

필터종류별 개발 기술과 평가방법

1. 필터 개요

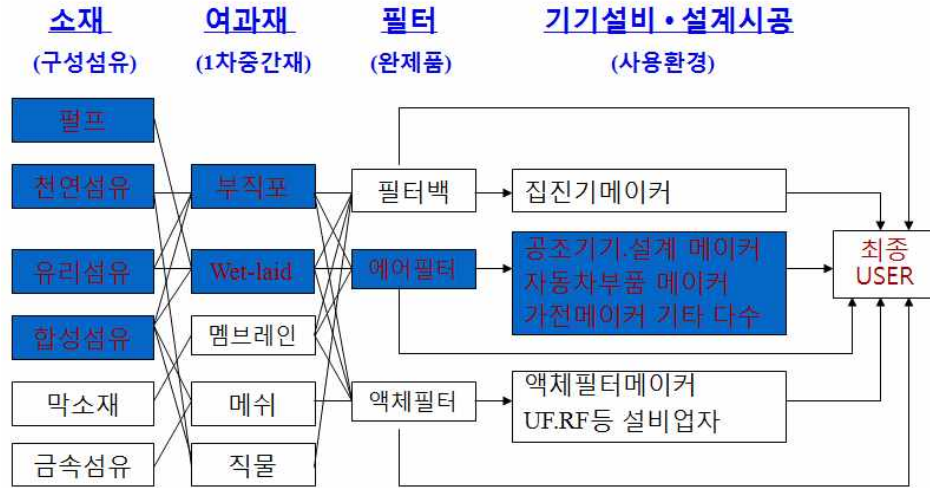
필터는 다른 상을 포함한 기체, 액체가 통과하는 격벽의 양측에 압력차를 만들어 기체, 액체로부터 그 안에 현탁되어 있는 다른 상의 입자를 효과적으로 분리하는 소재 또는 장치로 정의된다. 필터는 미세먼지를 비롯한 각종 오염과 세균 및 바이러스 등을 차단하는 성능의 여과 소재로써 멤브레인의 일종으로 일반적인 멤브레인은 미세 기공을 통해 여과시키는 물질로 필름의 형태나 필름 코팅 소재를 지칭하지만 광범위하게는 부직포 소재의 경우에도 미세 기공의 크기에 따라 다양한 오염원을 제어하는 역할을 하므로 멤브레인이라고 할 수 있다. 필터는 에어필터, 수처리 필터, 가스 필터 등 여과 대상에 따라 구분되며 각 분류에 따라 각각의 평가 장치 및 방법이 구체화되어 있다.

최근 공기의 질 뿐 아니라 수질 환경오염의 증가로 인해 산업용, 가정용, 개인용으로 공기 청정기, 에어컨 및 마스크 등 다양한 용도 맞춤형 제품의 성능이 고도화되는 경향과 더불어 환경 친화성 소재 개발로 기존의 유리섬유를 대체하거나 다양한 후가공 및 복합화 가공을 통해 성능 향상 뿐 아니라 내구성이 우수한 필터 여재의 개발이 활발해지고 있다. 본 자료에서는 에어필터와 수처리 필터의 구조 및 성능 구분, 그리고 평가방법 및 개발 방향에 대해서 서술하기로 한다.

1) 필터의 종류

- ① Gravity filter : 여과 저항이 비교적 적은 경우에 중력만으로 여과재를 통과하여 여과하는 방식이다.
- ② Vacuum filter : 여과 저항이 커져서 중력만으로는 불충분할 때 필요한 경우로 보통 0.5~5기압 정도의 압력을 적용 된다.
- ③ Pressure filter : 1기압 이상의 여과 압력이 필요한 경우 보통 0.5-5기압 정도의 압력이 적용 된다.
- ④ Compression filter : 액체를 고압으로 압출하는 것으로서 300-600기압의 압력이 적용된다.

2) 필터의 소재별 종류 및 제조방법



3) 필터 소재별 특징

소재	사용온도(℃)		화학적 안정성			
	연속	최대	산소계	산	알칼리	유기용제
Cotton	80	110	△	X	○	○
Wool	95	120	△	○	X	△
Polyamide(Nylon)	95	120	△	X	○	○
Polypropylene(PP)	80	105	○	◎	◎	△
Polyacrylonitrile (PAN)	110	140	◎	◎	△	△
Polyester(PET)	120	180	○	△	X	○
Polyphenylenesulphide(PPS)	190	230	○	◎	◎	◎
M-Polyaramide (Nomex)	200	240	X	X	○	◎
Polyimide(PI)	240	260	◎	△	○	○
Polytetrafluoroethylene(PTFE)	260	280	◎	◎	◎	◎
Glass	280	300	◎	○	X	◎
Ceramic (Metal oxide)	760	1200	◎	◎	X	◎

◎ : Excellent, ○ : Good, △ : Not Good, X : Poor

① Wet-laid 부직포 소재 필터

- 정의 : 종이 제조 원리로 습식 부직포 수중에서 웹이 형성되며 Wet-laid 부직포 원료로 사용되는 섬유는 섬유장이 긴 화학섬유를 사용하고 부직포 웹을 슬롯을 통해 벨트에 적층하여 제조 한다.
- 특징 : 부직포 제조 공법 중 중량편차가 낮고, 두께가 균일한 부직포를 제조할 수 있으며, 상대적으로 섬유장이 타 부직포 대비 짧으나, 강도는 우수하며 웹 내 이방성 섬유 배향을 가진다.
- 용도 : 연료필터, 제지, 포장지, 지지체 등.

