

에어필터용 섬유 소재

임대영, 최영욱

(한국생산기술연구원 산업용섬유팀)

산업화의 진전에 따른 대기 환경이 점차 열악해지고 오염물질의 종류도 매우 다양해지고 있으며 인체에 치명적인 중금속 및 미세 먼지의 비율이 증가하고 있는 현실이다. 따라서 세계적으로 대기 환경문제에 대한 관심이 커지면서 쾌적한 주거환경을 얻기 위해 또한 전기, 전자, 반도체 산업 등의 발달과 더불어 고청정의 생산공정을 유지하기 위한 방안으로 고효율의 에어필터가 사용되고 있다.

본 고에서는 에어필터를 분류하고 필터 미디어(filter media)의 종류 및 특성을 알아본 다음 마지막으로 에어필터의 시험방법에 대해 종합적으로 정리함으로써 에어필터 관련 산업에 종사하거나 이 분야를 연구하는 연구자들에게 소개하고자 한다.

1. 에어필터의 분류

에어필터는 일반적으로 용도별에 따라 Table 1과 같이 분류되며 성능(여과효율)에 따라 Table 2와 같이 분류하고 있다.

에어필터는 용도별로 볼 때 1) 환기용 에어필터(ventilation filters) 2) 운송용 에어필터(automotive air filters) 3) 산업용 분진제거 필터(industrial dust filters) 즉, 집진 필터 4) 가전제품에 사용되는 각종 필터 및 마스크, 방독면 등에 사용되는 필터들이 있다.

성능에 따른 분류방법은 표준시험 방법에서 규정한 시험 분진 혹은 에어로졸을 이용하여 표준 시험

Table 1. 용도별 에어필터의 분류

구 분	주 요 용 도
1) 환기용 에어필터 (ventilation filters)	① 건물 공조용 필터 ② 클린룸용 필터
2) 운송용 에어필터 (automotive air filters)	① 엔진 에어필터 ② 캐빈 에어필터
3) 산업용 분진제거 필터 (industrial dust filters)	① 프로세스 배기용 필터 ② 공장 환기용 필터
4) 기타	① 마스크, 방독면용 필터 ② 진공청소기용 필터 ③ 공기청정기용 필터 ④ 에어컨용 필터

조건에서 측정한 여과효율 결과를 가지고 분류하는데 국가마다 서로 상이한 표준을 가지고 있어 그 분류가 매우 복잡하지만 세계화(표준의 통합화) 추세에 발맞추어 가장 일반적으로 사용되는 eurovent 및 CEN의 분류체계를 Table 2에 나타내었다. 이 분류는 주로 유럽을 중심으로 하여 사용되고 있으며 이에 따르면 에어필터는 크게 4개로 분류되며, 이는 다시 17개로 세분하여 분류된다. 또 다른 성능에 따른 분류방법으로 제안되기 시작한 것이 미국의 ASHRAE와 EPA의 공동지원에 의해 이루어진 American project의 일환으로 ASHRAE 52-76[ANSI/ASHRAE 52.1-1992의 개정판]를 대체하여 탄생한 ASHRAE 52.2-1999이다. 이 분류법은 최소효율보고치[MERV]에 따라 16등급으로 분류하는 것을 특징으로 하고 있다(Table 3 참조).

대표적인 에어필터들의 종류와 형태를 Table 4에 나타내었다.

Table 2. Eurovent 및 CEN의 성능별 에어필터 등급 분류

분류	Eurovent 등급	CEN EN 779 등급	여과효율(%)	측정방법	표준규격
Coarse dust filter	EU1	G1	<65	합성 분진 포집 효율	ASHRAE 52-76 Eurovent 4/5
	EU2	G2	65~80		
	EU3	G3	80~90		
	EU4	G4	>90		
Fine dust filter	EU5	F5	40~60	대기 분진 Spot 효율	BS 6540 DIN 24 185 EN 779
	EU6	F6	60~80		
	EU7	F7	80~90		
	EU8	F8	90~95		
	EU9	F9	>95		
High efficiency Particulate air Filter(HEPA)	EU10	H10	85	NaCl 혹은 액상 에어로졸	BS 3928 Eurovent 4/5 DIN 24 184 (DIN 24 183)
	EU11	H11	95		
	EU12	H12	99.5		
	EU13	H13	99.95		
Ultra low Penetration air Filter(ULPA)	EU14	H14	99.995	액상 에어로졸	DIN 24 184 (DIN 24 183)
	EU15	U15	99.9995		
	EU16	U16	99.99995		
	EU17	U17	99.999995		

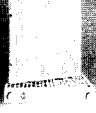
Table 3. ASHRAE 52.2 규격에 따른 최소효율보고치(MERV) 등급 분류

최소효율보고치 (MERV)	혼합평균입자크기효율(%)		
	0.30-1.0µm	1.0-3.0µm	30-10.0µm
1	n/a	n/a	E ₃ <20
2	n/a	n/a	E ₃ <20
3	n/a	n/a	E ₃ <20
4	n/a	n/a	E ₃ <20
5	n/a	n/a	20 ≤ E ₃ < 35
6	n/a	n/a	35 ≤ E ₃ < 50
7	n/a	n/a	50 ≤ E ₃ < 70
8	n/a	n/a	70 ≤ E ₃
9	n/a	E ₂ <50	85 ≤ E ₃
10	n/a	50 ≤ E ₂ < 65	85 ≤ E ₃
11	n/a	65 ≤ E ₂ < 80	85 ≤ E ₃
12	n/a	80 ≤ E ₂	90 ≤ E ₃
13	E ₁ <75	90 ≤ E ₂	90 ≤ E ₃
14	75 ≤ E ₁ < 85	90 ≤ E ₂	90 ≤ E ₃
15	85 ≤ E ₁ < 95	90 ≤ E ₂	90 ≤ E ₃
16	95 ≤ E ₁	95 ≤ E ₂	95 ≤ E ₃

