

공기청정기의 성능 시험 및 평가

Performance Test and Evaluation of Air Cleaners

오 명 도
생 산 기 술 연 구 원
생산기술개발센터/수석연구원

1. 머리말

한국산업규격 KS C 9314(1994) 및 일본 산업규격 JIS C 9615(1976)에서는 공기청정기를 “일반가정, 사무실 등에 설치하여 공기 중에 부유하는 분진을 포집하거나 또는 이와 병행하여 가스를 제거하기 위하여 사용되는 송풍기 내장의 장치”로 정의하고 있고, 미국의 ASHRAE Handbook의 Equipment Volume(1988)의 chapter 10에서는 “건물내부의 공기조화를 위한 환기공기(ventilation air)와 재순환공기(recirculated air)의 청정을 위한 장치”로 정의하고 있다. 따라서 공기청정기의 적용범위는 건물내부 및 실내의 공기청정으로 간주할 수 있다.

ASHRAE에서는 이러한 공기청정기의 적용대상 범위를 더욱 정량화하여 일반적으로 200~40,000mg/m³의 분진농도를 갖는 대규모 산업공정상의 배출가스 및 공장 배기가스와 구분하여 부유미립자의 전체 농도범위가 최고 2mg/m³을 초과하지 않고 보통 공기중 농도가 0.2mg/m³(NTIS, 1969) 보다 작은

경우로 규정하고 있다. 또한 한국 공업규격, 일본공업규격, ASHRAE에서는 모두 분진포집 이외에 가스상의 오염물 제거도 포함하고 있으나 본고에서는 분진포집과 관련하여 공기청정기를 다루고자 한다.

2. 일반 대기분진과 오염 생성원

대기분진(atmospheric dust)은 스모크(smoke), 미스트(mist) 흠(fume), 과립상 입자(granular particle), 섬유입자(fiber) 등으로 구성된 복합혼합체이고 이러한 것들이 기체내에 부유될 때 에어로졸(aerosol)이라 부른다. 따라서 에어로졸은 부유입자와 입자를 부유시키고 있는 기체를 합쳐서 부르는 것으로 하나의 2상시스템(2-phase system)이다.

에어로졸은 부유입자들의 물리적 성상과 생성방법에 따라 나누어지나 엄격한 과학적 분류는 없다. 그러나 다음과 같은 정의를 통하여 과학적으로 충분히 묘사할 수 있다.

에어로졸(aerosol) : 가스내에 부유하는 고체나 액체입자들로 적어도 몇 초 동안은 보통 안정하고 몇가지 경우에는는 일년 또는 그 이상 견딜 수 있다. 또한 에어로졸이라는 말은 입자들과 이를 품고 있는 가스(보통 공기)를 둘다 포함하기도 한다. 보통 입자 크기는 $0.001\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ 정도까지 해당한다.

먼지(dust) : 원재질의 분쇄(crushing)나 마찰(grinding)과 같은 기계적인 분해(disintegration)에 의해 형성된 고체입자로 크기는 $1\mu\text{m}$ 보다 작은 것에서 눈에 보이는 범위까지 있다.

큰입자(coarse particle) : 지름이 $2\mu\text{m}$ 보다 큰 입자

미세입자(fine particle) : 지름이 $2\mu\text{m}$ 보다 작은 입자

흠(fume) : 증기나 가스상 연소생성물의 응축에 의해 생성된 고체입자로 그 크기는 일반적으로 $1\mu\text{m}$ 보다 작다. 이 정의는 대기 중에 있는 유해한 오염물을 일컫는 말을 일반적으로 사용하는 것과는 다르다.

스모크(smoke) : 불완전 연소로부터 생긴 눈에 보이는 에어로졸로 입자들은 고체나 액체일 수도 있고 지름이 $1\mu\text{m}$ 보다 보통 작다.

미스트(mist) : 응축이나 분무화(atomization)에 의해 생성된 액체입자 에어로졸로 그 크기는 $1\mu\text{m}\sim 20\mu\text{m}$ 정도까지 있다.

안개(fog) : 눈에 보이는 미스트를 말한다.

스모그(smog) : 보통 수증기와 결합한 광화학적 반응생성물들로 입자들의 크기는 일반적으로 1 또는 $2\mu\text{m}$ 보다 작다. 이 말은 smoke와 fog라는 단어들로 부터 유도되었다.

실내 환경오염에서의 관심 대상오염물은 실외와 실내의 생성원으로 부터 발생할 수 있다. 실외로 부터 유입된 공기에는 다중 방향족 탄화수소계 화합물(polyaromatic hydrocarbons, PAHs)과 같은 광화학적 스모크(smoke) 성분들, 황산염(sulfate) 및 질산염(nitrate), 자동차배출물, 먼지(dust), 꽃가루(pollen) 등과 같은 생물학적 합성물 등이 있다. ASHRAE 규격 62, “채택가능한 실내공기질을 위한 환기(Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality)”에서는 실외공기가 실내로 유입될 때 이러한 오염물 중 몇개의 수준이 미국 EPA의 “입자에 대한 연방 대기공기질 규격(National Ambient Air Quality Standards for Particles)” 보다 작아야 한다고 규정하고 있고 $10\mu\text{m}$ 보다 작은 크기는 인간 호흡기로 흡입되므로 $10\mu\text{m}$ 보다 작은 입자에 대한 질량농도인 PM_{10} 에 근거하고 있다.

실내에서 발생된 오염입자들은 곰팡이(mold)나 균류(fungus)와 알레르기를 일으키는 알레르겐(allergen) 등과 같은 생물학적 생성원, 헤어스프레이나 세척제품 등의 소비제품, 흡연 등의 인간활동 및 취미활동으로 인한 생성물, 방 및 사무실의 집기로 부터의 방출물 등에 의해 생성된다. 또한 HVAC 시스템내에서 발생된 오염물들이 있다. 실내에서 발견되는 물질의 유형과 관련된 입자크기들이 그림 1에 요약되어 있다. 이러한 광범위한 미립자들의 유형 및 크기로 인해 모든 경우에 적합한 최상의 공기청정기를 설계하는 것은 불가능하다.

3. 공기청정기의 입자포집 원리

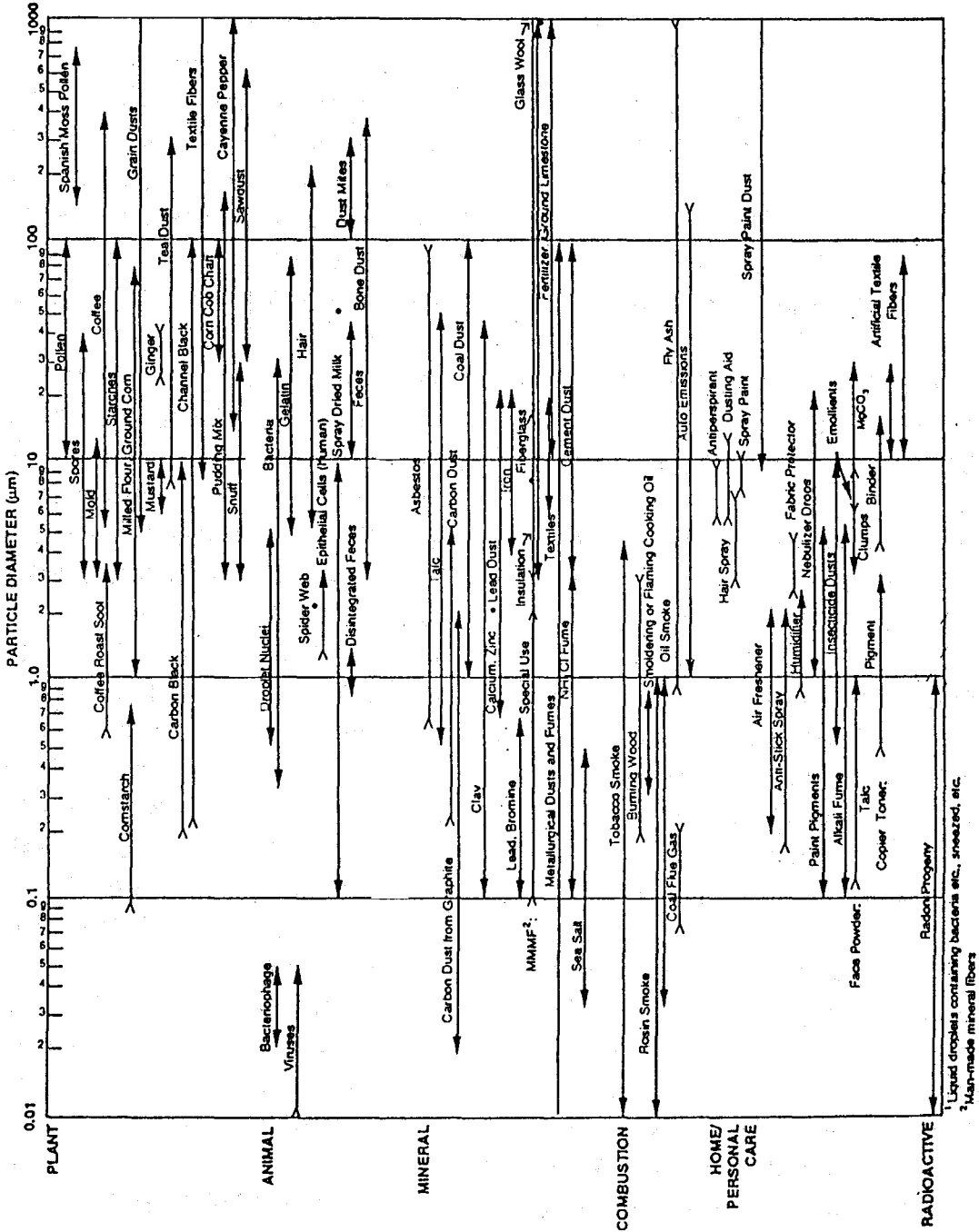


그림 1 실내입자들의 유형 및 특성

미립자의 포집에 있어서 공기청정기들은 다음의 5가지 원리에 근거하고 있다.