② 멜트 블로운부직포 소재 필터

- 정의 : 고분자 수지를 초극세 섬유 부직포로 전환시키는 방법이다
- 특징 : 고유 직경이 3-5 μ m인 초극세 섬유로 구성되어 있어, 유연성, 비 투과성, 절연성, 차단성이 뛰어나며, 정전 성능을 부여하면 여과 성능이 우수하며 1 μ m이하의 섬유를 제조하여 고성능 고효율의 울파필터 제조가 가능한 기술개발이 되고 있다.
- 용도 : Filter, 절연재, 마스크, 흡수시트, Wiper, 오일 흡착포 등.

③ 스펀본드 부직포 소재 필터

- 정의 : 열가소성 고분자를 용융하여 노즐을 통해 연속 필라멘트 직접 방사하고, 에스피레이터에서 상온 고압으로 섬유 극세화 및 냉각 후 벨트에 웹을 형성한 후, 카렌더링, 니들펀칭 등의 결합 방법으로 이루어진 부직포 제조 방법이다.
- 특징 : 등방성질(인장강도, 탄성율, 인열 강도)을 가지고 있으며, 상대적으로 뻣뻣하며, 흡수성 및 균제도가 낮은 단점이 있다.
- 용도 : 일회용 위생제, 일회용 보호의복, 내구성 종이 및 포장재, 자동차, 집진용 여과 필터, 토목용 및 농업용, 보강 및 스크림.

④ 니들펀칭 부직포 소재 필터

- 정의 : 웹 형성기에 의해 형성된 웹을 바늘로 수직, 경사방향 또는 양방향으로 바늘을 상하 운동으로 웹 내 섬유간 상호 결합시켜 웹강도, 두께 및 형태를 부여하는 부직포 제조 방법이다
- 특징 : 니들의 펀칭 횟수, 밀도에 따라 부직포의 두께 조절과 강도 조절이 용이하며, 다양한 형태의 부직포를 생산할 수 있다.
- 용도 : 카페트, 모포, 필터, 코팅 기포제, 심지 등.

⑤ 직물 소재 필터

- 정의 : 씨실(경사)과 날실(위사)이 서로 교대로 교락 되면서 가로와 세로축이 안정한 구조를 이루어 직물 형태로 제조된다.
- 특징 : 사용되는 실의 소재, 굵기에 상관없이 안정된 구조를 가지며, 경 /위사 방향으로 강도 및 형태 안정성이 우수하다.
- 용도 : 의류, 침장지, 필터, 스크림 등.

⑥ 멤브레인 소재 필터

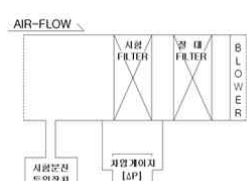
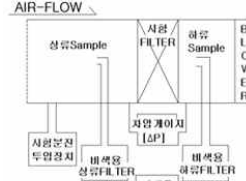
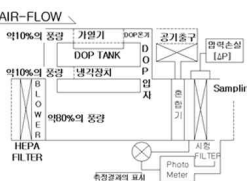
- 정의 : 필름 제조 공정 중 MD로 연신하면서 기공을 형성하기 때문에 다양한 기공 크기에 필름형 여과재를 제조할 수 있다.
- 특징 : 멤브레인 기공이 아주 작아 우수한 포집효율을 가지며, 발수 발유 성능이 우수하여 여과된 이물질과 쉽게 탈락되는 장점과 역세 공정을 통해 재사용이 가능하다.
- 용도 : 백필터, 수처리 멤브레인, 의류용 투습방수포, 의료용 등.

2. 에어필터

1) 에어필터란?

- ① 에어필터는 공기 중 부유하는 작은 미세 입자(미세 먼지 및 곰팡이 등)를 여과하는 여과매체로써 사용하는 장소와 용도에 따라 제품의 형태와 요구 특성을 구분하고 있으며, 용도 및 성능별 평가 기준을 각 지역에 따라 테스트 조건을 달리하고 있다.
- ② 에어필터의 구분
 - 에어필터에서 산업용 필터는 주로 공기조화기 필터로써 공장 및 건물 외부의 공기를 내부로 흡기할 때 공기중의 미세 입자를 여과하는 필터로써 기본적으로 필터 시스템은 3단계로 구성된다.
 - Pre Filter -> Medium Filter -> HEPA Filter
Pre Filter는 50%내외의 오염원을 제어하고 Medium Filter는 80%, HEPA Filter는 95% 이상의 미세 먼지를 여과하는 공기가 유입하게 된다.
 - HEPA Filter는 0.3마이크론 크기의 미세먼지를 99.97%를 여과하는 고성능 필터를 일컫지만 95% 또는 97% 이상을 semi-HEPA Filter로 명명하여 사용하기도 한다.
 - 가정용 필터는 공기청정기가 대표적으로 실내 일정 공간의 미세입자를 제거하는 필터와 에어컨, 진공청소기와 같은 백색 가전제품 사용 시 배출되는 공기의 미세 입자를 제거하는 필터가 주류이다.
 - 90년대 까지 주로 유리섬유 필터를 사용하였으나, 유리섬유의 잠재적 인체 위험 요소로 인해 대체 소재로써 폴리프로필렌과 같은 합성섬유 필터 여재 제조기술이 개발되어 성능 및 내구성 향상 등 필터 여재의 기술적 도약이 이뤄졌다.
 - 마스크 필터는 산업용과 보건용으로 구분하며 산업용은 공장 현장 및 산업현장의 발생되는 미세입자 및 흙을 여과하는 필터이고, 보건용은 대기 환경의 오염 및 산업화에 의해 일상생활에 부유하는 미세 입자와 중국에서 발생되는 황사를 여과하는 필터이다.
 - 마스크 필터는 지역별, 성능별 등급으로 구분하여 제품화 되고 있다.
 - 자동차용 필터는 연료 및 엔진오일의 효율 증대를 위한 유수분리필터 외부의 공기를 자동차 실내로 유입할 때 먼지를 제거하는 에어컨필터 등 다양한 형태와 용도로 사용 되고 있다.