2. 에어필터 미디어의 종류 및 특성

에어필터에 사용되는 미디어는 각종 용도별로 다 종다양한 소재들이 사용되고 있다. 제품의 형태로 보면 직물과 같은 섬유포, 부직포로부터 플라스틱

Table 4. 대표적인 에어필터의 종류와 형태

구분	제품사진	구분	제품사진
① 건물 공조용 필터		② 공장 환기용 필터	
③ 클린룸용 필터		④ 마스크, 방독면용 필터	
⑤ 엔진 에어 필터		⑥ 프로세스 배기용 필터	
⑦ 캐빈 에어필터		⑧ 공기청정기용 필터	

폼, 금속메쉬(mesh)에 이르기까지 매우 다양하며 (Table 5 참조) 사용되는 원료물질도 최종 필터 제품의 형태에 따라 면과 같은 천연섬유로부터 아라미드, 탄소섬유와 같은 고성능 섬유소재까지 많은 종류의 원사가 사용되고 있다(Table 6 참조).

필터의 성능을 결정하는 핵심 인자인 필터의 미디어는 대부분 부직포 또는 직물로부터 제조되는데, 부직포의 경우 통기성이 좋고, 풍량이 커서 차압이

Table 5. 에어필터용 미디어의 용도별 분류

구분	종류
1. 환기용 에어필터 (ventilation filters)	① 유리섬유 패드
	② 극세 유리섬유 페이퍼
	③ 스펀본드 부직포
	④ 벨트블로운 부직포
	⑤ 니들펀칭 부직포
	⑥ 열접합 부직포
	⑦ 플라스틱 폼
	⑧ 금속 메쉬
	⑨ 전기방사 부직포
2. 운송용 에어필터 (automotive air filters)	① 스펀본드 부직포
	② 벨트블로운 부직포
	③ 니들펀칭 부직포
	④ 열접합 부직포
	⑤ 전기방사 부직포
3. 산업용 분진제거 필터 (industrial dust filters)	① 섬유포(fabric)
	② rigidized 미디어
	③ 니들펀칭 부직포
	④ 열접합 부직포
4. 기타 및 부직포	① 코팅 및 라미네이팅 섬유포
	② 정전 처리 부직포

낮게 유지되며, 큰 기공부피를 지니며 굴곡강도가 큰 특징을 지닌 반면에 직포로부터 제조될 경우, 파열강도가 우수하나 굴곡강도, 통기성, 풍량 등이 낮은 특성을 보인다. 구조적인 면에서 섬유층 필터 미디어와 다공질 필터 미디어로 분류될 수 있다. 섬유층 필터 미디어는 공극률이 보통 95% 이상으로 높고, 에어필터의 충전층으로 널리 사용되고 있다. 다공질 필터 미디어는 막(membrane)이라고 불리는 것으로 구조가 복잡한 다공성 수지로 되어 있고 공극률이 10-90%로 섬유층 필터 미디어에 비해 낮아 주로 액체 중의 미세입자의 제거에 사용되고 있으며, 최근에는 고압가스 중의 미세입자의 제거에도 사용되고 있다. 특히 니들펀칭 부직포 제품군의 경우는 스테이플 섬유상의 거의 모든 소재를 적용할 수 있어 최근 그 중요성이 크게 부각되고 있다.

일반적으로 환기용 에어필터 부문은 외부로부터 비교적 적은 농도의 오염물질(분진)을 함유한 공기가 들어와 매우 청정한(오염물질이 극히 적은) 공기를 얻기 위해 사용되므로 여과 메커니즘 면에서

Table 6. 에어필터용 미디어 제조에 사용되는 원료물질

구분	원료물질
페이퍼	셀룰로스, 유리섬유
메쉬(모노필라멘트)	폴리아미드, 폴리에스터, 스테인레스 스틸
니들 펠트 (스테이플 섬유)	폴리아미드, 폴리에스터(PET, PBT), 폴리프로필렌, polyphenylene sulfide(PPS), novoloid, 탄소섬유, 금속섬유 등
스펀본드 부직포	폴리에스터, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌
벨트블로운 부직포	폴리에스터(PET, PBT), 폴리프로필렌, PPS
직물(스테이플 섬유, 멀티필라멘트)	면, 폴리아미드, 폴리에스터, 폴리프로필렌, 아라미드, Poly tatra fluoro ethylene(PTFE), 유리섬유, 탄소섬유 등

볼 때 주로 심층여과(depth filtration) 메커니즘을 따르며, 오염성분이 많이 누적될 경우 폐기해야만 하는 특징이 있다. 이러한 특징은 운송용 에어필터 부문에도 적용된다.

반면에 산업용 분진제거 필터 부문의 경우는 매우 높은 농도의 오염물질(분진)이 함유된 공기를 취급하기 때문에 주로 표면여과(surface filtration) 메커니즘을 따르며, 주기적인 제거공정을 통해 재생시켜 사용하므로, 매우 오랜 시간동안 사용된다.

2.1. 직물형 에어필터 미디어

직물형 에어필터 미디어의 제조에는 스테이플 섬유, 모노필라멘트 섬유, 멀티필라멘트 섬유, 펄브릴화 테입사, 혼섬사 등 다양한 원사들이 사용되고 있다. 이러한 원사들은 형태(Table 7 참조) 및 구조(Table

Table 7. 원사 형태에 따른 에어필터 미디어의 성능 비교 (1=최고수준)

요구성능	성능 순위		
	1	2	3
최대 여과효율	staple ^a	multifil ^b	monofil ^c
최소 통기저항	monofil	multifil	staple
최대 필터 미디어 수명	staple	multifil	monofil
최소 막힘 현상	monofil	multifil	staple

a. staple=스테이플 섬유, b. multifil=멀티필라멘트 섬유, c. monofil=모노필라멘트 섬유

Table 8. 원사 구조에 따른 에어필터 미디어의 성능 비교(1=최고수준)

요구성능	원사 구조 변수								
	원사 직경			꼬임수			가닥수		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
최대 여과효율	L	M	S	Lo	M	H	H	M	Lo
최소 통기저항	S	M	L	H	M	Lo	Lo	M	H
최대 필터 미디어 수명	L	M	S	M	Lo	H	M	H	Lo
최소 막힘 현상	S	M	L	H	Lo	Lo	Lo	M	H

a. L=큼, M=중간, S=작음, Lo=낮음, H=높음

8)에 따라 필터 미디어(원단)로 제작하였을 경우 필터 성능에 많은 영향을 주게 되므로 적용분야에 따라 적절한 원사를 선택하는 것이 바람직하다.

