mmH₂O)	비 고	Q(L/min)	△P(mmH₂O)	비 고
0.2	3.3		0.2	3.6	
0.4	6.8	온도 :	0.6	10.9	
0.6	10.6	10℃	0.8	14.7	
0.8	14.5	습도 :	1.0	18.7	
1.0	18.4	40% RH	1.4	26.3	
1.2	22.3		1.8	34.1	
1.4	26.1		2.0	37.6	
1.6	30.1		1.6	30.2	
1.8	34.1		1.2	22.7	
2.0	37.8		0.4	7.2	
1.8	34.3				
1.6	30.3				
1.4	26.4				
1.2	22.8				
1.0	19.0				
0.8	15.1				
0.6	11.1				
0.4	7.2				

Hagen－poiseuille의 실험치 현황

$\triangle P = aQ^b$ ┌ a=5.355
├ b=1.054
└ r^2=0.997

Q (L/min)	△P (mmH_2O)	Q (L/min)	△P (mmH_2O)	Q (L/min)	△P (mmH_2O)	Q (L/min)	△P (mmH_2O)
6	44.1	1.8	10.2	1.0	5.4	0.2	1.0
5	35.5	1.6	8.8	0.8	4.2		
4	26.6	1.4	7.5	0.6	3.1		
2	11.1	1.2	6.5	0.4	2.0		

4－2. Filter와 여지의 포집효율 관계

여지와 Filter의 포집효율은 3－2－1의 여지의 포집이론에서 검토된바와 같이 여러가지 조건 변화에 의하여 여지보다 Filter의 포집효율이 10배이상 높음을 알 수 있다.

다음 그림은 풍속 변화에 따른 ULPA저압손 여지 및 Filter의 입경 크기별 포집 효율을 실측한 data이다.

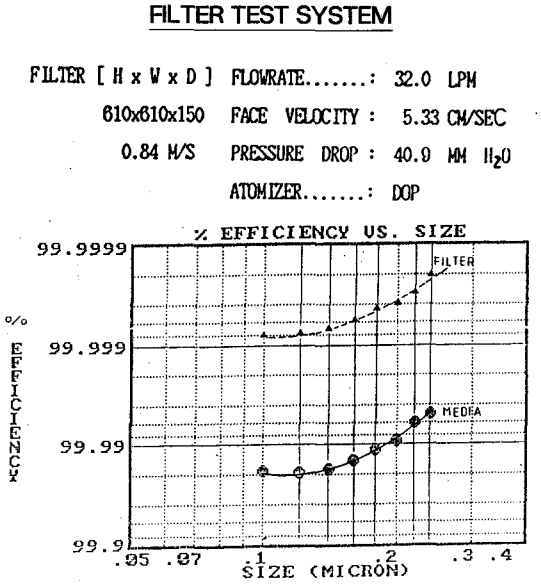


그림 4 ULPA여지(저압손) 풍속(5.33cm/sec)와 FILTER 풍속(0.84cm/sec)입경별 포집효율

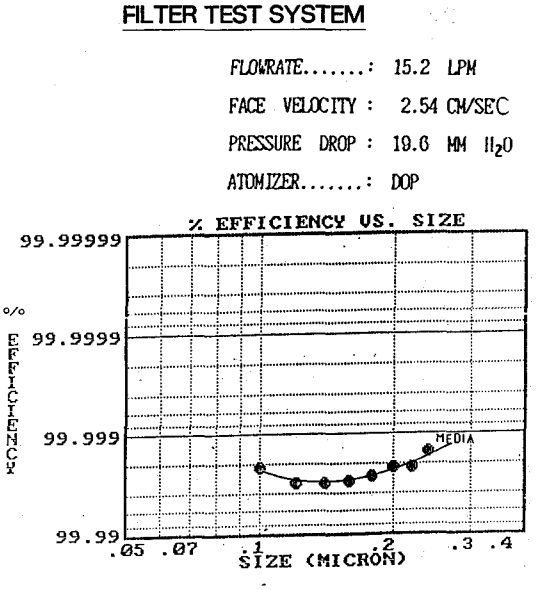


그림 5 ULPA여지의 입경별 포집효율 풍속(2.54cm/sec)