③ 에어필터의 성능 시험 방법

	중량법	비색법	계수법
시험법			
규정	AFI SFCTION-1 1953년 ASHRAE STANDARD 52-76 1876년	AFI SFCTION-@2 1960년	MIL STANDARD 1943년
시험 분진	AFI DUST AIR-CLEANER TEST DUST(FINE) 72% CARBON BLACK 25%	NBS A 96% CONTROL DUST 4% CONTROL DUST NBS-B 대기진	DI-OCTYL-PHTHALATE 0.3um(D.O.P 입자)
적용	PRE FILTER	MEDIUM-FILTER	HEPA FILTER

- 에어필터를 측정하는 기본 테스트 방법이며 제품에 따른 테스트 방법이 다소 차이가 있다.

- 산업용 필터의 Pre Filter, Medium Filter는 중량법, 비색법을 사용하며 그 외 HEPA급 또한 가정용, 마스크, 자동차 에어컨 필터는 계수법으로 측정 한다.

- 중량법 : 일정량의 분진을 통과시켜 필터 통과 후 통과한 분진량의 차이를 확인하여 필터 등급을 나누는 방법.

$$\text{중량법 포집효율(\%)} = [m_1 / (m_1 + m_2)] \times 100$$

* m_1 : 시험필터의 포집된 분진중량

m_2 : 후미 필터에 포집된 분진중량

- 비색법 : 시험필터 전후에 분진을 포함한 공기의 일부를 여지에 공급하여 빛을 쬐어서 통과한 양을 측정, 분진의 양에 따라 투과광의 양이 변하므로 투과광 양을 필터의 상류, 하류 측에서 측정하여 효율을 계산. (OD값=광학 밀도)

$$\text{비색법 포집효율(\%)} = [1 - (OD_{\text{하}} / OD_{\text{상}})] \times 100$$

*OD_하 : 하류측의 OD값

OD_상 : 상류측의 OD값

- 계수법 : 초고성능 필터(HEPA)의 포비효율을 측정하는 시험법, 시험분체는 JIS-13종의 분경 0.3um HOT DOP(Di-Octyl Phthalate)로써, 이를 분산시켜 필터의 상류측으로 보내고 검출기에 의해 포집효율 산출.

$$\text{DOP 포집효율(\%)} = [1 - (C_2 / C_1)] \times 100$$

* C_2 : 하류측 에어로졸 농도

C_1 : 상류측 에어로졸 농도

2) 산업용(공기조화기) 필터

- 공장 및 건물의 외/내부의 공기 유입에 대한 분진을 여과하는 필터.

* 산업용 필터 제품 구성

	Pre-Filter	Medium Filter	HEPA Filter	ULPA Filter
소재	부직포	Synthetic/ 유리섬유	Synthetic/ 유리섬유	Synthetic/ 유리섬유
형태	Pleat / Pocket	Pleat / Pocket	Pleat	Pleat
효율	65%이하	65 ~ 95%	99.97%	99.995% 이상
Test 방법	중량법	비색법	계수법	계수법
사용 기간	6개월~1년	6개월~1년	2~3년	5년 이상

- 필터별 Grade는 여과 효율로 구분하며 Grade별 테스트 기준의 차이가 있다.

- 산업용 필터 등급은 MERV(Minimum Efficiency Reporting Value)를 기준으로 분류 한다.

: ASHRAE Standard 52.2-1999 명시 Dust size별 효율 기준으로 Grade가 나뉘며 효율은 말기 차압 기준(=초기 차압 2배 시점 중 큰 숫자로 지정/ 여과 속도 2.5m/s)으로 분류 한다.

MERV	입자크기별 효율(%) / 크기 범위(μm)			평균 포집율(%)	최소 최종 압력손실	
	0.30-1.0	1.0-3.0	3.0-10.0		Pa	Aqua
1	n/a	n/a	$E_3 < 20$	$A_{svf} < 65$	75	0.3
2	n/a	n/a	$E_3 < 20$	$65 \leq A_{svf} < 70$	75	0.3
3	n/a	n/a	$E_3 < 20$	$70 \leq A_{svf} < 75$	75	0.3
4	n/a	n/a	$E_3 < 20$	$75 \leq A_{svf}$	75	0.3
5	n/a	n/a	$20 \leq E_3 < 35$	n/a	150	0.6
6	n/a	n/a	$35 \leq E_3 < 50$	n/a	150	0.6
7	n/a	n/a	$50 \leq E_3 < 70$	n/a	150	0.6
8	n/a	n/a	$70 \leq E_3$	n/a	150	0.6
9	n/a	$E_2 < 50$	$85 \leq E_3$	n/a	250	1.0
10	n/a	$50 \leq E_2 < 65$	$85 \leq E_3$	n/a	250	1.0
11	n/a	$65 \leq E_2 < 80$	$85 \leq E_3$	n/a	250	1.0
12	n/a	$80 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	n/a	250	1.0
13	$E_1 < 75$	$90 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	n/a	350	1.4
14	$75 \leq E_1 < 85$	$90 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	n/a	350	1.4
15	$85 \leq E_1 < 95$	$90 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	n/a	350	1.4
16	$95 \leq E_1$	$95 \leq E_2$	$90 \leq E_3$	n/a	350	1.4

