

황사와 공기청정기

○ 박찬정 | 웅진코웨이(주) 환경기술연구소
청정기 개발팀장 책임연구원
E-mail : 9056@coway.co.kr

1. 머리말

중국에서 불어오는 극심한 황사, 황사로 인해 초등학교 휴교 사태가 일어나고 항공기 결항, 호흡기 질환자 급증, 반도체와 같은 정밀 산업체 휴업 등 사회적·경제적 피해가 만만치 않다. 해가 거듭할수록 황사의 독성은 강해졌다. 세계 최대의 오염배출국인 중국의 공장과 석탄발전소와 각종차량이 뿜어내는 배출물이 황사와 결합했기 때문이다. 지난 2006년 단국대 권호장 교수팀이 2002년 6월에서 2005년 5월까지 수도권 거주 성인 500명을 대상으로 황사가 건강에 미치는 영향을 조사한 결과에 따르면, 황사로 인한 질환을 경험한 사람은 40.2%에 이르며, 병의원을 방문하는 환자는 질환종류에 따라 6.2%(안구질환)에서 19.8%(하기도 질환) 수준인 것으로 나타났다. 이렇듯 황사피해가 예상롭지 않음을 보여준다.

이러한 봄의 불청객 황사에 대비하기 실내에서는 공기청정기가 많이 사용되고 있다. 예전의 황사를 제거하기 위한 기술로는 단순히 입자상 오염물질 제거를 위해 HEPA(High efficiency particulate air), ULPA (Ultra low penetration air), 정전필터, 전기집진기등이 많이 사용되고 있으나 환경오염으로 인해 가스상 오염물질과 중금속등 추가적인 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있는 기술들이 지속 개발되고 있으며, 이를 적용한 공기청정기의 출시도 이어지고 있는 상태이다.

본 글에서는 황사의 특성 및 이를 바탕으로 황사 제거를 위한 공기청정기와 그 기술에 대하여 제시하고자 한다.

2. 황 사

2.1 황사의 개요

사료에 의하면, 중국 대륙의 황사 현상은 매일 다르다고 한다. 그러나 황사 발생 시각이 기록된 508개의 사례를 분석한 결과 주로 봄에 많이 발생하며 1년 중 약 1/4의 황사가 4월에 발생한다. 그러나 중국 등 사막화의 가속으로 금년에는 3월 초에 경보가 발령될 정도의 황사가 발생하였다. 최근 중국의 500년간 기록 자료를 살펴보면, 황사 빈도와 기온이 반비례하고 있는 것이 비교적 뚜렷하다. 이는 기온이 낮아질수록 황사의 발생이 잦아진다는 것을 의미하며, 황하 이남 지역의 사례로 볼 때 황사의 강도도 큰 것으로 기록되었다.

우리나라에 영향을 주는 계절적 황사는 거의 대부분 중국의 사막지역이 그 발원지이다. 종래의 황하유역, 타클라마칸 사막, 몽고의 고비사막 등으로 대표되던 발원지는 최근 중국의 급격한 산업화와 산림개발로 인해 토양유실 및 사막화가 가속화 되고 있으며, 황사의 발생지역 및 그 양 또한 증가하고 있다. 현재 이러한 사막화 현상은 중국 내에서만 매년 서울의 약 4배 면적에 해당한다고 하니, 이에