(1) 걸름작용(Straining)

가장 거친 여과작용으로서 제거되는 미립자보다 작은 막의 틈을 이용하여 입자들을 걸러내는 방법이다. 이 작용은 필터 표면상에 큰 입자들의 포집으로 흔히 관찰된다. 이 작용은 섬유여재를 이용한 서브마이크론 에어로졸의 여과를 설명하는 데는 충분치 못하고 아래의 여러가지 섬유필터 이론작용들이 필요하다.

(2) 직접 차단작용(Direct Interception)

입자들은 섬유가닥에 근접한 유동의 유선을 따라가다가 섬유가닥에 접촉되어 그곳에 부착된다. 이 작용은 속도와는 거의 무관하다.

(3) 관성침착(Inertial Deposition)

기류내의 입자들이 충분히 크거나 무거울 때 유체유선을 따라가지 못하여 유선에서 이탈 횡단케 되고 섬유가닥에 접촉, 부착하게 된다. 이 관성효과들이 가장 두드러지는 높은 유속에서는 기류의 항력이 워낙 커서 섬유모재에 부착되지 못할 수 있다. 이 경우에는 섬유모재에 점성막을 입히면 도움이 되고 이는 점성피막된 와이어 스크린 층돌 필터에서의 지배적 작용이 된다.

(4) 확산(Diffusion)

매우 작은 입자들은 기본운동으로 브라운 운동이라는 무작위운동을 가지고 있어 섬유조직에 침착된다. 이 침착은 섬유근처에 농도

구배를 형성시켜 확산에 의한 여과작용을 증진시키게 된다. 이 효과들은 입자크기와 속도가 감소함에 따라 증가한다.

(5) 정전효과(Electrostatic Effects)

반대 전하를 띤 물체들은 서로 당기게 된다. 전기식 공기청정기는 집진판으로 하전입자들을 당기게 된다. 어떤 상황에서는 전하들이 섬유필터 여재내에서 생성될 수 있어 분진포집을 돕게 된다.

이상의 포집작용에 의한 결과가 그림 2에 도시되어 있다. 기계적 필터의 여재에서는 효율곡선에서의 최소지점이 관성 및 차단포집작용과 확산포집작용의 경계위치에 있다. 전기식 공기청정기(Electronic Air Cleaner)는 이온화부에서의 입자하전의 결과로 인해 전기적으로 입자를 포획한다. 전기식 공기청정기에서의 복합적인 포집작용은 기계적 필터에서의 포집특성과 유사하게 대략 $0.5\mu\text{m}$ 에서 최소를 가지는 이론 집진효율 곡선을 보여주고, 그림 2에서와 같이 $0.01\mu\text{m}$ 보다 작은 극미세입자(ultrafine particle)들은 효율적인 포집에 필요한 충분한 전하를 획득할 수 없으므로 효율이 저하됨을 보여주고 있다.

4. 공기청정기의 유형과 성능

4.1 패널필터(Panel Filter)

(1) 점성 층돌 필터(Viscous Impingement Filter)

점성층돌필터란 높은 다공율의 굵은 섬유들로 이루어진 패널 필터이다. 층돌되는 입자

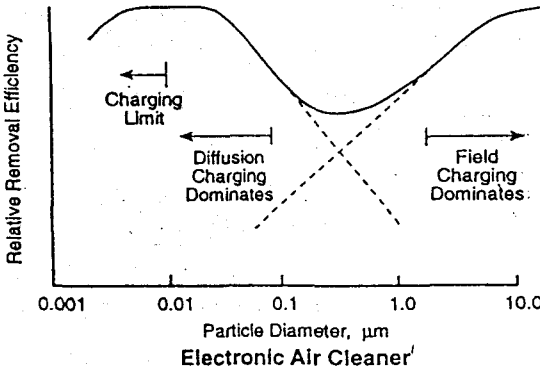
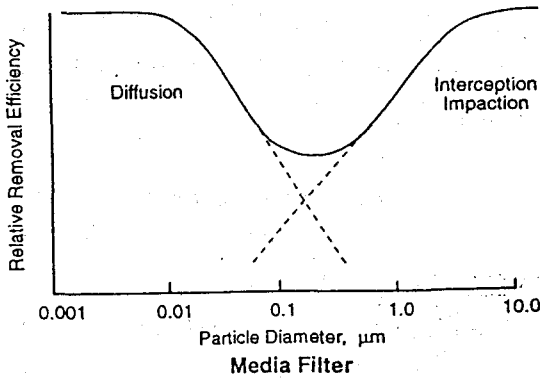


그림 2 공기정화기의 입자크기에 따른 입자포집원리

들이 잘 부착되도록 필터여재가 오일과 같은 점성물질로 피막되어 있다. 이 필터는 저압력 손실, 저비용, 린트입자(lint)에 대해 고효율 등의 특성을 이루나 대기분진에는 저효율이다. 일반적으로 0.5~4inch(13~100mm) 두께로 만들어진다. 유니트패널들은 표준크기와 특수크기까지 최고 약 24×24인치(610×610mm)까지 구할 수 있다. 종종 고효율 필터에 대한 상류필터(prefilter)로 사용된다. 사용되는 필터여재로는 15~60 μm 지름의 굵은 유리

섬유, 동물털, 식물섬유, 합성섬유, 금속성 울(metallic wool), 금속성 박지, 주름잡힌 스크린, 합성거품 등이 있다. 이러한 유형의 필터에서 여재의 배열법은 다음의 세가지 기본 배치형상을 따른다.

(a) 물결형 여재(sinuous media)

주름잡힌 금속이나 스크린스트립으로 구성된 필터여재가 기류에 다소 평행하게 유지된다. 기류방향이 필터 통과시에 급격하게 변하도록 되어 있어 분진이 금속요소에 관성충돌을 일으키게 한다.

(b) 형상스크린 여재(formed - screen media)

스크린이나 박막금속의 필터링여재가 높은 다공성 여재를 형성하도록 주름이 잡혀진다. 공기가 여재 요소들을 지나가면서 분자들이 와이어에 충돌한다. 비교적 개방된 구조로 인해 막힘없이 분진이나 린트를 상당량 함유할 수 있다.

(c) 무정형 섬유여재(random fiber media)

부착물이 있거나 없는 경우로 높은 다공성의 매트들로 형성되어 있다. 이런 유형의 여재는 입구측 보다 출구측에 여재들이 더 밀집되도록 한 패키지형으로 설계된다. 이러한 배열을 통하여 필터의 입구측에서는 대형입자들과 린트들을 포집하고 더욱 조밀하게 패키징된 출구측에서는 미세입자들을 여과시키게 된다.

점성충돌 필터들은 보통 300~600fpm(1.5~3m/s)에서 작동하지만 더 높은 속도에서도 작동 가능하다. 증가되는 유동저항 이외의 제한요소는 필터에 포집된 분진응집체와 점성피막이 떨어져 나가는 위험성이다. 필터의 포획율은 처리되는 공기내의 오염입자의 유

형 및 농도에 의존한다. 마노미터, 드래프트 게이지(draft gauge), 압력변환기가 필터뱅크(filter bank)를 가로지르는 압력강하를 측정하기 위하여 설치되고 그것에 의해 필터교체 시기를 알게 된다. 최고허용 압력강하는 설치마다 변할 수 있지만 일반적으로 작동저항도가 0.5inch H₂O(125Pa)에 도달할 때 교체되어야 한다. 필터효율의 감소는 분진포획에 따른 증가되는 저항도에 의한 것이라기보다는 분진이 점성 피막을 흡수해 버리기 때문에 발생하는데 작동수명에서의 제한요소가 될 수 있다.

유니트필터의 교체방식은 구조에 따라 다르다. 점성층돌 패널형 필터들은 값싼 재질로 제조되어서 한번의 사용으로 처분된다. 이런 설계의 셀 측면은 보통 판과 금속 고정물들이 결합되어 있다. 영구성 유니트필터는 반복적인 손질에 견디도록 금속으로 제조된다. 다양한 세척방법들이 영구성필터를 위해 추천되어 왔고 가장 널리 사용되는 방법으로는 종종 세제를 섞은 증기(steam)나 물로 씻은 후 담그거나 뿌려서 점착제로 재코팅한다. 유니트 점성필터들은 설치상황에서 세척과 재코팅하도록 제조되기도 한다.

점성층돌 필터에 사용되는 점착제는 세심한 기술을 요한다. 필터효율과 분진유지 용량은 사용되는 정착제의 유형 및 양에 의존하므로 이 정보는 시험결과와 필터명세에 필수 부분이다. 효율 및 분진유지 용량 이외에 바람직한 점착제 특성은 (1) 과다증발이 배제될 수 있는 낮은 휘발성 (2) 작동 온도범위내에서 변화가 적은 점성 (3) 박테리아 및 곰팡이 씨의 성장배제능력 (4) 분진 입자들에 대한 부착 및 유지력 (5) 높은 발화점 (6) 무항기

등이다. 전형적인 저항도 범위에서 작동하는 점성층돌 유니트 필터들의 전형적인 성능이 그림 3의 Group 1으로 도시되어 있다.

(2) 건식 광폭면 필터(Dry-Type Extended Surface Filter)

건식 에어필터에 사용되는 여재는 다양한 두께, 섬유크기, 밀도를 가진 무정형 섬유매트나 블랭킷(blanket)이다. 유리섬유, 셀룰로스섬유, 울펠트(wool felt), 인조합성물(synthetics) 등의 여재가 상업적으로 사용된다. 여재들은 포켓형, V자형, 반경방향으로의 주름형(pleat) 등의 와이어뼈대로 지지된다. 다른 설계에서는, 여재자체의 강성(rigidity)이나 기류가 여재를 팽창시키기 때문에 스스로 지탱되는 경우도 있다. 여재에 주름을 넣으면 정면 면적당의 여재면적이 커지므로 타당한 압력강하를 유도할 수 있다. 몇몇 설계에서는 필터여재가 교체가능하고 영구성 와이어 바구니에 고정된다. 대부분의 설계에서는 전체 셀이 오염입자 포획을 수행한 후에 처분된다. 건식 에어필터의 효율은 보통 패널 필터보다 높고 구할 수 있는 여재가 다양하므로 희망하는 청정효율도를 거의 맞출 수 있다. 현대적인 건식 필터여재와 필터형상들은 패널필터보다 일반적으로 더 높은 분진유지용량을 제공한다.