*에어필터 에너지 효율 등급

에너지 효율 등급	예상 연간 전력소비량 (kWh/annum)				
	MERV 9~10	MERV 11~12	MERV 13	MERV 14	MERV 15~16
1	0~450	0~550	0~800	0~1,000	0~1,250
2	450~600	550~650	800~950	1,000~1,200	1,250~1,450
3	600~700	650~800	950~1,200	1,200~1,500	1,450~1,900
4	700~950	800~1,100	1,200~1,700	1,500~2,000	1,900~2,600
5	950<	1,100<	1,700<	2,000<	2,600<

- 에너지 효율 등급은 외부 공기를 흡입하는 motor의 전력소비량으로 계산되며 차압(압력손실차이)에 의하여 차압이 낮을수록 Motor의 Fan 속도가 낮아져도 동일유량이 통과하기 때문이며, 높은 차압의 필터 대비 에너지를 적게 사용하기 때문에 에너지 효율 등급이 높아진다.

3) 필터의 개발현황

- 공조기 필터는 단순히 여과성능을 기본으로 한 유리섬유 필터 여과 매체에서 현재 저차압 성능의 동등이상 수준의 여과효율을 보이는 필터 소재인 합성고분자 필터 여과매체로 대체가 이루어졌다.
- 기존 유리섬유필터 여과 매체가 물리적 기공크기로써 성능을 구현 하였다면 합성 고분자필터 여과지의 경우 Melt-blown이 대표적인 부직포 제조 방법을 통해 정전처리 기술을 융합시켜 여과 성능뿐 아니라 저차압 성능에 이한 에너지 절감과 인체 및 환경 무해성 소재로의 대체 효과, 내구 성 향상 등 고성능 필터 소재로써 각광받고 있다.

* Glass Fiber vs Melt Blown 여과지 비교

구분	유리섬유	멜트블로운
제조 방식	Flame Attenuation Process	Meltblown
특징	1) 섬유 직경이 작고, 강직함 2) 내열성이 우수 (무기물의 큰 특징) 3) 물리적 여과 방식 (원단내 기공이 작은 만큼의 입자만 여과) : 효율 대비 MB 원단 비교시 압력 손실 높음 4) 제조 공정 및 작업 과정내 불량 발생 높음 5) 인체 유입시 피부자극 및 호흡기 질병 유발 가능성 높음 6) 폐기시 환경 오염 발생 / 산업폐기물 기준으로 처리 필요 (= 매립 작업)	1) PP,PET 소재로 열가소성 고분자를 용융 방사 타입 2) 내열성이 약함 (= 가소성 Olefin 계열) 3) 제조 공정 및 소재 자체가 인체 친화적 (= 원료의 MSDS 보유) 4) 제조 공정 및 설치 작업시 불량 발생 적음 5) 정전 여과 방식에 따른 동일 효율 대비 압력 손실이 낮음 6) 폐기시 환경 오염 문제 미비 / 가소성 소재는 재활용이 가능함
성능 비교	여과 성능 : 99.99% 압력 손실 : 42.6mmAq	여과 성능 : 99.99% 압력 손실 : 13.1mmAq
원단 업체	H&V	3M, Welcron, C&S, 선진 등 다수

① 공기청정기 필터

: 공기 청정기는 외부의 공기를 흡입구를 통하여 흡입한 후 제품의 내부 필터와 같은 정화 장치를 거쳐 정화된 공기를 배출구를 통하여 외부로 배출하는 구조로 구성되어 있으며 따라서 필터는 외부 공기의 정화 장치라고 할 수 있다.

- 공기청정기 구성



	Pre-Filter	기능성 Filter	탈취 Filter	HEPA(고성능) Filter
소재	Mesh	Mesh / 부직포	A.C (Active Carbon)	Synthetic
특징	1) 외기의 큰 분진을 여과하는 필터로 MESH 형태임 2) 측정 기준 없으며 Maker마다 항균 및 탈취 성능을 추가한 제품도 있음.	1) 기능성만 추가된 필터로 포함이 안 된 공기청정기도 있음 2) Mesh나 부직포에 항균, 탈취 성능을 증가시키기 위한 필터	1) 활성탄 폼, 활성탄, 활성탄 가루 입힌 부직포 등의 탈취 위한 필터 2) Maker 마다 별도 필터로 장착하거나 고성능 필터 내 포함 제작되어 있음	1) 제품의 흡기모터 용량에 따라 여과 효율 차이를 두고 있으며 분진을 여과 핵심 필터 2) Maker마다 고성능 필터 내 카테킨, 은 나노를 포함시키기도 함.
효율	-	-	-	95%~99.97%
Test 방법	중량법	비색법	계수법	계수법
사용 기간	2개월	6개월~1년	6개월~1년	6개월~1년

* 공기 청정기의 고성능 필터 구성

재질	PET (polyester) / PP (Polypropylene)
구조	지지층 (Support Layer) + Melt Blown (Filtering Layer) - 지지층 : 국내 제조되는 제품으로 TB(Thermal Bond), CB(ChemicalBond), SPB(Spun Bond)를 주로 사용하며 MB를 지지하고 형태 가공성을 좋게 하는 역할을 하는 부직포 지지층에 항균 처리 등의 기능을 처리하여 항균, 방미 기능을 부여 할 수 있다. - MB : 특수 대전처리 된 섬유로 이루어져 있으며, 필터의 저압손, 고효율을 담당
사용온도	60°C 이하
면 속도	1.0m/sec(권장 사양)

② 공기 청정기 테스트 방법

- CADR (공기정화량) 테스트

Clean Air Delivery Rate의 약자인 CADR은 미국 AHAM(Association of Home Appliance Manufacturer)에서 표준으로 정하고 있는 공기청정 성능지수로서 tobacco, smoke, dust, pollen에 대한 제거 성능을 표기한다.

