

실내 공기청정기 기술 개발 동향

공기청정기의 기술 현황 고찰과 함께 현재 국내 공기청정기의 기술 개발 현황 및 제품성능의 발달에 대한 추이에 대하여 고찰하고자 한다.

김 용 진

한국기계연구원 환경기계기술연구부 (yjkim@kimm.re.kr)

서 론

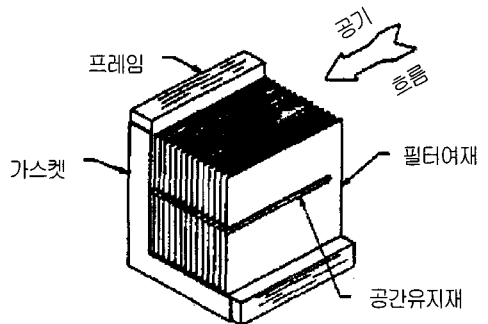
공기청정기는 실내 공기에 존재하는 입자상 또는 가스상의 오염물질을 제거하는 장치로, 구조 및 기능에 따라 집진만 또는 집진 및 탈취를 목적으로 하는 장치로 크게 기계식과 전기식인 것으로 구분할 수 있으며, 기계식은 다시 건식과 습식으로 구분할 수 있다. 기계식은 여재를 사용하거나 물을 분무하여 집진만 또는 집진 및 탈취를 하는 공기청정기이며, 전기식은 고전압을 이용하여 분진을 하전 시켜 집진만 또는 집진 및 탈취를 하는 공기청정기이다. 그리고, 복합식은 기계식과 전기식의 기능을 복합하여 집진만 또는 집진 및 탈취를 하는 공기청정기로 분류된다. 최근의 쾌적한 실내공기 유지와 건강보호의 측면에서 실내 공기에 대한 관심의 증가에 따라, 가정, 사무실 및 지하공간 등의 인간의 생활공간에서의 각종 형식의 실내 공기청정기의 설치가 증가되고 있으며, 기존의 냉난방 기능만을 지닌 공기조화기에 공기청정 능력을 부여시키는 것이 거의 필수적으로 되고 있다. 본고에서는 공기청정기의 기술 현황 고찰과 함께 현재 국내 공기청정기의 기술 개발 현황 및 제품성능의 발달에 대한 추이에 대하여 고찰하고자 한다.

공기청정기 원리 및 기술 동향

입자상 물질 포집 기술

공기청정기의 입자상 물질을 포집하는 집진기술은

큰먼지 제거용 필터와 미세먼지 제거용 필터로 구분할 수 있는데 고휘물과 같은 큰먼지 제거용 필터에는 PP나 PE로 그물망 형상의 필터를 만들어 통상 사용하고 있으며, 일정 시간 사용 후 물로 세척하여 반복적으로 사용이 가능하다. 미세먼지 제거용 필터로는 압력손실이 적은 정전부직포 필터나 단순 전기 집진필터를 적용하고 있으며, 최근에는 고효율의 HEPA(high efficiency particulate air) 필터, 전기집진과 정전부직포를 결합한 정전식필터 및 먼지와 냄새를 동시에 제거하기 위해 촉매 또는 광촉매, 플라즈마 필터 등을 적용하고 있다. 정전부직포 필터는 섬유 제작시 섬유상에 정전기를 부여하여 분극에 의해 극성을 갖게 하고 이를 부직포로 제작하여 필터로 사용한다. 통상 공기청정기의 경우 HEPA급의 필터를 사용한다. 또한 적용 형태도 단순히 평판형에서 압력손실을 줄이고 포집면적을 확대하기 위하여 그림 1에서와 같이 주름진 형태로 제작하여 적용하



[그림 1] HEPA 필터 패널(panel)



는 경우가 유리하나 주기적으로 교환해 주어야 하는 불편한 점이 있다.