스테이플 섬유는 필터 미디어 원단을 제조하는데 최초로 사용된 원사이며, 비교적 내구성이 강한 제품을 얻을 수 있어 산업용 필터분야에도 최초로 적용되었다. 모노필라멘트 섬유를 이용하여 제작한 원단을 메시(mesh)라고도 부르는데, 현재는 대부분 제지공정 용도로 사용되고 있고, 일부 연료필터(in-tank fuel filter)에 사용되고 있다. 멀티필라멘트 섬유의 경우 특히, Table 8에 나타냈듯이 꼬임수에 의해 필터 성능 및 수명이 크게 좌우되는데, 꼬임수가 많을수록 여과효율은 감소하는 반면에 강성이 증가하여 내구성이 높아지는 특징이 있다.

Table 9에는 직물의 조직에 따른 에어필터 미디어의 성능을 비교하여 나타내었는데, 평직의 경우 위사 간격을 최소화하여 고밀도로 제작하는 것이 가능하므로, 우수한 강성과 여과효율을 갖는 미디어를 제조할 수 있다. 능직의 경우 부출(float) 때문에 경사와 위사가 갈라질(split) 때 평직과 달리 불균일하게 갈라짐으로써 좀 더 벌키한 구조를 가지게 되며, 평직에 비해 더 유연한 미디어를 얻을 수 있으므로 필터 유닛에 끼워 맞추는 것이 쉽다는 장점이 있다. 주자직의 경우는 능직의 경우와 마찬가지로 개념을 가지고 있지만 능직보다도 부출의 길이가 더 길기 때문에 셋 중에서 가장 벌키하고 유연한 구조를 가지고 있지만 여과효율 면에서는 다소 떨어지는 단점이 있다.

이러한 직물들은 실제로는 단독으로 사용하는 경우보다는 성능 및 내구성을 크게 향상시키기 위한

Table 9. 직물 조직에 따른 에어필터 미디어의 성능 비교(1=최고수준)

요구성능	성능 순위		
	1	2	3
최대 여과효율	평직	능직	새틴
최소 통기저항	새틴	능직	평직
최대 필터 미디어 수명	능직	평직	새틴
최소 막힘 현상	새틴	능직	평직

방법으로 복합화(composite)하여 사용되고 있는데, 1) 미세 다공성 표면코팅 2) 다층의 직물을 라미네이션 3) 다층 제직 등의 방법이 있다. 미세 다공성 표면코팅에는 PTFE 코팅, 폴리우레탄 코팅 등의 방법이 일반적으로 많이 쓰이고 있으며, 여러 층의 직물들을 접착하여 제조하는 라미네이션 방식은 가장 일반적인 필터 미디어 제조방식이다. 마지막으로 다층 제직의 방법은 Sefars사에 의해 개발된 매우 정교한 첨단 제지공정으로 한번의 제지공정만으로 tetex multi-layer fabric을 제조할 수 있는 매우 획기적인

Table 10. 부직포형 에어필터 미디어의 분류

구분	종류	
펠트류 미디어	· 니들펀칭 부직포 미디어	· 화학 결합 부직포 미디어
	· 접합형 부직포 미디어	· 수지 결합형 부직포 미디어
교락형 미디어	· 열접합형 부직포 미디어	· 니들펀칭 부직포 미디어
	· 건식 방사형 부직포 미디어	· 펠트블로운 부직포
		· 스핀본드 부직포
		· 플래시 방사 부직포 미디어
		· 전기방사 부직포 미디어

Table 11. 부직포형 에어필터 미디어의 적용분야별 종류

적용분야	니들 편칭형 미디어	부직포 형태별 미디어의 종류			
		결합형(bonded) 미디어			
		건식 부직포 (dry laid)	습식 부직포 (wet laid)	방사형 부직포(spun)	
				스핀본드	멜트블로운
HVAC 에어필터 fabric dust filters	○	○		○	○
진공청소기용 백	○		○		○
식용유 제조			○		○
안면 마스크용 카트리지	○	○	○	○	

방법이다.

2.2. 부직포형 에어필터 미디어

부직포형 에어필터 미디어는 크게 펠트류와 접합형 미디어로 나뉘며, 결합형 미디어는 다시 접합형 부직포와 건식 방사형 부직포 미디어로 나눌 수 있다(Table 10 참조). 1990년 이후 방사형 부직포 제조기술이 급속히 발전함에 따라 멜트블로운, 스펀본드, 플래시 방사 등의 기술을 동시에 접목한 다양한 복합소재들이 출시되고 있으며, 최근에는 전기방사 기술이 접목되어 한층 성능이 향상된 제품들이 출시되고 있다.

Table 11에는 부직포형 에어필터 미디어의 종류와 적용분야를 요약하여 나타내었다.

대부분의 부직포형 에어필터 미디어는 복합 부직포 형태로 만들어 지는데, 가장 잘 알려진 것이 SMS(spunbond-meltblown-spunbond) 3층 부직포이다. 이러한 조합은 필터 미디어에서 요구되는 여과 메커니즘에 따른 것으로, 심층여과가 요구될 경우 유체의 흐름방향에 따라 섬유의 섬도가 증가하도록 배치하여 표면층은 프리필터(pre-filter)의 역할을 하고, 심층에서는 미세분진을 제거하도록 디자인할 수 있다. 반면에 표면여과가 목적인 경우는 미디어 표면층의 기공 크기를 조절함으로써 얻어지는데, 최근에는 표면에서의 미세분진 제거 효율을 크게 향상시키기 위한 방법으로 초미세 기공을 가지는 PTFE 멤브레인 등을 스펀본드 부직포의 표면층

에 복합화하여 사용하고 있다.