광폭면 필터들의 상류에 위치한 전단필터(prefilter)는 주필터의 수명을 연장시킨다는 경제적인 목적이 있다. 경제성 고찰에서는 역시 전단필터 제작비, 교체시의 노동비, 증가된 송풍기전력 등이 포함된다. 일반적으로, 전단필터들은 보통 70% 이상의 분진반점효율을 보유한 필터들의 틈을 막아버릴 수 있

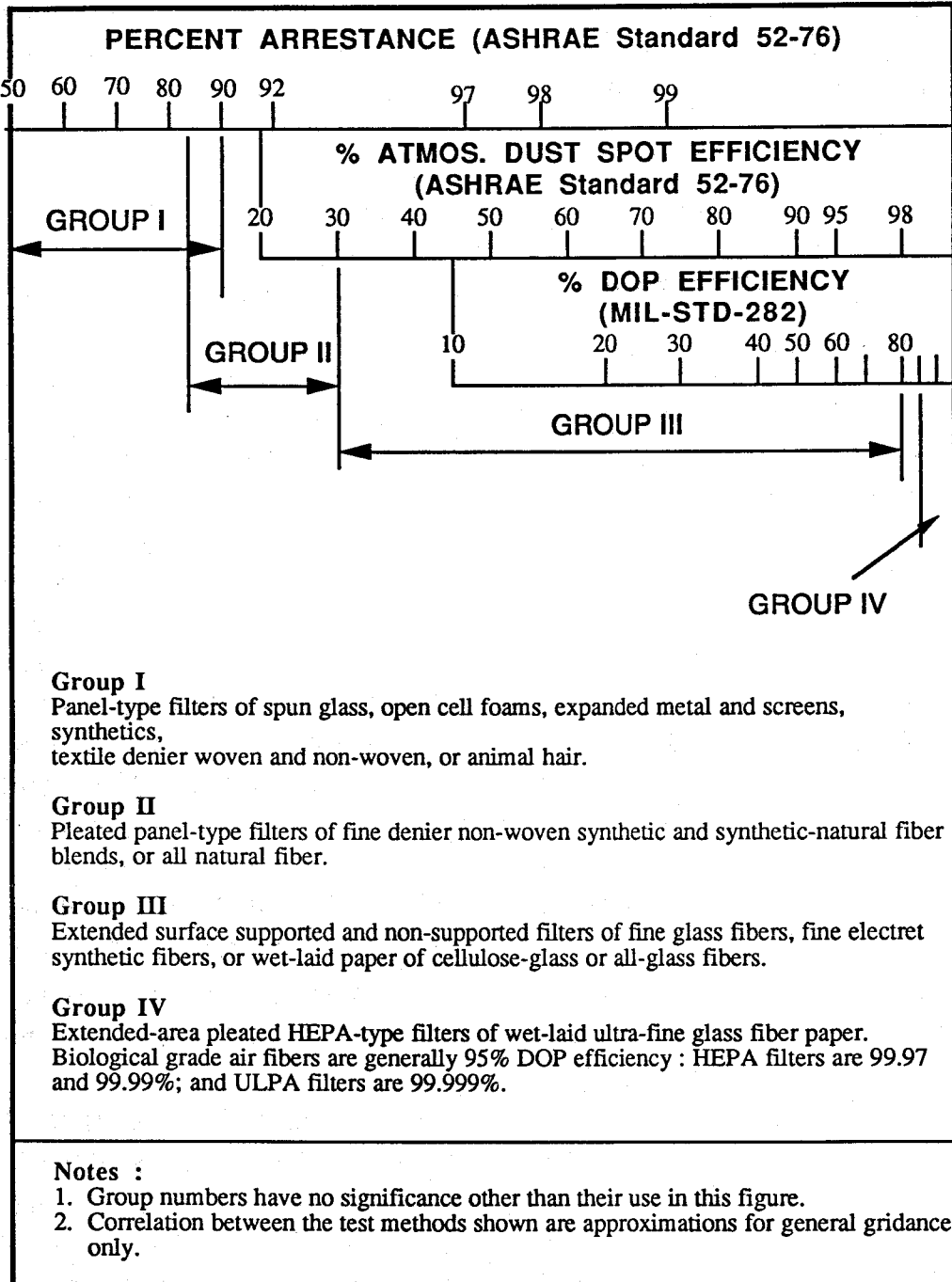


그림 3 점성충돌 및 건식여재 필터의 성능비교

는 분진 부분을 상당량 제거해야 하는 경우에만 사용된다. 일시적 사용을 위한 전단필터들은 대량 적재된 대형분진을 포집하기 위하여 건물공사 중에 필요하다. 95% 이상의 DOP 효율을 가지는 HEPA 필터는 80% 이상의 ASHRAE 대기분진 반점효율을 가지는 전단 필터의 보호를 항상 받아야 한다. 본 경우의 필터들의 전형적인 성능은 그림 3의 Group II와 III에 보여지고 있다.

광폭면필터들의 초기 저항도는 여재의 선택과 필터형상에 따라 변한다. 상업적인 설계들은 전형으로 0.1~1.0inch H₂O(25~250Pa)의 초기 저항을 가지고 있다. 저항도가 낮은 유니트의 경우는 0.5inch H₂O(125Pa), 가장 높은 저항도 유니트의 경우는 2.0inch H₂O(500Pa)에 도달할 때 여재를 교환하는 것이 일반적이다. 높은 포집효율을 갖는 건식여재는 기류에 높은 저항도를 가진다. 완전히 분진이 적재된 필터의 작동 저항도는 송풍기가 작동되는 최대저항도이므로 시스템 설계시 고려되어야 한다. 가변 공기유량(VAV) 시스템과 일정공기유량(CAV) 시스템 등은 필터가 새것이거나 세척되었을 때 발생하는 높은 공기유량이나 송풍기모터 과부하를 방지해야 한다.

중간효율대의 광폭면 필터들에 관해서는 필터 여재면적이 필터의 정면면적보다 훨씬 크기 때문에 필터여재를 통과하는 속도가 필터정면에 접근하는 속도보다 훨씬 낮다. 여재 속도는 6~90fpm(0.03~0.46m/s) 범위를 가지지만 접근속도는 750fpm(3.8m/s)까지 이른다. 기류방향으로의 깊이는 2~36in(50~915mm)까지 있다. 중간효율대에서 사용되는 필터여재에는 (1) 최고 0.5in(13mm) 두께의

매트형의 0.7~10 μ m 지름의 미세 유리섬유여재 (2) 미세 유리섬유 또는 셀룰로스, 무명솜 등의 미세 비자임새형 매트여재 (3) 최고 2in(50mm) 두께의 30 μ m 이상의 대형지름 섬유 비자임새형 매트여재 등이 있다.

정전필터(electret filter)는 정전기적으로 하전된 필터이다. 섬유상의 전하는 야기되는 쿨롱력(coulombic force)를 이용하여 브라운 확산에 의한 미세입자의 포집을 더욱 증가시킨다. 이 필터에는 3가지 유형이 있다. 이로는 수지울(resin wool), 일렉트렛(electret), 정전분사폴리머(electrostatically sprayed polymer) 등이 있다. 수지울 필터상의 전하는 제조시의 마찰에 의해 생성된다. 일렉트렛의 제조중에는 코로나방전이 얇은 폴리프로필렌 막의 한쪽 측면에 주사되고 반대측면에는 음전하가 주사된다. 그리고 나서 이 얇은 판들은 직사각형 단면의 섬유로 제조된다. 정전분사폴리머의 경우에는 액체폴리머를 회전시켜 강한 전기장하에서 섬유를 만들게 된다. 정전섬유 필터의 효율은 여재필터의 일반 포집작용과 강한 국소 정전효과에 의해 이루어진다. 이 효과들은 필터의 초기 포획을 효율적으로 야기시키고 표면상의 포집입자들의 고형화과정(caking process)를 향상시킨다. 그러나 여재에 포집된 분진은 정전필터의 효율을 감소시킬 수 있다.

초고효율 건식필터인 HEPA(High Efficiency Particulate Air) 및 ULPA(Ultra Low Penetration Air) 필터들은 서브마이크론 유리섬유 종이를 깊게 포간 확장표면형상으로 만들어진다. 이런 필터는 약 250fpm(1.3m/s)의 덕트속도와 0.5~2.0inch H₂O(125~500Pa) 또는 그 이상의 저항도에서

작동한다. 이 필터들은 클린룸, 원자력, 독성 미립자 응용 분야에 대한 표준규격이다. 전형적인 성능범위가 그림 3에 Group IV로 도시되어 있다.

막필터(membrane filter)는 입자특성이 이 필터의 연약성, 높은 저항도, 높은 비용에 상응할 만큼 중요한 공기샘플링과 특수 소규모 응용에 주로 사용된다. 다양한 기공지름(pore diameter) 및 저항도, 평판형 및 주름형으로 구할 수 있다.

4.2 재생여재 필터(Renewable Media Filter)

(1) 이동커튼 점성충돌 필터(Moving-Curtain Viscous Impingement Filter)

자동 이동커튼 점성충돌필터는 두가지 유형으로 구할 수 있다. 한 유형에서는 무정형 섬유여재가 물형으로 공급된다. 새로운 여재가 사람 또는 자동으로 필터정면을 가로질러 공급된다. 반면에 교체된 여재는 바닥의 물에 감기게 된다. 물이 다 소모되면 여재의 꼬리 부분이 물에 감기고 물은 교체되어 새 물이 설치되어 사이클이 시작된다. 이동커튼 필터에서는 여재가 압력스위치, 타이어, 여재 광선 전달조절기의 명령을 받는 모터에 의해 진행할 수 있다. 일반적으로 여재의 물이 다 소모될 순간을 나타내는 신호를 보낼 수 있는 안전장치가 내장된다. 동시에 구동모터는 필터가 여재를 다 소모할 수 없도록 전기를 중단하게 한다. 정규 서비스로는 필터상부의 새 여재물의 삽입과 하부의 사용된 물 처분이 필요하다. 그러나 이 유형의 자동필터는 수직방향만의 응용에만 국한되지 않는다. 보충공기 유니트나 공기조화 유니트의 사용을

위한 수평식도 구할 수 있다. 점착제는 패널형 점성충돌 필터의 것과 유사한 특성뿐만 아니라 압축과 장기간 저장에 견디는 능력이 필요하다.