전기집진필터의 경우는 그림 2에서와 같이 먼지를 하전하는 전리부와 먼지를 포집하는 포집부로 나눌 수 있는데 전리부와 포집부가 일체로 구성된 것을 1단식이라고 하며 통상 가정용 공기정화의 경우 제품이 박형으로 많이 적용되고 있으며, 전리부와 포집부가 별개로 구성된 2단식의 경우는 대형 아파트나 사무실에 주로 적용되는 사무실용 에어컨에 주로 적용되고 있다. 이들 모두 일정 시간 사용 후 포집된 먼지를 물로 세척하여 재사용이 가능하여 제품 수명 이상으로 사용이 가능한 장점이 있다. 이때 전리부의 전극구조는 방전선대 평행평판 혹은 침상전극대 평행평판 구조로 인가되는 전압의 극성이 정(+)극성이면 먼지가 정극성으로 대전되고, 부(-)극성이면 먼지가 부극성으로 대전되어 포집부에서 포집된다.

포집부는 일반적으로 평행 평판형을 적용하나 포집면적을 확대하여 효율을 높이기 위하여 띠전극을 권선형 구조로 하거나, 도전성도료를 절연성이 우수한 수지물 필름의 한쪽 면에 코팅하여 코팅되어진 면과 코팅되지 않은 면이 다량으로 적층되어져 있으며, 도전층 사이의 이웃하고 있는 필름사이에 고전압을 인가하는 형태이다.

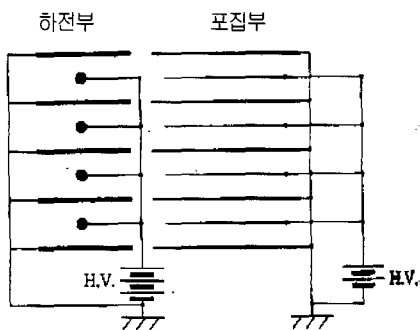
가스상 물질 정화 기술

가스상 오염 물질을 제거하는 기술로는 흡착법, 분해법, 은폐법 및 미생물법으로 나눌 수 있는데 흡착법에는 활성탄이나 활성탄소 함유의 유기질계를 이용하거나 제올라이트와 같은 무기질계를 이용한 물

리적 흡착법과 약품처리 활성탄이나 이온교환체를 이용한 화학적 흡착법으로 나눌 수 있다. 또한 분해법에는 오존이나 자외선 램프를 이용한 오존산화법, 촉매담지 다공성 세라믹이나 플라스틱을 이용한 촉매산화법, 오존발생과 촉매산화법을 결합한 오존 촉매산화법, 직접 연소 및 촉매 연소를 이용한 연소법, 화학 약품이나 식물추출액을 이용한 약액처리법 및 전기 방전으로 OH 라디칼 발생에 의한 플라즈마법 등이 있다. 그리고 향수를 이용한 은폐법과 미생물을 이용한 미생물 탈취법이 있다.

국내에서 공기청정에 적용되는 유해가스 제거 또는 탈취 기술로는 1993년까지는 약품 침착 활성탄이나 촉매 침착 지올라이트를 이용한 저온촉매 필터를 주로 사용하였으나, 먼지 부착이나 높은 압력 손실의 문제점이 있었으며 단지 가스상 물질만을 제거할 수 있었다. 또한, 이러한 흡착작용에 의한 제거방법은 무수히 많은 작은 구멍들을 갖는 활성탄, 활성백토, 규조토 등의 표면에 물리적 또는 화학적으로 가스상 물질을 흡착시켜 제거하는 방법이다. 이러한 흡착제는 덩어리 모양으로 성형하여 에어필터와 같은 형태로 충전하여 만든다. 활성탄은 뛰어난 흡착능을 가져, 악취와 VOCs에서 오존까지도 빠르게 제거할 수 있으나, 유해물질의 흡착 후 분해가 어려워 사용시간이 지남에 따라 필터의 표면이 포화되어 필터의 재사용이 어렵고 사용한 필터의 폐기가 불가피하여 이에 따른 2차적 환경오염을 야기시키는 단점이 있다.