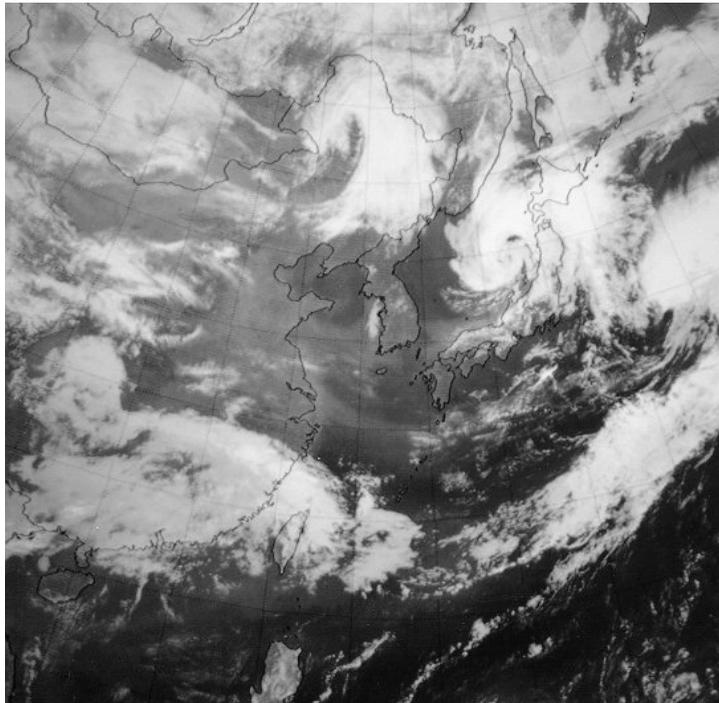


그림 1. 위성에서 바라본 황사현상 (노랑게 보이는 부분 : 모래)

따른 우리나라의 황사 피해도 계속 증가할 것으로 판단된다.

국립환경과학원의 연구 보고에서 밝힌 바에 따르면, 황사가 주로 봄철에 발생하는 이유는 겨울내 내 일어있던 건조한 토양이 녹으면서 잘 부서져 부유하기 쉬운 20 μ m 이하 크기의 모래먼지가 많이 발생하기 때문이다.

여름에는 강수도 있고, 가을까지는 땅에 식물이 뿌리를 내리고 있어 황사가 묶여 있지만 겨울을 지나면서부터는 모래먼지가 땅으로부터 자유로워 지는 것이다. 물론 황사의 고향인 유라시아대륙의 중심부는 바다와 멀리 떨어져 있고 물과 식물이 부족해 모래바람이 항상 일어나고 있지만 멀리 떨어진 우리나라에 주로 영향을 주는 시기는 대규모가 황사가 발생하는 봄이다. 우리나라에 황사 발생일수는 일년에 3~6일로 주로 4월에 관측되며, 중국의 자료에서도 1년중 25%가 4월에 발생한다고 보고하고 있다.

일본의 경우는 1년에 평균 5일 관측되며, 주로 일본의 서쪽 규슈지방에서 자주 발생한다.

특히 황사 발생 시 ① 발원지에서의 먼지 발생량이 많은 경우, ② 발원지 부근에 강한 상승기류가 존재하는 경우, ③ 황사의 이동 원인이 되는 편서풍기류가 약 5.5Km 이상의 고도에서 우리나라를 통과하는 경우, ④ 상공에 고기압이 위치하여 황사가 하강기류를 만나는 경우 등 기상조건이 맞아떨어지는 때 우리나라에 미치는 영향이 커지게 되며, 이 기간이 계절적으로 봄철인 경우가 많다.

연구조사에 따르면, 발원지에서 발생된 황사 먼지의 양이 100%라 할 때 약 30% 정도가 발원지 부근에 침적되고, 20% 정도가 주변지역으로 수송되며, 나머지 50% 정도가 장거리 수송된다.

2.2 황사의 특징

황사에 의하여 우리나라에 미치는 영향이 큰 만



그림 2. 중국 사막의 유동 모래 언덕

큼, 국내 연구기관에서는 황사의 성상이나 성분에 대한 연구가 매년 다양한 형태로 진행된다. 일부 연구에서는 황사에 의한 피해보다는 황사가 국토의 비료 역할을 하고 있다고 하며, 황사의 물리/화학적 특성에 대한 명확한 조사 연구는 이와 같은 다양한 견해에 대한 기본적인 평가 기준이 될 것이다.

황사먼지의 입경분포는 발생원지역과 이동하는 거리에 따라 달라지는 데 우리나라에서 측정 한 자료들을 종합하면 조대먼지에 해당하는 영역의 입

자개수농도의 증가가 현저하다. 아래 그림은 1999년 1월 26~29일에 발생한 황사와, 황사가 종료한 시기의 입경별 입자개수농도를 그린 것으로 주로 2~10 μm 영역에서 개수농도의 증가가 현저한 것을 알 수 있다.(국립환경과학원)

