

산업용 섬유의 신개척지를 찾아서(5)

공기 정화 응용 시스템

1. 공기 정화 시스템으로의 응용

본고에서는 여러 가지 공기정화 시스템에 섬유를 응용하는 것에 대해서 기술하고자 한다.

1.1 제진(除塵) 필터

여기서 말하는 제진 필터는 공기류(空氣流)중에 있는 고체 입자 및 액체 입자(안개)를 여과 제거하는 섬유 여과재를 의미한다.

1.1.1 제진의 원리

여과 기능을 발휘하는 부위를 중심으로 한 관점에서 여과 방식을 분류하면, 여과재 표층에서의 여과 방식과 여과재 내부에서의 여과 방식으로 크게 나눌 수 있다. 전자에서는 표층으로 여과물이 쌓여서 층을 형성하고 이 쌓인 층이 여과 층이 되어서 여과한다. 그 대표적인 예가 백 필터이다. 후자에서는 여과재 내부의 섬유 그 자체가 여과 층이 되어서 여과하는(체적 여과)방식으로서 여과물은 여과재 내부로 포집된다. 공기 정화기, 클린 룸 등에서는 후자의 필터가 사용되고 있다.

어느 쪽이든 제진은 통과하는 공기류 중에 있는 입자가 여과 층의 물체에 부착함으로써 공기류와 입자가 분리되어 제진된다.

제진 필터의 주요 성능 평가 항목으로는

① 통과하는 공기에 포함된 입자의 몇 %를 제거할 수 있는가를 의미하는 제거 효율

② 단위 면적당의 일정 유량(流量)에 있어서 압력 손실

③ 여과재의 교환 수명

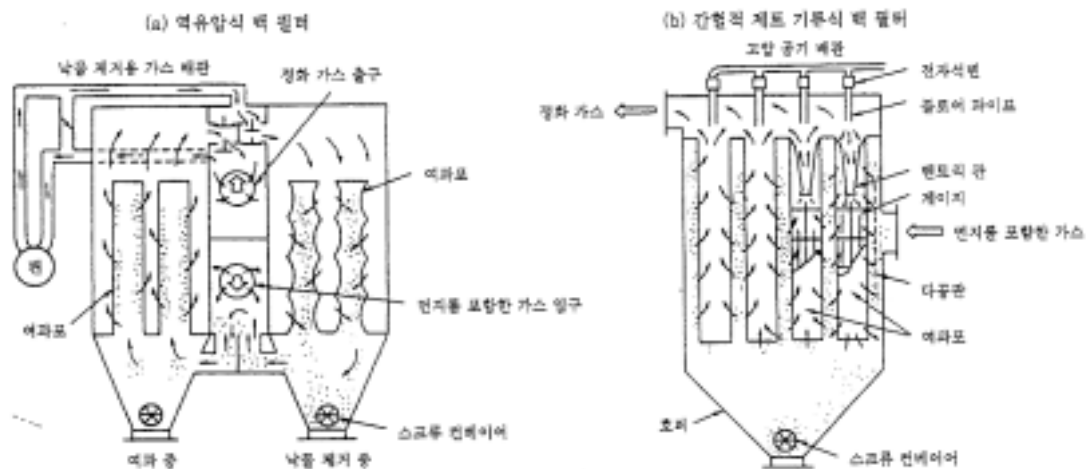
④ 필터의 점유 공간

등이 있다.

1.1.2 백 필터

다량의 먼지를 함유하고 있는 공기로부터 먼지를 분리 포집하는 집진 장치에 대하여 집진 메커니즘별로 분류해 보면, 관성 집진, 원심 집진, 전기 집진, 세정 집진, 여과 집진 등을 들 수 있겠으나, 백 필터는 여과 집진 방식의 대표적인 예라 할 수 있다. 백 필터는 설비 비용이 비교적 저렴하고 포집 효율이 높기 때문에 폐기물 소각로, 보일러, 용광로, 시멘트 소성로, 주물용 가마 등에 폭넓게 사용되고 있다.