따라서, 이러한 활성탄 흡착법외에 산화법이 최근에 많이 개발되고 있는데, 이는 가스상 물질을 산화, 분해시켜 무해한 물질로 변화시키는 것이다. 산화법에는 높은 온도에서 직접 산화시키는 산화법과 백금, 팔라듐 등의 촉매를 담지해서 상온보다 약간 높은 온도에서의 촉매산화법이 있는데, 이 경우에서도 촉매의 촉매독 문제로 인한 처리의 안정성과 고가의 설치비용이 문제가 된다. 최근에는 나노 크기의 촉매를 담지한 방식이 개발, 적용되고 있는데, 이러한 담지 촉매 방식은 금을 Fe_2O_3 , Co_3O_4 나 TiO_2 등의 담체에 나노크기로 담지하는 방법, 제올라이트 같은 나노세공체에 활성금속 또는 금속산화물을 나노크기로 담지시키는 방법, 산화물에 나노활성물질을 담지시키는 방법 등이 있고 이 방식들은 화학촉매나



[그림 2] 2단 전기집진식 공기청정기

환경촉매로 매우 높은 활성을 보이는 것으로 나타났다. 특히, 금이 나노크기로 담지되는 경우, -70℃에서도 CO에 대해 높은 산화력을 보이고, 크기가 작아 질수록 CO 산화반응의 활성은 현저히 증가하게 되는 것으로 알려져 있다. 이렇게 나노크기로 담지된 촉매의 저온에서의 높은 산화력은 악취물질의 제거에 유용하게 사용되고 있으며 H₂S나 황화합물에 높은 흡착능력을 가지고 있어 이들의 산화반응에 매우 효과적인 것으로 알려져 있다. 또한 Fe₂O₃이 제올라이트 같은 나노 세공체에 나노크기로 담지되는 경우에는 NO_x, 황화수소나 암모니아 같은 대표적인 악취물질을 제거하는 중요한 반응인 산화-환원(redox) 반응이 촉진될 수 있다는 것이 증명되었고, 산화철을 마그네슘 이외의 다른 금속산화물에 담지시키는 경우에도 담지된 산화철이 13K의 저온에서 상자성(paramagnetic)의 특성을 가지고 있어 산화-환원반응에 효과적인 활성점이 될 수 있는 것으로 나타났다.

이 밖에도 액체용제를 이용하는 습식의 용해법이 이용되기도 하는데, 기포분모 충전식 등에 의해 화학적으로 용제에 용해 흡수시켜 가스상 오염물질을 제거한다. 예를 들면 아황산가스나 황화수소와 같은 친수성 가스는 공조기에서 열교환용으로 이용되는 에어와셔(air washer)의 물방울과의 직접 접촉에 의하여 물에 흡수시킨다. 습식 에어와셔 형식은 이와 같은 친수성 가스를 물방울이나 수막에 의하여 흡수 제거한다.

그리고 최근에는 건식으로 입자상 먼지와 가스상 물질을 동시에 제거할 수 있고 압력 손실이 적은 필터 개발의 필요성을 인식하여 빠른 풍속과 상온 조건에서 산화력이 강한 OH 라디칼을 발생시킬 수 있는 전기적 방전법을 이용한 저온 플라즈마 필터가 상용화되어 입자 대전에 의한 입자상 물질과 산화 분해에 의한 가스상 물질을 동시에 제거하는 펄스 스트리머 방전, 부분방전, 연면방전 및 무성방전 등이 적용되고 있는데, 실내 공기청정용으로 가장 많이 사용되는 전기적 방전법은 유전체 배리어 방전(dielectric barrier discharge : DBD) 반응법이다. 그러나, 이러한 방전형 가스제거 기술은 오존 발생량이 많아 오존 분해 촉매 등과 함께 사용하는 것이 필수적인데, 최근에는 저온 플라즈마 방식에서 탈취 효율을 높이기 위하여 나노 산화티타늄(TiO₂) 졸을

이용한 광촉매 필터를 조합한 광촉매 플라즈마 탈취 필터가 상용화되어 플라즈마 산화 분해 및 광촉매 흡착 산화 분해의 2중 탈취로 탈취 효율을 상승시키고 산화티타늄의 강한 산화력에 의해 항균 및 살균 기능을 가능하게 하면서 낮은 압력 손실에 고효율의 탈취가 가능토록 하는 기술이 개발, 적용되고 있다.