다른 방식의 자동 점성충돌 필터에서는 결합형 금속메쉬여재패널(linked metal mesh media panel) 등이 이동하는 커튼상에 설치되고 간헐적으로 점착제 저장소를 지나게 된다. 이곳에서는 포획 먼지들을 제거시키고 새로운 점착 코팅막을 입히게 된다. 그리하여 이 패널들은 다른 쪽으로 상승하여 이동되는 연속적인 커튼을 형성한다. 계속적으로 새 점착제로 세척 및 재생되는 이 여재커튼은 필터작용의 수명을 지속시킨다. 집진된 오염물은 점착제 저장소에서 주기적으로 제거되어야 한다. 여재를 또는 이동 금속패널 등의 자동필터의 저항도는 올바른 작동이 이루어지는 한 대략 일정하게 유지된다. 500fpm(2.5m/s)의 면속도에서 0.4~0.5inch H₂O(100~125pa)의 저항도가 보통이다.

(2) 이동커튼 건식여재 필터(Moving-Curtain Dry Media Filter)

비교적 높은 다공율의 무정형(무짜임새) 건식필터 역시 일반환기용 이동커튼(물) 필터에 적용된다. 작동 덕트속도는 보통 점성충돌 필터 경우보다 낮아 200 fpm(1m/s) 정도이다. 특수 자동 건식필터가 직물공장 및 건식세탁실에서의 린트(lint)의 제거와 인쇄실에서의 린트 및 잉크미스트(ink mist)의 포집을 위해 고안되었다. 사용되는 여재는 매우 얇아서 린트의 축적을 위한 토대로서의 역할만하고 그리고나서 필터여재로서 작동된다. 오염물이 적재된 여재는 공급된 물이 다 소

모되면 처분된다. 건조린트 제거를 위해 특별히 고안된 필터는 이동 와이어스크린 커튼으로 구성되어 있고 기류 외부의 위치에서 자동으로 진공세척된다.

(3) 재생여재 필터의 성능

전형적인 점성충돌 및 건식 재생여재 필터에 대한 ASHRAE 포획률, 효율, 분진 유지용량이 표 1에 수록되어 있다.

4.3 전기식 공기청정기(Electronic Air Cleaner)

전기식 공기청정기는 정전 집진방법을 먼저, 스모크, 꽃가루(pollen)와 같은 오염미립자들을 제거하는데 사용하는 고효율 필터들이다. 전기식 공기청정기라는 말은 HVAC 공기여과를 위한 집진기를 의미한다. 이 필터는 이온화부(ionization section)와 집진부로 구성된다.

이온화부에서는 6~25kV사이의 양의 직류 고전압에 걸리는 미세직경의 와이어가 접지판들 사이의 중앙에 유지된다. 와이어에 인가된 고전압은 미립자들을 하전시키기 위한 이온화 전기장(ionizing field)을 형성한다. 이 전기장내에 생성된 양의 이온들은 기류를 가

표 1. 재생여재 필터의 성능(정상상태)

Description	Type of Media	ASHRAE weight Arrestance %	ASHRAE Atmospheric Dust Spot Efficiency, %	ASHRAE Dust-Holding Capacity, g/ft ² (g/m ²)	Velocity, fpm(m/s)
20-40 μ m glass and synthetic fibers, 2-2.5in(50~64mm) thick	Viscous Imp.	70-82	< 20	60-180(600-2000)	500(2.5)
Permanent metal media cells or overlapping elements	Viscous Imp.	70-80	< 20	NA (permanent media)	500(2.5)
Coarse textile denier nonwoven mat, 1/2-1in(12-25mm) thick	Dry	60-80	< 20	15-70(150-750)	500(2.5)
Fine textile denier nonwoven mat, 1/2-1in(12-25mm) thick	Dry	80-90	< 20	10-50(100-550)	200(1)

로질러 입자들에게 부딪혀 부착되어 입자를 하전시키고 하전입자들은 집진부로 흘러간다.

집진부는 4~10kV의 양의 직류고전압이 걸리는 고전압판과 접지판이 균등 배치된 일련의 평행판들로 구성된다. 입자들이 집진부를 지날 때 입자상의 전하에 의해 정전기력을 받아 접지판으로 당겨지게 되어 집진판에 포집된다. 집진판상의 미립자 유지력은 전기적 부착력과 분자 상호간의 부착력에 의한 것과 특수오일이나 점착제에 의해 증대될 수 있다. 그림 4는 전형적인 전기식 공기청정기 셀을 보여주고 있다. 양의 직류전압 대신 음의 전압이 역시 똑같은 원리로 작동할 수 있으나 많은 오존이 발생된다.

4~25kV 직류전압에 대해서는 안전도 검사가 요구된다. 전형적인 설치의 경우에는 세척하거나 파워팩의 수리를 위해 문을 제거할 때 공기청정기가 작동치 않도록 해야한다.

전기식 공기청정기들은 120~240V 단상교

류에서 작동한다. 공기청정기 셀에 공급되는 고전압은 solid-state 전원공급기로 보통 생성된다. 전력소비는 공기청정기 용량 100cfm 당 20~40W(1m³/s당 40~85W)의 범위에 있다. 이런 유형의 공기필터는 ASHRAE Standard 52의 Atmospheric Dust Spot Test Method에 대해 측정될 때 저속 기류속도(150~350fpm(0.8~1.8m/s))에서 최고 98%의 평균효율로 공기부유오염물들을 포집, 제거할 수 있다. 이 때의 포집효율은 (1) 집진판이 미립자로 적재됨에 따라 (2) 더 높은 속도에서 (3) 비균일 속도일 때 감소된다.

대부분의 공기여과장치의 경우처럼 기류가 단면상에서 균일하게 분포되도록 공기청정기 하우징에 출입하는 덕트물들을 배열하는 것이 중요하다. 패널전단필터(panel prefilter)가 기류분포를 돕고 청정기 셀의 고전압내에서 단락시키거나 과도한 입자궤적을 일으킬 수 있는 대형입자들을 포획하기 위해 사용되

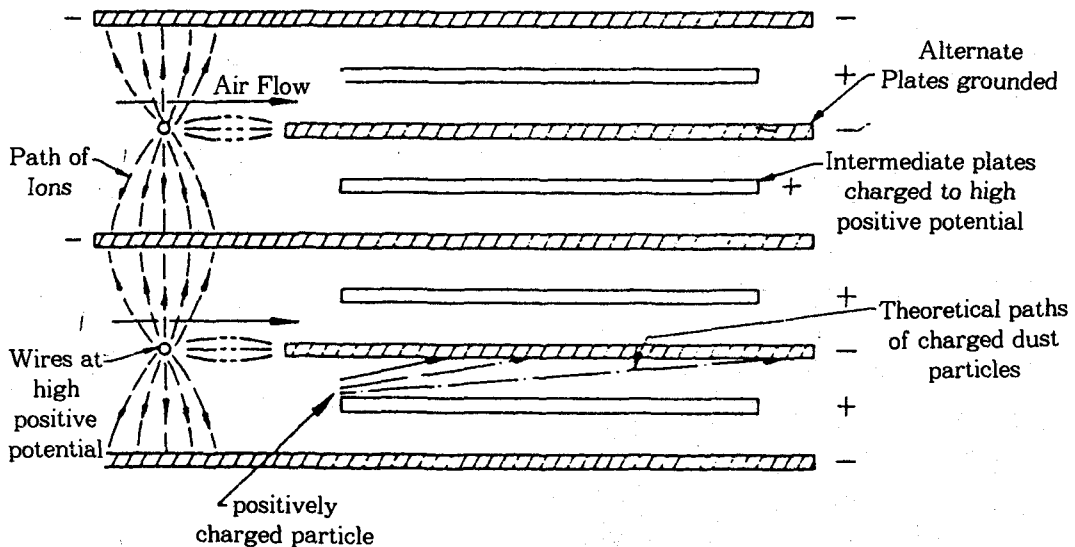


그림 4 전기식 공기청정기의 개략도

어야 한다. 기류속도, 이온화전기장, 셀판간격, 길이, 고전압판 전압 등의 설계변수들은 응용요구 조건을 맞추어야만 한다. 이에는 오염물질 유형, 입자크기, 처리공기유량, 요구효율 등이 있다. 많은 유니트들이 전체공기여과를 위해 중앙식 난방 및 냉방시스템에 설치되도록 설계된다. 독립시스템이 필요한 특정 응용분야에 오염물질의 원천제거를 위해 완전한 공기송풍기를 장착하여 독립적인 유니트로 공급되기도 한다. 전기식 공기청정기 셀들은 세정제와 온수를 가지고 주기적으로 세척되어야 한다. 몇몇 설계에서는 설치상의 셀을 세척하는 자동 세척시스템과 결합되어 있고 다른 설계들에서는 셀들의 세척을 위해 분리해야 한다. 셀 세척의 주기는 처리오염물과 농도에 따라 다르다. 산업적용 분야에서는 매 8시간 작동마다 세척을 요하고 가정용 유니트는 1달에서 3달 주기로 세척을 요한다. 유니트의 성능이 최대효율을 유지토록 하기 위해 훌륭한 세척시간표가 중요하다. 몇가지 오염물에 대해서는 와이어세척에 특별한 주의를 요한다.

선택적인 사양도 가능하다. 롤필터와 같은 후단필터(after filter)는 셀판에 응집된 후 떨어져 나온 미립자들을 제거하는데 필요하다. 이것들은 많은 오염물 적재가 발생하거나 세척주기의 연장이 요구될 경우에 주로 사용된다. 셀 집진판은 입자유지와 세척중의 제거를 향상시키기 위해 특수 오일, 정착제, 세제 등으로 피막을 입힐 수 있다. 고효율 건식 확장여재 에어필터가 특수 경우에 후단필터로서 사용될 수 있다. 이 경우에 사용되는 전기식 공기청정기는 건식필터의 사용수명을 향상시키고 스모크와 같은 작은 입자들을 포집

한다. 또 다른 장치인 음의 이온화기(negative ionizer)는 입자 하전 원리를 이용하지만 집진부가 없다. 입자들은 유니트의 이온화부로 들어와서 전하를 얻게 된다. 하전입자들은 궤적에 가장 가까운 접지면으로 이동하게 된다. 이러한 공기청정기가 사용될 때에는 다음의 공간전하 및 오존 발생문제를 고려해야 한다.