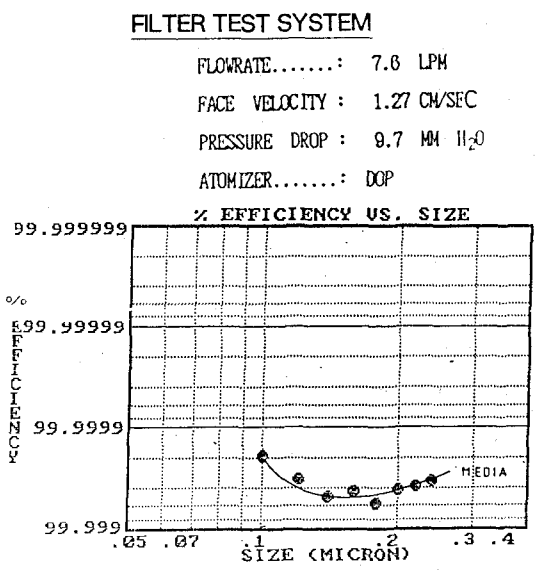


그림 6 ULPA여지의 입경별 포집효율
(풍속 : 1.27cm/sec)

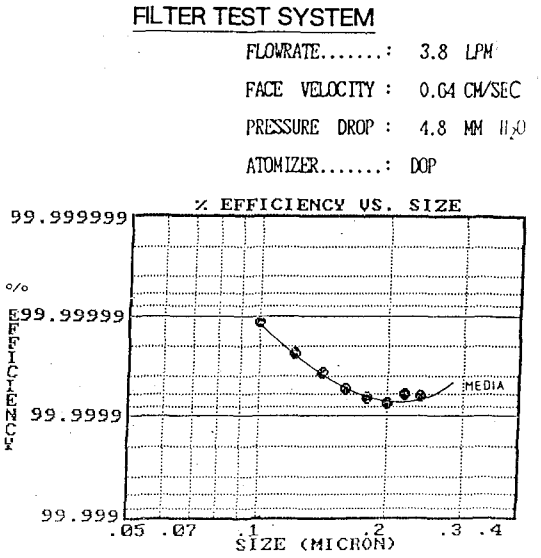


그림 7 ULPA여지의 입경별 포집효율
(풍속 : 0.64cm/sec)

5. 여지의 선택

여지를 선택하는 조건에는 여러가지가 있겠으나 특히 필요한 조건은

1) 요구되는 청정도가 만족시키는 여지.
2) 요구되는 청정도를 만족시킬 경우 압력손실이 적은 여지.
3) 각종 안정성이 고려된 여지
4) 상기 3가지가 모두 만족될 경우 가장 경제성이 좋은 여지 등이 필요한 조건이다.

표 15는 여지선택의 조건을 나타내고 있다.

표15. 여지의 선택의 각종 조건 현황

NO	조 건	세 부 내 역				비 고
1		NO	Grade	입경크기	포집효율	비 고
	효 율	(1)	New super ULPA	0.03 μm	DB+CNC 99.99999995% 이상	* 효율은 필터의 효율임
		(2)	Super ULPA	0.05 μm	DB+CNC 99.9999999% 이상	
		(3)	ULPA	0.12–0.17 μm	HOT DOP 99.9995%이상	

		(4)	silver seal HEPA	0.3 μm	99.99% 이상	
		(5)	STD. HEPA	0.3 μm	99.97% 이상	
		(6)	준 HEPA	0.3 μm	99.5% 이상	
2	압력손실	NO	Grade	여지의 압력 손실	필터의 압력 손실	비 고
		(1)	New super ULPA	45~80mmAq	12~20mmAq	
		(2)	Super ULPA	45~52.5mmAq	9~15mmAq	
		(3)	ULPA	40~52mmAq	7~25mmAq	
		(4)	silver sesl HEPA	29~39mmAq	9~25mmAq	
		(5)	STD. HEPA	27~39mmAq	6~25mmAq	
		(6)	준 HEPA	16~26mmAq	4~25mmAq	
3	안 전 성	NO	안전조건	세부내역		비 고
		(1)	고 온	100~350℃		
		(2)	저 온	0~−59℃		
		(3)	다 습	90~100% RH		
		(4)	내진동	19±3.2mm 진동수 : 200회/분		
		(5)	내염성	2인치 이격거리의 불꽃 (5분간)		
		(6)	내산성	각종산 분위기		
		(7)	無 out−ga	無 out−gassing		
		(8)	내수성	물 spray : 1시간		
		(9)	내압성	250mmAq : 1시간		
		(10)	내 선	6인치 H_2O 이상 8×10^7~1×10^8RADS		
		NO	안전조건	세부내역		
		(11)	인장강도	grade 별 요구치		
		(12)	신 장 율	grade 별 요구치		
		(13)	경 도	grade 별 요구치		
		(14)	PH치	6~8		
4		NO	요구청정도 FED. 290D. 기준	media grade		비 고