항균 또는 멸균기술

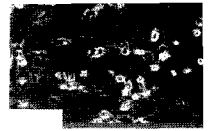
최근의 실내 환경의 밀폐화로 세균, 효모 및 곰팡이 등의 미생물에 의한 오염이 중요한 문제로 대두되고 있다. 실내외에서의 공기중의 미생물은 봄, 가을에 많으며 겨울에는 대단히 적다. 곰팡이나 세균은 단독으로 공기중에 부유하거나 공기중에 부유하고 있는 분진에 부착하여 부유하고, 비루스는 공기중에 부유하고 있는 분진에 부착하여 부유하고 있다. 이러한 공기중의 미생물의 정화법은 일반적인 입자상 물질의 정화법과 유사한데 비교적 크기가 작아 고성능 에어필터나 HEPA필터로 제거한다. 최근에는 공기청정장치에 포집된 세균이나 곰팡이가 필터 여재상에 증식하는 것을 방지하기 위하여 여재위에 은이나 산화티타늄 등의 무기계 항균제나 카데킨, 키토산과 같은 유기계 항균제를 도포하여 항균 기능을 강화시키거나 자외선 램프나 오존 및 플라즈마법 등을 이용하는 살균 기술을 적용하고 있다.

공기청정기 성능향상 설계기술 발전 추이

일반적인 국내의 규격에서 정하고 있는 공기청정기 성능은 소음, 집진효율, 탈취효율, 오존발생량 및 적용면적과 내구성과 신뢰성에 중요한 집진용량과 가스제거용량 등이 있다. 표 1은 현재 한국산업규격 및 한국공기청정협회 규격에서 규정하는 공기청정장치가 만족하기 위한 풍량별 소음기준치를 나타내고 있다.

<표 1> 공기청정기의 소음 기준

정격풍량(m ³ /min)	소음(dB)
5 이하	45
5초과 10이하	50
10초과 20이하	55
20초과	60

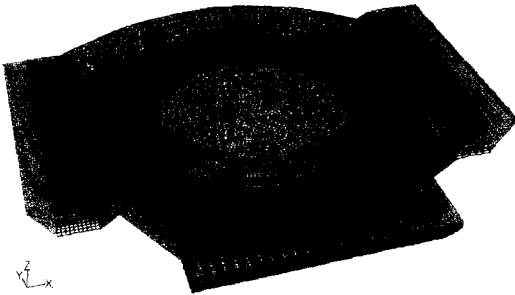


또한 본 규격에서 규정하는 집진효율에서는 공기 청정기 종류에 관계없이 0.3 μ m 입자 계수법에 의하여 70% 이상으로 규정하고 있으며, 가스상의 탈취효율은 주어진 챔버법을 이용하여 시험하였을 경우, 60% 이상으로 규정하고 있다. 실제적인 공기청정기의 적용에서 가장 중요한 것은 적용면적인데, 이러한 적용면적을 최대화하기 위하여는 집진 및 탈취효율의 규정 이상으로의 향상은 물론 풍량의 증가와 저소음화가 관건이다. 일반적인 소음은 집진, 탈취 필터부의 유로와 팬에 의하여 발생되며 이러한 유로 및 팬의 최적화 설계가 매우 중요하다. 또한 공기청정기의 실제적인 적용면적은 주어진 풍량과 효율에 대해서도 청정기 흡배기구의 기하학적 형상 및 위치 등의 설계, 제작에 따라 달라질 수 있으며, 이에 대한 시뮬레이션을 통한 설계기술이 개발, 적용되어 지고 있다. 그림 3과 4는 공기청정기의 HEPA 필터 통과

