

Air Filter 개론(중성능 섬유층 필터를 중심으로)

한국기계연구소
(공기조화연구실)
선임연구원 조상준

1. 머릿말

현대에는 급속한 산업화로 사업장으로부터 분진 및 가스, 현대생활의 이기인 자동차 문화의 발달에 따른 배기가스 등으로부터 우리의 환경은 날로 심각하게 오염되어 가고 있다. 따라서 환경보호와 대기의 정화에 대한 요구가 오늘날에 모든 사람들의 관심이며, 건강학적인 측면에서 중요한 문제가 되었다.

이러한 측면과 함께 중요한 것은 반도체를 정점으로 하는 현대 첨단산업에서 작업장의 오염이 생산품의 품질과 수율을 결정하는 중요한 인자가 됨으로써 이에 대한 관심이 높아질 수밖에 없으며, 첨단 정밀산업의 성패를 좌우한다고 할 수 있을 정도로 중요한 문제가 된 지 오래다. 에어필터는 오래전 고대 로마 광산에서 채굴시 방진마스크에 사용된 기록이 있지만, 본격적인 개발 연구는 제2차 세계대전이 계기가 되었으며, 주로 군사적인 목적으로 연구 개발이 시작되었다.

이론적인 면에서는 1942 Langmuir에 의하여 에어필터의 집진이론의 골조가 만들어진 이후 지금까지 수많은 이론적, 실험적인 연구가 수행되었다. 실용적인 면에서는 현대 모든 분야에서 수요가 늘어 작업환경과 빌딩의 공기청정 이외에, 원자로 시설과 클

린룸용 고성능필터가 개발되어 중요한 역할을 하게 되었다.

본보에서는 ASHRAE 52-76 방법에 따른 효율 98% 이하의 저, 중성능 등급의 필터에 대해서 살펴보기로 한다.

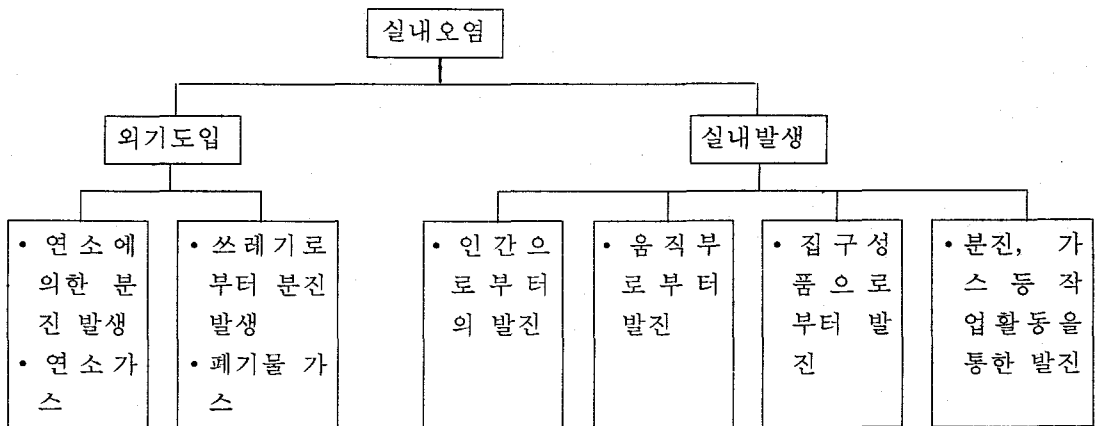
2. 공기의 오염

집이나 작업장에서 쾌적감을 향상시키고 작업조건을 개선시키기 위해서는 공급되는 공기가 청정하여야 한다. 표면처리공정, 필름생산공정, 의약 제조공정, 전자계산소 등에서는 분진이 없는 청결한 조건이 유지되어야 하며, 이러한 분진을 제거하여야 함은 말할 것도 없고 분진발생원을 제거함이 더

욱 바람직하다.

이렇게 실내에서 발생하는 분진이나 가스가 나쁜 영향을 미치는 것을 방지해야 함은 물론이지만, 오염된 공기가 외부로 유출되는 것을 방지해야 하는 것도 대기환경공해를 방지하기 위하여 중요한 점이다. 따라서 filtering system를 설계하는 기술자가 발생하는 오염원의 특성과 확산, 포집 메카니즘, filter의 특성 등 제반 문제점을 올바르게 인식하고 system을 설계하는 것이 매우 중요하다.

일반적으로 실내의 오염은 외기도입에 따른 것과 실내에서 발생하는 것이 있는데 이것을 도식적으로 나타내면 다음과 같다.



대기 중에는 고체, 액체, 기체 각종의 불순물이 포화되어 있는데, 그 중에서 고체 및 액체의 입자상 물질로서 공기 중에 부유하고 있는 것을 aerosol이라고 하며, 입경은

0.001-100 μ m 정도까지의 것이다. 그 형태나 성질, 발생 경위에 따라서 분진(dust), 흠(fume), 연기(smoke), 미스트(mist), 스모그(smog), 안개(fog) 등으로 분류될 수

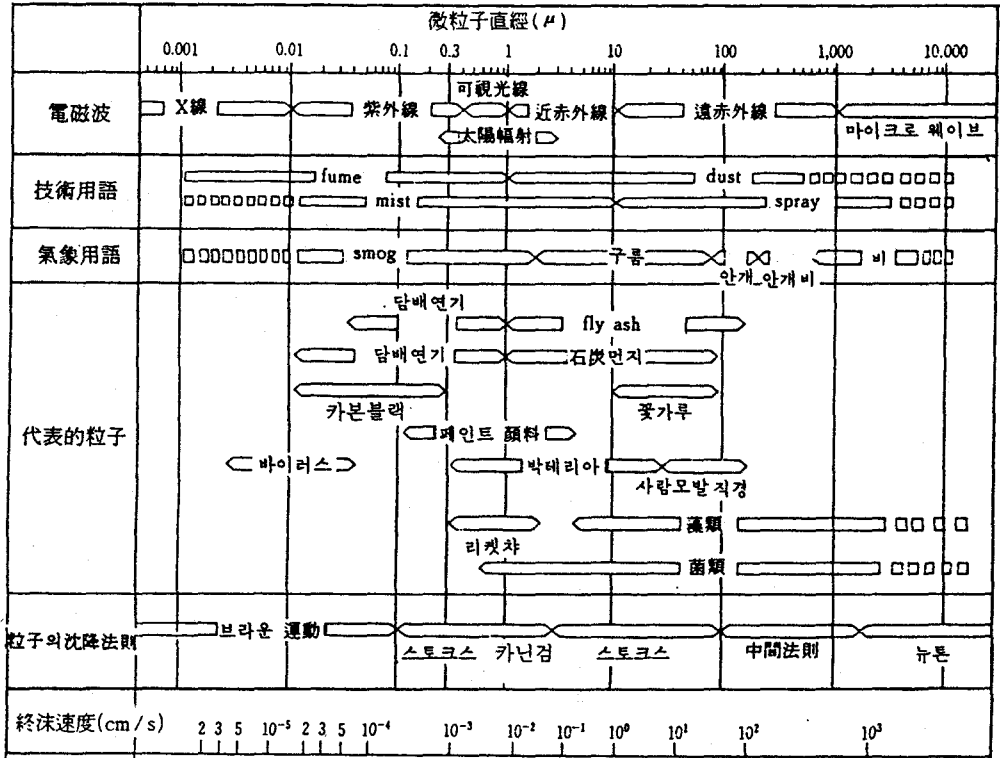


그림 1. 대기분진의 분류

있다. 그림 1에 이러한 분류를 도식적으로 보였으며, 표 1, 2에 독일에서의 장소별 대략적인 공기오염의 크기와 농도를 보였다.

표 1를 보면 주물공장에서는 주물사 등에 의한 분진의 농도가 가장 크며, 학교 교실이 학생들의 활발한 움직임으로 인하여 분진농도가 의외로 높게 나타나고 있으며, 표 2에서는 첨단정밀산업에서 가장 큰 관심의 대상이 되고 있는 submicron입자가 구성비는 1%에 불과하지만 갯수농도는 절대적으로 많은 것을 알 수 있다.

표 1. 장소에 따른 분진의 농도

장 소	in mg/³
전원	약 0.02
교외	0.05-0.5
도시	0.5-1.5
도시의 거리	1-3
공업지역	0.5-5
상가내	약 5
의류가게	약 8
공장	1-10
교실	약 10
기계제작공장	약 25
주물공장	약 40

표 2. 대도시의 평균입경별 농도

분류 (μm)	평균입경 (μm)	갯수 (m^3)	체적 혹은 중량(%)
10-30	20	50,000	28
5-10	7.5	1,750,000	52
3-5	4	2,500,000	11
1-3	2	10,700,000	6
0.5-1	0.75	67,000,000	2
0-0.5	0.25	910,000,000	1

3. 필터의 기본 개념

3.1 필터의 분류

필터는 여재의 구조적인 면에서 섬유층의 것과 다공질의 것으로 대별된다. 전자는 섬

유를 접착제로 보강한 충전층 구조의 필터로(그림 2, 3 참조) 공극률이 많은 경우 95%로 높은 것이 특징이며, 에어필터의 대부분을 차지한다. 섬유의 직경이나 층의 두께에 따라 조진용(섬유직경 $10\mu\text{m}$ 이상), 세진용(수 μm), 미진용($1\mu\text{m}$ 이하)로 나뉘어 시판되고 있다.