황사의 원료라고 할수 있는 중국 북부의 사막 토양은 3~5 μm 의 미세먼지로써 풍화되기 쉬운 장석이 다량 잔류하고 있는, 탄산칼슘등을 비교적 다량 함유하고 있는 알카리성 토양이다. 그러나 장거리 이동되는 황사의 성상은 발원지에서의 토양성분 이외에도 이동 과정 중에서 중금속을 포함한 오염 지역의 다양한 물질들이 추가된다. 그리고 가스와 입자의 상호작용에 의해 SO₂, NO_x, 등의 가스상물질이 입자표면에 흡착되어 황산염이나 질산염등이 많이 생성되는 것으로 조사되었다. 이 과정 중에서 오존과 같은 산화제등이 입자표면에서 SO₂ 등의 가스상물질들을 산화시켜 황산염등의 입자상물질을 생성시킨다.(국립환경과학원)

2.3 황사의 영향

일반적으로 우리나라에 황사 발생시에는 대기 중 먼지농도가 평소의 4-5배 정도되며, 미세먼지

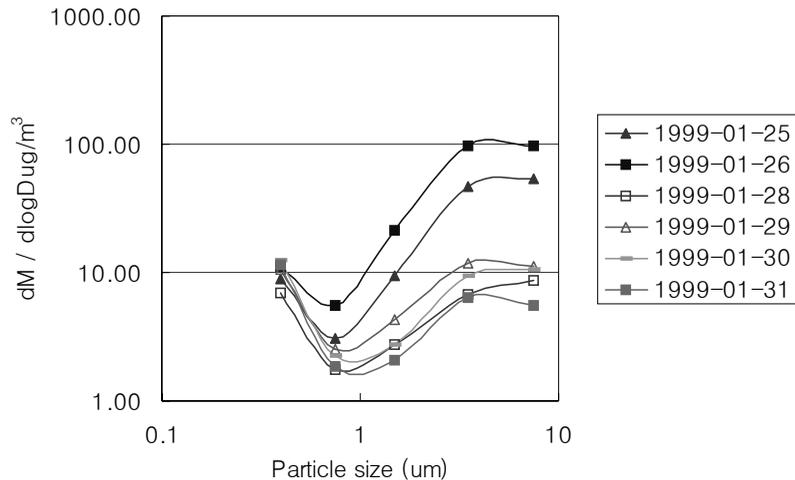


그림 3. 황사기간(1999.1.25~26)과 비황사기간(1.28~31) 중의 입자의 입경분포 특징 비교(국립환경과학원)



그림 4. 황사 발생 시 중국 도시

이외에 황사에 부착되어 수송되는 중금속 및 가스상 오염물의 농도가 크게 증가한다. 특히 일교차가 심한 날의 황사 미세먼지의 경우에는 대기 중에서 충분히 확산되지 않기 때문에, 인체에 미치는 영향이 커지게 된다. 황사 미세먼지는 사람의 호흡에 의하여 폐에 직접 들어가며, 기도 및 점막에 염증을 유발하고 비염, 천식 등 호흡기 질환과 아토피, 결막염, 탈모와 같은 피부 질환 등 다양한 질병의 원인이 된다. 뿐만 아니라 식물의 광합성을 방해하거나 심한 경우 시정장애의 주 원인이 되는 등 황사에 의한 피해는 상당한 것으로 조사되었다.

한양대 연구 결과에 따르면, 국내 7대 도시에서 평소 부유분진 농도에 비해 2일동안 총부유분진 농도가 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 유지될 때 전체 사망률이 평소보다 0.5~4% 늘어난다.

또한 단국대 권호장 교수는 서울시의 총 부유분진 농도가 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높아진 이틀 뒤 사망률이 2% 늘어난다는 연구결과를 보고했고, 인하대 홍윤철 교수는 인천시의 미세먼지 5일 이동평균 농도가 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할때 전체 사망률이 1.2% 높아진다고 발표한 바가 있다.

미국 하버드대 연구팀이 96년 발표한 ‘6개 도시

연구’에서는 소도시 6곳의 성인 8,111명을 약 15년 동안 장기 추적한 결과, 가장 오래된 도시는 가장 깨끗한 도시보다 미세먼지가 $18.6\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높았는데 조기 사망위험은 26%나 높았다.