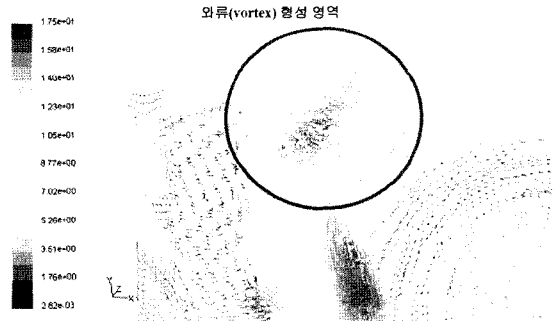
부와 팬과 필터 주위의 유동 분포를 예측하기 위한 격자 모델 보여주는 것으로 필터 배열의 최적설계와 소음발생의 소용돌이부 예측 등의 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 각각 보여주고 있다.

그리고 그림 5는 공기청정기의 필터후단 배출구의 방향에 따른 입자의 궤적 및 청정도 시뮬레이션 결과를 보여주는 한 예로, 그림에서 보면 유동방향과 입자의 크기에 따라 챔버내에서의 순환과 전체적인 침투성, 균일한 정화 능력 등을 종합적으로 관찰하여 실제 적용을 위한 설계에 효과적으로 이용할 수가 있다.

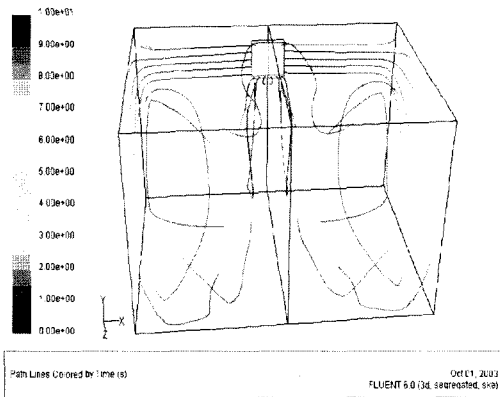
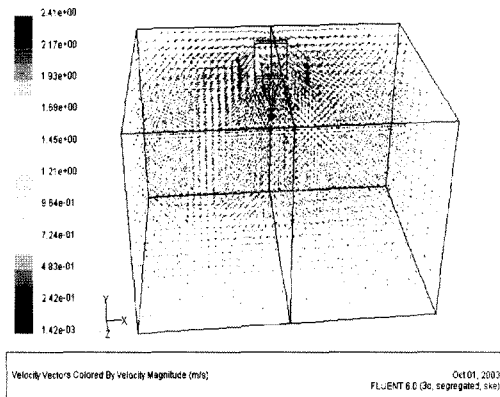
따라서, 공기청정기의 적용에서 효율과 함께, 이러한 오염물질들의 정화 능력에 관한 성능 및 신뢰성의 향상이 매우 중요하다. 일본, 미국 및 유럽 등의 선진국들에서는 이러한 요구에 대응하여 이미 1980년대부터 필터를 포함하여 공기청정기의 성능평가