다공질의 것은 소위 membrane filter라고 불리우는 것으로 구조가 복잡한 다공성 수지로 되어 있고(그림 4 참조), 공극율은 낮아서 90% 이하부터 10% 정도의 것도 있다. 일반적으로 burble point tester로 측정된 pore size로 분리입경이 표시되고, 지금까지는 주로 액중의 미세한 입자의 제거에 사용

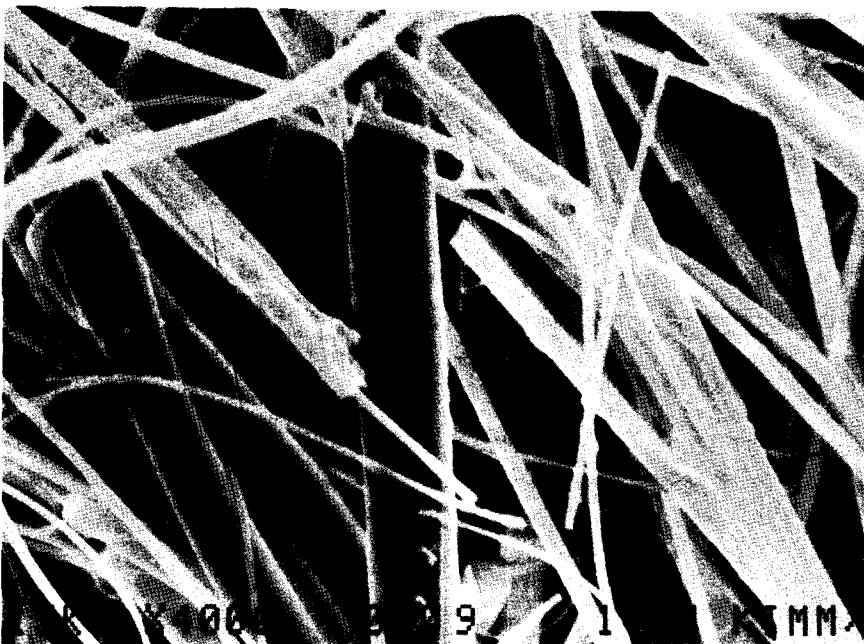


그림 2. 유리섬유여재(중성능), (Lydair, 600×)



그림 3. 유리섬유여재(고성능), (Lydair, 4000×)

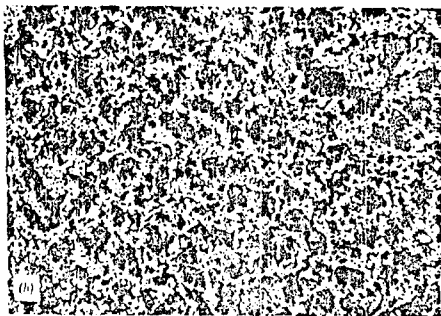


그림 4. Membrane필터 여재의 SEM사진
(a : 4150×, b : 800× ; pore size : 0.8 μ m)

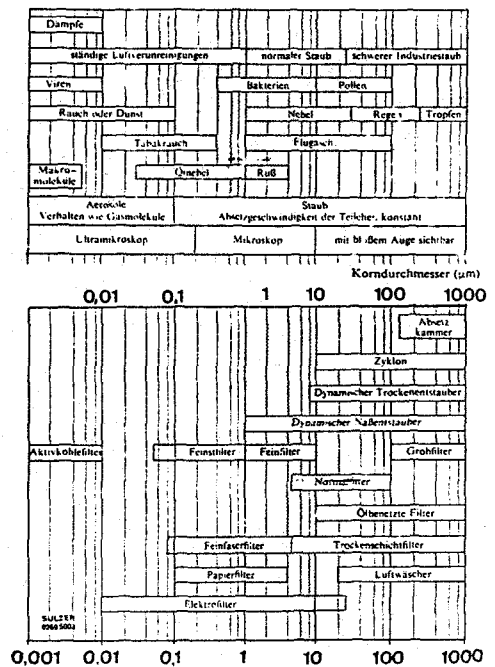


그림 5. 분진의 입경과 종류에 따른 필터

되어 왔지만, 최근에는 고압가스 중의 미세한 분진을 제거하는 등 특히, 반도체 분야에서 그 활용도가 증대되고 있다.

필터를 효율적으로 분류해 보면, pre-filter, medium filter, HEPA filter, ULPA filter로 대별해 볼 수 있으며, pre-filter는 조진용의 것으로 공기에 포함된 큰 분진이나 오물 등을 미리 제거하거나, demister가 없는 경우는 물방울 등도 미리 제거하여 주 필터의 수명을 연장시킬 수 있는 것으로 system 설계자가 여러가지 점을 고려하여 선정하여야 한다(여기서 pre-filter는 효율적인 분류가 아니라 주필터의 전치필터로서

기능적인 분류이다).

필터를 형식별로 분류해 보면 다음 표 3과 같으며, 성능별로 분류하면 표 4와 같다. 다만 이러한 분류는 어떤 규격에 따른 분류가 아니라 통념적인 분류로서 제작자나 수요자의 요구에 의하여 달리 제작될 수도 있다. 특수한 목적을 제외하고는 주로 건성 여과식으로 유닛 교환형이 널리 사용되고 있으며, 최근들어 정전식 필터의 보급이 확대되고 있다. 그림 5에 분진의 직경에 따른 대표적인 분진의 종류와 이를 제거하기 위한 효과적인 필터의 종류도 보였다.

표 3. 에어 필터의 분류

제 의 진 매 한	靜電式(電氣集塵器) (electrostatic type)	진애를 함유하는 공기를 방전전장을 통해서 먼지에 대전시켜, 이 대전된 먼지를 양극판에 흡인해서 제거한다.
카 니 분	乾性濾過式 (dry filtration type)	필터의 눈보다 큰 먼지를 걸러서 제거한다. 중성능 및 고성능은 대개 이 방식이다.
즘 에 류	粘性式 (viscous impingement)	필터를 통과하는 기류가 여재 사이를 지나갈 때 여재 표면(유도포)에 부착되어 게저된다
보 분 수 관 리 면 상 의 류	자 동 세 정 형	연속해서 여재가 세정유탱크를 통과하고, 여재는 세정되어서 재사용된다.
	자 동 갱 신 형	더러워진 부분의 여재는 자동적으로 감겨진다.
	정 기 세 정 형	여재가 더러워지면, 이것을 들어내어 세정하여 재사용한다.
	여 재 교 환 형	더러워진 여재는 버리고 새것으로 교환한다.
	유 닷 교 환 형	여재가 더러워지면 유닛 자체를 교환한다.

표 4. 공기청정장치의 성능별 분류와 성능의 개요

성능별 분류	에어 필터의 형식	적용분진입자지름(μm)	적용분진농도*1	압력손실(mm Aq)	분진포집효율(%)			분진보유용량(g/m ²)
					중량법	변색도법	DOP법	
저성능필터	자동갱신형로울필터 멀티패널형필터 정기세정형패널필터 여재교환형패널필터 정기세정형패널필터*2	5이상	중 ~ 대	3~20	70~90	15~40	5~10	500~2000
중성능필터(1)	여재절입형필터 다이프 베드형 필터	1이상	중	8~25	90~96	50~80	15~50	300~800
중성능필터(2)	여재절입형필터 다이프베드형필터 백필터	1이하	소	15~35	99이상	80~95	50~80	70~250
고성능필터	여재절입형필터	1이하	소	25~50	NA*3	95이상	90이상	50~70
정전기식공기청정장치	2단하전식정기세정형 2단하전식여재집진형 1단하전식여수전형	1이하	소	8~10 10~20	99이상	80~95 70~90	60~75	600 ~1400*4

*1 분진농도는 대 : 0.4~7.0mg/m³, 중 : 0.1~0.6mg/m³, 소 : 0.3mg/m³이하

*2 충돌점착식필터

*3 Not Applicable(적용할 수 없다)

*4 여재부의 집진보유용량(g/m²)

표 5에 보인 표는 독일 DIN 24 185에 따르는 분류로서 독일 내에서 제작되는 모든 필터는 이 규격의 분류에 따른 등급으로 표시되고 있다. 이렇게 분류된 등급별 필터의 소재, 응용분야별로 정리한 것은 표 6에 나타내었으며, 필터의 성능이

초기, 중기, 최종으로 명기되어 있고, 최대도달효율이 명시되어 있는 것이 특징이다. 최대도달 효율은 극한적인 것으로 실질적으로는 송풍기의 성능과 연관지어서 고려되어야 한다. 참고적으로 표 7에 여러가지 필터링 원리에 따른 필터의 기능을 요약

하였다.

표 5. DIN 24185. T. 2에 따른 공기필터 분류

필터등급(DIN 24185 T. 2)			필터등급(DIN 24185. T. 100)			상품등급(StF) ¹⁾	
필터 등급	평균 포집 효율 (인공분진 : %)	평균 여과 효율 (대기분진 : %)	필터 등급	평균 포집 효율 (대기분진 : %)	평균 여과 효율 (대기분진 : %)	상품 등급	특 징
Eu 1	$A_m < 65$	—	A	$A_m < 65$	—	A	Prefilter
Eu 2	$65 \leq A_m < 80$	—	B ₁	$65 \leq A_m < 80$	—		
Eu 3	$80 \leq A_m < 90$	—	B ₂	$80 \leq A_m < 95$	$30 \leq E_m < 45$	B	미세입자 제거용 필터
Eu 4	$90 \leq A_m$	—					
Eu 5	—	$40 \leq E_m < 60$	C ₁	—	$45 \leq E_m < 75$	C	고성능 미세입자 제거용 필터
Eu 6	—	$60 \leq E_m < 80$					
Eu 7	—	$80 \leq E_m < 90$	C ₂	—	$75 \leq E_m < 90$		
Eu 8	—	$90 \leq E_m < 95$	C ₃	—	$90 \leq E_m <$		
Eu 9	—	$95 \leq E_m$	—	—	—		

1) Richtlinien Zur Prüfung von Filtern für die Lüftungs- und Klimatechnik

표 6. SFI에 따른 필터의 등급별 응용.