공간전하(Space Charge) - 입자들은 이온화부를 통과하면서 하전되지만 제거되지 않은 입자들은 전하를 가지고 방안공간으로 나온다. 대규모로 계속된다면 공간전하가 형성되고 이러한 하전입자들을 벽면으로 몰게 될 것이다. 그리하여, 높은 대기분진 농도영역에서 사용되는 저효율 전기식 공기집진기나 오동작하는 유니트는 청정장치가 사용되지 않은 경우보다 더 빨리 벽면을 검게 만들 수 있다.

오존(Ozone) - 모든 고전압장치들은 오존을 발생시킬 수 있고, 오존은 독성이며 종이, 고무, 다른 물질들에 손상을 입힌다. 적정하게 설계되어 작동될 때의 전기식 공기청정기가 발생하는 오존농도는 계속적인 신체 노출에 허용되는 수준 정도이고 많은 미국 도시에서 널리 적용하고 있는 수준(EPA)보다 낮은 오존농도를 만들게 된다. 청정기의 계속적인 작동으로 인해 온화한 독성수준인 불쾌한 수준의 오존을 생성할 수 있고 이는 강한 오존향기가 나는 수준이다. 코가 오존에 민감하지만 실제적인 농도의 측정으로만 위험수준임을 결정할 수 있다. ASHRAE Standard 62, "자연 및 강제환기(Natural and Mechanical Ventilation)"는 오존이 주손상물인 산화제(oxidant)의 허용농도를 규정하고 있다.

OSHA는 0.1ppm(0.1mg/kg)에서 8시간 동안의 평균노출을 허용하고 있다. 실내 오존 수준은 전기식 공기청정기 작동시 실외수준의 불과 30% 정도로 알려져 있다.

4.4 복합형 공기청정기(Combination Air Cleaner)

앞의 유형들이 동시에 사용되는 경우를 말한다. 예를 들면, 한개의 전기식 공기청정기가 입자응집용으로 상류층에 사용되고 하류의 섬유여재가 응집된 입자들을 포획하게 된다. 전극 조립부들이 공기처리 시스템에 설치되어서 여과장치들을 더 효율적으로 만든다. 또한, 고효율 유니트필터의 수명을 연장시키기 위해 재생여재 필터가 상류에 설치되는 경우도 있다. 정전장에 의해 입자 침착량을 증가시킨 정전 필터도 있다. 이 경우에는 압력손실이 섬유성 여재 필터처럼 증가된다.

5. 공기청정기 평가(Rating Air Cleaners)

다양한 방식의 공기청정기들을 구별하는 세가지 작동특성은 효율(efficiency), 공기유동 저항도(airflow resistance), 분진유지용량(dust-holding capacity)이라고 할 수 있다. 효율은 공기청정기가 기류로부터 입자를 제거하는 능력을 나타낸다. 필터의 수명동안의 평균효율은 공기청정기의 방식과 응용에 있어 가장 중요하다. 그러나 많은 건식(Dry-type)필터의 효율은 분진포집량이 증가될수록 증가하므로 초기 효율이 설계에 고려되어야 한다. 공기유동 저항도(또는 저항도)는 주어진 공기유량에서 필터를 가로지르는

정압강하를 나타낸다. 압력강하라는 말이 저항도(resistance)라는 말과 혼용되어 사용된다. 분진유지용량은 지정된 공기유량에서 작동될 때 어떤 최대유동 저항도까지 또는 포집된 분진에 의해 효율이 상당히 떨어질 때까지 공기청정기가 포획 유지할 수 있는 특정유형 분진의 양으로 정의한다. 자동재생 여재장치(물형 필터)의 경우에는 표준분진의 지정된 공급율하에서 일정 저항도를 유지하는데 필요한 여재 공급율을 평가해야 한다. 전기식 공기청정기의 경우에는 분진부착량의 효율에 대한 영향이 평가되어야 한다. 또한, 제조업체는 필터를 평가된 효율로 유지시키는데 필요한 관리정보를 제공해야 한다. 공기필터 성능시험은 복잡해서 특정방법이 모든 필터들을 충분히 기술할 수는 없으므로, 특정 장치의 성능평가는 정격조건하에서 작동하는 장치를 시뮬레이션해서 소비자에게 중요한 특성들의 성능등급을 제공해야 하는 것이 바람직하다. 공기청정기의 경우에는 제거되는 공기중 미립자들의 양과 종류가 다양하므로 등급평가를 더욱 어렵게 만든다. 또 다른 어려움은 측정성능을 소비자의 특정 요구사항과 밀접하게 연관시키는 것이다.

일반적으로 다소의 차이를 가지고 있는 다음의 4가지 방식의 시험방법으로 공기청정기의 효율을 결정한다.

포획률(Arrestance): 다양한 입경으로 이루어진 표준화 합성분진이 공기청정기로 공급되고 제거된 분진의 중량율이 결정된다. ASHRAE 시험기준에서는 이러한 방식의 효율측정을 다른 효율치들과 구별하기 위해 합성분진 중량포획율(synthetic dust weight arrestance)라고 부른다.

분진 반점효율(Dust Spot Efficiency): 대기분진이 공기청정기를 통과하고 청정화된 공기의 퇴색효과(discoloration effect)가 유입공기의 것과 비교된다. 이러한 방식의 측정치를 대기분진 반점효율(atmospheric dust spot efficiency)이라 부른다.

부분효율(Fractional Efficiency) 또는 통과율(Penetration): 단일 크기를 갖는 입자들이 공기청정기로 공급되어 공기청정기에 의해 제거된 비율이 백분율로 결정되며, 측정에는 주로 광도계(photometer)나 응축핵계수기(condensation nuclei counter)가 사용된다.

입자크기효율(Particle Size Efficiency): 대기분진이 공기청정기로 공급되고 공기청정기의 상류측과 하류측에서 취해진 공기샘플을 입자계수기(particle counter)로 계수하여 입자크기에 따른 포집효율곡선을 얻는다.

앞서 설명한 포획을 시험에서의 공기필터 중량포획률은 시험분진의 입자크기 분포에 크게 의존하므로 응집도를 고려해야 한다. 따라서 이 방법은 시험분진의 높은 표준화정도, 분진 분산장치, 시험장치 및 과정에 대한 이해가 필요하다. 이 시험법은 특히 재순환시스템에 자주 사용되는 저효율과 중간효율의 공기필터에 적당하다. 그러나 이 방법은 중량법이기에 때문에 고효율 필터들간의 포집성능을 구별하지 못하는 약점을 가지고 있다.

분진 반점시험은 필터의 직물 및 건물내부 표면의 얼룩현상을 감소시키는 능력을 측정한다. 이 효율은 대체로 미세입자들의 영향을 받으므로 고효율 필터의 성능판정에 유용하다. 한가지 단점은 대기분진의 다양성과 가변성이고, 이는 동일한 필터를 서로 다른 위치에서 심지어는 동일 위치에서 다른 시간대에

측정하면 서로 다른 효율로 평가될 수 있다. 이러한 차이는 저효율 필터에서 더욱 두드러진다.

ASHRAE 표준규격 52는 중량시험법과 분진반점법을 둘다 규정하여 두가지 결과를 모두 보고할 것을 명시하고 있다. 결과들은 공기필터 장치들간의 비교를 가능하게 한다.

부분 효율시험법은 단일크기 입자에어로졸의 사용이 전 대기분진 크기 스펙트럼에 대해 필터들의 입경별 효율특성을 정확하게 측정할 수 있는 방법으로 여겨져 왔다. 이 방법은 시간이 소요되므로 주로 연구분야에서 사용되어 왔다. 그러나 HEPA 필터용 DOP 시험법은 좁은 입경범위에서 고성능 필터의 성능시험에 널리 사용되고 있다.

최근의 실내의 공기오염과 공기오염제어 전략들은 1 μ m이하의 입경범위에서의 입경대 포집효율에 대한 자료의 요구에 초점이 맞춰지고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위해 몇몇 제조업체들은 대기분진 입경범위에 대한 포집효율들을 발표하였다. 제시된 자료들은 초기 효율일 수도 있고 필터 수명기간동안의 평균효율일 수도 있으나, 현재 입자크기 효율시험법에 대해서는 그 표준규격이 확립되어 있지 못하다.

압력강하의 측정은 비교적 간단하지만 실제 분진부착용량의 완전한 측정은 대기분진의 가변성으로 복잡하다. 따라서 표준화된 합성분진이 보통 사용된다. 이런 분진은 분진적재 시간을 주단위에서 시간단위로 감축시킨다.

합성분진은 대기분진과 똑같지 않으므로 측정된 분진유지용량이 대기분진 시험에 의한 결과와 다를 수도 있다. 실험실 수준의 시

험으로 실제 상황에서의 필터의 정확한 수명을 결정하는 것은 불가능하다. 그러나 표준조건하에서 수행한 필터의 시험은 다양한 제품의 성능에 대한 분진의 상대적인 효과에 대해 정량적인 지침을 제공한다.

외국에서는 몇몇 전문기관 연구실에서 입자크기에 따른 정확하면서 일관성 있는 필터 성능시험법을 수행하고 있다. 보고된 값들에서의 차이들은 일반적으로 시험 에어로졸들과 분진들과 필터여재의 변화에 의한 것으로 여겨진다. 대부분의 여재들은 공기중이나 물속에 함유된 섬유성 재질들로 무작위로 만들어지므로 본질적인 여재자체의 변화가 필터 성능에 영향을 미치게 된다. 따라서 이러한 차이들을 인지하면 상당히 작은 성능 허용공차에 대한 오해를 방지할 수 있다. 서로 다른 방법으로 측정된 두개의 공기청정기의 성능은 일반적으로 비교될 수 없으므로 효율자료를 해석하는데 있어 특별한 주의를 요한다.