황사로 인한 피해는 비단 미세먼지에 의한 것이 아니다. 건국대 등에서 연구 조사한 자료에 따르면 황사 기간 중 황사먼지와 함께 수송되는 물질에 대하여 국내 Super site(최고 청정지역)에서 샘플링 및 테스트 결과, 황사와 함께 혼합되어 이동하는 중금속 및 VOCs 등 가스상 물질, 황사 먼지에 부착되거나 일부 화학 반응에 의해 발생하는 오염물질의 농도 역시 악화되는 것으로 나타났다.(건국대학교)

이들 물질 역시 상당 부분 인체에 매우 유해한 물질로 구분되는 것으로, 대부분 황사가 발원지로부터 우리나라로 수송되는 경로상에 위치한 중국의 주요 산단 지역에서 배출되어 황사와 함께 국내 대기질에 영향을 주는 것으로 판단된다.

특히 납과 수은 등 중금속 물질을 포함한 다량의 산성 물질들은 인체에 호흡기 관련 질환 이외에 피부 질환을 유발하기 쉬우며, 아토피와 알러지 등의 증상을 매우 악화시키기 때문에, 황사기간 중에는 실내 공기질 관리에 만전을 기해야 할 것이다.

3. 공기청정기술

3.1 공기청정기술의 개발

실내 공기 중의 오염물질을 제거하는 장치인 공기청정기(공기정화기)는 한국산업규격 KS C 9314 (2002) 및 한국공기청정협회 SPS-KACA002-0132 (2002년 개정)에서 ‘주로 일반 가정, 사무실 등에 설치하여 공기중에 부유하는 분진을 포집 또는 이와 병행하여 가스 제거를 위하여 사용되는 송풍기 내장의 장치로 한다’ 라는 정의를 내리고 있다. 즉 공기청정기는 건물 내부 및 실내 공간의 공기를 정화하는 장치로 간주하며, 이는 인간의 실내 공기의 쾌적성 추구와 반도체 산업분야에서의 제품 생산의 신뢰성 및 환경 조성을 위한 범위에 해당한다고 볼 수 있다.(한국과학기술정보연구원)

우리나라의 경우 1995년 환경기준을 설정한 이래 미세먼지, 오존 등 주요 대기 오염물질에 대한 규제가 강화되고 있으며, 현재는 대기오염기준에서 한걸음 더 나아가 표 1에서와 같이 지하공간의 실내 공기질은 물론, 악취관리에 이르기까지 선진국 수준의 대기질 관리를 수행하고 있다. 이에 단순히 환기에 의한 공기질 개선으로는 특정 규제 기준을 만족할 수 없는 경우가 많아지게 되었으며, 공기청정기와 같은 공기질 개선 장치 등을 적절히 활용할 필요가 있다.

공기청정기술은 반도체나 의료정밀기기 등을 위하여 설치하는 클린룸의 발전에 따라 다양한 방식으로 개발되어왔다.

표 1. 지하 생활공간 공기질 관리법

항 목	기 준
아황산가스(SO ₂)	1시간 평균치 0.25ppm 이하
일산화탄소(CO)	1시간 평균치 25ppm 이하
이산화질소(NO ₂)	1시간 평균치 0.15ppm 이하
미세먼지(PM ₁₀)	24시간 평균치 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하
이산화탄소(CO ₂)	1시간 평균치 1,000ppm 이하
포름알데히드(HCHO)	24시간 평균치 0.1ppm 이하
납(Pb)	24시간 평균치 0.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하