등급	포집효율			차압 Pa	필터여재	재생여부	응용분야	원리	제거입경
	도달가능								
	초기	중기	최대						
A	A ₁	조진용 혹은 prefilter	30 40 50	30 -50	유리섬유, 인조 섬유매트, metal	N(유리섬유) Y(metal, 인공 섬유)	• 송풍기 히터 보호 • 소형공조기 • 자동차 환기 시스템 • 전치 필터	기계적	>10 μm
	A ₂		30 40 50						
B	B ₁	세진용 필터	60 70 80	50 -100	유리섬유, 인공 섬유, 부직포	A ₂ 와 같음	• 사무실, 호텔, 거 실, 직조공장	기계적	>1μm
	B ₂		70 80 90						

등 급	포집효율			차압 Pa	필터여재	재생여부	응용분야	원리	제거입경
	도달가능								
	초기	중기	최대						
C	미진용 필터	90 95 98 (97까지) × ×		100 - 200	가는 유리섬유 부직포, 정전기 필터	N(섬유층진층) Y(정전기필터)	<ul style="list-style-type: none"> 전자계산소 약품 실험실 광학 산업 정밀 산업 필름 공업 원자력 발전소 등 	기계적 정전기적	<1μm
고성능필터	고성능 미진용 필터	90 (88까지) × × × 파라핀 오일 시험법		150 - 500 (700)	유리섬유, 최소 2개의 전치필터 필요	N	<ul style="list-style-type: none"> 수술실 원자로 시설 클린룸 제약공장 		<0.5μm
	HEPA 부유분진	(>99.97) × × ×			"		<ul style="list-style-type: none"> 박테리아 연구실 화학실험실 		

표 7. 각종 필터의 성능

정화원리	보수방식	상 품 명	기 구	적용입경	적용함진농도*	포집율 (%)	압력손실 (mm Aq)
정전식	자동세정	1) 일렉트로마틱	2단하전식으로서 집진극판을 회전시켜서 자동세정한다	1μ 이하	소	85~90 (변색도법)	8.5
	자동갱신	2) 로울오트론 루프틀 에어클리너	2단하전식 집진극판부에서 먼지를 응집시켜서 먼지 포집부의 유리섬유 또는 부직포여재로 자동적으로 권취한다.	1μ 이하	소	90 (변색도법)	12
		3) FD필터	1단하전식(여재유전형) 여재(부직포)를 지그재그로 사용하며 자동갱신	1μ 이하	소	70 (변색도법)	10~20
	정기세정	4) 일렉트로셀 루프트필터 크리냐 에어클리너	2단하전식, 집진극판을 정기적으로 세정	1μ 이하	소	85~90 (변색도법)	8
	여재교환	5) 일렉트로 PL	1단하전식(여재유전형) 특수여재사용, 여재만 교환	1μ 이하	소	70 (변색도법)	3~20
여과식	자동갱신	6) 로울오마틱	특수가공한 유리여재를 사용해서 자동적으로 돌려 감는다.	1μ 이상	대	85 (중량법)	8.5 ~ 12.5

정화 원리	보수 방식	상 품 명	기 구	적용 입경	적용 합진 농도*	포집율 (%)	압력 손실 (mm Aq)
여과	자동 갱신	7) VMC필터	부직포여재를 지그재그로 사용해서 여과면을 넓게 사용하고, 여재를 자동 갱신	1 μ 이상	대	85 (중량법)	10~16
	정기 세정 자동 갱신	8) 오토에어매트	특수여지를 사용한 자동 권취식	3 μ 이상	대	90 (중량법)	5~20
	정기 세정	9) 오토로울, FV形로울 필터, NS로울필터	부직포재를 사용한 자동권취형이며, 들어내서 세정	1 μ 이상	중	80 (중량법)	8~12
		10) 필레돈 에어필터	부직포여재의 유닛형 들어내서 세정	1 μ 이상	중	80 (중량법)	6~12
		11) 비닐 스폰지 에어 필터	스폰지상품의 유닛형 들어내서 세정	3 μ 이상	중	80 (중량법)	8~15
	여재 교환	12) 에어매트 에어필터	여지를 pleat상으로 한 유닛형	1 μ 이상	중	92 (중량법)	3~15
		13) 디이프베드	유리여재의 포켓형 유닛 필터	1 μ 이상	소	85 (변색도법)	3~15
		14) NS필터	면을 여재로 한 포켓형	1 μ 이상	소	85 (변색도법)	3~15
	유닛 교환	15) 드라이 배그, 하이 플로우	유리섬유여재를 사용하고 특수하게 취류하는 형	1 μ 이상	소	95 (변색도법)	3~25
		16) 에어로졸브CP6, 다스트론 55, 바리셀 6	유리섬유여재를 pleat상으로 접는다.	1 μ 이상	소	60 (변색도법)	5~10
		16)' 에어로졸브 CP9, 다스트론 95, 바리셀 10	유리섬유여재를 pleat상으로 접는다.	1 μ 이상	소	90 (변색도법)	15~30
17) 아스트로셀, 아브소르트필터, 아트모스퍼팩트		특수가공 글래스 여재를 plate(주름)상으로 한 고성능 필터	1 μ 이하	소	99.97 (DOP)	25~50	
총돌점착식	자동 세정	18) 멀티듀티, 멀티패널	plate스크린 또는 와이어 스크린이 유막을 형성, 자동회전세정	3 μ 이상	대	80~85 (중량법)	12
	정기 세정	19) LP에어필터	와이어 스크린을 3각추상으로 해서 적층한 유닛형	5 μ 이상	대	70 (중량법)	3~12
		20) 그리이스필터	와이어 스크린을 3각추상으로 해서 적층한 유닛형	5 μ 이상	대	80 (중량법)	3~10

정화 원리	보수 방식	상 품 명	기 구	적용 입경	적용 함진 농도*	포집율 (%)	압력 손실 (mm Aq)
	정기 세정	21) 미니록	화학섬유를 특수성형한 유닛형	3μ 이상	중	80 (중량법)	5~15
	여재 교환	22) 레니에 글래스	유리섬유여재를 사용한 유닛필터	3μ 이상	중	80 (중량법)	3~10
흡착식	가스 제거제의 재생	23) 에어 리커버리 W, 필터홀드	활성탄·실리카 겔 등을 피상으로 접은 2매의 평행다공판간에 충전한 것. 충전제를 들어내서 재생	중~저 농도	중	가스의 종류와 충전제에 따라 다르나, 활성탄일 때 SO ₂ 에 대하여 80~90%	5~10
	유닛 교환	24) 에어 리커버리 P, 사이드카본	활성탄·실리카겔 등을 평행다공판 사이에 충전한 유닛형	저농도	중	활성탄일 때 SO ₂ 에 대하여 70~80%	5~10
흡수식	가스 제거제의 재생	25) 아이클린수퍼 S, 에어클린 A	알칼리 또는 이산화망간 등을 부직포 등에 함유시켜 여재를 사용하는 권취형, 여재만 교환	저농도	중	SO ₂ 에 대하여 70~80%	4~10
	유닛 교환	26) 마이클린수퍼 S, 에어클린	알칼리 또는 이산화망간 등을 부직포 등에 함유시킨 유닛형	저농도	중	SO ₂ 에 대하여 80%	4~10
	유닛 교환	27) 캐필러리 워셔	가스의 흡수에 적합한 용액을 여층에 산수(散水)하는 여(濾)층산수형	고~중 농도	중	가스흡수용액에 따라 다르다. SO ₂ 에 대하여 70~90%	20 ~ 100

*함진농도 : 대 : 0.4~7mg/m³, 중 : 0.1~0.6mg/m³, 소 : 0.3mg/m³이하

3.2 에어 필터 집진 이론의 개요

에어필터로써 가장 널리 사용되고 있는 유리섬유 충전층은 공극율이 조진용, 미진용(중성능 필터)에서 98% 정도, 고성능 유리섬유 여재에서도 95% 정도로 매우 높다. 이와 같은 고공극율 섬유층 내에서 서로 맞

대고 있는 섬유간 거리는 평균해서 섬유반경의 8배 이상이 된다. 그림 6은 공극율 95%의 섬유를 삼각평행배열로 했을 때의 배치를 나타내는 것으로써, 필터 내부는 예상 이상으로 극간이 큰 것을 알 수 있다. 이와 같은 섬유배열의 층대를 aerosol이 흘러갈