- CADR 지수 평가는 30m³ Chamber 밀폐실에서 입자 개수 감소를 측정하여 실시하며 공기청정시스템을 작동하여 구한 입자 감쇠상수 K_e 와 자연감쇠상수 K_n 을 구하여 계산하면 CADR 지수를 구할 수 있다.

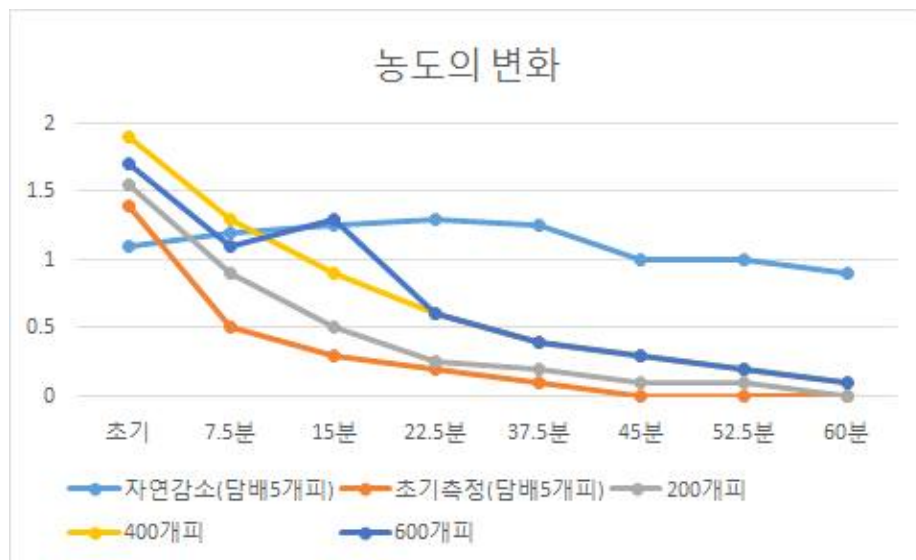
$$- C_t = C_{ie} - K_t$$

(* C_t : t분 경과 후 입자수, C_i : 초기 입자수, K : 감쇠상수 (minute-1),
t : 시간 (minute))

$$- CADR = V(K_e - K_n)$$

$$= 1008 \times (K_e - K_n)$$

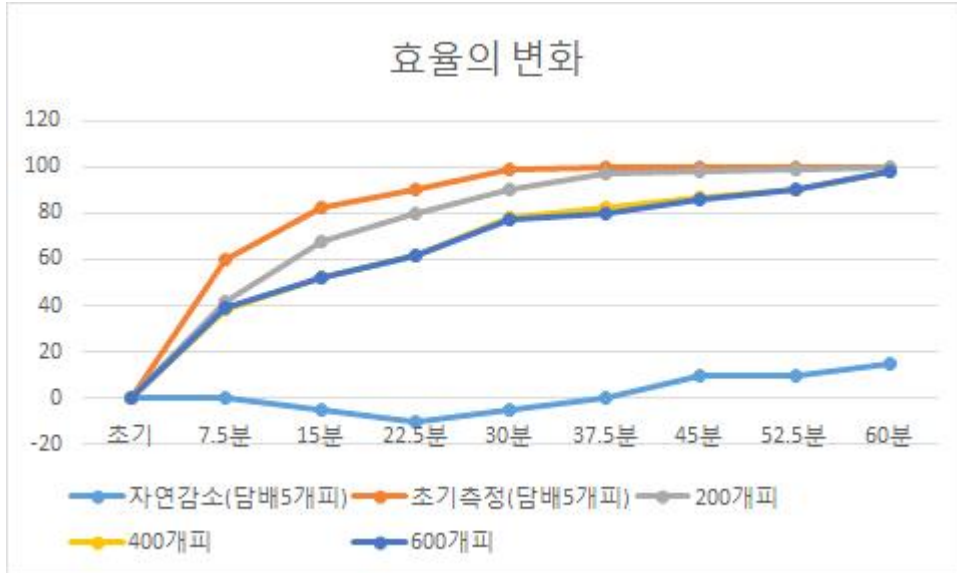
(V : room 체적(ft³))



- CCM (누계 정화량)

1m³ Chamber내에서 청정기를 가동시키면서 담배5개피씩 총600개피 까지 피우면서 200개피 -> 400개피 -> 600개피 연소후 필터의 수명을 측정한다.

CCM은 공기청정기를 사용하고 일정시간이 지난 후 흡수하는 오염된 공기의 총 중량을 말한다.