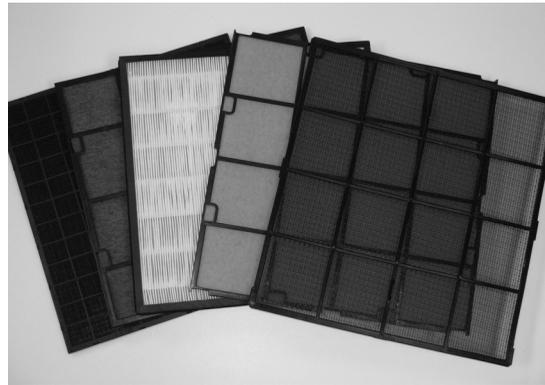


그림 5. 공기청정기용 필터 시스템 구성 예



그림 6. 기계식 여과 방식의 공기청정기 예

초기에 단순한 여재 등을 활용하여 공기 중 먼지 제거를 위주로 하던 것이, 0.1 μm 의 미세입자와 악취 물질은 물론 VOCs나 PAH 등 특정 유해오염물질 제거가 가능할 정도로 상당한 발전을 이루었으며, 이와 같은 기술이 채용된 다양한 기능의 공기청정기들이 개발되고 있다. 일반적으로 공기청정기는 집진 및 탈취에 따른 대분류 방식, 오염물질 포집방식, 특정 악취 혹은 유해 물질 포집방식 등으로 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① 집진 및 탈취에 따른 대분류 방식
 - 기계식 : 여과제 및 탈취제 사용
 - 전기식 : 고전압에 의한 정전기 현상을 이용
 - 복합식 : 기계식 + 전기식
 - 기타 : 습식, 광촉매, 음이온, 플라즈마
- ② 오염물질의 포집 방식
 - 여과방식 : 일반 여재(Filter)를 이용한 방식
 - 정전방식 : 대전된 여재를 이용한 방식

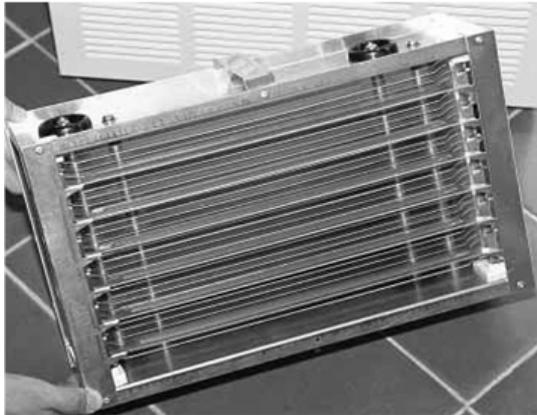


그림 7. 전기집진장치의 예



그림 9. 황사 전용 필터 및 이를 채용한 공기청정기 제품

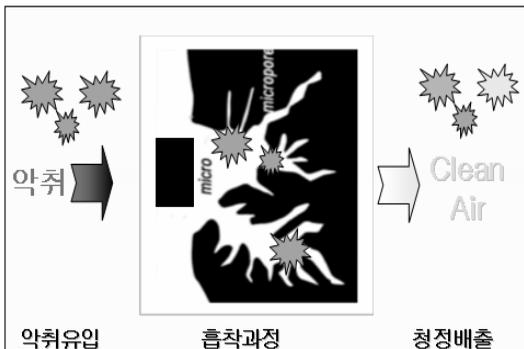


그림 8. 활성탄 미세세공에 의한 탈취 메커니즘

- 전기집진방식 : 고전압 방전을 이용한 방식
- 복합방식

③ 악취 및 유해가스 제거 포집방식

- 흡착제 사용
- 오존 기체 반응
- 광촉매 방식

이는 산업기술의 조사방식에 따른 것으로, 최근의 공기청정기는 다양한 청정 메커니즘과 신소재 등을 활용하여 매우 독특한 기능을 갖추고 있으며, 기술면에서도 지속적인 개선과 발전이 이루어지고 있다.

공기청정기의 성능 평가 기준은 한국공기청정협회에서 주관하는 CA인증을 위시하여, 미국, 일본, 유럽 등 선진국에서는 각 국가의 사회 환경에 맞는

기준이 있다. 이러한 기준들은 세부적인 기능에 대한 약간의 차이는 있으나, 주로 집진효율, 탈취효율, 풍량, 적용면적 등에 대한 검증을 요구한다. 공기청정기 성능은 대부분 제품의 구조 및 필터 시스템 등에 의하여 결정된다고 볼 수 있으며, 특히 황사와 같은 오염물질제거는 필터 시스템이 가장 중요한 인자라고 볼 수 있다.