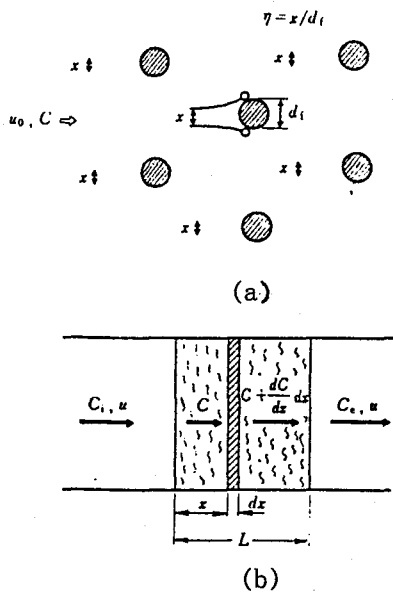


그림 6. 섬유배열과 층내 입자 농도

- (a) : 공극률 95%의 섬유층 배열 모델,
- (b) : 필터 두께방향의 농도 변화

때 그림의 흐름 폭 X를 지나는 입자만 섬유에 포집되고 대부분은 후방으로 보내어진다. 그러나, 섬유가 필터여재의 두께에 충분히 있으면 필터를 완전히 통과할 때까지 입자는 어느 한 섬유에 포집되며, 필터의 두께 방향으로 갈수록 공기는 정화되어진다. 이와 같은 입자 갯수의 두께방향의 감소과정은 투과광 강도의 감쇄과정과 같으며, 상대적으로 감소해 다음과 같은 식으로 나타내어진다.

$$\ln \frac{C_e}{C_i} = -\frac{4}{\pi} \frac{\alpha}{1-\alpha} \frac{L}{d_f} \eta$$

여기서 C_i , C_e 는 필터 입구 및 출구부에

있어서의 aerosol의 농도, α 는 필터 충전율, $L(m)$ 은 필터의 두께, $d_f(m)$ 는 섬유 직경이다. 또 η 는 단일 섬유포집효율로 섬유의 흐름방향 투영단면적에 대한 섬유에 포집되는 입자가 상류에서 통과하는 흐름 단면적의 비로 정의된다. 윗식은 필터의 미소두께에 출입하는 입자의 물질지수로부터 유도되며, 두께 L에 대해서 입자 투과율 $P = C_e/C_i = 1 - E$ 가 대수적으로 감소해 가기 때문에 대수투과식이라고도 불리운다. 이것을 개념적으로 나타내는 것이 그림 7로써 필터의 구조와 조작조건으로 정해지는 η 가 일정하다

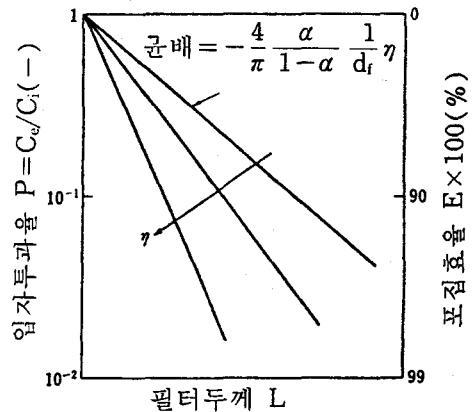


그림 7. 대수투과식의 개념도

면 L을 크게 하면 그림의 직선에 따라 p는 작게 되어 0에 가깝게 되지만, 윗식으로 알 수 있듯이 이 섬유층의 경우 100% 포집은 원리적으로 있을 수 없다. 즉 필터 구조 및 두께를 같게 하고 집진효율 E를 높이기 위해서는 η 를 크게 하지 않으면 안된다. η 는

입자가 공기의 유선으로부터 벗어나서 섬유 표면에 포집되는 다음과 같은 메카니즘에 의하여 구해진다.

입자의 포집 메카니즘으로서는,

관성 충돌
브라운 확산
중력 침강
차단

을 들 수 있으며, 입자 또는 섬유가 대전되어 있는 경우는 상기의 메카니즘 이외에 정전기력에 의한 효과가 매우 크다.

3.3 필터의 선정시 고려 사항

외부공기의 상태에 따라서 공기청정을 위한 필터의 목적이 정해진다. 즉, 외부 공기는 냄새, 비루스, 박테리아로부터 커다란 먼지까지 모든 종류의 오염을 가지고 있는데 이러한 오염들 중에서 어떤 것을 중점적으로 제거해야만 하는가가 필터의 목적이며, 실내로 흘러 들어오는 공기흐름으로부터 미리 오염을 제거하는 것이 바람직하다.

공기필터의 사용은 위생학적인 면 뿐만 아니라 경제성 그리고 공장기술적인 면이 있다. 큰 공기 조화설비에서의 공기 필터링 system은 간단한 공조설비에서보다는 필수적으로 요구되어지며, 수많은 특수한 목적을 위하여 분진의 필터링기술은 특수분야까지 발전되었으며, 적절한 필터의 선정을 위해서 중요한 개념의 이해와 근본적인 심사

속고가 필요하다. 공기필터의 설치는 다음 4가지 관점에 따라서 올바르게 마무리되어야 한다.

1) 안락도

인간의 생활수준이 향상됨에 따라서 삶의 공간 내에서 안락도를 향상시키기 위한 요구는 최근들어 공기 질의 문제에까지 확대되었으며, 설계자는 이 점을 항상 고려하여야 한다.

2) 설비의 보호

실질적으로 많은 경우에 있어서 사용된 필터는 공기질을 상승시킴과 함께 설비의 기술적인 보호의 측면에서 사용되어지는 경우가 많다.

3) 생산성 향상

많은 산업분야에서 생산 현장에 매우 깨끗한 공기를 공급해야만 한다. 이렇게 함으로써 상품의 품질이 향상되고 최적의 작업 조건, 즉 적은 고장, 적은 소재불량, 짧은 작업시간들을 달성할 수 있다. 예를 들면 표면처리 분야, 광학 산업분야 등에는 실내의 청정도가 매우 중요한 인자이다.

4) 건강

외기에 있는 미세한 분진과 많은 가스들은 건강을 해치는 것들이다. 이를 방지하기 위해서 고효율의 필터를 사용하여야 하며, 따라서 송풍기 압력은 높아져야 한다. 병원, 특히 수술실 등은 공기의 질이 매우 높아야 하며, 박테리아 등과 같은 오염이 적절히

제거되어야 한다.

이렇듯 다양한 목적을 달성하기 위해서는 조건에 맞는 필터를 경제성을 고려하여 적절하게 선정하여야 하는데 다음 사항을 고려하여 선정함이 좋다.

1) 분진포집용량(효율)

정해진 운전 차압에 대해서 필터 미디어의 면적당 어떤 분진량이 포집되어야 하는 것이다. 이것은 필터 미디어의 종류, 분진의 종류, 분진의 특성에 따라 다르다. 필터의 효율과 시험방법은 명시되어야만 한다.

2) 교체수명

교체수명이란 필터가 교체되어야만 할 때까지의 가동시간을 말한다.

- a) 차압이 너무 큼으로써 필터가 파손되는 위험
- b) 포집된 분진이 다시 재비산되는 위험
- c) 송풍기가 더 이상의 설계풍량을 송풍하지 못하는 위험

등 때문에 필터를 적절한 때에 교체해 주어야 한다.

공기청정 시스템을 가동시키는데 소요되는 주요한 비용은 송풍기 동력비, 필터 교체비, 노무비이다. 이중 필터교체비(노무비 포함)가 70%를 차지하고 있다. 따라서 필터의 적절한 교체는 중요하며, 실질적으로 초기 차압의 약 3배 정도까지를 교체수명으로 보며, 이때까지 송풍기는 성능을 발휘하여야 하며, 필터는 새것으로 교체되어야

한다. 교체수명은 필터만의 어떤 특성이 아니고 오염된 공기가 지속적으로 공급될 때 그 의미가 있으며, 포집된 분진이 없다면 필터의 수명은 무한대라고 할 수 있다. 실질적으로 정해진 필터 형, 필터 여재, 장소에 따라서 교체수명의 변화는 1 : 20 정도인데, 즉 예를 들어 가장 짧은 수명이 150시간이었다면 조건에 따라 약 3000시간까지도 사용될 수 있다는 것이다.

이것은 분진의 농도에 따른 변화, 분진 크기 분포의 변화, 분진 밀도의 변화 등에 따라 다르다.

실질적인 경험으로부터 비용 산정을 위해서 어떤 주어진 기간 동안에 평균값이 주어질까만 하고, 그런 다음에 교체수명과 송풍기가 적절하게 확정선정되었어도 필터 하나의 교체수명이라는 것은 항상 정확하지가 않다. 교체 수명을 연장시키기 위해서는 필터의 면적은 크게 확대하는 방법이 있는데 필터면적을 두배로 하면 교체수명은 2.5배 정도 길어지며 필터 차압의 상승은 같다.

3) 운전비용

공기조화설비에서 필터는 전체 설비의 가격에 큰 영향을 주며, 같은 분진제거효율, 같은 차압, 같은 분진포집능력을 다르게 할 수 있음에도 불구하고 운전비용을 무시해서는 안된다. 경제성 계산을 위해서 다음을 명심해야 한다.

설비비용, 필터 비용, 교체수명, 조절비용,

분진포집량, 공기유량, 송풍기 효율 등이 검토되어야 하고 주의를 요한다. 투과분진 역시 부수적인 비용(수리비용, 생산성 저하, 작업장 세척비용, 고장 등)의 원인이 된다. 높은 효율이 요구되는 곳에서는 pre-filter를 설치함으로써 주필터의 교체수명을 연장시켜 운전비용을 절감시킬 수 있다.

4) 기타

설치의 용이성, 장소 확보, 온도, 크기 등도 경제성과 연관되어 지며, 필터의 주문시 명시해야 할 사항은

- a. 공기여과의 목적(어떤 조건)
- b. 설비의 크기
- c. 공급실의 크기 혹은 건물의 크기
분진 종류, 분진 농도, 분진의 크기 등이 결정됨
- d. 설치 면적
- e. 최대 차압
- f. 분진의 크기, 제품 등급, 혹은 시험방법에 따른 제거효율
- g. 운전온도 조건
- h. 공기의 특성(분진의 종류, 가스의 종류, 폭발성 등)
- i. 설비의 가동중 세척 가능성 여부
- j. 공기 습도

등으로 system설계자가 항상 염두에 두어야 할 사항이다.

4. 필터의 성능시험 방법

지금까지 언급한 바와 같이 필터는 필터가 설치되어야 하는 system을 정확히 파악하여 필터의 설치 목적에 부합되는 성능의 필터를 선정하여야 함은 재론의 여지가 없다. 따라서 올바른 필터의 선정을 위해서는 필터의 제반 특성을 알아야 함은 물론, 가장 중요한 분진 제거성능을 알아야만 한다. 현대에 들어 생산되는 모든 공산품에 대한 품질인증 제도가 정착되어가고는 있지만 아직까지도 이를 준수하지 않은 상품들이 많기 때문에, 수요자는 이러한 점을 감안하여 제품을 구입발주할 시 반드시 제품의 제반 성능확인서 특히, 분진제거효율 성적서를 반드시 제출받아서 불량품을 설치함으로써 올 수 있는 여러가지 손해를 미연에 방지하여야 한다.

필터를 시험하는 방법에는 여러가지가 있으며, 각각마다 약간씩의 차이점은 있으나 원칙적인 면은 차이가 없다. 지금까지 여러 나라에서 각각의 시험방법들을 약간씩의 수정을 거치면서 수행하여 왔으나, 그 중에서 중성능 이하의 필터효율을 측정하는 가장 널리 쓰이는 시험 방법인 SFI방법, AFI방법, ASHRAE방법에 대해서 간략하게 기술하고자 한다. 이렇듯 다양한 방법이 사용되고 있기 때문에 제작자 또는 성능시험을 수행한 자는 필터의 성능과 함께 반드시 시험방법을 동시에 명기하여야 한다. 현재는 이러한 방법들 중에서 ASHRAE 방법으로 통

일되는 경향을 보이고 있다.

$$\eta = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100(\%)$$

4.1 SFI 방법(Staubforschungsinstitute Boon)

독일의 산업재해를 줄이기 위한 노동환경 향상에 대한 연구를 주로 수행하는 aerosol 연구소에서 사용하는 방법으로써 등급을 a(조진용 혹은 pre-filter), b(미진용), c(고성능용)로 분류하기 위해서 시험분진으로 수정분말 분진이 사용되어진다.

필터의 효율을 평가하기 위해서 그림 8 과 같이 시험필터의 상하류측의 오염이 중량법으로 측정되어 효율이 다음 식으로 계산되어진다.

S_1 : 상류측 분진 농도(중량)

S_2 : 하류측 분진 농도(중량)

4.2 AFI 방법(Air Filter Institute-U.S.A)

AFI의 표준 시험분진에 대해서 시험 필터의 상하류의 분진농도가 중량법으로 측정되어 필터효율을 계산하게 된다.

AFI 표준시험분진은(중량비) :

- 표준시험분진 : 72%(0-5 μ m : 39%,
- 5-10 μ m : 18%,
- 10-20 μ m : 16%,
- 20-40 μ m : 18%,
- 40-80 μ m : 9%)

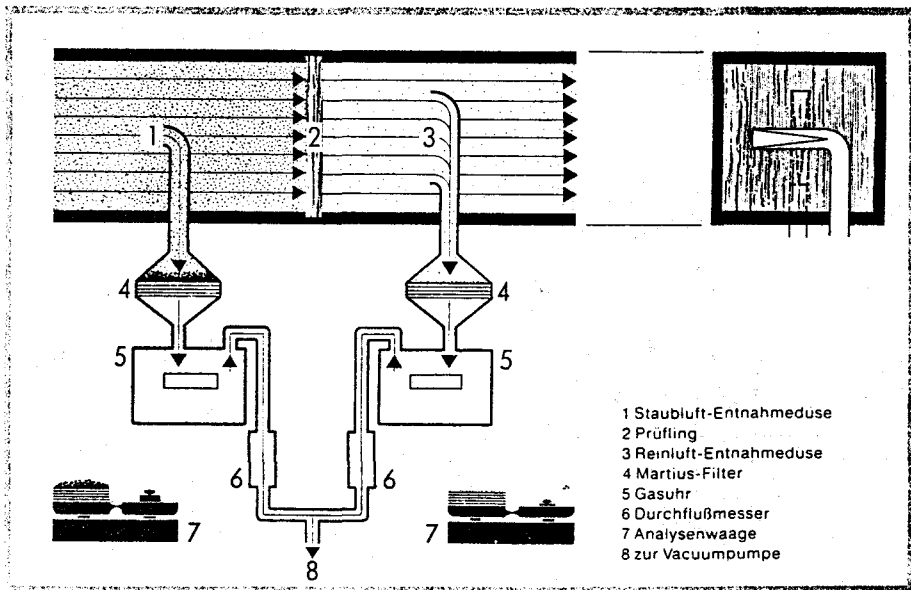


그림 8. SFI 방법에 의한 성능시험 장치 개략도

카본 블랙 : 25% (0.08 μ m)

Cottonlinter : 3%

로 구성되어 있는 것을 사용한다. 또한 영국 규격인 BS 2831에 따르는 방법도 aluminumoxyde 표준분진을 사용하여 중량법으로 성능시험을 수행한다.

4.3 ASHRAE 52-76 방법(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

이 방법은 1968년에 시작되어서 1976년에 확정되었으며, ISO와 Eurovent (Eurpaeshes Komitee der Hersteller Lufttechnisher Anlage) 규격으로 활용되고 있다.

표준시험 분진은(중량비)

표준시험분진 : 72% (0-5 μ m : 39%,
5-10 μ m : 18%,
10-20 μ m : 16%,
20-40 μ m : 18%,
40-80 μ m : 9%)

카본 블랙 : 25% (0.08 μ m)

Cottonlinter : 3%

로 구성되어 있다.

이 방법은 다른 방법과 마찬가지로 시험 필터의 차압과 분진여과성능을 시험하게 되는데 이 분진여과 성능시험은 분진여과성능과 분진포집용량시험 두 가지로 나뉜다. 분진포집용량시험은 ASHRAE 표준 분진을 시험필터의 상류에 주입하여 시험필터의 최

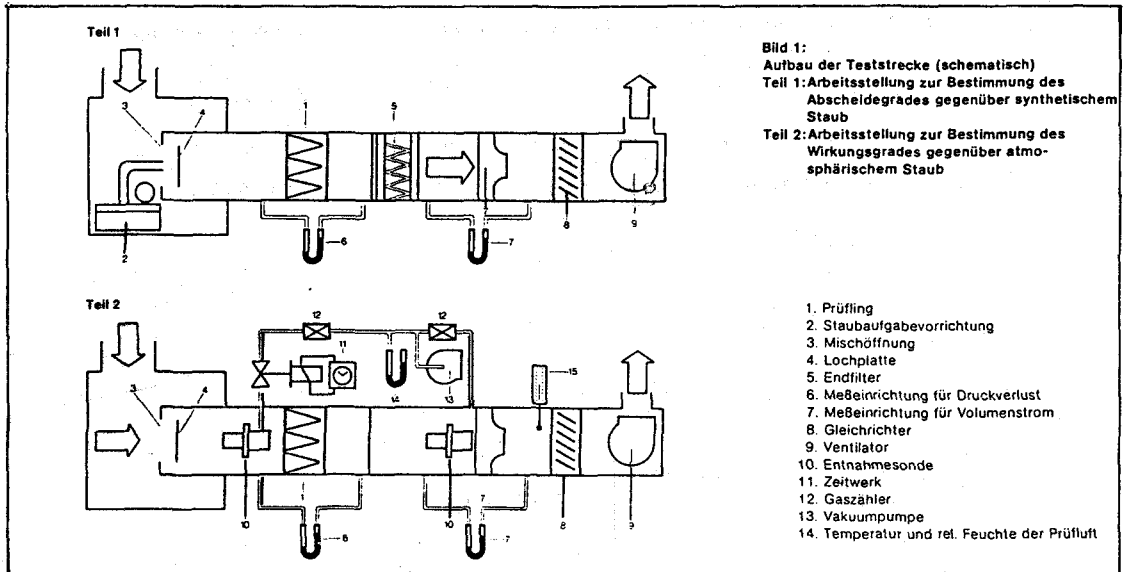


그림 9. ASHRAE 방법에 의한 성능시험 장치 개략도

대사용차압에 도달될 때까지 시험필터가 포집할 수 있는 표준분진의 양을 말한다. 분진여과성능은 대기분진에 의한 여과 성능을 말하며 다만, 그 효율이 20% 미만인 필터는 대기분진에 의한 성능시험은 수행하지 않고 ASHRAE 표준분진으로 시험필터 상하류측에서 분진의 농도를 증량으로 측정하여 효율을 계산하는 AFI방법과 같다. 따라서 AFI 방법과 시험 분진의 조성은 비슷하지만 효율측정의 결과는 다르다. ASHRAE 방법에 따라 시험할 수 있는 장치도를 그림 9에 보였으며, 대기분진에 의하여 효율시험을 할 경우에 대해서는

$$E=100(1-\frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{O_2}{O_1})$$

로 계산할 수 있으며, 여기서

Q_1 : 시험필터의 상류측 샘플링 에어량

Q_2 : 시험필터 하류측 샘플링 에어량

O_1 : 시험필터 상류측 샘플링 시편의 Opacity

O_2 : 시험필터 하류측 샘플링 시편의 Opacity

이다. 또한 표준분진에 의하여 시험을 하여야 하는 경우는

$$A=100(1-\frac{W_2}{W_1})$$

으로 계산될 수 있으며, 여기서

W_1 : 공급된 표준분진의 증량

W_2 : 시험필터를 투과한 분진의 증량

이다. 이러한 시험은 단 한번의 시험으로 그 결과를 확정짓는 것이 아니라 시험을 끝까지 수행하면서, 초기 25%, 50%, 75%, 100%, 정격분진용량을 포집시킨 후 등 6번의 시험결과에 대한 값을 모두 성적서상에 그래프로 나타내며, 이의 평균을 시험필터의 평균성능으로 한다. 그림 10에 이 방법으로 시험한 필터의 성능곡선을 예로 보였다.

5. 필터의 종류

공기조화 분야의 공기청정 분야에서 사용되고 있는 에어필터는 분진제거와 냄새제거가 주 목적이지만 본보에서는 분진제거에 한정하고자 한다.

인조섬유, cottonlinter, 유리섬유 등 섬유상의 매트가 필터 여재로서 많이 사용되며, 근래에 들어 유리섬유의 사용이 증대되었다. 이러한 필터 여재는 매트상으로 roll로 공급되는데 소재가 유연하고 가벼운 것이 특징이다. 필터는 평판형, 절곡형, 원형 등으로 제작되고 있으며, roll 필터로도 제작되고 있다.

분진 제거를 위한 필터는 표 7에 보인 바와 같이 수 많은 제작사들이 다양한 필터 여재를 사용하여 다양한 필터를 제작 판매

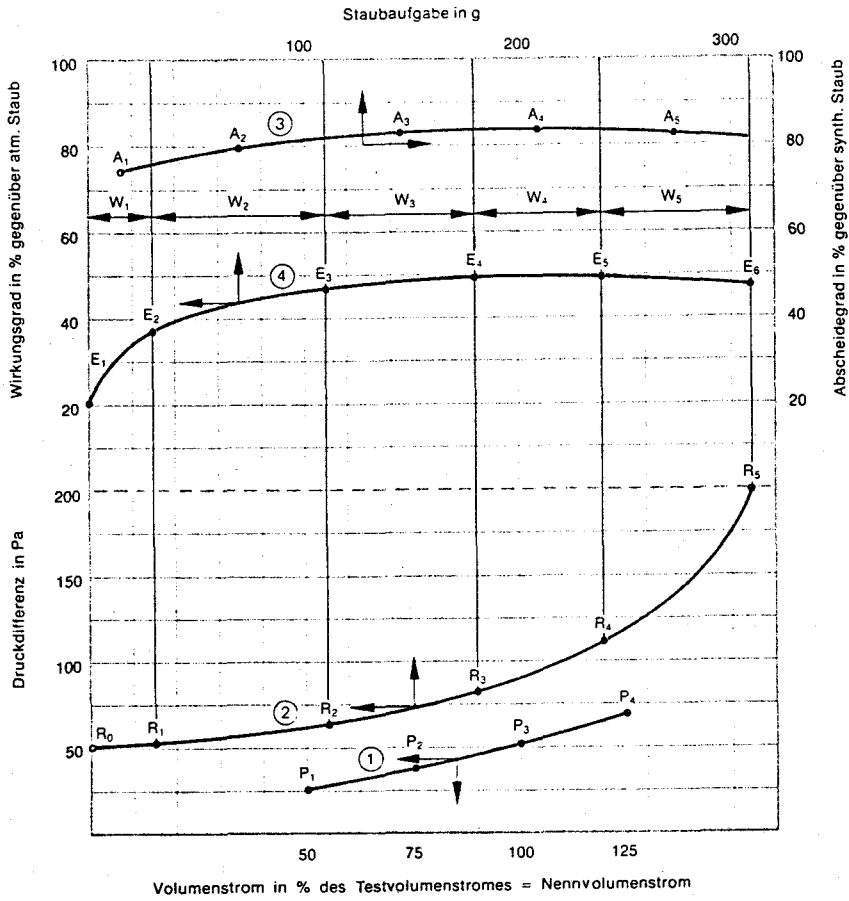


그림 10. ASHRAE 방법에 의한 필터 성능 곡선도

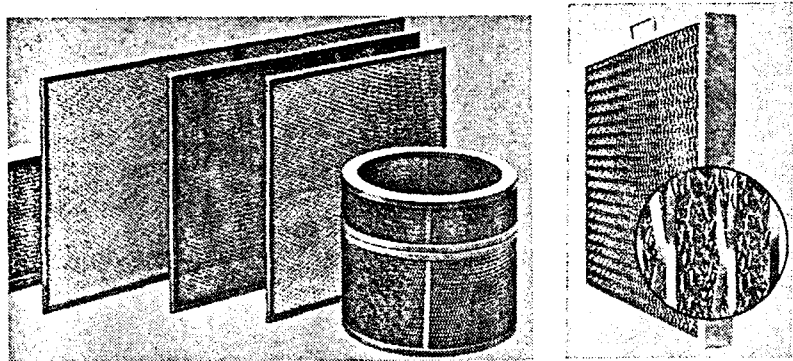


그림 11. Metal filter(DELBAG)

하기 때문에 구체적인 종류를 언급하기에는 매우 어렵다. 다만 형태와 성능을 기준으로 가장 일반적으로 사용되고 있는 몇가지를 약술한다.

5.1 저성능필터

1) Metal Filter

오래 전에 주로 사용되던 필터로서 저가이며, 수명은 길지만 현재는 낮은 여과성능, 높은 유지관리 비용 그리고 불편한 세척 작업 등의 이유로 현재는 잘 사용하지 않는다.

용도는 오염이 매우 심한 곳, 연소가스가 발생되는 산업체 특히, 기름성분이 포함된 오염된 공기의 정화 등에 주로 사용되며, 그림 11에 대표적인 metal filter를 보였다.

2) 판형 필터

가장 일반적인 필터로서 필터틀(frame)에 필터 여재를 평평하게 펴서 충전시킨 것으로서 재작은 가장 용이하지만 여재의 충전량이 적기 때문에 효율이 매우 낮은 pre-filter로 가장 많이 사용되고 있으며, 여재가 성글어서 풍량이 많아져도 압손이 매우 작다.

필터의 효율을 조금 상승시키기 위해서 조금 나은 필터 여재를 사용할 때나, 압손을 더 줄이기 위해서 필터 여재를 많이 충전시키려는 방안으로 필터 면에서 여재를 파도처럼 파형을 형성하게 하기도 하는데

이 경우 필터의 두께가 두꺼워진다. 최근 들어 이러한 pre-filter를 소모성으로 교체할 자주하면서 소정의 목적을 달성하고 구입비용을 줄이기 위해서 필터의 틀을 강도가 있는 종이를 사용하여 제작하여 판매하는 것도 있다. 그림 12는 필터 여재만을 보

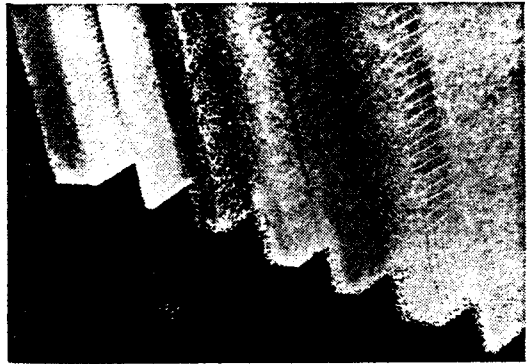


그림 12. 필터 여재

이고 있으며, 그림 13은 필터틀에 여재가 충전되고 있는 형태를, 그림 14는 판형 필터, 그림 15는 처리풍량을 증대시키기 위해서 판형 필터를 “V”형으로 배열시킨 것이며, 그림 16은 이러한 판형 필터를 세척하는 것을 보이고 있다. 이 밖에도 제작사마다 독특한 여러가지 필터가 있음을 첨언한다.