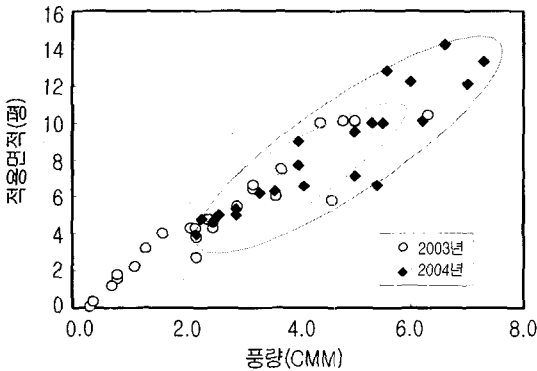
[그림 3] 공기청정기 수치해석 격자생성 예



[그림 4] 공기청정기 모서리부 와류유동 분포



[그림 5] 챔버내 공기청정기 작동 수치 시뮬레이션 예



[그림 6] CA인증 공기청정기 제품의 년도별 풍량 및 적용 면적 추이

기준을 보완하여 현재 입경 0.3 μm급의 미세먼지를 포함하여 생활 냄새 등의 새로운 오염물질에 대한 제거능력과 성능에 관하여 정립되어지고 있으며, 최근의 국내에서도 한국공기청정협회에서 단체규격을 확립하여 작년 2003년도부터 공기청정기 성능인증인 CA(clean air) 마크 제도를 시행하고 있다. 현재 약 60여종의 국내 공기청정기의 CA 인증 시험 결과 상당한 기술적인 진보를 나타내고 있으며, 대표적인 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6은 2003년도 최근 2004년도에서, 소음 및 효율 등의 인증 기준을 만족하는 공기청정기 제품에 대한 풍량과 적용면적에 대한 결과를 그래프에 나타낸 것으로, 그림에서 보는바와 같이, 2003년도에서는 11평 정도가 최고 수준이었는데 반하여, 최근의 불과 1년 이내에서 14평 이상으로 저소음에 대하여 풍량과 적용면적에서 상당한 증가를 보이는 기술 발전을 나타내고 있다.

결론

최근의 지구온난화와 기후변화에 따른 빈번한 황사현상과 대도시 자동차에 의한 대기오염의 증가로 실내오염이 가중되고, 이에따른 공기청정기는 인간 생활과 밀접하며 산업 및 문화의 발달에 따라 점차적으로 수요가 증가될 것이다. 이러한 공기청정기 기술의 발전은 결국 핵심 구성품 가운데 저압손 고 성능 집진기술과 저소음 대유량 송풍기 기술로 분석

되며, 이에대한 지속적인 고효율화 개발이 필요하다. 그리고 실제적인 사용자에게 중요한 적용면적의 향상을 위하여는 풍량과 함께, 유동방향 및 흡입/배출구의 개선도 매우 중요하다. 그리고, 각 제품별로 동일 소음에 대하여 풍량에서도 상당한 차이를 나타내고 있는 것을 볼 수 있었는데, 이는 공기청정기 메이커별 송풍기, 필터시스템을 포함하여 유동부의 형상 설계, 제작 기술 정도에 따라 저소음 공기청정기의 제작이 가능하다는 것을 유추할 수 있다.

아울러 공기청정기의 제품별 설치 및 적용에 대한 기준 정립은 물론, 미세먼지(PM2.5)와 가스상의 물질 뿐만 아니라, 실내 VOC, 미생물, 라돈, 포름알데히드 등의 새로운 규제대상의 실내오염물질에 대응하는 성능평가 체계의 확립이 중요할 것으로 예상된다. 이러한 다양한 오염물질에 대한 성능의 평가기술의 개발 또한 매우 중요할 것이다.

참고 문헌(References)

1. 오명도, 노광철, 2003, “최신 공기청정기 기술동향”, 공기청정기술, 제16권 제3호, pp. 1-14.
2. 이성화, 2003, “에어컨용 공기청정기술”, 공기청정기술, 제16권 제3호, pp. 15-28.
3. 김용진, 2004. 1, “실내 공기청정기 인증을 위한 성능시험 방법”, 설비저널 제 33권 제1호, pp. 22-27.
4. 황정호, 변정훈, 2002, “실내공간 나노입자와 가스상 물질 동시저감기술”, 공기청정 기술, 제14권 제2호, pp. 1-13.
5. KACA-1998 (한국공기청정협회 규격, 실내용 공기청정기).
6. AHAM AC-1-2000 (Method for Measuring Performance of Portable Household Electric Cord- Connected Room Air Cleaner).
7. ANSI/ASHRAE Standard 52.2-1999 (Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size).