	경 제 성	(1)	1 이하	new super ULPA여지	압력손실은 최저치
		(2)	1~10 이하	super ULPA여지	압력손실은 최저치
		(3)	1~100 이하	일반 ULPA여지	압력손실은 최저치
		(4)	100~1000 이하	silver super HEPA	압력손실은 최저치
		(5)	100~10000 이하	STD. HEPA	압력손실은 최저치
		(6)	100~100000 이하	준 HEPA	압력손실은 최저치
5	기 타	특수필터의 경우 특수용도에 부합되는 여지를 선택하되 압력손실이 최저인 여지를 선택.			

6. 맺음말

우리나라의 여지에 관한 기술은 대단히 열악한 상태에 있다.

왜냐하면 현재까지 국산화 되어 있지 않다는 것이다. 여지의 국산화에 걸림돌이 되는 것은 역시 국내 필터 수요가 제한되어 있고 그 물량이 극소하기 때문이다. 그러나 여지는 어떤면에서는 대단히 전략적이고 방위산업적인 측면에서 볼때 매우 중요한 위치에 있음을 알 수 있다.

여지는 전쟁과 더불어 발달되어 온 것이 사실이다.

현재 중공과 소련에서는 HEPA이상의 여지를 생산하고 있다. 그러므로 우리나라에서도 국가와 안보와 장기적인 첨단 산업 발전을 위해서도 정부 차원에서 방위산업의 일환으로 여지가 개발되어야 한다고 본다.

또한 현실적으로 우리나라에 여지에 관한 기술이 열악하지만 국산화될때까지라도 여지에 관한 기본 기술을 이해하고 여지를 수입 사용함으로써 우리나라의 클린룸과 관련된 산업이 발전되리라 본다.

금번의 이 소고가 이러한 관점에서 관심있는 여러분들에게 다소나 도움이 되시길 바랍니다.

-참 고 문 헌-

1. AIR FILTER MANUAL : 일본 CAMBRIDGEFILTER(주)소화 61년 11월
2. AIR FILTER MANUAL(Ⅰ) : 한국 CAMBRIDGEFILTER(주)서기 1991년 5월
3. AIR FILTER MANUAL(Ⅱ) : 한국 CAMBRIDGEFILTER(주)서기 1991년 8월
4. CLEAN ROOM과 AIR FILTER 기술 SEMINAR : 한국 CAMBRIDGE FILTER (주)서기 1989년 10월
5. AIR FILTER의 성능에 관한 기본요소 : 일본 OSITARY연구소 평성원년 3월 6일
6. 공기청정제 기술자료 : 일본 곤도공업(주)
7. MIL-F-51079규격
8. MIL-F-51079B 규격
9. MIL-F-51079C 규격
10. MIL-F-51079E 규격
11. UL-586 규격
12. FED. STD. 209D 규격
13. TAPPI-T-410, 411, 413, 494 규격
14. 제10회 공기청정과 CONTAMINATION CONTROL 연구대회 예고집
15. HOLLINGSWORTH & VOSE CO.의 MEDIA MANUAL
16. LYDALL, INC TECHNICAL PAPERS DIVISION MANUAL
17. 과학 기술처 1988 "입자 제어용 유동분배 시스템에 관한연구 (Ⅱ)"pp.198-200
18. Patankar, S.V. and Spalding. D.B. 1918. "Computer Analysis of the three Dimensional Flow and Heat transfer in a steam Generator, Forsch ingenieurves, vol. 44, pp. 47
19. Raber, and Robert R, 1982. "Pressure Drop Optimisaion and Dust Capacity Estimation for Deep-Pleated Industrial Air Filter Using Small Simple Data Proceedings of 2rd world Filteration Congress, pp. 508-511."
20. Patankar, S.V. 1980, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", McGraw Hill, New York.
21. 이재헌, 박명식, 안강호, 김정호, 1992, 서로다른 성능의 필터가 존재하는 청정실의 유동특성에 관한 수치적 연구, 대한기계학화, '92년도 춘계학술대회 논문집(Ⅱ), pp. 192-197
22. 이재헌, 박명식, 안강호, 김정호, 1992, Access Panel개폐에 따른 청정실 유동특성에 관한 수치적 연구, 공기조화, 냉동공학회 '92년도 하계학술발표회, pp.142-147