3. 에어필터의 시험방법

일반적으로 에어필터는 필터 미디어, 세퍼레이터, 접착제, 프레임 등으로 구성되어 있으며, 그 성능은 핵심 구성요소인 필터 미디어의 특성에 의해 크게 좌우된다. 필터 미디어의 대표적인 성능은 입자 투과율(포집효율)과 압력강하이며, 그밖에 기본중량, 두께, 인장강도, 신장률, 강성, 고온중량손실, 수분발생 등의 시험이 실시되고 있다. 완제품의 필터 유닛 성능시험 항목은 입자 포집효율, 압력손실, 분진 유지 능력, 압력변형, 누설시험, 내염성, 내구성, 열풍에 의한 저항 및 내습도 시험 등이 있다.

3.1. 시험용 분진 및 에어로졸

Table 12에는 에어필터 시험에 일반적으로 사용되는 다양한 시험분진 및 에어로졸의 입자크기 및 분포 데이터를 정리하여 나타내었으며, 이에 대해 규정한 대표적인 표준규격은 Table 13과 같다.

이밖에도 영국 국방성의 DEFSTAN 0755, 자동차산업연구협회의 MIRA Grade 1~5(BS 4552와 동일), IEC 312(fine, coarse), BS 2831(No.2, No.3), MIL(810 D, 8593, E5007 C 등 매우 다양한 시험분진이 사용되고 있는 실정이다.

에어로졸의 하나인 DOP는 Table 14에 나타난 바와 같이 이와 동등한 특성의 물질인 PAO(polyalpha

Table 12. 에어필터 시험에 사용되는 시험분진 및 에어로졸의 종류

구분	분류	소재	입자 분포 (%wt)	크기 범위 (μm)
분진 ^a (dusts)	AC coarse ^b 에어크리너 시험분진 (아리조나 로드 분진) = SAE J726 coarse	석영 광물	10-14	0-200
			9-15	0-5
			11-18	5-10
			20-26	10-20
			27-33	20-40
			6-12	40-80
	AC fineb = SAE J726 fine	석영 광물	37-41	80-200
			15-21	0-80
			13-19	0-5
			15-21	5-10
			6-12	10-20
			6-12	20-40
	ASHRAE 52/76	molacco black SAE J726 fine	23	40-80
			72	0-80
	ISO 12103-1 A1 ultrafine (아리조나 사막 모래)	코튼린터(cotton linters) 석영 광물	5	1-20
			(max. vol%)	1-20
			1-3	1
			9-13	2
			21-27	3
			36-44	4
			56-64	5
			83-88	7
			97-100	10
			100	20
	ISO 12103-1 A2 fine	석영 광물	(max. vol%)	1-120
			2.5-3.5	1
			10.5-12.5	2
18.5-22.0			3	
25.5-29.5			4	
31-36			5	
41-46			7	
50-54			10	
70-74			20	
88-91			40	
ISO 12103-1 A3 medium	석영 광물	99.5-100	80	
		100	120	
		(max. vol%)	1-120	
		1-2	1	
		4.0-5.5	2	
		7.5-9.5	3	
		10.5-13.0	4	
15-19	5			
28-33	7			

Table 12. 에어필터 시험에 사용되는 시험분진 및 에어로졸의 종류

구분	분류	소재	입자 분포 (%wt)	크기 범위 (μm)
에어로졸 (Aerosols)	ISO 12103-1 A4 coarse	석영 광물	40-45	10
			65-69	20
			84-88	40
			99-100	80
			100	120
			(max. vol%)	1-200
			0.6-1	1
			2.2-3.7	2
			4.2-6.0	3
			6.2-8.2	4
			8.0-10.5	5
			12.0-14.5	7
			17.0-22.5	10
			32.0-36.0	20
			57.0-61.0	40
	87.0-89.5	80		
	97.0-98.5	120		
	99.0-100	180		
	100	200		
	BS ISO 5011 coarse	석영 광물		0-150
BS ISO 5011 fine	석영 광물		0-75	
BS 2831 No.3	용융 알루미늄		8-32	
BS 2831 No.2	용융 알루미늄		0-10	
BS 2831 No.1	methylene blue(고상)		0.6	
BS 3928 NaCl	NaCl(고상)		0.6	
DOP(미국)	dioctylphthalate(액상)		0.3	
Uranine(프랑스)	fluorescein의 Na 염(고상)		0.12	

a. Particle Technology Limited에 의해 제조됨

b. General Motors의 AC Spark Plus Division에 의해 제조되고, A.C.Delco에 의해 판매됨

Table 13. 시험분진을 규정한 시험규격

표준규격	제 목
ISO 12103-1	road vehicles - test dust for filter evaluation - Part 1: arizona test dust
ISO 12103-2	road vehicles - test dust for filter evaluation - Part 2: aluminium oxide test dust
SAE J 726	air cleaner test code → Fine(=AC fine), coarse(=AC coarse) test dust 규정
JIS Z 8901	test powders and test particles
KS A 0090	시험용 분체 및 시험용 입자
BS ISO 5011:2000	inlet air cleaning equipment for internal combustion engines and compressors. performance testing → fine, coarse test dust 규정 → 이전 규격을 대체: BS 1701:1970 / BS 7226:1989

olefin, Emery 3004), DOS(dioctyl sebacate) 등으로 대체하여 시험할 수 있다.