6. 공기청정기의 시험방법 및 시험규격 (Air Cleaner Test Method and Test Standards)

공기청정기 시험방법들은 냉동공조산업, 자동차산업, 원자력산업, 정부기관 및 국방부 등의 여러 분야에서 개발되었다. 앞으로 설명할 시험방법들은 미국에서 일반환기분야에서 표준규격이 되었다. 1968년에 NBS와 에어필터협회(AFI)에 의해 개발된 시험기술들이 단일시험방법인 ASHRAE 표준규격 52(52-76)으로 통합되었다.

일반적으로, ASHRAE 중량포획율시험은 AFI와 유사하고 거의 비슷한 시험분진을 사

용한다. ASHRAE 대기분진 반점효율법은 AFI와 NBS의 대기분진 반점법과 유사하고 분진적재 기술을 규정한다.

(1) 중량포획률 시험(Weight Arrestance Test)

ASHRAE Standard 52-76은 시험입자를 다음과 같이 규정하고 있다. "ASHRAE 인공분진은 4mm 스크린이 부착된 Wiley Mill로 연마된 중량비율로 72%의 표준화된 공기청정기용 미세분진, 23%의 몰로코블랙(Molocco Black), 5%의 7번 면린트(No. 7 cotton lint)로 구성된다." 이 시험입자는 성능시험유니트로 기지의 조절율로 공급된다. 필터를 떠나는 공기내의 분진농도는 전체기류를 고효율 후단필터를 통과시킨 후 필터의 증가된 중량을 측정함으로써 결정된다.

$$\% \text{ 단위의 포획율(Arrestance)} = 100[1 - (\text{후단필터의 증가중량/공급분진중량})]$$

대기분진 입자들은 서브마이크론에서 최고 수십 μm 까지의 크기로 존재한다. ASHRAE 중량포획률 시험에서 사용되는 인공적으로 제조된 분진은 전형적인 대기분진보다 상당히 더 크다. 이 방법은 크기가 큰 대기분진 입자들을 제거하는 필터의 능력을 시험하므로 미세입자들을 제거하는데 있어서 필터 성능을 거의 나타낼 수 없다. 그러나, 공기내의 분진의 중량이 주된 관심거리인 경우에는 중량의 대부분이 대형입자에 의하므로 유용한 방법이다. 미세입자들의 제거가 목적일 경우에는 중량포획률 평가방법은 필터간의 효율 구분을 할 수 없게 된다.

(2) 대기분진 반점효율 시험 (Atmospheric Dust Spot Efficiency Test)

미세 공기부유 분진입자들은 쉽게 벽면과 다른 내부표면에 축적된다. 공기샘플을 여과하는 백색의 필터종이타겟(마이크로 수준의 유리섬유 HEPA 필터여재)의 퇴색율은 이러한 효과를 가속적으로 모사한다. 이렇게 오염된 타겟이 투과하는 광선변화율을 측정함으로써 필터의 효율이 계산될 수 있다.

채택된 분진 반점효율 시험방법은 ASHRAE Standard 52-76의 한 부분이다. 이 방법에서는 자연상태의 대기분진 샘플들이 시험필터의 상류와 하류에서 흡입된다. 이 샘플들은 동일한 유리섬유 필터종이를 통하여 동일 유량으로 흡입된다. 하류측 샘플은 연속해서 흡입되고 상류측 샘플은 상류측과 하류측 타겟들의 평균변색율이 근사적으로 같도록 지정된 주기로 차단된다. 비동작시간의 백분율이 필터의 효율과 근사하다. 백분율로 표시되는 필터효율은 다음과 같다.

$$E = 100 \left[1 - \frac{Q_1}{Q_2} \cdot \frac{(T_{20} - T_{21})}{(T_{10} - T_{11})} \cdot \frac{(T_{10})}{(T_{20})} \right]$$

여기서,

Q_1 = 상류측 타겟을 통하여 흡입된 공기총량

Q_2 = 하류측 타겟을 통하여 흡입된 공기총량

T_{10} = 상류측 타겟의 초기 광도전달량

T_{11} = 상류측 타겟의 최종 광도전달량

T_{20} = 하류측 타겟의 초기 광도전달량

T_{21} = 하류측 타겟의 최종 광도전달량

이 표준규격은 분진반점 효율들이 인공분진 적재 (loading) 중에도 취해질 수 있다. 이는

분진이 사용중인 필터에 포획됨에 따른 분진 반점 효율의 변화특성을 기술해 준다.

(3) 분진유지용량 시험 (Dust-Holding Capacity Test)

ASHRAE 표준규격 52-76의 분진유지용량 시험에서는 중량포획을 시험에서 언급된 동일한 인공시험분진이 필터로 공급된다. 필터를 통과할 때의 압력강하인 저항도는 분진이 공급됨에 따라 증가한다. 저항도가 제조업자가 지정한 최대작동 저항도에 도달되면 이 시험은 종결된다. 그러나 모든 필터가 포집된 분진을 똑같이 잘 유지시키는 것은 아니므로 분진 적재과정중에 적어도 4번의 포획율이 측정되어야 하는 것과 두개의 연속적인 포획율 값이 최대포획율의 85%보다 작거나 임의의 한개의 포획율이 최대포획율의 75% 이하가 될 때 시험이 종결되는 것을 요구한다. 그리하여 ASHRAE 분진유지용량은 이 시험이 종결되는 시점까지 필터에 의해 포집된 분진 누적량이다. 지정된 카트리지형 (cartridge-type) 필터에 대한 ASHRAE 공기필터 시험 보고에 따른 전형적인 결과가 그림 5에 나타나 있다. 인공분진 중량포획율과 대기분진 반점효율이 함께 보여지고 있다. 이 표준규격은 자동재생 청정기들이 표준조건하에서 성능을 발휘하기 위하여 어떻게 분진을 적재할 수 있는가를 규정하고 있다. 그림 6은 자동롤여재필터 (automatic roll media filter)에 대한 시험결과를 보여준다.

(4) DOP 투과율시험 (Penetration Test)

클린룸과 원자력분야에 사용되는 고효율 필터들 (HEPA 필터)의 경우에 미국에서의

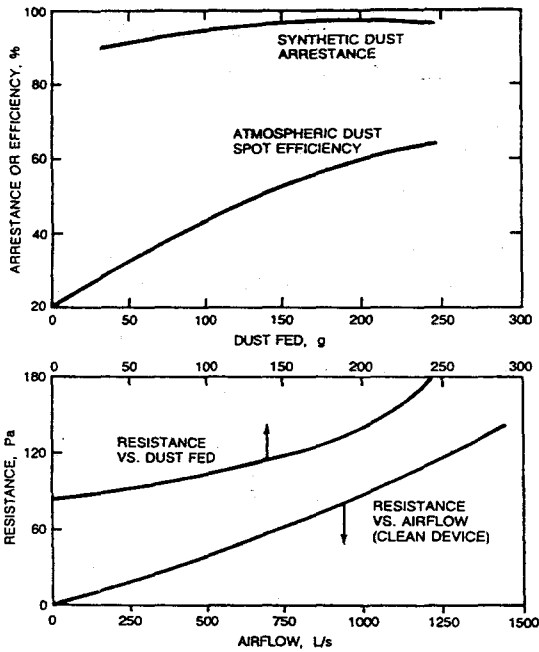
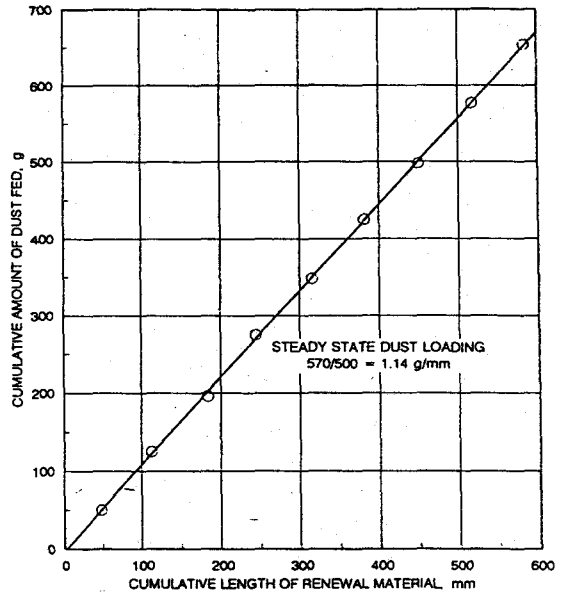


그림 5 ASHRAE 규격 52로 구한 Fixed-Catridge Type 필터의 성능특성곡선

정격시험은 미국 국방표준규격(US Military Standard)인 MIL-STD-282(1956)에 기술된 열 DOP방법(Thermal DOP method)이다. 이 방법에서는 DOP(Di-Octyl Phthalate) 액적들의 스모크 연무(smoke cloud)가 DOP 증기로 부터 응축된다.

카운트미디안지름(count median diameter)은 적합하게 조절된 조건하에서 약 80mg/m³의 연무 농도에서 약 0.18μm이고, 반면에 질량미디안지름(mass median diameter)는 약 0.27μm이다. 이 방법은 질량미디안지름에 민감해서 DOP 시험결과들은 보통 0.3μm 입자에 대한 효율로 부른다.

이 스모크 연무는 필터로 공급되고 필터는 특수시험척(chunk)내에 놓여진다. 필터 몸체



Note: Calculate loading per unit by multiplying steady-state dust loading by 10⁶ and dividing by the media width, which is normally 610 mm. For example: 1.14 × 10⁶ / 610 = 1870 g/m².

그림 6 재생여재 공기필터의 분진포획 특성곡선

를 통과하거나 밀봉균열틈에서 누설된 어떤 스모크도 완전히 혼합되어지는 하류 영역으로 들어간다. 그리하여 척을 떠나는 공기는 통과 스모크의 평균농도를 함유한다. 광산란 광도계로 상류농도와 하류농도가 측정된다. 이 때 필터투과율 P는 다음과 같이 정의된다.

$$P = 100 \left(\frac{\text{하류농도}}{\text{상류농도}} \right) \%$$

포집효율이 아닌 투과율은 HEPA 필터들이 0%에 매우 가까운 값을 가지기 때문에 일반적으로 포집효율 E로 명기된다. 따라서 이 두 값은 E=(1-P)%의 관계를 갖는다.