* CCM 등급 기준

등급	니코틴 양(mg)
P1	3,000
P2	5,000
P3	8,000
P4	12,000

* 중국의 경우 측정 방식은 한국 기준과 차이가 있으며 CCM 기준 1㎡가 아닌 3㎡ 공간내에 담배의 개피 수를 증가하면서 효율이 50% 시점에서 필터 여과지의 농도를 확인한다.

(= 담배 1개피 기준 니코틴량 70mg)

③ 공기청정기의 개발 현황

(a) 공기 청정기 국내 시장 현황

- 국내 공기청정기 시장은 2005~2010년 사이 12.2%의 성장율을 기록
- 국내 시장 규모 전망 (단위 :억 원)

구분	2013	2014	2015(E)	2016(E)	2017(E)	2018(E)	2019(E)	CAGR ('13-' 19)
판매액 평균	3,000	5,000	5,600	6,272	7,025	7,868	8,812	12.0
출하액 평균	3,000	5,000	5,250	5,512	5,788	6,077	6,380	5.0

자료 : 판매액 평균성장률, 출하액 평균성장률 기준, KISTI 작성

- 국내시장의 주요 생산업체로는 코웨이, LG전자, 삼성전자, 청호나이스, 위닉스, 캐리어 에어컨 등이 있다.
- 판매종류 점유율 : 자연기화식 48%, 초음파식 36%, 복합식 10%, 가열식 6%.으로 구성된다.
- 국내 공기청정기 시장은 전문기업과 대기업이 주도하는 대형 제품 시장에 집중되고 있으며 보급율은 유럽 42%, 미국 27%, 일본과 한국

17%, 중국 1% 미만으로 구성되어 있다.

(b) 공기 청정기 세계 시장 현황

- 공기청정기 세계 시장 규모 : 2014년 약 41억 달러(4조 4,000억원)

(c) 공기청정기 국가별 비중

- 일본 26% - 중국 22% - 미국 22% - 캐나다 10% - 한국 9% - 기타(유럽) 11%로 구성되어 있으며 아시아 지역은 중국을 중심으로 지속적인 증가세를 보이고 있다.

< 공기청정기 시장 규모 전망(2013-2019) >

(단위 : 억 달러, 억 원, %)

구분	2013	2014	2015(E)	2016(E)	2017(E)	2018(E)	2019(E)	CAGR ('13-' 19)
세계 시장	38	41	48	57	67	78	92	16.1
국내 시장	3,000	5,000	5,600	6,272	7,025	7,868	8,812	12.0

주) 2013년 미국 - 9%, 한국 - 12.0%, 중국 - 34% 등 각국 평균성장률을 기준으로 17.5% 추정

자료 : Euromonitor International TechScience, 업계 추정 기초로 KISTI 제작성

- 각국의 시장 성장률은 평균 10% 수준으로 예측하고 있으며 아시아 지역, 특히 중국, 한국, 인도 시장은 더 높은 성장율을 예상하고 있다.

(d) 개발 진행 현황

- 중국 및 아시아 공기청정기 시장 확대에 따라 필터 여재 뿐 아니라 모듈에 대한 기술 개발 속도도 증가하고 있다.
- 여과 효율에 대한 기준만 보면 저차압과 Dust Capacity를 증가시키는 추세로 변하고 있다
- 미세 먼지 및 황사의 주원인 국가인 중국에서 공기청정기 필터의 수요가 급성장하면서 그에 따른 규격 강화도 이뤄지고 있다.
- 중국 공기청정기의 필터 여과매체 Maker는 한국 > 일본 > 미국 순으로 한국의 필터 여과지는 일본과 동등 성능에 가격적 메리트를 보유함으로써 중국 시장에서의 우위권을 점하고 있다.
- 그러나 현재 기준의 차압보다 낮으면서 Dust Holding량을 증가하는 여과 매체 개발이 초점이며 이에 대한 기술 개발력은 3M(북미)이 우월적 기술을 가지고 있으며 Toray(일본), 프루덴버그(독일) 등 현재까지 선진국의 제품에 대응하여 한국 maker들이 추격하는 형태로 기술 개발이 이루어지고 있다.

3. 수처리 필터

1) 수처리 필터란 ?

수처리 필터는 물에 부유하는 오염물을 제거하는 필터이며 에어필터와 다르게 Pore size의 차이로 여과하는 Physical Filtration으로 작용한다.

① 수처리 필터 종류

형태에 따른 구분	제거 등급에 따른 구분	재질에 따른 분류
1) Depth Filter 2) Wound Filter 3) Pleated Filter 4) Membrane Filter 5) Capsule Filter	1) Nominal Rating Filter 2) Absolute Rating Filter	1) Activated Carbon Filter 2) Metal Filter 3) Polypropylene Filter 4) Poly-Sulfone Filter

② 필터 성능별 구분

구분	기공 사이즈(um)	필터 형태성	여과 원리
정밀여과 (Microfiltration)	$10^{-1} \sim 10$	Pleated/Depth	체거름 원리에 의한 분리
한외여과 (Ultrafiltration)	$10^{-3} \sim 10^{-1}$	Spiral wound/ Hollow Fiber	저분자, 고분자 물질 분리
나노여과 (Nano Filtration)	10^{-3}	Spiral wound	2가 이온이나 저분자 물질 분리
역삼투막 (Reverse Osmosis)	$10^{-4} \sim 10^{-3}$	Spiral wound	역삼투 현상을 이용한 분리