3.2. 필터 미디어의 성능 시험 방법

필터 미디어의 성능을 평가하는 시험장치는 유동

공급원, 에어로졸 공급원, 필터 미디어시험 덕트, 입자계수 시스템으로 구성되며, 미국 IES-RP-CC021.1에 근거한 시험장치의 개략도를 Figure 1에 나타내었다. 본 시험장치는 입자 크기별 자동 필터 효율 및 차압을 측정할 수 있는 장비로 분무기(atomizer)

Table 14. DOP 및 대체물질의 특성 비교

물질명	비중	점도 [cP]	비점 [°C]	굴절률
DOP (dioctylphthalate)	0.986	82 (20°C)	390	1.485
PAO (emery 3004)	0.819	16.9 (40°C)	401	1.4556
DOS (dioctylsebacate)	0.915	17.4 (25°C)	240	1.448
DEHS (di-ethyhexylsebacate)	0.9119	*1)	368	1.4496
Mineral oil, heavy	0.845~0.905	>125 (20°C)	300	1.471
Ondina(EL), extra light	0.853	37 (20°C)	*1)	1.467
Kydol, mineral oil	<1.0 (15°C)	67 (40°C)	230	1.4787
Corn oil	0.918	*2)	*3)	1.464
PEG 400	1.128	105 (25°C)	*3)	1.465
Paraffin oil	0.855	*1)	*1)	1.476
NaCl	2.165	*1)	801	1.544
Polystyrene latex	1.04~1.12	*1)	60~80	1.52~1.60

*1) 불명 *2) 농산물이기 때문에 일정하지 않음 *3) 비점 범위 넓음

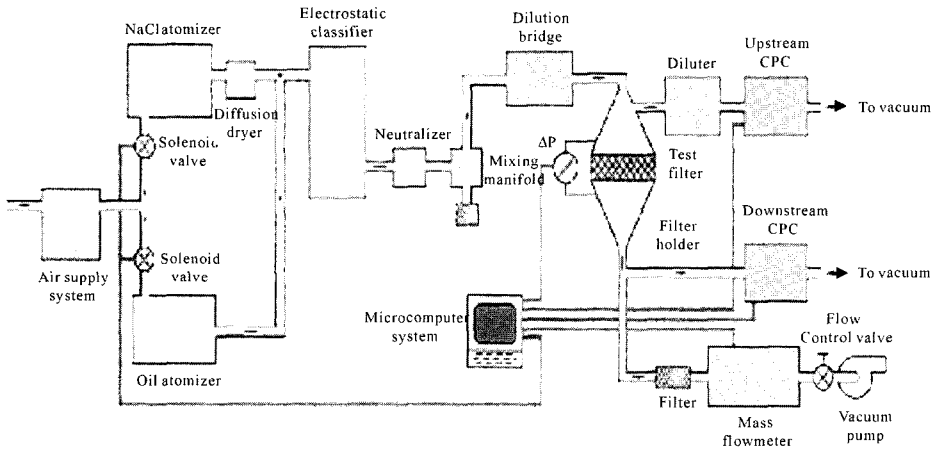


Figure 1. 전형적인 필터미디어 시험장치 개략도.

에서 NaCl(KCl), DOP, DES, 파라핀 등의 에어로졸(aerosol)을 0.015~0.8 μm(20가지 입경 선택 가능)의 크기로 생성하며, 정전분류기(electrostatic classifier)를 이용하여 단분산 에어로졸을 발생시킨다. 이후 전기 중화기(neutralizer)로 입자 하전을 중화시킨 후 필터 미디어에 배출시켜 상류(upstream)과 하류(downstream)에 입자를 응축입자카운터(condensation particle counter, CPC)로 탐지하여 필터의 효율을 측정하며 99.99999%까지 정밀하게 효율을 측정할 수 있다. 또한 차압의 측정은 upstream과 downstream의 유동 압력계지를 사용하여 측정한다.

미국의 ASTM-F778에는 필터 미디어의 압력강하 시험에 대해 나와 있는데, 필터 미디어 고정장치에 면적 100 cm²의 시료를 장착한 후 풍량을 면속도 5.33 cm/s로 하여 필터 미디어의 상류와 하류에 있는 압력공에 연결된 차압계로 압력강하를 측정하는 방법을 기술하고 있다.

3.3. 미디움 에어필터 성능 시험방법

미디움 에어필터 유닛의 성능 시험장치의 원리는 Figure 2와 같다. 특정 크기의 시험용 입자를 공급하여 상류측과 하류측의 입자 검출기를 통해 입자의 개수 혹은 농도를 측정함으로써 포집 효율을 측

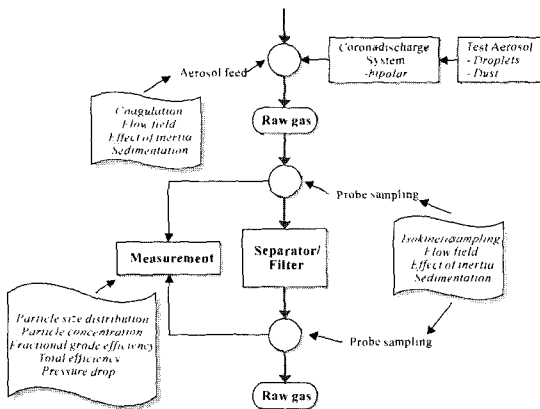


Figure 2. 에어필터 시험장치 개략도.

정하도록 고안되었다.

Table 15에는 전 세계적으로 알려져 있는 대표적인 미디움 에어필터 표준성능 시험규격을 정리하여 나타내었다.