5.2 중성능 필터

1) Roll Filter

대략적으로 환기시스템과 공기조화시스템에 설치된 필터의 50% 정도는 roll filter인

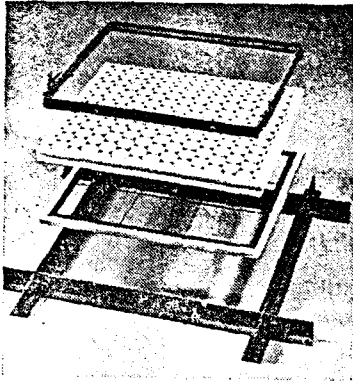
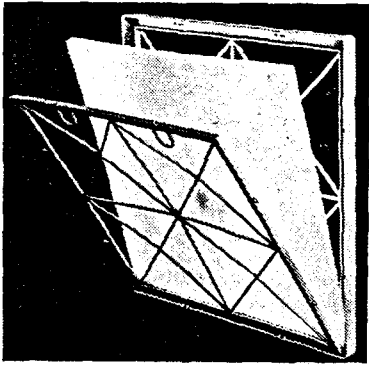


그림 13. 필터틀과 여재 (DELBAG)

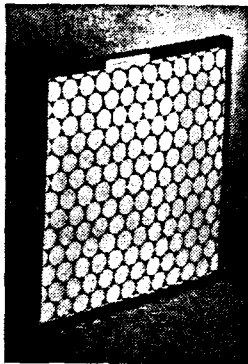


그림 14. 판형 필터

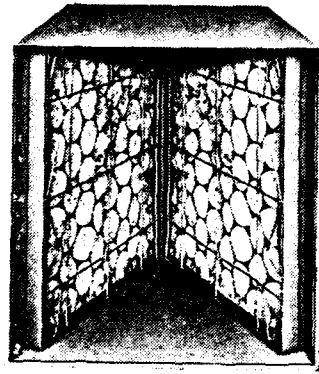


그림 15. 다공량형 판형필터

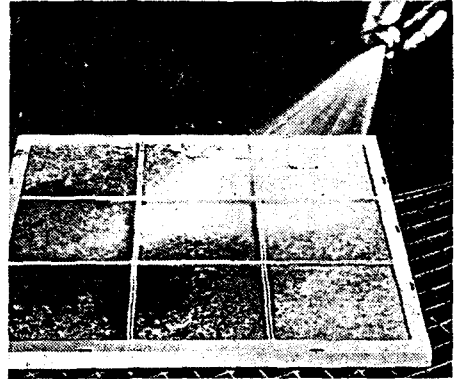


그림 16. 필터의 세척

데, 분진제거효율이 충분하다는 전제로 이러한 필터 형태가 지난 몇몇 동안 높은 경제성으로 사용되어져 왔다.

필터 여재는 길이 20m, 5가지 정도의 폭 (800-2200mm), 50mm 두께로 제작된다. 필터 여재의 끝 부분은 1.5m 정도를 두꺼운 종이로 연결하여서 필터 여재를 완전히 사용할 수 있게 하였다. 정격공기 유량은 8500-350,000m³/hr 정도이며, 공기 속도

2.5-3.0m/s 정도로 한다. 필터의 감김은 접촉마노메타, time switch, 수동식 등으로 작동된다. 필터가 모두 다 감기면 회전 모우터는 정지되고 경고등이 켜진다. 특히 작은 시스템에서는 수동으로 작동되는 것이 많은데, 이 경우 자동작동의 장점인 조절의 시간제약 탈피, 최적의 필터사용, 즉 최적의 차압사용 등은 포기한 것이다.

단점으로는 낮은 분진제거 효율과 적은 분진 포집용량, 많은 필터 여재의 사용(2-3배), 높은 운전비용, 불균일한 성능, leak 발생이 용이하며, 고장의 가능성이 많고 유리섬유의 이탈이 쉬워 이탈된 유리섬유가 다시 오염 분진이 되는 경우 등을 들 수 있

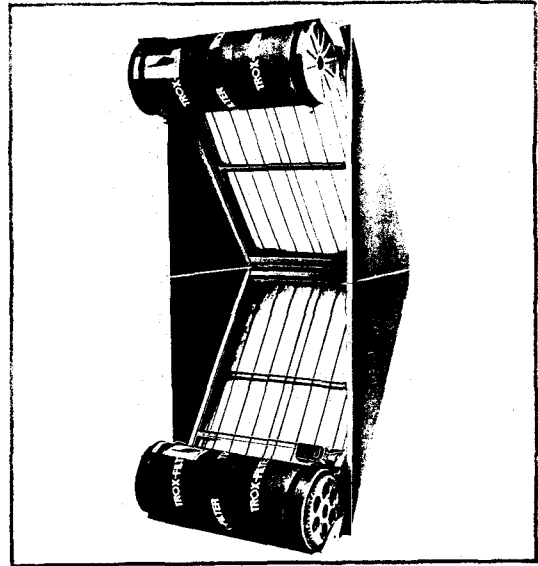


그림 18. Roll필터(다풍량형)

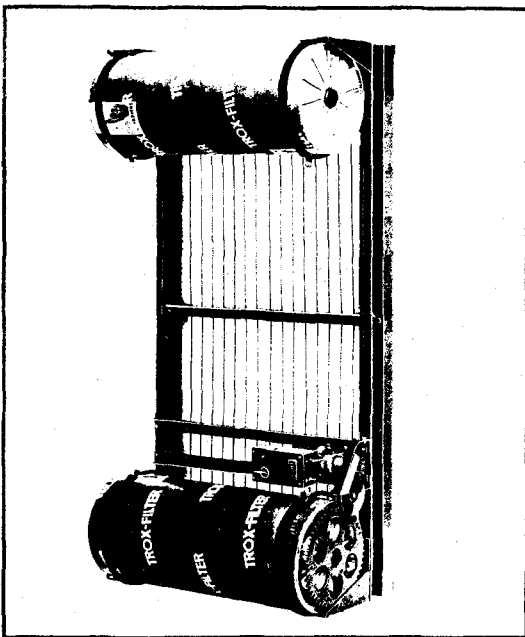


그림 17. Roll필터(TROX)

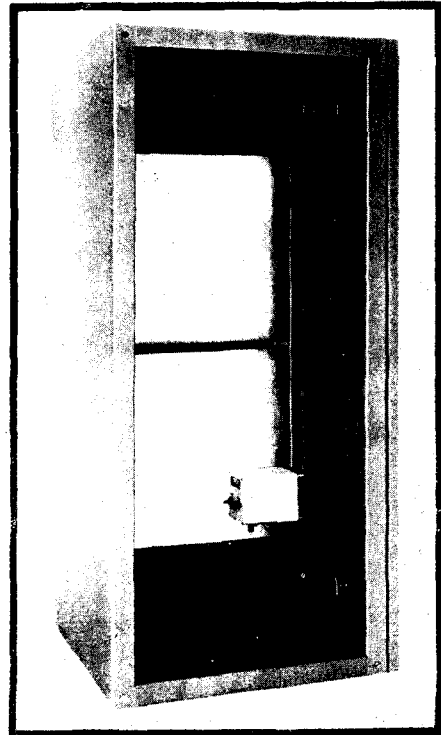


그림 19. Roll필터(덕트형)

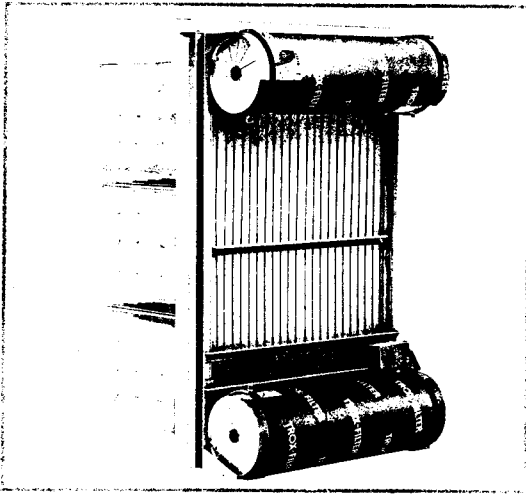


그림 20. Roll필터(고성능용)

다. 여기에 예로 보인 필터들은 TROX사(독일)의 제품인데, 그림 17은 roll filter로서 공조기실의 공기 인입구부 등에 설치되는 형식이며, 그림 18은 통과공기유량을 증대시키기 위해서 통과여재면적을 크게 한 것이며, 그림 19는 덕트내에 설치할 수 있고, 그림 20은 roll filter 후면에 고성능의 백필터를 설치하여 청정도를 향상시킨 것이다.

2) 대용량 필터

이 형의 필터는 수년전부터 사용되어져 오던 것으로 큰 시스템에 사용되어진다. 커다란 필터 프레임에 필터 매디아를 절곡하거나, 여러 개의 평판형 필터를 지그제그형으로 설치하거나 혹은 백필터형으로 설치된다. 장점은 매우 적은 공기유로에 큰 필터링 면적을 확보할 수 있고 백필터로 하면

이 비를 25 : 1까지 할 수 있다. 높은 분진 제거효율(Class C)을 갖을 수 있고, 매디아와 프레임 사이에 고장이 없는 패키징, 낮은 조절 비용, 긴 수명(수명 약 2년), 여러가지 다양한 사용방법(덕트내 설치, 벽면 설치, 공조기에 설치 등) 등을 들 수 있다. 절곡형 필터는 중성능의 필터 여재를 HEPA 필터와 같이 분리판(separator)를 보강재로 하여 cell type으로 제작하여 공기유로에 비하여 대용량으로 사용할 수 있게 하였다. 따라서 이 대용량의 필터는 Roll 필터에 비해 구입비가 비싸다는 단점이 있다. 그림 21은 대용량의 절곡형 필터로서 큰 공기청정 시스템에 직접 설치되는 것이며, 그림 22는 가장 일반적인 백필터이다. 그림 23에서는 백필터 내부에서의 공기의 흐름형태를 보인 것으로서, 우측의 형상은 백필터의 인입구와 끝부분의 단면적이 같아서 공기가 백필터의 끝부분으로 치우쳐 흐름으로써 필터의 차압이 커지고, 필터 후면에서의 공기 흐름분포가 균일하지 않은 결점이 있다. 좌측의 경우는 필터 인입구로부터 끝부분으로 갈수록 단면적이 좁아져, 오염된 공기가 충전된 여재전체면에 골고루 분포되어(통과속도가 같음) 차압이 작고, 필터 후면에서의 공기흐름분포가 균일하여 좋은 성능을 보이고 있다. 현재는 대부분 이런 형태로 제작공급되고 있다.