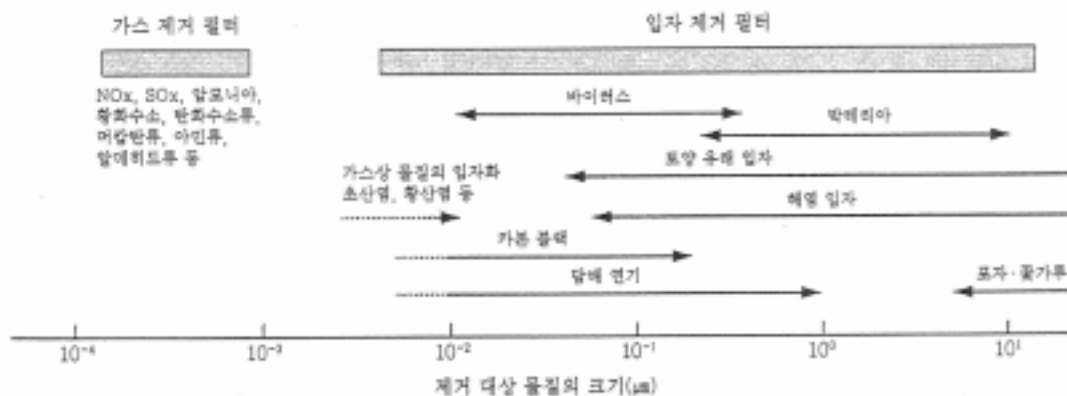
백 필터는 통상, 유리 섬유 직물이나 합섬 니들 필터 등의 여과포를 원통형 자루 모양의 봉제품으로 만든 것으로서, 처리 대상의 공기를 원통 내부로부터 외부로<그림 1a> 통과 시키거나, 외부로부터 내부로<그림 1b> 통과시켜 여과한다. 통상 $1\mu\text{m}$ 전후의 먼지까지 99% 이상의 포집 효율로 제거된다. 여과 분리된 먼지는 여과포의 표층에 쌓인다. 이 쌓이는 것이 진행되어 압력 손실이 커지게 되면(예를 들어 150mmAq), 역으로 압력을 걸어서<그림 1a> 고압의 간헐적 제트 기류를 내뿜어서 원통 여과포를 진동시키는<그림 1b> 등의 방법에 의해서 정기적으로 털어지도록 하여, 여과 조작이 계속되게 한다. 먼지를 털어내는 성능을 향상시키기 위하여 여과재에 테플론 가공을 하기도 하고, 방폭성(防爆性)을 부여하기 위해서는 도전성(導電性)을 부여하는 처리도 하고 있다.



<그림 1> 백 필터의 여과 방식

1.1.3 에어 필터

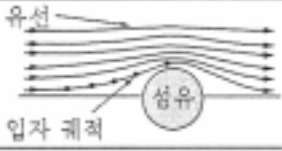
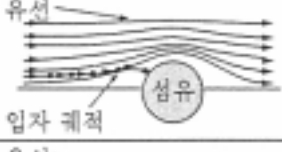
<그림 2>에 에어 필터 및 가스 제거 필터에 적용되는 제거 대상 물질의 크기 영역을 나타내고 있다. 여기서 말하는 에어 필터는 그림 중에 있는 입자 제거 필터로서, 처리 대상 공기의 먼지 입자 농도가 백 필터의 경우보다 낮은 영역에서 채용되고 있다. 그 구체적인 용도로서는 클린 룸, 차내 공기 청정기, 엔진 에어 클리너, 가정용 공기 청정기, 빌딩 공조, 복사기 등의 OA 기기용 등을 들 수 있다. 또한, 마스크나 담배 필터 등도 내뿜는 숨을 처리 공기류의 구동원으로 삼는 에어 필터의 일종이라고 말할 수 있다.



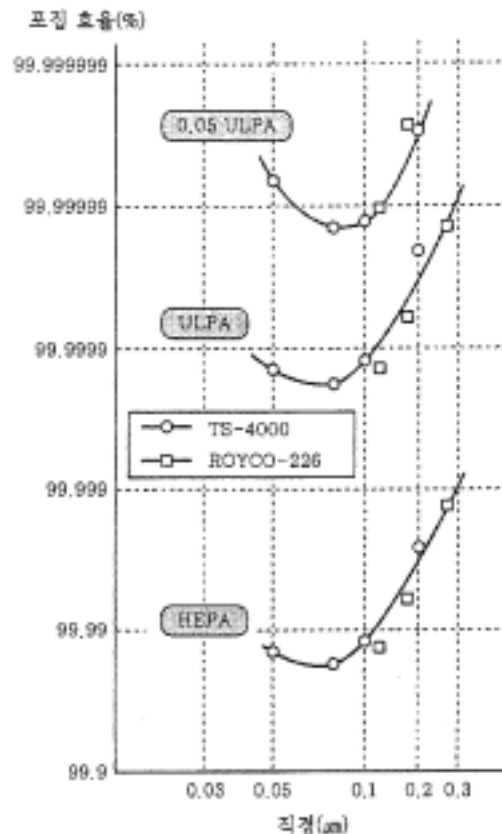
<그림 2> 필터의 제거 대상 물질의 크기 영역

공기류 중의 입자가 여과재 섬유에 포집되는 메커니즘은 <표 1>의 4가지로 집약 할 수 있다. 이 중에서 통상의 경우, 특히 관성 충돌과 확산이 중요한 포집 기구이다. 입자 직경이 커지는 만큼 관성 충돌에 의한 포집 효율은 증대한다. 한편, 확산 포집은 입자 직경이 $0.1\mu\text{m}$ 정도부터 현저하게 일어나서 입자 직경이 작아지는 만큼 포집 효율은 증대한다.

<표 1> 입자의 포집 메커니즘

메커니즘	원리	설명도
차 단	입자가 기류를 따라서 운반되어 섬유 표면으로부터 한 입자 크기의 반경 내에서 부착	
관성 충돌	입자의 관성력 때문에 유선으로부터 분리하여 섬유에 충돌 부착	
확산	입자의 브라운 운동에 의해, 기류로부터 분리하여 섬유에 부착	
정전기력	입자와 섬유 사이의 정전기력에 의해 섬유에 부착	

<그림 3>은 3종의 필터에 대해서 포집 효율의 입자 직경 의존성을 나타내는 데이터이다. 이 그림으로부터도 알 수 있듯이 일반적으로 입자 직경 $0.1\mu\text{m}$ 부근에서의 포집 효율은 최저가 되는데, 그 이유는 위에서 말한 포집 메커니즘으로 쉽게 설명할 수가 있다. 일반적으로 여과재의 섬유 직경이 작아지는 만큼, 그리고 여과재의 밀도가 커지는 만큼 포집 효율이 증대하지만, 한편으로는 압력 손실도 증대한다.



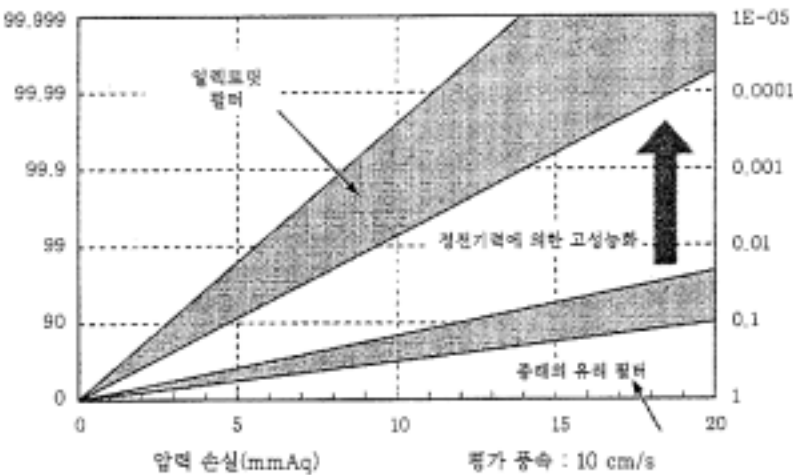
<그림 3> HEPA, ULPA 필터의 포집 효율의 입자 직경 의존성

<표 2>에 에어 필터의 종류를 성능별로 분류하여 각각의 여과재와 주요 용도를 나타내었다. 많이 사용되는 여과재를 살펴보면, 굵은 먼지용 필터로는 폴리에스터 섬유나 PP 섬유의 부직포 및 유리 섬유 매트가 사용된다. 중간 정도의 성능, 고성능, 초고성능용 필터로는 일렉트릿화한 PP 부직포나 유리 섬유 페이퍼 등이 사용된다. 일렉트릿화라는 것은, 여과재의 섬유 자체를 대전 처리하여 정전기의 힘에 의한 포집<표 1>을 하도록 한 것으로서, <그림 4>의 예처럼 압력 손실에 비해서는 높은 포집 효율을 실현할 수 있다. 특히 초고성능 필터 등 포집 효율을 높이기 위해서는 극세 섬유 부직포를 일렉트릿화한 것이 사용되고 있다. 또한, 합섬 부직포의 경우 종종 난연화되어 있는 것이 요구된다. 그리고, 특히 식품 공장, 의약품 공장, 병원 등에서는 여

과재에 적어도 항균성을 부여하는 것이 필요하다.

<표 2> 성능의 측면에서 본 제진 필터의 분류

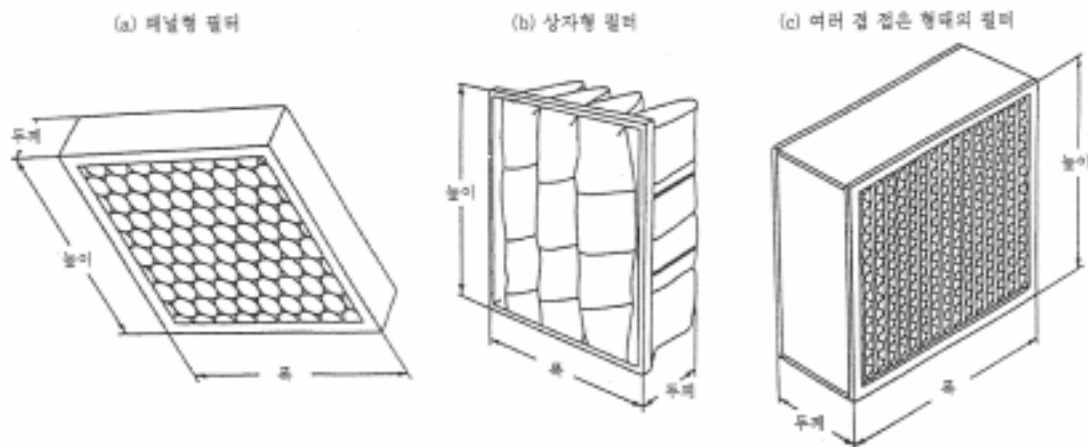
성능 분류		필터 성능						여과재 특성			
		대상분진 입자직경 (μm)	대상입자 농도 (mg/m³)	압력손실 (mmAq)	포집 능력(%)			섬유직경 (μm)	선계중량 (g/m²)	두께 (mm)	보충 사항
					중량법	비색법	DOP법				
굵은 먼지		≥5	0.4~0.7	3~20	30~90	5~30	≤5	10~60	20~400	0.5~40	
중성분		≥1	0.1~0.6	8~25	90~96	30~70	20~40	10~40	80~200	1~2	
고성분		0.3~1	≤0.3	15~35	≥98	85~98	50~90	5~20	50~100	0.8~1.5	
초고성분	HEPA	≤0.3	≤0.3	25~50	100	100	≥99.97	0.4~1 1~2	60~80 ≥100	~0.5 1	유리 PP 일렉트릿
	ULPA	≤0.1	≤0.3	25~50	100	100	≥99.999	0.2~1 1~2	60~80 ≥100	~0.5 1	유리 PP 일렉트릿
								0.1~0.3	70	0.6	PTFE막+보강재



<그림 4> 일렉트릿 필터의 성능

필터에 사용되는 여과재의 전형적인 형태로서 그 예를 <그림 5 a, b, c>에 나타냈다. 패널형은 굵은 먼지용으로서, 여과재의 섬유는 비교적 굵고 부피 밀도는 꽤 작다. 여과재 자체의 통기 저항 계수가 적기 때문에 여과재는 패널 평면상으로 설계되어 있다. 성능이 높아짐에 따라 여과재 자체의 통기 저항 계수가 커지기 때문에, 필터로서의 압력 손실을 떨어트리기 위해서는 여

과재의 면적을 크게 하여야 할 필요가 있다. 이를 위해서 여과재를 여러 겹으로 접어서 넣는 등의 방법으로 설치한다. 또한, 굵은 먼지나 중간 정도 및 고성능의 필터인 경우, 2개의 롤러 사이에 펠트를 옮겨 보내가며 여과면을 자동적으로 바꾸어 주는 방식의 것도 있다.



<그림 5> 필터에 사용되는 여과재의 여러 가지 형태

1.2 가스 제거 필터

여기서 가스 제거 필터라고 하는 것은, 공기류를 통과하는 사이에 공기 중에 함유된 기체상의 불쾌·악취성분 물질과 인체·제품에 유해한 물질을 제거하거나, 기체상의 유용한 물질을 흡착 회수하도록 하기 위한, 말하자면 필터 형태의 것을 지칭한다.

제거 대상 물질을 크기 측면에서 보았을 경우, 가스 필터와 제진 필터와의 관계를 <그림 2>에 나타내고 있다. 가스 제거의 경우 분자 확산은 활발하게 이루어지고 있기 때문에 필터가 상당히 성글어도 가스 분자는 용이하게 여과재에는 접촉하지만, 여과재 물질은 가스 분자를 제거하는 기능을 가지고 있어야 한다.

이번 장에서는 탈취, 유해 가스 제거, 용제 회수의 분야를 기초로 기술하도록 한다.

1.2.1 탈취 필터

냄새 성분으로는 암모니아, 초산, 이소 길초산, 메틸 머캅탄, 황화수소, 인도올, 피리딘, 트리메틸아민 등을 대표적인 예로 들 수 있는 것들이다. 또한, 생활에 관계가 깊은 불쾌한 냄새로는 담배 냄새, 땀 냄새, 고령자 냄새, 배설물 냄새, 부패한 냄새 등을 들 수 있다. 섬유 제품 등에 부착되어 있는 냄새 원에 대해서는 소취 가공이나 항균 가공을 실시한 제품을 사용하는 것이 효과가 있다. 그러나, 환경적으로 공기의 냄새를 제거하는 데는 공기 순환형의 탈취 필터가 효과가 있다.

탈취 필터에 있어서 냄새 가스를 제거하는 메커니즘으로는 활성탄에 의한 물리적 흡착, 제오라이트나 약품이 점착된 활성탄 등에 의한 물리 화학적 흡착, 탈취 기능성을 가진 수지 섬유에 의한 화학적 흡착, 산화티탄 등 광 촉매에 의한 산화 분해가 대표적인 것이다.

이러한 냄새 제거 기능을 가진 재료는 섬유상이거나 분말 형태 및 입상(粒狀)으로 되어있다. 분말이나 입상의 경우는 섬유 여과재에 포함되어 사용되는 경우가 많다. 섬유에 포함되는 형태로는 섬유에 방사 혼입, 섬유 시트에 용융, 접착, 섬유 시트 사이에 물리적인 삽입 등의 방법이 채용되고 있다.

탈취 필터는 종종 제진 필터와 일체화된 형태로 만들어 진다. 예를 들면, 활성탄 분말을 함유한 시트를 제진 여과재 시트와 접합하거나, 입상 활성탄을 여과 시트에 샌드위치 시키거나, 활성 탄소 섬유 시트와 접합하거나 하여 사용되고 있다.

활성탄은 제거 가능한 냄새 물질의 범위가 넓은 것이 특징이다. 그러나,

그대로는 암모니아나 아세트알데히드의 흡착 능력이 비교적 낮기 때문에 약품 점착 등을 하게 된다. 또한, 흡착 용량 때문에 오는 수명상의 한계가 있어서 적용 시에는 이점에 주의할 필요가 있다.

아크릴레이트계 섬유를 개질하여, 특별히 암모니아 흡착을 높인 타입, 특별히 유허계 냄새 물질의 흡착을 높인 타입, 특별히 산이나 알데히드계 물질의 흡착을 높인 타입의 개발도 행해지고 있다.

광 촉매는 적용 대상이 넓고, 수명이 길다고 하는 이점이 있으나, 그 나름대로 광원의 확보가 필요하다는 것, 반응이 비교적 완만하다고 하는 난점이 있기 때문에 그 자체로는 활용상의 한계가 있다. 냄새 제거 기능을 가진 재료의 형태가 섬유상인 경우, 접촉 면적이 크기 때문에 제거 속도가 크고, 필터 형태로 만들기 쉽다는 등의 장점이 있으나, 그 반면에 고비용이 들며 체적 밀도가 작다고 하는 결점도 있다.