미국정부 명세에는 정격유량과 정격유량의

20%에서의 HEPA 필터 시험을 요청하고 있다. 이러한 시험방법은 자칫 발견할 수 없는 가스켓 누설이나 여재내의 핀홀(pinhole)을 찾는 데 도움이 된다. 환경과학협회(The Institute of Environmental Sciences)에서는 5개의 성능수준과 두개의 제작등급을 포함하는 "HEPA 필터 추천방안(Recommended Practice for HEPA Filters)"을 발간하였다. 이 문서는 명세항목과 기획을 명료하게 하는데 있어 설계자들에게 도움이 되고 있다(IES-RP-CC-001-86).

(5) 누설시험(Leakage Test)

HEPA 필터의 경우에는 작은 핀홀누설이 없다는 것을 증명하거나 존재시 위치파악 후 제거하기 위하여 누설시험이 수행된다. 이동 프로우브(probe)를 가지고 필터횡단면과 패

킹된 테두리를 스캐닝 함으로써 하류농도를 정확하게 측정하지는 않지만 DOP 투과율 시험법과 본질적으로 똑같은 기술이 적용된다. 누설이 발견되면 정확한 스모크 투과지점의 위치를 찾아내어 수리할 수 있다. 똑같은 시험이 필터 설치후에 수행될 수 있고, 이 경우 큰 열 DOP 발생기 대신 이동가능한 흡입형 DOP 발생기가 사용된다. 종종 냉(cold) DOP 시험이라고 부르며 그 발생기로 생성된 스모크는 크기가 균일하지 않지만 평균지름이 대략 0.6 μ m이다. 입자지름은 투과율 측정 때 보다 누설위치 검색에는 크게 중요하지 않다.

(6) 입자크기 효율시험(Particle Size Efficiency Test)

입자크기에 따른 공기청정기의 효율을 결

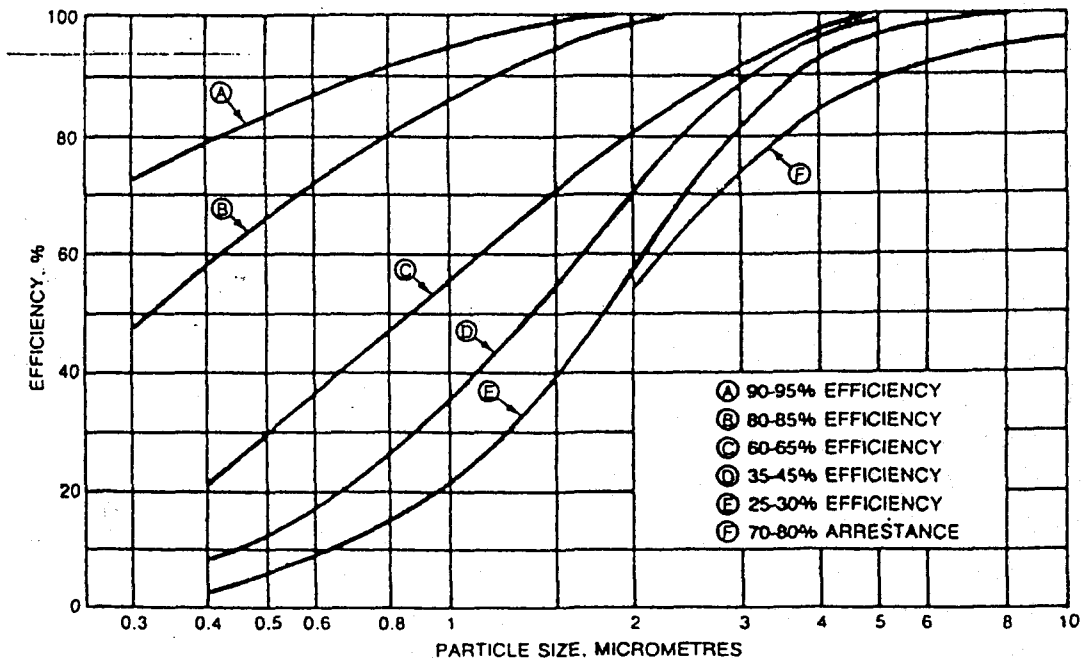


그림 7 일반 공기필터에 대한 근사적인 입자크기별 효율곡선

정하는 데는 표준규격이 없다. 이러한 측정에는 사용되는 에어로졸 유형에 크게 의존하고 작게는 사용되는 입자계측기의 종류에 의존한다. 그림 7은 제조업자들의 결과로부터 편집되어 평균된 전형적인 공기필터에 대한 입자 크기 효율곡선을 나타낸다. 이 자료는 일반적인 지침만을 위한 것이어서 공기청정기를 규정하는데 사용되어서는 안된다.

이런 데이터를 얻기 위한 한가지 방법이 ASHRAE 표준규격 52의 분진 반점효율법과 함께 수행된다. 이 측정에서는 시험필터의 상류와 하류의 샘플링 프로우브가 상류와 하류의 분진 반점 타겟 보유기(holder) 근처에 위치한다. 대기분진이나 인공분진을 시험입자로 하여 평균 계수 효율을 얻기 위하여 상류와 하류에서 계수된다. 시험분진내의 자연적인 시간변화들로 인한 통계적인 타당성을 위해 계수사이클 횟수를 가감하는 것이 필수적이다. 계측에는 레이저 및 백색광 입자계수기가 사용된다. 레이저 입자계수기의 주된 장점은 백색광 입자계수기가 측정할 수 없는 0.1에서 0.3 μm 의 입경범위의 입자들을 계측할 수 있다는 것이다. 0.3 μm 는 백색광 계측기의 계측가능한 경계 최소입자크기이다.

앤더슨형 캐스캐이드 샘플러(Anderson-type cascade sampler)는 입경별 입자농도를 측정할 수 있는 채택된 표준규격이다. 이 샘플러는 알맞은 필터의 선정, 필터중량 변화의 정밀한 측정, 샘플링된 공기체적의 정밀조절이 요구된다. 각 단계당의 석영 결정 마이크로밸런스 질량모니터와 마이크로 프로세서를 가지는 실시간 10단 캐스캐이드 임팩트도 사용가능하다. 입자에 대한 정격 공기역학 지름은 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.0, 3.2, 6.4, 12.

5, 25.0 μm 이다. 핵(nuclei) 계수원리나 광산란 원리를 이용하여 넓은 입자크기대에 걸쳐 연속적으로 입자질량을 실시간으로 기록할 수 있는 장치들도 있다.

(7) 특수성능시험(Specialized Performance Test)

미국의 AHAM규격 AC-1-1986 방법은 방크기의 시험챔버내의 공기에 부유되는 발생 미립자들을 제거하는 이동식 가정용 공기청정기의 능력을 측정한다. 이 방법은 공기청정기를 작동하지 않은 상태에서 먼지, 스모크, 꽃가루 등의 세가지 오염물의 자연감소를 측정하고 나서 공기청정기를 작동한 경우와 비교한다.

(8) 기타 성능시험(Miscellaneous Performance Test)

공기청정기에 대한 표준시험들이 여러 나라에서 또는 특수용으로 개발되었다. 예로서는 영국의 나트륨화염시험과 메틸렌블루시험, 독일의 Staubforschungs Institute 시험, 미국의 US Bureau of Mines Respirator Tests(B. S. 2831, B.S. 3928, U.S. Bureau of Mines) 등이 있다.

(9) 환경시험(Environmental Test)

공기청정기들은 화재, 고습도, 넓은 온도범위, 기계적 충격, 진동, 기타의 환경성 위험을 받기 쉽다. 공기청정기에 미치는 환경적 효과들을 평가하기 위해 몇가지 표준화된 시험들이 있다. 미국의 MIL-STD-282에는 충격시험과 필터여재의 물저항도 시험 등이 있다. 현재 미국의 에너지성 산하의 원자력에

너지 위원회(Atomic Energy Commission Agency)는 습도 및 온도 저항시험을 규정하고 있다(USAEC 212 : Peters 1962).

미국의 UL(Underwriters Laboratories)은 공기청정기 인화성에 대한 두가지 중요한 표준규격을 가지고 있다. 상업적인 적용을 위한 첫번째 경우는 인화성과 스모크 생성을 결정한다. UL Standard 900 Class 1 필터는 새것일 때 화염에 넣을 경우 타지 않고 미소한 연기만을 방출하는 경우의 것이다. UL Standard 900 Class 2 필터는 새것일 때 불에 약간만 타거나 약간의 연기량을 방출하는 것이다. HEPA 필터의 가연성에 대한 사항은 UL Standard 586에 확립되어 있다. UL 시험들은 포집준진들의 필터 가연성에 대한 효과를 평가하지는 않는다. 분진에 따라서 이 효과는 격렬해질 수 있다. 또 다른 UL 표준규격인 UL 867은 전기식 공기청정기에 적용된다.

(10) ARI 표준규격

미국 공기조화·냉동협회는 공기필터 장치에 대한 두개의 표준규격을 발표하였다(ARI 680-86, ARI 850-84). 이 표준규격들은 널리 사용되지는 않지만 (1) 정의와 분류 (2) 시험 및 평가에 대한 요구조건(성능시험 방법은 ASHRAE Standard 92에 의한다). (3) 표준장치의 명세 (4) 성능 및 안전요구조건 (5) 적정 표시법 (6) 적용조건 (7) 문헌 및 광고 조건들을 확립하고 있다.

7. 공기여과시험 표준규격의 변화 전망

역사적으로 볼 때 공기청정기 시험을 위한 표준규격들은 시대의 요청으로 개발되었다.