이중에서 가장 일반적으로 ASHRAE 52.2 필터 성능 시험장치는 Figure 3에 나타낸 바와 같이 시

험용 입자 공급부, 유동 덕트(duct)로 이루어져 있으며, 여기에 외부 유입공기 청정용 필터, 정류격자 및 오리피스(orifice)가 부착되고, 압력손실 측정부, 풍량 측정부가 설치되어 있다. 덕트내 벨마우스, 점확대관 및 정류격자는 공기의 흐름을 원활하게 하고 시험용 입자를 균일하게 혼합 확산시키는 기능을 한다. 시험용 입자 채취관은 입자가 균일하게 혼합되어 있는 위치에 부착된다. 한편 유닛 고정부는 플랜지(flange)로 시험체를 4면에서 기밀되게 고정할 수 있으며 시편의 설치 및 탈거가 용이하게 되어있다. 시험체의 상류측과 하류측 간의 정압차를 경사형 마노미터(manometer)로 측정하며, 정압공은 유닛 고정부에서 덕트 직경의 1/2 만큼 떨어진 상류측과 하류측에 각각 1개소가 설치된다. 또한 풍량 측정부에는 KS B 6311에 규정된 오리피스 유량계를 설치한다. 시험용 입자는 보통 가압 분무형의 노즐을 사용한 발생기에서 특정 크기로 공급된다.

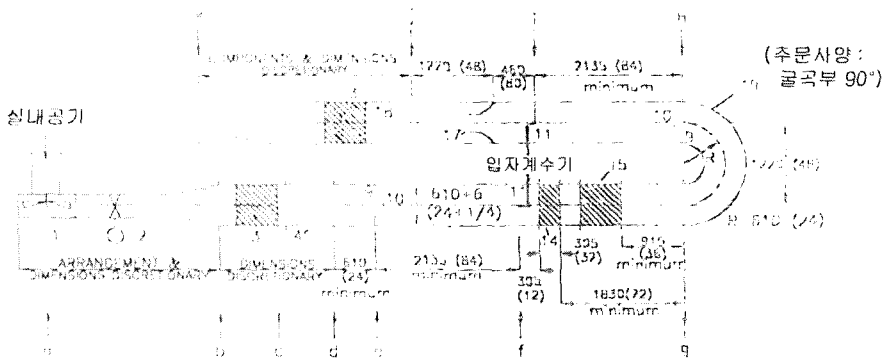


Figure 3. ASHRAE 52.2-1999 환기용 에어필터 유닛 시험장치 개략도.

Table 15. 미디움 에어필터 표준성능 시험규격

표준규격	제 목
ASHRAE 52.1-1992	gravimetric and dust-spot procedures for testing air cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter
ASHRAE 52.2-1999	method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size
EN 779	particulate air filters for general ventilation - requirements, testing, marking
KS B 6141	air filter units for ventilation
KS B 0000-2000	test methods for air filters
RS K 0002	환기용 중성능 에어필터 유닛

Table 16. 클린룸용 HEPA필터 표준성능 시험규격

규격	제목
KS A 6740	클린룸용 에어필터 성능시험방법
KS A 4812	방사성 에어로졸용 고성능 에어필터
KS B 0000-2000	에어필터 성능시험방법
RS K 0003	공조 및 클린룸용 HEPA 필터 유닛

3.4. 클린룸용 HEPA필터 성능 시험방법

HEPA필터 성능 시험원리도 Figure 2와 동일하며, Table 16에는 이들의 성능평가와 관련된 표준성능 시험규격을 정리하여 나타내었다.

Figure 4에는 KS B 6740에 기술된 클린룸용 에어필터 성능평가장치의 개략도를 나타내었다.

3.5. 캐빈 에어필터 성능시험방법

캐빈 에어필터는 자동차 공조장치(에어컨과 히터를 통해 유입)에 의해 실내로 유입되는 공기를 정화해 주는 필터이며, 분진 제거용의 particle 필터와 입자 및 유해가스를 동시 제거하는 combination 필터로 구분된다.

Table 17에는 캐빈 에어필터의 성능평가와 관련된 표준 시험규격을 정리하였다.

DIN 71460 및 ISO/TS 11 155에 근거한 자동차용 캐빈 에어필터 유닛의 성능평가장치(Figure 5 참조)는 크게 분진 제거성능 평가부분과 유해가스 제거성능 평가부분으로 구성되어 있다. 분진 제거성능 평가시스템은 공조장치, 공기공급장치, 유량측정

Table 17. 자동차용 캐빈 에어필터 표준 시험규격

규격	제목
SAE J1669	Passenger compartment air filter test code
SAE J1669-2	Passenger compartment air filter test code - Test method for gas removing filters
DIN 71460-1	Air filters for motor vehicle passenger compartments; Test procedure for particle filtration
DIN 71460-2	Air filters for motor vehicle passenger compartments; Test procedure for adsorption filtration
ISO 5011	Inlet air cleaning equipment for internal combustion engines and compressors - performance testing
ISO/TS 11 155-1	Road vehicles - Air filters for passenger compartments. part 1: test for particulate filtration
ISO/TS 11 155-2	Road vehicles - Air filters for passenger compartments. part 2: test for gaseous filtration
RS K 0011	자동차용 캐빈 에어필터 유닛

장치, 압력손실 측정 장치, 에어로졸 도입장치, 샘플링장치를 포함한다. 한편 유해가스 제거성능 평가시스템은 공조기, 유량 측정기, 압력손실측정기, 오염물 주입기, 샘플링 장치, 가스 분석기 등으로 이루어져 있으며 시험가스와의 접촉하는 시스템의 모든 부분은 내화성을 가지도록 설계되었다.

성능 시험항목으로는 초기압력손실, 초기 분별 제거효율, 분진 포집능력, 유해가스 제거효율, 유해가

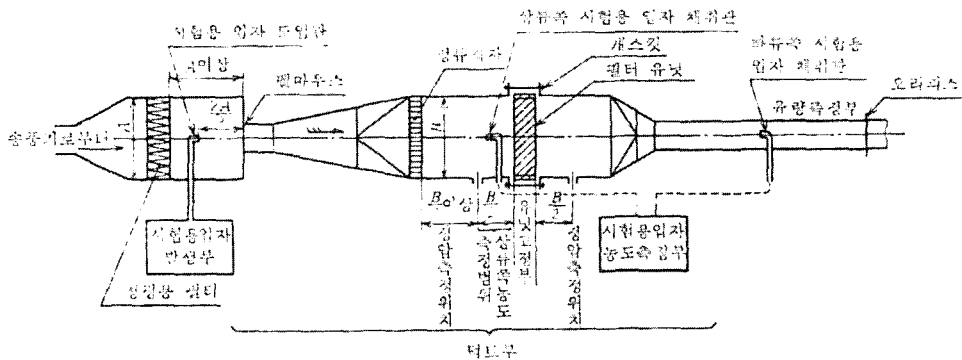


Figure 4. 클린룸용 에어필터 성능평가장치 개략도 (KS B 6740-1995).