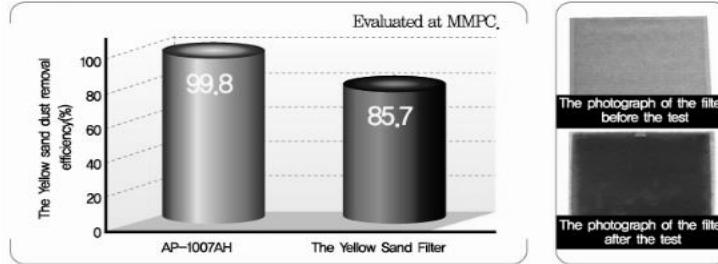
현재 제품에 따라 다양한 방식의 필터 시스템을 사용하고 있다는 점은 전술한 바와 같으나, 일반적으로는 기계식 여과 방식의 필터 시스템을 많이 사용하며, 이는 제품의 규모와 성능 구현 면에 있어서 기계식 여과 방식이 매우 우수하기 때문이다.

기계식 여과 방식의 성능은 사용되는 여재의 특성에 의하여 결정된다. 일반적으로 여재는 다공질 물질이나 유리섬유 등으로 만들어 지는데, 제거하려는 물질 및 종류에 따라 아주 다양한 필터가 상용화 되어 있으며, 여재의 포집 효율(제거효율)은 소재의 충전량 및 포집량이 증가할수록 좋아진다.

그러나 여재의 특성이 좋을수록 통과 유량에 대한 압력손실 또한 증가되어 종래에는 여재 자체의 통기율 및 오염물질제거성능이 떨어지고 결국 해당 제품의 성능에 영향을 미치게 되므로 주기적인 청소 및 교체가 반드시 필요하다.

전기집진방식은 공기 중의 오염 입자를 고압 방전에 의해 대전시켜 (+)전하를 주고, 이를 본체내의 (-)전극에 끌어당겨 부착시켜 제거하는 방식으로

The yellow sand dust removal of the Yellow-Sand Filter



The harmful gas removal of the Yellow-Sand Filter

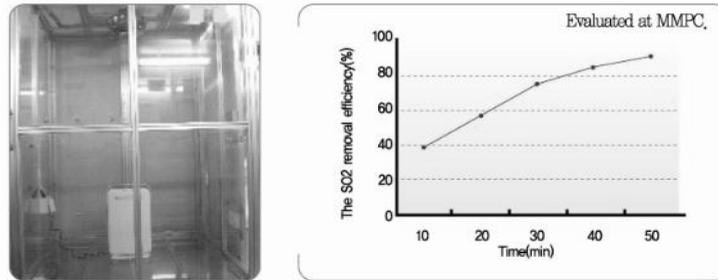


그림 10. 황사 분진 및 SOx 제거 테스트

분진, 담배연기, 외부 유입 매연 등을 제거하는 데 탁월한 성능을 발휘하고, 물 또는 알코올 세척을 통하여 반복적으로 사용이 가능한 장점이 있다. 또한 시스템에 따라 팬을 사용하지 않기 때문에 기계식에 비하여 소음이 적고 소비전력이 낮다. 그러나 고전압을 필요로 하는 경우 오존(O₃)이 발생하고, 공기정화속도가 상대적으로 느리다는 단점이 있다.

현재 전기집진방식은 광폭전기집진방식, 코로나 방전식, 펄스 대전 방식등 설치시설의 규모와 목적에 따라 다양하게 응용되고 있다.

공기청정기를 이용한 실내 악취 제거는 대부분 활성탄과 같은 흡착제를 활용한 방식이 적용되고 있다. 특히 활성탄은 식물이나 광물질을 원료로 제조된 무정형 탄소의 집합체로써, 활성화 과정에서 분자크기 정도의 미세세공이 잘 형성되어 상당히 큰 내부 비표면적을 가지고 있으므로, 다양한 형식의 악취 제거에 활용된다.

국내 공기청정기에는 이들 활성탄을 사용하여

활성탄 미세세공에 냄새(악취)성분의 기체 분자를 흡착시켜 냄새를 제거한다. 특정 악취 물질의 제거에는 활성탄 말고도 소석회 등 다양한 소재의 흡착제를 사용하기도 하며, 활성탄에 특정 물질을 화학적으로 침착하여 물리적 탈취 효과와 화학적 중화반응에 의한 오염물질 제거 효과를 동시에 구현하기도 한다. 일반적인 탈취 메커니즘은 그림 8에 나타난 바와 같다.