2) 수처리 필터 평가 방법

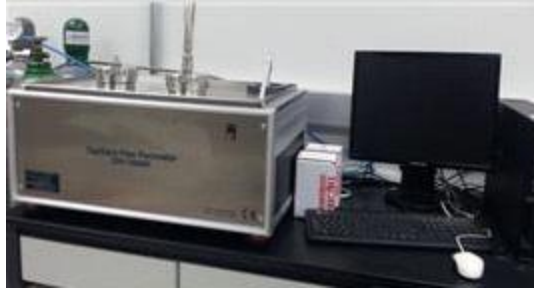
- 수처리 필터는 여과 방식이 에어 필터 방식과는 차이가 있으며 Nominal Filter는 제거 효율 90% 이상의 필터를 Absolute Filter는 제거 효율 99.7% 이상 필터를 말한다. 평가방법으로는 일반적으로 PMI(Capillary Flow Porometer) 평가를 통해 필터여재의 최대최소, 평균 기공 크기를 측정하여 여과 입자의 크기 및 성능을 평가한다.

(a) PMI(Capillary Flow Porometer) 분석법

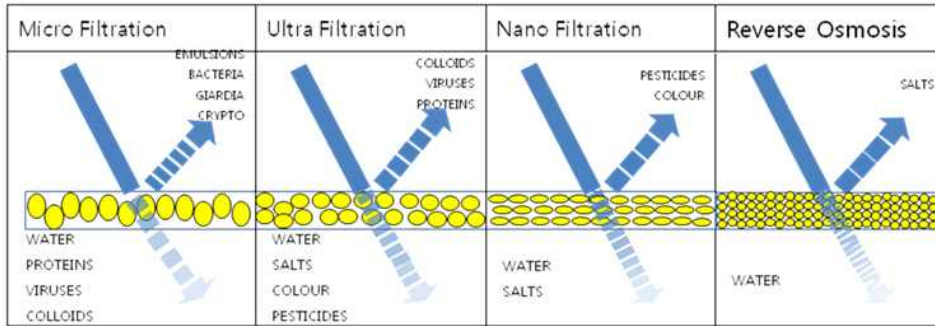
- Through-pore(열린 기공)를 측정할 수 있는 기공 크기 측정 방법으로 최대 기공(bubble point), 기공 분포(pore size distribution), 평균 크기(mean pore size)를 측정하는 방법으로 ASTM F316 규격 방법에 따라

측정하는 멤브레인 또는 필터에 Galwick 용액을 충분히 흡윤시킨 후 멤브레인에 형성된 기공이 압력에 따라 터지면서 통과되는 에어의 압력과 공기의 양을 측정한다.

- Galwick 용액을 흡윤 시키기 전에 공기 투과도를 측정하고, 흡윤시킨 후 측정하는 Dry up/Wet up 방식으로 진행된다.



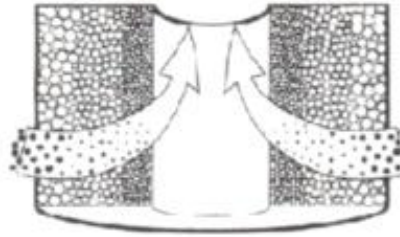
< 기공측정기 (PMI) >



구 분	용해성분			현탁입자			
입자영역	이온	분자	고분자	미립자	조립자		
입 경	0.001μm			0.01μm	0.1μm	1μm	10μm 100μm 1000μm
제 대 물	이온(Ionic)	바이러스(Viruses)	백균(Bacteria)	대장균(Coli)	조류(Algae), 원생동물		
정 처 방	재래식처리 + 고도처리			점토(Clay)	침전	여과	
분 리 막 류	역삼투막(RO)			나노여과막(NF)	한외여과막(UF)	정밀여과막(MF)	
						섬유소재 필터로 가능한 기공크기(0.1 - 100um)	

구분	수처리 필터	에어 필터
여과 방식	1) 물리적인 여과 방식 2) 오염된 물을 필터 내부로 빨아 당겨서 제거하는 방식	1) 정전여과 방식 추가 2) 외기(오염 공기)를 Suction으로 필터를 통과하여 여과하는 방식
분석 방법	1) 필터의 제거 효율 수치가 고정 2) Test 시료 사이즈별 여과 효율이	1) Test 시료 사이즈 고정 (0.3um) 2) 고정된 Test 시료 필터 통과율을

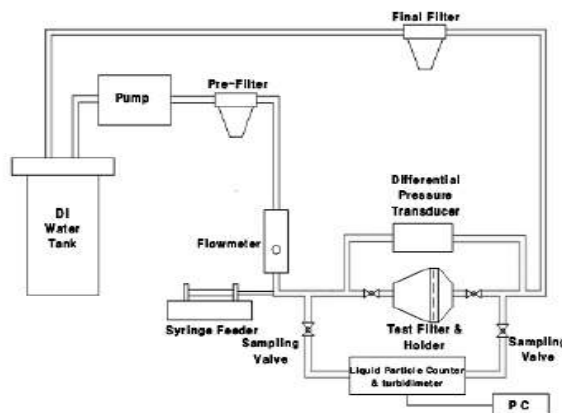
	95% or 99.5%이상 나온 기준으로 Grade를 나눔	확인하여 효율별 Grade를 나눔.
Grade 표시	1) 0.3um 시료가 99.7% 여과되는 필터 : 0.3um Absolute Filter 2) 1.0um 시료가 90% 여과되는 필터 : 1.0um Nominal Filter	1) 시료 사이즈 : 0.3um 유량 32LPM 기준 효율 측정시 85% /95% /99.5% 측정 결과치에 따라 Grade구분



(수처리 필터 여과 모식도)