스 탈착능이 있으며, 이밖에도 연소성, 내곰팡이성, 내박테리아성 등이 있다.

3.6. 필터백 미디어 성능시험방법

생산공정 중에 발생한 먼지를 통과시켜 공기를 정화하거나, 분체의 이송 및 분급 혹은 저장 등에 사용되는 필터 백은 원형 및 직사각형으로 제조되며, 사용중의 형태안정성을 유지하기 위해 백내부에 지

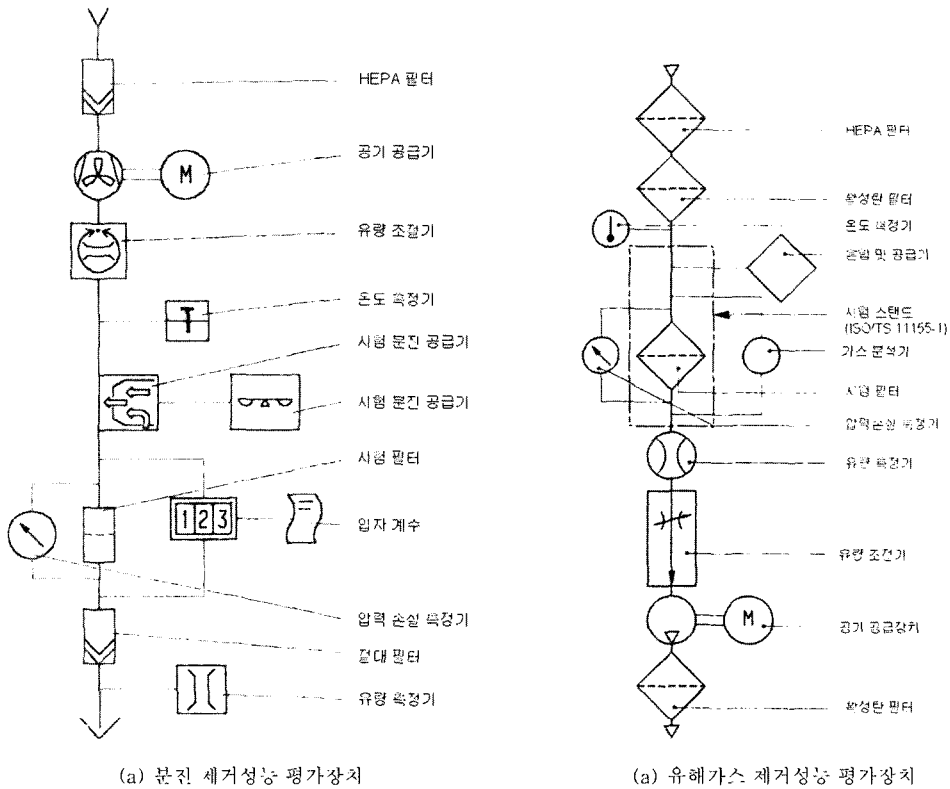


Figure 5. 캐빈 에어필터 성능평가장치 개략도.

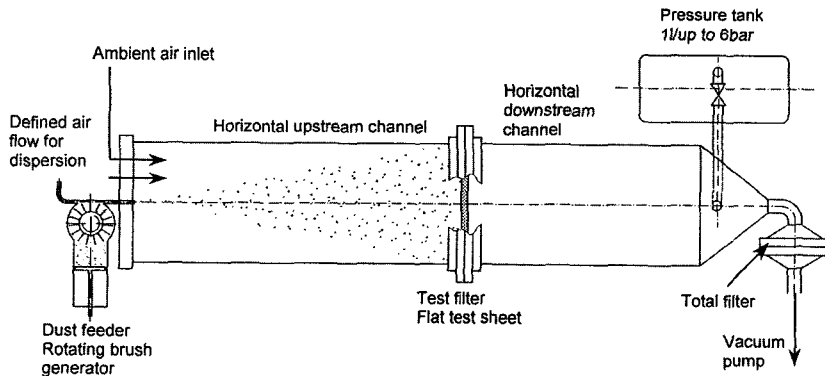


Figure 6. 필터백 미디어의 성능평가장치 개략도 (MMTC-2000).

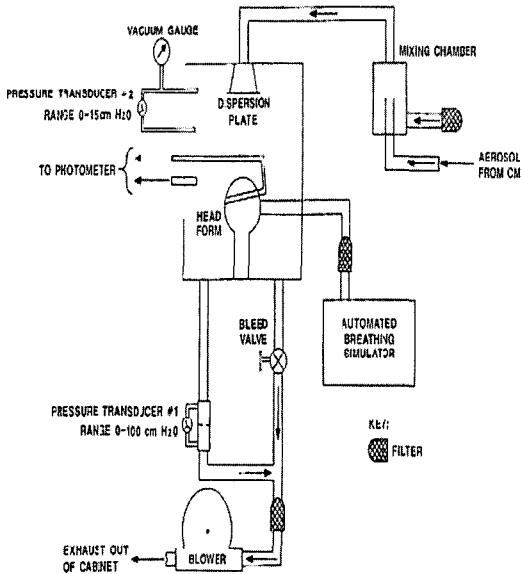


Figure 7. 마스크 필터 성능평가 장치.