공기청정기의 첫번째 산업상으로서의 적용은 기계류를 보호하고 공기내의 입자들에 의한 열전달 표면의 막힘을 방지하기 위한 것이었다. 미국의 공기여과협회(AFI, Air Filtration Institute)의 시험규격은 이 분야의 공기청정기들을 평가하기 위한 것이었다. 그러나 열교환기의 막힘조절을 위한 필터들은 미세입경의 물질들 때문에 여과된 공기출구 근처의 벽면과 천정들의 변색(discoloratin)을 방지하는 데는 비효율적이었다. 이러한 얼룩 및 녹을 만들 수 있는 공기부유입자들을 제거할 수 있는 능력에 대한 필터성능을 평가하기 위하여 미국의 연방표준국(NBS, National Bureau of Standards)의 대기분진 반점시험(Atmospheric Dust Spot Test)이 개발되었다. 오늘날 ASHRAE Standards 51.1-1992에 대한 토대는 이 AFI와 NBS 규격들이다. AFI규격은 포획률 평가방법(arrestance rating procedure)과 분진유지용량(dust-holding capacity)으로 발전되었고, NBS 시험법은 필터효율 평가를 위한 ASHRAE 대기분진 반점시험(Atmospheric Dust Spot Test)으로 발전하였다. 지난 25년동안은 실내공기질(IAQ)에 관한 관심의 증가로 인해 필터 시험규격의 개발과 발전이 급진전되었고 오늘날 세계적으로 널리 사용되는 필터 시험규격들이 표 2에 수록되어 있다.

표 2의 대부분의 현행 시험규격들은 섬유여재필터(fibrous media filter)에 가장 잘 적용될 수 있고 전기식 공기청정기나 정전필터 등의 평가에는 시험분진의 전기적 특성이 고려되어야 하므로 다소 비효율적인 것 같다. 또한 ASHRAE 규격 521-1992의 포획률 시험법(Arrestance Test)은 인공분진을 이용

표 2. 현행 국제 공기청정기 시험 표준규격의 요약

Standard	Pressure drop	Ozone generation	Dust capacity	Effect of dust	Size-dependent filtration efficiency
ASHRAE 52-76	yes	no	yes	yes	no
AHAM AC-1-1988	no	no	no	no	no
IES Rec. Prac. 007	yes	no	no	no	no
MIL-STD-282	yes	no	no	no	no
ARI-850-84	yes	yes	yes	yes	no
ARI 680	yes	yes	yes	yes	no
British Standard 2831	yes	no	yes	yes	no
British Standard 4400	no	no	no	no	no
British Standard 3928	no	no	no	no	no
French Standard AFNOR NFX 44-011	no	no	no	no	no
French Standard AFNOR NFX 44-0113	no	no	no	no	no
European Standard Eurovent 4/5	yes	no	yes	yes	no
Japanese Standard JIS C 9615-1976	no	no	yes	yes	no
Japanese Standard JACA 10C 1979	yes	yes	yes	yes	no
German Standard DIN 24184	yes	no	no	no	no
German Standard DIN 24185	yes yes	no no	yes yes	yes yes	no no
Australian Standard 1132					
SAE Air Cleaner Elements 1987	yes	no	yes	yes	no
Korean Standard KS C 9314-1994	no	no	yes	yes	no

하여 필터의 포획용량(loading capacity)을 결정하고 있고, 분진 반점시험은 다분산 입자크기들의 총체적인 광선흡수 효과를 측정하기 때문에 어느것도 실제의 실내공기질에의 적용을 위한 필터선정에 적합한 효율평가방법을 소비자에게 제공하지는 않고 있다. 환기에 대한 ASHRAE 규격 62-1989는 공기청정기 효율이 관심공간내의 오염입자와 관련되어야 한다고 규정하고 있어 많은 필터 제조업체들이 이제는 입자크기에 대한 집진효율 성능을 명시하고 있다. 그러나 각 제조업체들은 이러한 평가를 위한 자체 시험방법을 각자 개발하였고 따라서 제품간의 성능비교가 어렵게 되어 있다. 현재 세계적으로 널리 사용되는 공기청정기 시험법에 대한 한 조사에 따르면 어떤 표준시험규격도 입자크기별 효율 측정값들을 제공하지 못한다고 보고하였다.

한편, 지난 30년동안 입자크기와 갯수농도 및 질량농도 측정의 제측능력이 크게 진보되었다. 이러한 발달이 그림 8에 요약되어 있다. 30여년 전에는 공기내의 물질의 양을 결정하는 방법이 필터상에 포집된 입자의 질량을 재거나 광선의 흡수량을 측정하는 것에 국한되었다. 이러한 초기의 제측법은 에어로졸의 입경분포를 결정할 수는 없었다. 대부분의 입경측정은 현미경을 사용하든지 캐스캐이드 임팩터를 사용하여 행해졌다. 이러한 측정법들은 약 1 μ m보다 큰 입자에만 국한되고 많은 시간이 소요되며 숙련된 기술자가 필요하였다. 게다가 이 기술들은 모두 에어로졸 입자농도가 시간에 따라 혹은 필터의 입자포획량에 따라 어떤 변화특성을 이루는가에 대한 정보를 손쉽게 제공할 수 없었다. 최근의

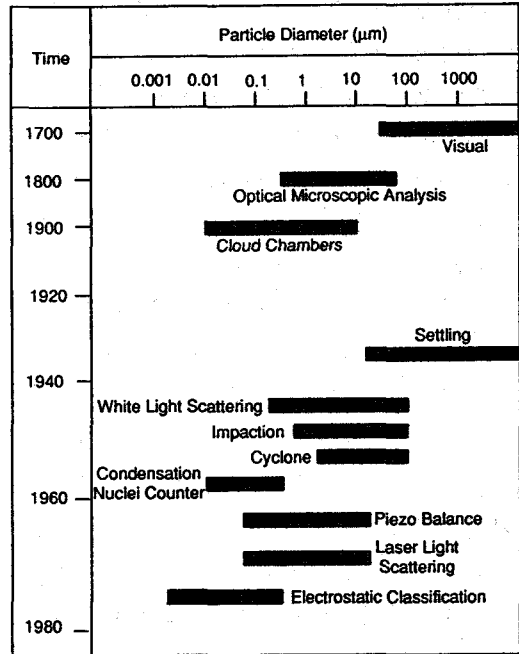


그림 8 입자측정장비의 발달과정

제측법에서는 많은 발전이 이루어져 측정가능입자 크기가 서브마이크론 영역으로 확장되어서 공기중에 부유하는 입자크기 분포측정이 가능하게 되었다. 지금의 광학입자 측정기술은 0.1 μ m까지 측정이 가능하고 정전입자 분류기(Electrostatic Classifier)와 응축핵 계수기(Condensation Nucleus Counter)들은 0.01 μ m 이하까지도 측정이 가능하다. 무엇보다도 입자제측법에서의 유익한 발전은 아마도 에어로졸의 입자농도와 입자크기분포를 비교적 빨리 측정할 수 있게 되었다는 것이다. 이는 시험조건상태에서, 잠재적으로는 작동조건상태에서 필터효율을 결정할 수 있게 해준다.

대기분진 반점시험 및 포획률 시험은 환기시스템의 기계적 요소들의 보호여부를 예측할 수 있는 효율기준치를 제공해주지만 소비

자나 기술자들이 건물내부의 보호를 위한 필터의 선정에 관련된 정보는 제공될 수 없으므로 ASHRAE 규격 62-1989의 요구 조건들은 입자크기에 따른 부분효율 측정시험법의 개발을 필요로 하고 있다. 미국에서는 이미 1991년 ASHRAE 산하의 기술위원회(Technical Committee) TC 2.4가 결성되어 입자크기에 따른 효율 시험방법을 개발하기 위한 프로젝트 계약이 체결되었다(ASHRAE 671-RP). 그리하여 광범위한 공기청정기 설계에 적용될 수 있는 시도적인 시험방법이 개발되었고 이미 1993년 4월에 최종보고서가 완성되었다.

이 시험방법은 ASHRAE 52.1-1992보다 측정 소요시간이 작다. 이를 바탕으로 위원회는 새로운 시험규격을 현재 만들고 있다. 이 규격은 공기청정장치의 성능을 평가하는 시험방법을 확립하고 시험수행에 필요한 장비 명세를 확립하며 시험결과로 부터의 효율계산방법과 결과의 보고방법을 정의하게 된다.

향후에 공기청정기의 성능평가에는 포획율, 대기분진 반점효율 외에도 입자크기별 집진 효율이 추가될 것이고 이 효율들 모두가 공기청정기의 선정에 필요하게 될 것이다. 청정 산업은 이제 필터 및 여타의 공기청정기 적용에의 새로운 시대에 도래해 있다. 우리에게 놓인 중요한 과제는 고효율 공기청정기의 성능평가가 가능한 새로운 시험규격인 입자크기별 효율시험법을 국내 실정에 맞게 시급히 개발하는 것이다. 이러한 노력은 세계적 추세에 발맞추어 미래의 IAQ 적용문제에 효율적으로 대응하고 국내 공기청정기의 기술수준을 한단계 향상시켜 시장개방에 능동적으로 대처하는데 기여하여 국내 관련 산업발전뿐

아니라 국민건강 보호에 큰 도움이 될 수 있을 것이다.

- 참고 문헌 -

1. Liu, R. and Huza, M.A., 1995, "Filtration and Indoor Air Quality : A Practical Approach", ASHRAE Journal, Vol. 37, February, pp. 18~23.
2. ASHRAE, 1992, "Air Cleaners for Particulate Contaminants", ASHRAE Handbook Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment, Atlanta, Georgia, ASHRAE, inc., Chapter 25.
3. 오명도, 1995, "공기청정기 성능 시험 및 평가", 1995년도(제11회) 공기청정기술세미나, 한국공기청정연구조합, pp. 93~129.
4. Ensor, D.S., Krafthefer, B.C. and Ottney, T.C., 1994, "Changing Requirements for Air Filtration Test Standards", ASHRAE Journal, Vol. 36. June, pp. 52~60.
5. KS C 9314, "공기청정기"
6. 공기조화·냉동공학회, 1988, "미립자 제거용 공기청정시스템의 효율성능 시험".
7. JIS C 9615, "Air Cleaners".
8. JACA No. 10C, "Standard of Test Method for Air Cleaning Device".
9. ANSI No. 1.1-1972, "Efficiency Testing of Air-Cleaning Systems Containing Devices for Removal of Particles".
10. ANSI/ASHRAE 61-1989, "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality".