



산업환기용 에어필터의 특성비교 및 시험방법 소개

양 성 원

제현필터(woo702@hanmat.net)

최근 사회는 첨단산업화 속에서 국민생활의 질적 향상과 인구의 도시 집중화 현상에 따라 많은 사람들이 직장 및 작업현장에서 건강에 영향을 미치고 작업능력의 저하를 유발하는 각종 유해물질이 점차 증가하고 있다. 또한 장기간에 걸쳐 호흡기질환을 일으키는 도시의 대기오염은 매우 심각한 사회적문제로서 관심의 대상임에도 불구하고 이에대한 대책이 미흡한 실정이다.

특히 작업장과 실내생활공간은 실내에서 발생하는 오염물질과 외기에서 유입되는 대기오염물질의 영향으로 실내공기의 질은 급속도로 악화되고 있다. 따라서 실내공기질을 쾌적하게 하기 위해서 환기장치의 설치와 지속적인 유지관리는 대단히 중요하다고 할 수 있다. 환기장치설비에서 공기정화장치는 유해물질을 처리하기 위한 핵심 장치이며 입자상·가스상 물질에 따라 그 종류와 기능이 서로 다르다. 특히 공기정화장치 설비에 보편적으로 가장 많이 사용되는 것이 여과기(filter)이며 사용목적에 알맞는 에어필터(air filter)의 선정은 전체환기시스템에 막대한 영향을 미치게 된다.

따라서 본 고에서는 산업환기시스템에 사용되고있는 대표적인 에어필터의 종류와 각각의 특성 및 환기장치 설계상의 에어필터에 관한 이론과 적용기술 등을 설명하고자 한다.

에어필터의 중요성

실내공간 및 작업장에 존재하는 각종 오염물질을 제거하는 일반적인 방법은 기계적 환기장치를 사용하고 있으며, 특히 공기정화장치에 설치되는 에어필터는 공기중의 각종 오염물질을 일정한 시간 동안 유입하여 오염공기를 정속으로 통과시키는 과정에서 입자상물질을 물리적 수단으로 여과하여 유해물질의 농도를 허용기준치 이하로 낮추고 실내공기질(IAQ)의 기준을 고도로 개선하여 작업자의 건강을 유지하고 능률을 향상시키며 산업재해를 방지하는 측면에서 크게 기여하고 있다.

이러한 에어필터의 중요한 역할은 각종 유해물질(hazardous substances)을 제거함으로써 작업장내 기계설비의 오작동과 부식을 방지하고 제품의 고품질화, 식품류의 부패 및 일반세균으로부터의 감염방지 등 많은 효과를 얻을 수 있다. 또한 실내공간의 열에너지의 외기유출을 감소시킴으로써 에너지 비용을 절감하는 효과가 대단히 크기 때문에 에어필터의 중요성이 강조되고 있다.

에어필터의 성능과 포집이론

에어필터의 성능

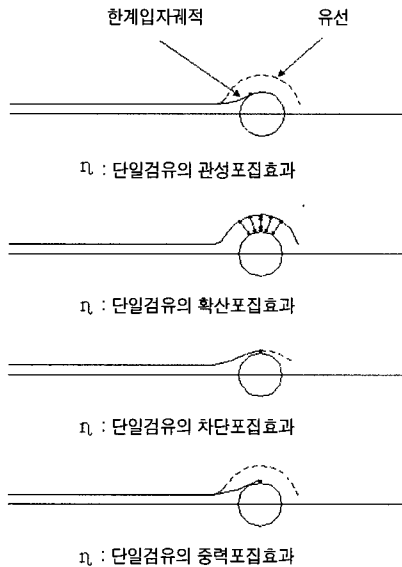
에어필터의 성능을 평가하는 항목으로는 압력손실, 분진의 포집효율, 분진의 포집중량이 기본 사항이다.



- 압력손실 (pressure loss)
공기가 여과기를 통과할 때의 압력손실을 말하며 분진의 포집량에 따라 압력손실도 증가하기 때문에 일반적으로 최종압력을 표시하여 여과기의 수명을 예측할 수 있다.
- 분진포집효율(collection efficiency)
정격 풍량이 유입되고 있는 여과기에 시료분진을 공급하여 여과기 상류측의 부유미세입자 농도와 하류측의 부유미세입자 농도를 측정하여 차이값을 계산한다.
- 분집포집중량(collection weight)
에어필터의 분진 포집량은 일반적으로 압력손실이 초기 정압손실의 2배, 또는 최종 압력손실에 도달되는 시간까지 포집된 분진의 총량을 말한다.

에어필터의 포집이론

에어필터는 공간율이 높은 섬유층이기 때문에 입자의 포집이론은 다음 4가지의 효과로 정리할 수 있다.



[그림 1] 에어필터의 포집이론

- 관성효과(inertia)
공기의 흐름을 타고 근접한 입자는 자신의 관성에 의해 기류로부터 벗어나 여과기의 섬유에 충돌되어 포집한다.
- 확산효과(brownian diffusion)
공기 중 미세입자는 공기의 흐름과 관계없이 brown 운동을 하며 기류에 의해 여지사이를 통과하는 큰 입자까지도 여지 사이에서의 이동거리가 길고 방향성이 없기 때문에 여과기섬유에 포집된다.
또한 입경과 여과속도가 작을 때 효과가 크다.
- 차단효과(interception)
분진입자가 공기의 흐름에 따라 운동을 하고 있어도 입자마다 서로 다른 크기가 있기 때문에 여과기의 섬유에 부딪혀 포집하게 된다.
- 중력효과(gravitational setting)
기류에 의해 섬유에 근접한 입자가 자신의 중력 때문에 기류로부터 벗어나 여과기의 섬유상에 침강되어 포집된다.

에어필터 종류 및 특징

공기중에 함유되어 있는 분진량(mg/m³)을 처리 대상으로 할 때 약 7 mg/m³을 기준으로 그 이하의 처리장치는 공기청정장치, 그 이상의 분진량을 처리하는 장치를 집진장치(dust collector)라고 한다.

집진장치의 특성

<표 1> 집진장치 종류별 특성

구 분	전기집진기	polarizer	demister	무전원 정전기	carbon
집진방식	2단하전+여재	극성분리식	충돌점착식	정전방식	흡착식
압력손실	4~20	3~15	3~15	7~25	3~15
여재재질	polyester	glass fiber	wire mesh	p.p. & p.e.	활성탄
용 도	공조용	공조, 산업	화학 pleat	공조용	공조용
특 징	포집효율 우수 시스템의 안전성과 내구성 우수	우수 오존 발생 없음 polarization 효과	불순물 제거시 저항압력이 적다	수명이 반영구적, 취급 간편	유해 가스 제거용

주) 위 표는 사용목적에 따라 다르게 분리하고도 있습니다.



에어필터의 특성

<표 2> 에어필터의 특성비교

구분	TYPE	특징	효율	용도
PRE	panel type	세척하여 재 사용가능 media 선정이 가능	중량법 95 %	B/D공조
	pocket type	처리풍량이 설치면적에 4배이상		B/D공조
중성능	여재교환	paneltype을 보완하여 여재교환이 용이함	중량법	고성능 여과기
	bag type	포집효율에따라	95 %이상	전처리용
		65 %, 85 %, 95 %, 3종류	비색법	
	cell type	포집효율에따라	95 %까지	
mini pleat	non sparator			
고성능	HEPA	cell type고성능여재사용 표준, 다풍량이 있음	입경 3 μ m 입자 99.97 %	클린룸
	ULPA	cell type고성능여재사용	0.1 μ m 99.99 %	clean room 100이하

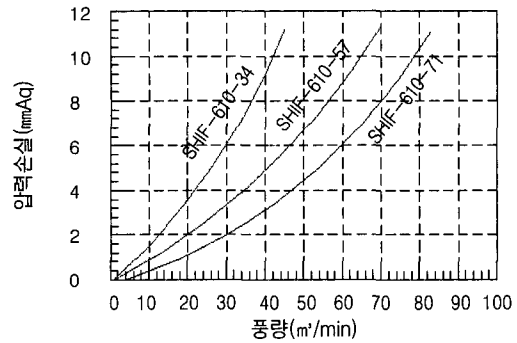
여과기의 풍량과 압력손실의 관계

그림 2는 pre pocket filter의 풍량과 압력손실 관계를 나타낸 그림이며 무방향성 밀도구배형 부직포를 사용하여 여지면적을 극대화 시켜 처리풍량이 많고 압력손실이 적은 것을 알 수 있다. 그림 3의 medium pocket filter는 3종류의 포집효율 (95 %, 85 %, 65 %)의 glass fiber media를 알아본 결과 여재면적과 효율에 따라 정격풍량 28 m³/min에서 초기압력 손실이 6 mmAq가 발생하며 포집효율이 낮고 여재면적이 크면 압력손실이 적음을 알 수 있다.

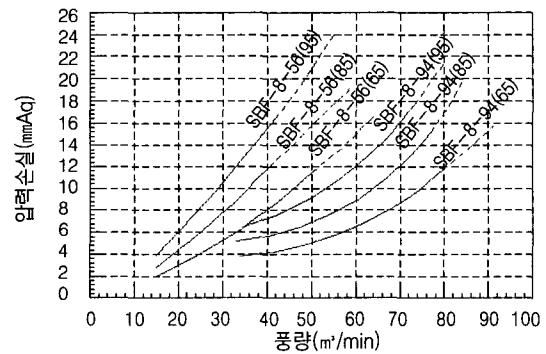
그림 4에서 (A)는 medium cell type filter이며 2.5 m/s 풍속으로 처리풍량이 56 m³/min일 때 초기 11 mmAq 부터 말기 30 mmAq 정도의 압력손실이 발생한다.

또한 (B) 영역은 1.25 m/s 풍속으로 처리풍량 28 m³/min일 때 초기 7 mmAq부터 말기 25 mmAq의 압력손실이 발생하며 media의 효율에 따라 조금씩 차이가 있다. 그림 5의 HAPA 여과기는 초기 25 mmAq 이하, 말기 50 mmAq이하의 압력손실이 발생하며 여

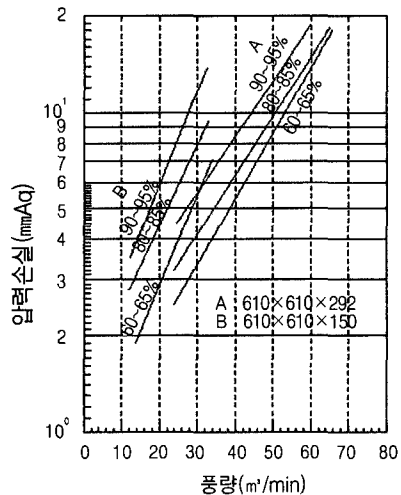
과기의 규격에 따라 처리풍량이 10~70 m³/min 정도이다.



[그림 2] Pocket type Pre Filter



[그림 3] Medium Bag Filter



[그림 4] Medium Cell Filter



에어필터의 시험방법

압력손실의 계산

- 정격처리풍량(Q_s)시 압력손실(P_{Ls})

$$= \text{압손계수}(\zeta_c) \times \text{정격처리풍량일 때의 속도압} (P_{vs}) (\text{mmH}_2\text{O})$$

$$= \text{압손계수}(\zeta_c) \times \left(\frac{\text{정격처리풍량일 때의 속도}(V_s) (\text{m/s})^2}{4.04} \right)$$
- 실제처리풍량(Q)시 압력손실(P_L)

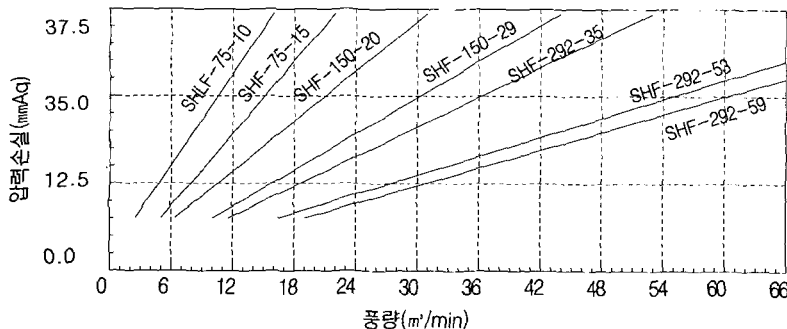
$$= \text{압손계수}(\zeta_c) \times \text{정격처리풍량일 때의 속도압} (P_{vs}) (\text{mmH}_2\text{O})$$

$$= \text{압손계수}(\zeta_c) \times \left(\frac{\text{실제처리풍량일 때의 속도}(V) (\text{m/s})^2}{4.04} \right)$$
- 실제 처리풍량일 때의 압력손실(P_{Ld})

$$= \text{정격처리풍량일 때의 압력손실}(P_{Ls}) \times \left(\frac{\text{실제처리풍량}(Q)}{\text{정격처리풍량}(Q_s)} \right)^2$$

여과기의 포집을 시험방법

- 중량법(AFI)
 중량법 테스트는 일반적인 공조용 여과기 및 prefilter 여과기에 상용하며 arizona road dust 75%, carbon black 25%, cotton linter 3%로 구성된 합성 혼합물을 사용하여 공기중의 기류



[그림 5] Hepa Filter

28 m³당 0.625 g의 농도로 규격화 한다.

이때 모든 공기가 통과되는 최종 여과기를 시험중인 여과기의 하층기류에 설치하여 최종 여과기의 무게와 공급된 분진의 무게사이의 비율을 계산한다.

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1} \right) \times 100(\%)$$

η = 효율, Q_1 = 공급분진의 무게,

Q_2 = 시험여과기를 통과한 분진의 무게

* arizona road dust : 자동차 등의 주행에 의해 비산되는 모래, 먼지류

* carbon black : 자동차 및 공장, 빌딩 굴뚝에서 배출되는 불완전 연소물

* cotton linter : 의류에서 발생하는 섬유질

비색법(NBS시험법)

비색법 테스트는 일반적인 공조용 여과기 및 medium filter에 상용하며 중량법의 문제점을 개선하고, 보다 높은 효율을 가진 여과기를 시험하기 위한 절차가 요구되어 미연방 표준국에 의해 처음 고안된 비색법이 널리 쓰이게 되었다. 그러나 최근에는 이 NBS 방법보다 ASHRAE DUST SPOT 52_76 시험 방법이 더욱 널리 사용되고 있다.

NBS시험법은 여과된 공간의 내부를 변색시키려는 분진을 제거하기 위한 여과기의 성능을 결정하기 위한 것으로서 실제 시험법에 있어서는 조

도계와 test paper를 사용하여 대기의 먼지를 흡입한 후, 에어필터의 전·후면에 설치된 test paper의 색상변화를 조도계로 감지 및 측정하는 방법이다.

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_1}{Q_2} \right) \times 100(\%)$$

(η = 효율, Q_1 = 여과기 입구측의 산정공기량, Q_2 = 여과기 출구측의 산정 공기량)



ASHARE DUST SPOT 52_76 시험법은 표본추출 시간을 주요 시험변수로 하며 현재 존재하는 대기 중의 분진을 이용하여 높은 효율의 여과기 포집성능을 이 방법에 의해 시험한다. 또한 여과기의 포집효율은 시험이 행하여질 당시 대기 중에 존재하는 분진의 농도에 의해 좌우되며 비색효율의 결정이 다양하게 될 수 있는 요인은 표본이 추출되는 시간이다.

표본이 같은 비율로 시험여과기의 유입측과 유출측에 유지되며 유입측 표본은 전체시간에 비해 짧게 작용하므로 target은 비슷한 농도를 형성한다. target위의 깨끗한 여과지는 각 시험전에 균형을 이루게 되는 back ground농도가 되며 이때 분진농도의 비색효율은 아래와 같다

$$\eta = (1 - \frac{Q_1}{Q_2}) \times 100(\%)$$

η = 효율, Q_1 = 유입측 기류의 표본추출시간,

Q_2 = 유출측 기류의 표본추출시간

중량법 95 % 이상의 에어필터는 비색법에 해당되며 비색법 효율의 적용 범위는 5~95 % 이다.

· 계수법 (DOP 시험법)

계수법 테스트는 높은 포집율을 가진 고성능 여과기 (hepa, ulpa) 에 이용하며 시험법은 dioctyl-phthalate 용액을 제너레이트 용기에 넣어 열을 가함으로써 이 용액은 증기화 되며 DOP 증기는 가열된 기류속으로 주입되고 혼합실로 보내진다. 혼합실에서 DOP 증기를 동반한 가열공기는 실내 온도 정도의 기류와 혼합되고 이것은 증기를 매우 미세한 물방울이나 응축액으로 액화시킨다.

이 물방울의 크기는 혼합온도에 의해 조절된다. 또한 표준 DOP법에 있어 미립자의 크기는 0.3 μ m 를 유지하도록 규격화 되었으며 미립자들은 시험 여과기 상류측 기류속에 주입되고 시험중인 여과기의 입구 및 출구측 농도는 빛의 확산장치에 의해 측정된다.

DOP 시험법은 미립자수에 근거하여 시험 여과기 입구와 출구측 미립자 농도를 비교하는 방법이다.

$$\eta = (1 - \frac{Q_1}{Q_2}) \times 100(\%)$$

η = 효율, Q_1 = 상류측 DOP농도,

Q_2 = 하류측 DOP농도

비색법으로 99 % 이상인 여과기는 계수법에 적용한다.

맺음말

본문에서는 에어필터의 제거물질이 단순한부유분진에 대하여 특정되어 있어 실용적이지만 오염물질이 화학적인 경우엔 전체의 원인을 제거할 수 없음을 알 수 있다. 따라서 오염물질이 가지고 있는 미생물이 번식하여 화학반응을 일으켜 오염물질을 포집한 Air Filter에서 재 발생되는 경우가 있으므로 반드시 오염물질의 물리·화학적 특성을 조사하여 적용하고, 또한 공기청정장치의 철저한 유지 관리가 필요하다.

따라서 장래에 유해물질이 발생하는 작업장과 실내 생활공간에서 효과율이 우수하고 경제적인 효과를 얻을 수 있으며 에너지 보전측면에서도 적합한 공기청정장치와 새로운 mechanism이 접목된 에어필터의 개발이 절실히 요구된다. 