최근, 셀룰로스 섬유의 표면이 제오라이트 입자로 덮인 섬유가 개발되고 있는 바, 살균 작용이 있으며, 암모니아나 황화수소의 흡착 제거에 탁월한 성능을 가지고 있다고 하여, 금후의 전개가 주목을 받고 있다. 또한, 동시에 섬유 표면층이 산화티탄층으로 된 광 촉매 섬유도 개발되고 있어 금후의 발전에 주목하여야 할 상황이다.

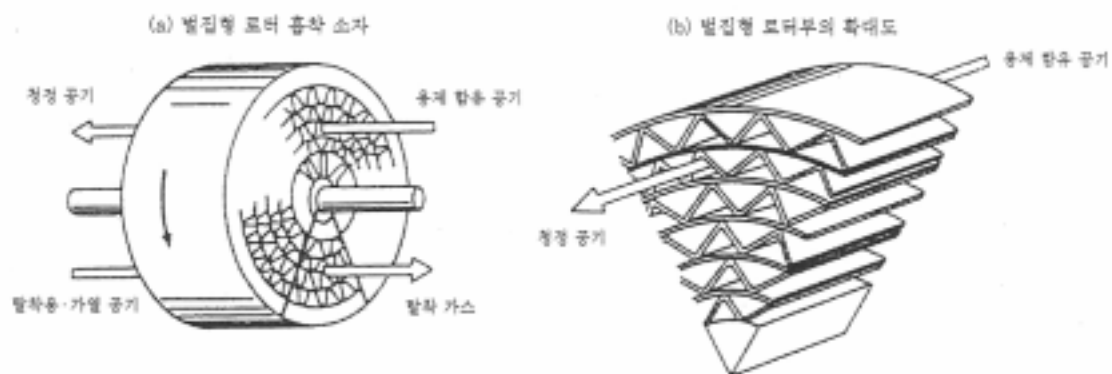
1.2.2 유해 물질의 제거

여기서는 새집 증후군의 원인이 되는 휘발성 유기 물질(VOC), 공장 배출 가스 중에 포함된 유해 가스 물질, 소각로 등으로부터 발생하는 유해 가스 물질, 제조 중의 제품에 대하여 유해한 가스 물질 등의 제거 시스템을 다루기로 한다.

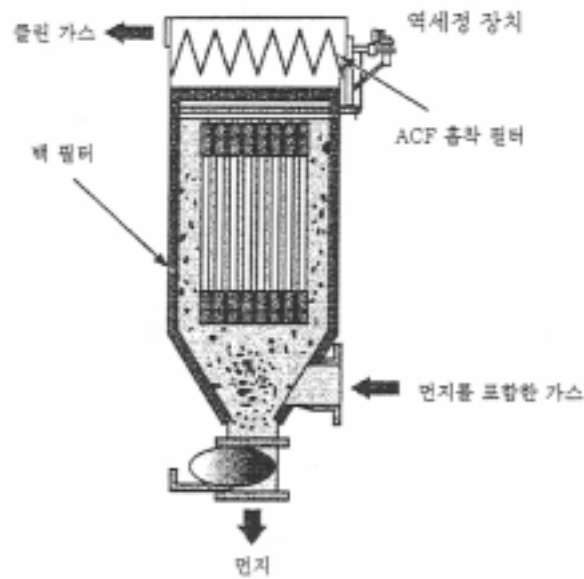
유해 물질로서는 앞 장에서 말한 탈취 대상 물질과 상당히 중복되는 것이

있으나 그것들 이외에 용제나 다이옥신, 오존 등도 대상이 된다.

제거 시스템으로는 공기 순환 방식의 경우는 탈취 필터와 거의 같은 형태로 생각해도 좋다. 그러나, 배출 가스 처리 등에서는 유해 물질의 제거율을 충분히 높일 필요가 있다. 공장 등의 대량 배출 가스의 처리시에는 본격적인 처리 장치가 종종 적용된다.



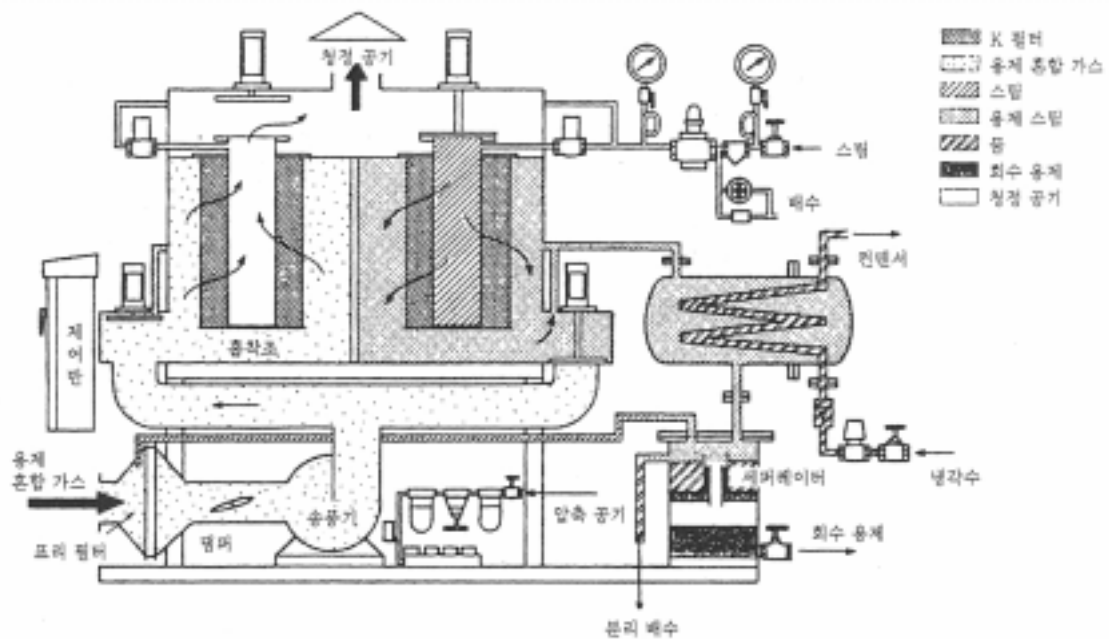
<그림 6> 벌집형 용제 농축 장치의 원리도



<그림 7> 활성 탄소 섬유 필터가 달린 백 필터

예를 들면, <그림 6>에 나타난 바와 같이 활성 탄소 섬유 종이나 활성탄을 포함하는 종이로 만든 벌집형 흡착조에 연한 농도의 용제를 함유한 배출 가스를 지나게 하고, 흡착된 용제는 탈착 가스로 농축되어 촉매 연소 처리 된다. 또한 소각로의 배출 가스에 대하여는 백 필터의 원통형 자루 속에 소석회, 활성탄 등을 넣고 제진과 동시에 다이옥신이나 염화수소 등을 절감시키는 방법이나, <그림 7>과 같이 활성 탄소 섬유 필터를 장착하여 다이옥신을 제거하는 방법도 사용되고 있다.

1.2.3 회수 장치



<그림 8> 활성 탄소 섬유를 이용한 용제 회수 장치

용제 회수 장치가 전형적인 예이다. 이 경우 <그림 8>에 나타난 바와 같이 활성 탄소 섬유의 부직포를 원통형으로 감아 붙인 것이 흡착조가 된다. 흡착조는 2개 이상이고, 흡착조작과 수증기 탈착 조작을 교대로 바꾸어 하면서

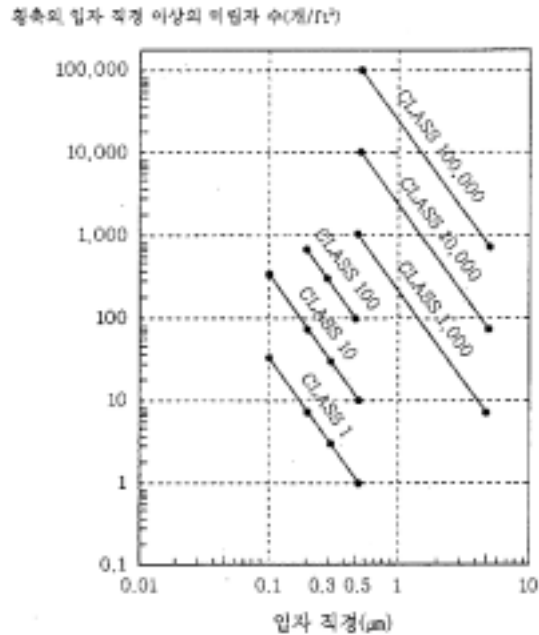
장치 전체로서는 연속적으로 배출 가스의 청정화와 용제 회수를 동시에 하게 된다. 활성 탄소 섬유는 흡착 및 탈착 속도가 크기 때문에, 효율적인 장치가 됨과 더불어 회수된 용제의 변질이 적다고 하는 이점이 있다. 그리고, 앞서 설명한 벌집형의 농축 장치에서 농축된 용제나 알코올 등을 이 용제 회수 장치로 회수하는 것도 행해지고 있다.

1.3 각 용도별 공기 정화 시스템

여기서는 몇 가지 용도별로 고유의 공기 정화 시스템의 개요를 설명한다.

1.3.1 클린 룸

<그림 9>는 클린 룸의 청정도에 대한 미국 규격을 나타낸 것이다. 높은 수준의 클린 룸에서는 통상, 천정 전체에 HEPA 또는 ULPA필터(청정도 100 이상의 경우)를 설치하고 청정한 공기를 바닥면의 흡입구를 향하여 수직으로 흐르게 하는 방식이 채용되고 있다. 통상, 굵은 먼지, 가스 제거, 중간 정도의 성능을 가진 필터가 HEPA, ULPA 필터 등의 앞 단계에 직렬로 설치되어 있다.



<그림 9> 클린 룸의 청정도 미국 연방 규격

1.3.2 공기 청정기, 빌딩 공조

근래에 들어서는 통상의 제진 이외에도, 알레르기원의 제거, 냄새 제거, 잡균의 증식 방지, 정숙성(靜肅性)의 유지 등의 기능을 추구하여 가고 있다.

빌딩 공조의 전형적인 예로는, 굵은 먼지용 필터, 중간 정도나 고성능의 필터를 조합하거나, 전기 집진과 일렉트릿 필터의 조합 등을 들 수 있다. 가정용 공기 청정기에는 꽃가루, 진드기 사체와 배설물, 바이러스, 곰팡이, 악취 제거 기능 등을 기본으로 하고 난 후에, 고성능 제진, 음이온, 살균, 향균, 탈취 등의 기능을 추가적으로 부여하고 있다.

1.3.3 마스크

마스크는 용접이나 분진 작업 등에서 사용하는 산업용 방진, 병원내의 호흡 감염 방지용, 꽃가루 방지용, 일반 가정의 인플루엔자나 감기 방지용 등으로 사용되고 있다. SARS 감염 방지에는 미국 규격 N95(일본 규격 DS2에

상응) 이상의 성능을 가진 마스크를 사용하면 유효하다고 되어있다. DS2 규격에는 0.08 μ m의 입자를 95% 이상 포집 할 수 있어야 한다고 규정되어 있다. 그리고, DS2와 같은 것들은 위에서 말한 산업용 방진 마스크로서 규격화 되어 있는 것이다.

이러한 규격에 적합한 마스크의 대부분은 컵 모양으로 성형되어 있으며, 일렉트릿화 된 여과재가 사용되고, 가능한 한 낮은 호흡 저항에서 포집 효율을 높이도록 고안되어 있다.

1.3.4 차량 엔진용 에어 클리너

엔진 내부로 공급되는 공기를 청정화 할 목적으로 사용하는 에어 필터이다. 여과재로는 수지 접착 부직포나 여과지가 사용되고 있다. 여과지의 경우 표층 여과로서 여과 면적을 크게 취하고 있다. 여과재는 여러 가지 형상으로 주름 가공하여 조합된다. 내구성, 통기성, 포집 효율, 포집 용량 등이 사양의 주요 항목이 된다. 포집하는 먼지의 내용이 사용되는 환경에 따라 크게 다르다. 선진국에서는 카본 먼지가 중심이 되고, 미개발 국가에서는 토사 먼지가 중심이 된다. 포집 용량은 필터의 교환 수명에 관계되는 것으로서 용량을 높이기 위하여 밀도, 섬도 구배형(句配型) 구조의 여과재도 사용되고 있다.