- (b) 현재 국내 수처리 필터 기준 규격에 제거 효율 및 차압에 대한 기준은 없으며 공인 분석은 여과지의 용출 검사, 미생물 테스트가 있다.
- 미생물 테스트는 대장균 사이즈(0.45um)를 통과시켜서 Grade를 나누는 테스트이나 Membrane 제품에 한해 적용되고 있다.
 - 용출 검사는 정수기 필터에 적용되고 있으며 환경부 산하 한국 수도 환경 연구원의 먹는 물 기준법에 의거하여 여과지의 물질 용출 검사를 진행하고 있다.
 - 수처리 제거 효율은 각 업체마다 분석 장비로 진행하고 있으나 입자 제거 효율은 ASTM F 795 기준으로 필터의 상부, 하부의 물을 추출하여 확인하고 탁도의 비교분석은 ASTM D 6698기준으로 측정한다.

<입자 제거 효율 및 탁도 분석 기기 개략도>



3) 수처리 필터 시장 현황



- (a) 물 부족 현상이 심화되면서 수질 오염에 의한 물산업 중요성이 부각되고 있으며 앨빈 토플러와 같은 미래 학자들은 21세기에는 20세기의 석유산업을 물 산업이 추월하여 주력 산업이 될 것으로 전망하므로써 물 산업 관련 소재 산업의 성장성이 예견되고 있다.
- (b) 현재 물산업은 단위 산업으로는 반도체 산업이나 조선 산업보다 큰 규모를 갖추어 가고 있으며 수처리 필터 시장은 매년 급격한 증가 추세를 보이고 있다. 특히 RO/NF 시장이 급속도로 성장하고 있다.

(\$ million)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
MF/UF- Municipal	111.3	107.1	129.6	150.1	181.6	204.4	195.3	228.7
MF/UF-Industrial	54.9	66.7	80.0	97.1	121.0	142.2	160.4	183.6
RO/NF-Municipal	490.8	453.0	632.4	791.1	1,051.3	1,231.4	1,114.5	1,373.0
RO/NF-Industrial	231.0	254.2	295.1	320.3	360.3	406.6	476.6	576.1
MF/UF-Replacements	13.3	13.9	16.8	19.8	24.2	27.2	28.5	33.0
MF/UF-Replacements	158.8	155.6	204.0	244.5	310.6	360.4	350.0	428.8

- (c) 분리막을 이용한 세계수처리 시장규모는 2013년 178억 달러에서 2016년 303억 달러로 연 20% 성장하고 있으며 분리막 시장 자체는 작으나, 분리막을 이용한 수처리 시장은 규모가 빠르게 성장 중이다.

- 분리막 주요 기업

MF, UF 분리막 제조: GE, Siemens, Asahi Kasei

NF 분리막 제조 : Dow FilmTec, Nitto Denko, Toray

RO 분리막 제조 : Doe Chemical, Nitto Denko, Toray

4) 수처리 필터의 기술 개발 현황

- ① 수처리 필터는 Pore size에 따라 용도 및 성능이 구분되며 멤브레인에서는 고부가 소재인 NF(나노여과막), RO(역삼투막)의 기술 개발이 증가하고 있으며 이에 맞추어 UF(한외여과막), MF(정밀여과막) 등

pre-filter 소재 개발이 병행되고 있다. 특히 최근에는 항바이러스 성능을 가진 MF 필터 부직포가 개발되어 중저가 필터 소재의 부가 성능 개발이 활발히 전개되고 있다.

- ② 수처리 필터의 기술은 미세 다공성 Particle을 가진 분리막에 얼마나 많은 투수량의 여과가 되고 Life Time이 길어지는가에 대하여 초점이 맞추어져 있으며 다양한 신소재의 개발과 역세 용이성 등에 대한 연구 개발이 활발하다.
- ③ 기존의 MF 수처리 필터 여과지는 Melt blown타입의 폼 형태, 실을 감는 Wound 타입으로 여과하는 Particle size에 한계가 있어 그로 인한 NF, RO 여과지에서 미 여과된 Particle을 추가적으로 여과해야 하기 때문에 라이프 타임이 감소하는 현상을 보였으나 MF급 여과지가 Melt blown의 나노급 원사를 적층한 Sheet 타입이 개발되면서 필터의 타입 또한 Pleat Type으로 단면적이 넓어지고 기존 투수량 대비 Particle size가 작은 오염까지 여과하여 내구성 향상의 효과를 얻고 있으며 UF, NF의 여과층을 감싸는 역할을 하면서 직접적인 Damage를 줄이는 효과도 기대되고 있다.
- ④ 현재 Melt blown 부직포 시트 타입의 여과지는 중량을 떨어뜨리면서 Pore size를 줄이는 개발을 하고 있으며 Melt Blown타입으로 중량 25~30gsm Mean-Pore size 5~7um대 진행되며 Melt Blown에 전기방사형 나노 부직포를 복합화하여 Pore size를 줄이는 방향으로 개발되고 있다.

참고 문헌

Handbook of filter media

Basic Principles of Membrane Technology by Marcel Mulder

(Kluwer Academic Publishers)

멤브레인(여과막) 및 모듈 최신 기술동향과 시장분석 세미나(2012)

고청정 환경개선용 복합섬유 기술개발

산업용 섬유 전문 인력 양성사업(생산기술연구원)

중기거점 기술사업 : 고청정 환경개선용 복합섬유 기술개발



이창환 연구소장(전무)
(주)웰크론