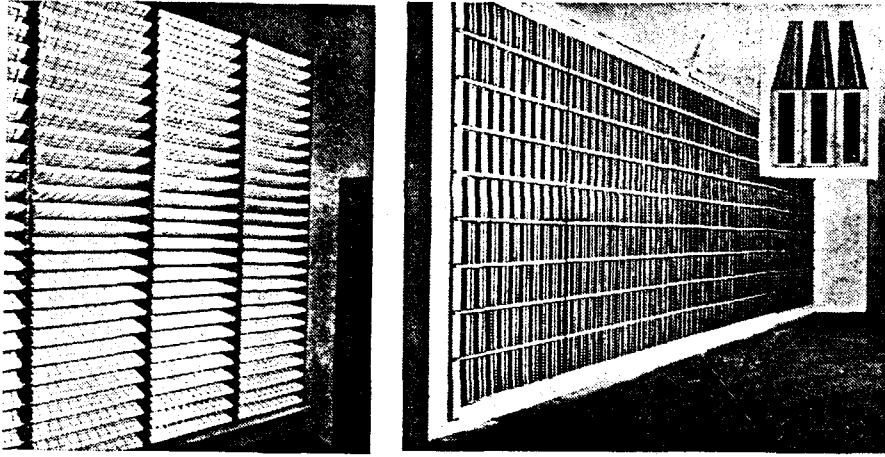


그림 21. 대용량형 질곡필터

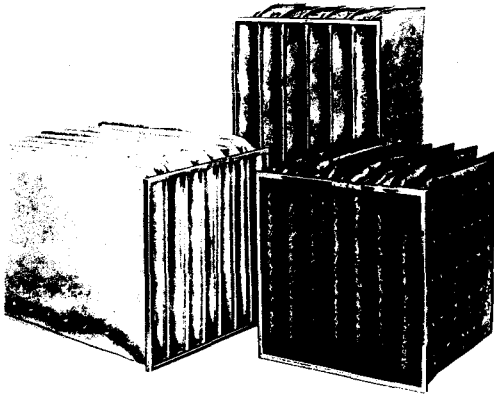


그림 22. 백필터

5.3 정전 필터

지금까지 연구된 바로는 포집효율이 최소로 되는 입경은 중성능 필터인 경우 0.3-1.0 μm 이며, 고성능 필터에서는 0.1 μm 부근에 있다. 가장 포집이 곤란한 submicron 입자의

포집율을 기계적인 방법으로 높이기에는 필터를 두껍게 하거나 충전율을 높이거나, 섬유를 가늘게 만드는 등의 방법이 있지만, 어느 것도 압력손실의 상승을 피할 수는 없다. 따라서 압력손실의 상승을 막고 포집효율만을 높이기 위해서는 입자가 외부로부터 섬유를 향하는 강제력을 작용시키는 것이 가장 효과적이다. 강제력으로서 정전기력을 이용한 필터를 정전기 필터라고 한다.

이 정전기 필터를 대별해 보면 대전필터와 유전필터로 분류할 수 있는데, 대전필터는 섬유 그 자체를 미리 어떤 방법으로 대전시킨 특수한 필터이며, 유전 필터는 원래 무대전의 유전체 섬유층을 일정한 전계중에서 섬유를 분극시킨 것과 섬유층의 앞에 입자 하전기를 둔 것 등이 있다.

정전필터 내에서는 입자와 섬유의 사이에

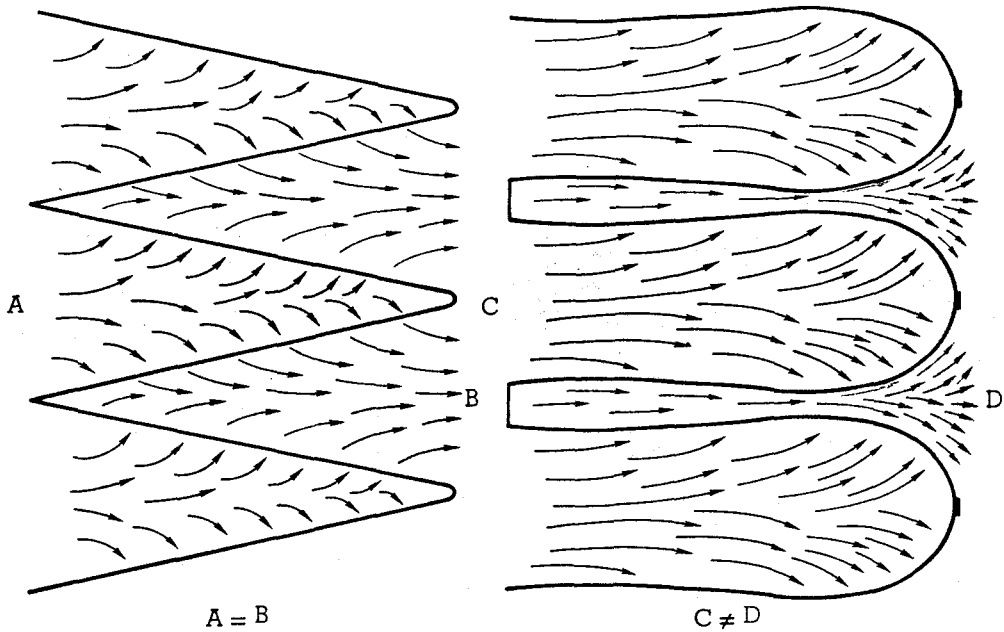


그림 23. 백필터 내에서의 공기흐름 형상

정전기력이 작용해 단일섬유 포집효율이 높아진다.

1) 대전 필터

대전필터는 섬유 표면의 마찰 또는 대전 입자를 섬유에 부착시킨 표면대전 필터와 Electret섬유와 같이 섬유 내부에서 영구 분극을 일으키고 있는 내부대전 필터가 있다. 현재 시판되고 있는 Electret 섬유는 Polystyrene을 재질로 하고 있다. 기계적 포집방법으로만 50% 정도의 집진효율을 보이는 필터를 대전필터로 하면 99.9% 정도까지의 높은 효율을 얻을 수 있으나(압손은 같음), 분진의 집진양에 따라서 효율이 감소하는 경향이 있어서 향후 이 분야에 있어

서 정전기적으로 안정된 필터의 개발이 요망된다.

2) 유전 필터

유전필터의 경우는 입자 하전기 혹은 외부 전계를 부여하기 위해서 설비가 필요하게 되어, 장치의 대형화와 보수관리면에서 복잡하게 된다. 그러나 대전 필터와 같은 분진 부하시 효율저하의 우려는 적다.

6. 필터 사용시 주의사항

에어필터는 분진이 부착함에 따라서 압력 손실이 증가한다. 또 포집효율은 중성능 이상의 필터는 분진의 부착과 함께 상승하는

데 조진용 필터에서는 분진의 부착량이 어느 이상으로 되면 재비산에 의하여 포집효율이 낮아진다. 에어 필터의 수명은 압력손실이 제작자가 정하는 최종압력손실(일반적으로 초기압력의 2~3배인 값을 채용하고 있는 경우가 많다)에 달하고 있을 때, 또는 포집효율이 초기치의 85%가 되었을 때라고 규정하고 있지만(JIS B 9908), 이것은 풍량이 보통 일정치로 유지되는 경우이며, 사용 목적에 따라서 이러한 규정이 적절하지 못한 경우가 있어서 사용자가 정기적으로 필터의 압력손실 뿐만 아니라 풍량을 check하여 설비가 정상적으로 가동될 수 있도록 하여야 한다. HEPA filter와 같은 고성능 필터는 clean room과 같은 청정구역에 사용되며, clean room 내의 return air가 HEPA filter의 상류층에 공급되는 경우는 오염분진 농도가 매우 낮아 분진에 의한 HEPA filter의 수명이 길기 때문에, 이 경우는 막힘에 의한 차압 증가에 따른 수명보다는 작업자가 잘못하여 파손하거나, 운전 중에 송풍기의 동압과 각종의 기기로부터의 진동에 의해 필터가 받는 진동에 의하여 편홀이 발생하고 이로 인하여 누설이 발생할 수 있기 때문에 앞에서 언급한 정기적인 점검이 필요하게 된다.

<참고문헌>

1. 江見準, "Air Filter의 집진성능과 정전기 효과", Clean Room에 있어서 Aerosol의 문제와 Filtering에 관한 기술 Seminar, 1989., pp.15-25.
2. "Super Clean Room", 한국공기청정연구조합 기술지, 1988, 제1집, pp.21-26.
3. "Air Filter(I)", 공기청정기술, 한국공기청정연구조합 기술지, 1990. 3., Vol. 3, No. 1, pp.10-28.
4. Recknagel, Sprenger, Hoemann, "Luftfilter", Taschenbuch für Heizung und Klima Technik, 86/87, Oldenbourg, pp.970-985.
5. Ihle, "Reinhaltung der Luft-Luftfiltrierung", Klimatechnik für Heizungsbauer, Werner Verlag, pp.7-35.
6. 김효경, "에어필터", 공기조화, 동명사, pp.215-224
7. ASHRAE 52-76 "Method of Testing Air Cleaning Devices used in general Ventilation for Removing Particulate Matter.
8. Filter catalogue, TROX(독일)