3.2 황사 대비 특수 필터의 개발 및 활용

가정용 또는 사무용 공기청정기의 경우 상대적으로 신속하고 탁월한 성능을 구현하기 위하여 기계식 또는 복합식 제품이 많다. 전술한 바와 같이 이들 제품에 사용되는 여재 또한 지속적으로 발전하고 있으며, 최근에는 황사는 물론 실내공기의 주된 오염물질들을 대상으로하는 기능성 필터가 다수 개발되고 있다. 이러한 필터는 음이온 발생이나

광촉매, UV등 별도의 장치를 적용할 필요없이, 사용하는 여재에 특정 화학물질을 도포하여 실내공기 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있으며, 제거 대상도 황사 등 미세먼지는 물론, 집먼지 진드기, 포름알데히드, 부유 세균, 알러지 유발물질 등 다양하다.

점점 심각해지고 있는 황사의 전술한 문제점과 오염물질에 대응하여, 최근 황사 전용 필터도 출시되기 시작했다. 황사 전용 필터는 황사 먼지 중 미세먼지와 함께 유입되는 유해 가스를 효과적으로 걸러주는 기능을 필터에 부여하여, 황사 기간 동안 중국에서 불어오는 모래먼지, 중금속은 물론 대기오염 주범인 SOx와 NOx까지 제거가 가능하다. 공인된 기관의 시험 결과, 황사 필터를 장착한 공기청정기의 분진 제거율은 99% 이상이었으며, 황사 전용 필터만으로도 85% 이상의 효율을 나타내었다. 특히 SOx의 경우 50분 후, 90.9%의 제거 성능을 보였다.

이를 통하여 황사 필터는 헤파필터 전단에 위치하여 황사 먼지를 상당량 걸러주어 헤파 필터를 보호함으로써 제품에 채용된 필터 시스템 수명 연장 효과를 증대시키는 한편, 호흡기 질환을 유발하는 먼지를 효율적으로 제거하여, 국민 건강에 기여하고 있음을 확인할 수 있다.

4. 맺음말

연구기관의 조사에 따르면, 우리나라 공기청정기 시장이 매년 약 15%씩 증가하고 있다. 이는 공기청정기술의 발전과 고객의 니즈를 충족시킬 수 있는 다양한 기능의 필터 개발에 의한 부분도 크지만, 그 배경에는 해를 거듭할수록 증가하는 매연 등의

공해와 실외에서 유입되는 미세먼지, 황사 등과 같은 자연 재해에 의한 영향이 커지고 있기 때문이다.

앞서 봄철의 불청객인 황사에 대한 내용을 들어 공기청정기를 활용한 실내 공기질관리를 이야기했는데, 현대 사회에 만연하고 있는 수많은 질병과 현대인이 노출된 주변 환경과의 관계가 직접적이라 할 만큼 밀접한 것은 자명하다고 본다.

특히 단 한순간도 호흡하지 않고 살 수 없는 인간에게 물이나 음식보다 더 중요한 환경은 공기질이라 생각되며, 공기청정기는 최근 보편화 되고 있는 정수기와 마찬가지로 삶의 질을 개선할 수 있는 유용한 도구라 할 수 있다. 정책적으로 대기질을 관리하는 것도 중요하겠지만, 각 개인이 자신 주변의 환경을 최적화 하는 것이 더욱 중요한 것임을 분명히 알아야 할 것이다.

- 참고문헌 -

1. 국립환경연구원, 1998, 장거리이동대기오염물질의 공간분포 및 변화에 관한 연구(I).
2. 전영신, 1996, 황사발원지의 배출조건을 고려한 황사의장거리수송 사례 연구.
3. 건국대학교, 2006, 장거리이동 입자상 물질의 화학적 특성과 거동에 관한 연구 (I).
4. 건국대학교, 2007, 장거리이동 입자상 물질의 화학적 특성과 거동에 관한 연구 (II), (III).
5. 환경부, 1999, 실내공기질 관리방안에 관한 연구.
6. 한국과학기술정보연구원, 2002, 심층정보분석 보고서-공기정화기.
7. 최규훈 외, 황사와 비황사 기간의 중금속 농도 분포 특성 : 2001년 황사기간 대한 비교 연구.
8. <http://news.naver.com/> - 3월 황사 주의보