지구조인 케이지가 장착된다. 필터백의 성능은 필터 미디어에 크게 의존하며, 필터 미디어는 주로 PP, PE, PS(polystyrene), PPS(polyphenylenesulfide), PTFE, PAN, Aromatic polyamide, PI(polyimide) 또는 무기계 섬유(유리섬유)로부터 직포, 부직포, 펠트 형태로 제조된다. 필터백 미디어의 성능향상 및 용도에 적

합하도록 대전특성, 비응집성, 발수성, 발유성, 난연성, 형태안정성 등의 기능향상 가공을 한다.

일반적으로 이들의 성능 평가와 관련된 표준 시험규격은 다음과 같다.

- VDI 3926 type2: testing of filter media for cleanable filters under operational conditions

필터백 미디어의 성능평가장치(Figure 6 참조)는 독일의 VDI 3926 type 2에 의한 것이며, 주요 성분은 연속 분진 공급시스템, 필터파지와 흡입장치를 가진 실린더형의 수평적으로 배열된 시험경로, 압력탱크, 다이아프램과 블로우튜브를 포함한 탈진 시스템, 광도계에 따른 농도 감시를 위한 window, 출구부에 분진농도의 중량결정을 위한 깨끗한 출구 공기부에 설치된 전체필터 등이다.

필터백 미디어의 성능 평가항목은 주로 여과성능(배출농도), 차압, 통기도, 인장강도 및 신율, 파열강도, 발수도, 난연성, 내약품성, 평균기공도 등이며 적용 분야에 따라 적정 기준치가 적용된다.

3.7. 마스크(mask) 필터 성능시험방법

최근 전 세계적으로 환경오염의 심각성이 대두되

Table 18. 마스크 및 방독면 표준 시험규격

규 격	제 목
NIOSH 42 CFR Part 84	respiratory protective devices; final rules and notice
ASTM F2101-01	standard test method for evaluating the bacterial filtration efficiency (BFE) of medical face mask materials
NFPA 1981	standard on open-circuit self-contained breathing apparatus for fire and emergency services
EN136	respiratory protective devices. full face masks. requirements, testing, marking
EN140	respiratory protective devices. half masks and quarter masks. requirements, testing, marking
EN141	respiratory protective devices. gas filters and combined filters. requirements, testing, marking
EN143	respiratory protective devices. particle filters. requirements, testing, marking
EN149	respiratory protective devices. filtering half masks to protect against particles. requirements, testing, marking
EN405	respiratory protective devices. valved filtering half masks to protect against gases or gases and particles. requirements, testing, marking
OSHA 29CFR1910.134	respiratory protection standard
KS M 6673	방진마스크

면서 환경규제치가 점차 강화되고 있으며, 또한 직업병(진폐증, 비중격천공 등)으로 인한 산업재해의 발생률이 급속하게 높아져 안전보호구의 검정규격도 점차 강화되고 있다.

마스크 필터의 성능 평가장치는 아래의 Figure 7과 같이 구성되어 있으며 그 원리는 중/고성능 필터 혹은 캐빈 에어필터 부분에서 설명한 것과 유사하다. 방진 마스크의 성능 평가항목 중 가장 중요한 요소는 분진 포집효율과 흡기저항이며 시험방법은 KS M 6673 규정에 따르고 있다.

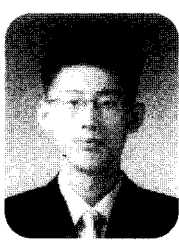
Table 18에는 마스크 및 방독면의 성능 평가와 관련된 표준 시험규격을 정리하였다.

참고문헌

1. 한국공기청정협회, "공기청정편람", 제 1권 기초편, 1996.
2. 한국공기청정협회, "공기청정편람", 제 2권 기기편, 2002.
3. 한국공기청정협회, "공기청정편람", 제 3권 응용편, 2003.
4. 한국공기청정협회, "에어필터 성능시험 방법", 공기청정협회 단체규격, 2000.
5. 한국표준협회, "환기용 공기필터 유닛", 한국산업규격, KS B

- 6141 - 1992.
6. 한국표준협회, "클린룸용 에어필터 성능시험 방법", 한국산업규격, KS B 6740 - 1995.
7. 산업자원부 기술표준원, "환경 정화용 집진 필터백 미디어", 신뢰성 기준 RS K 0001: 2001.
8. 산업자원부 기술표준원, "환기용 중성능 에어필터 유닛", 신뢰성 기준 RS K 0002: 2001.
9. 산업자원부 기술표준원, "공조 및 클린룸용 HEPA 필터 유닛", 신뢰성 기준 RS K 0003: 2001.
10. 산업자원부 기술표준원, "자동차용 캐빈 에어필터 유닛", 신뢰성 기준 RS K 0011: 2002.
11. ANSI/ASHRAE, "Gravimetric and dust-spot procedures for testing air-cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter", ANSI/ASHRAE Standard 52.1, 1992.
12. ANSI/ASHRAE, "Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size", ANSI/ASHRAE Standard 52.1, 1999.
13. VDI, "Testing of filter media for cleanable filters", VDI 3926, 1994.
14. T. Christopher Dickenson, "Filters and filtration handbook", 4th ed., Elsevier Advanced Technology, U.K., 1997.
15. Handbook of Filter Media, 2nd Ed., Derek B. Purchas and Ken Sutherland, Elsevier Advanced Technology, 2002.

저자 프로필



최영욱
 1991-1995. 전남대 섬유공학과 졸업
 1996-1998. 전남대 섬유공학과(석사)
 1998-2002. 전남대 섬유공학과(박사)
 2002. Clemson 대학 (Post-doc.)
 2003-현재. 한국생산기술연구원 산업용 섬유팀 선임연구원
 e-mail : yochoi@kitech.re.kr



임대영
 1986-1990. 한양대 섬유공학과 졸업
 1990-1992. 한양대 섬유공학과(석사)
 1992-1995. 한양대 섬유공학과(박사)
 1995-2000. 삼양그룹 삼양제넥스연구소 선임연구원
 2001-2002. 한양대 BK21사업단 계약교수
 2002-현재. 한국생산기술연구원 산업용 섬유팀 선임연구원
 e-mail : zoro1967@kitech.re.kr