

# 황사 대응 공기청정 기술

이 성 화

LG전자(주) 본부연구소(shleee@lge.com)

## 서론

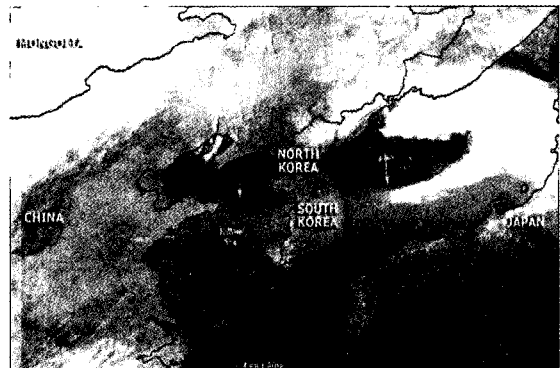
교통수단 및 공장 등에서 내뿜는 배기가스 및 분진에 의한 대기오염이 증가하고, 이와 더불어 중국으로부터 유입되는 황사는 호흡기질환 등을 유발함에 따라 대기질 개선에 대한 관심이 고조되고 있다. 한편 가정에서도 주거공간의 밀폐화로 새집증후군이 문제화되면서 새 건축물의 실내 공기질에 대한 법규까지 제정되어 관리되고 있는 실정이다. 또한 최근에는 사스나 조류독감, 황사 등 우리의 주거환경을 위협하는 여러 가지 새로운 요인들이 발생되고, 특히 황사(Asian dust)는 매년 우리나라를 찾아와 인체와 환경 및 생태계에 많은 영향을 미쳐 봄이 되면 관심이 집중되고 있는 실정이다. 대기 및 실내 오염물질은 크게 두 가지로 입자상 오염물질과 가스상 오염물질로 나눌 수 있으며, 전기집진, HEPA(high efficiency particulate air)필터, ULPA(ultra low penetration air)필터 및 정전필터 등과 같은 여과식 필터를 사용하여 입자상 오염물질을 제거하고, 플라즈마, 활성탄, 촉매 및 미생물 등을 이용하여 가스상 오염물질을 제거하고 있다. 대기 오염물질을 제거하는 방법들에는 이상에서 언급한 것보다 많은 방법들이 있으며, 지금도 많은 연구들이 진행되고 있다.

본 고에서는 중국에서 불어오는 황사에 대하여 알아보고, 이를 제거하는 공기청정기술에 대하여 살펴본 후, 황사 제거 능력 평가를 위한 대응 특성에 대

하여 제시하고자 한다.

## 황사 오염물질

황사는 기상학적 사전상의 정의로 주로 중국 북부의 황토지대에서 바람에 의하여 하늘 높이 불어 올라간 미세한 모래먼지가 대기중에 확산되어 하늘을 덮었다가 서서히 강하하는 현상 또는 강하하는 모래먼지로, 중국 및 몽골의 황토지대나 사막지대 등에서 발생한 미세한 토양입자가 대기중에서 수송되어 낙하하는 현상이다. 발원지에서 황사가 발생되기 위해서는 다량의 작은 모래먼지와 강풍이 필요한데 모래먼지는 건조하고 식물이 뿌리를 내리지 않아 부슬부슬한 토양



[그림 1] 황사 발생 위성 사진

에서 발생한 부유하기 쉬운 직경 20  $\mu\text{m}$  이하의 입자로 구성되며, 이를 부유시키기 위해 강한 바람이 요구된다. 그림 1은 황사 발생 위성 사진을 나타낸다.

우리나라에서 발생하는 황사의 횟수, 일수 및 강도 등이 1990년대 이래 빠른 속도로 증가하는데 서울에서의 황사발생 횟수와 일수는 1971~80년 11회 28일, 1981~90년 17회 39일, 1991~2000년 29회 77일이며, 2000년 이후에도 지속적으로 발생되고 있으며 특히 2002년 3월 발생한 황사로 서울의 시간당 최대 미세먼지 농도가 2002년 연간평균치인  $76 \mu\text{m}/\text{m}^3$ 의 약 37배에 해당하는  $2,778.2 \mu\text{m}/\text{m}^3$  까지 상승했다. 황사가 주로 봄철에 발생하는 이유로는 겨울내내 얼어있던 건조한 토양이 녹으면서 잘 부서져 부유하기 쉬운 20  $\mu\text{m}$  이하 크기의 모래먼지가 발생하는 것으로 우리나라에는 일년 중 주로 4월에 관측되며, 중국의 자료에서도 1년 중 25%가 4월에 발생한다고 보고하고 있다. 일본의 경우는 1년에 평균 5일 관측되며 주로 일본의 서쪽 규슈지방에서 자주 발생하는 것으로 보고된다(전영신, 1999). 표 1은 2000~2004년 사이 서울지역에서의 황사 발생 현황을 나타낸다.

황사 먼지의 입경분포를 보면 발생원 지역과 이동하는 거리에 따라 달라지는데 우리나라에서 측정된 자료들을 종합하면 입경분포 2~10  $\mu\text{m}$  영역의 조대먼지에 해당하는 영역의 입자개수농도의 증가가 현저하게 나타났다. 화학적인 조성을 살펴 보면 황사의 원료라고 할 수 있는 중국 북부의 사막 토양은

<표 1> 서울의 황사 발생 현황 (자료: 기상청)

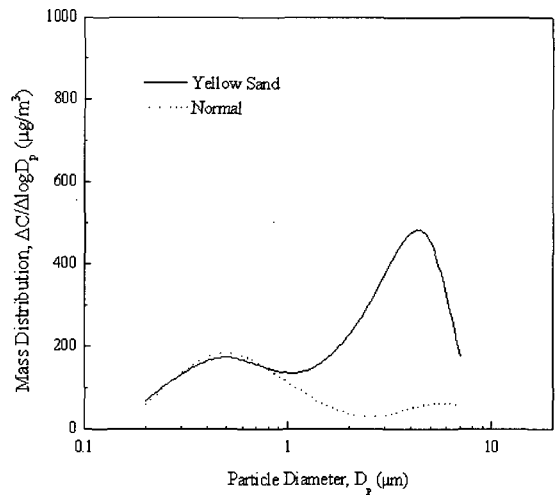
년도	3월	4월	5월	기타	합계
2004	4	1	0	1	6
2003	1	2	0	0	3
2002	6	6	0	4	16
2001	11	9	4	3	27
2000	5	5	0	0	10

<표 2> 중금속 농도 비교 (자료: 국립환경과학원)

서울지역	납(Pb)	카드뮴(Cd)	크롬(Cr)	구리(Cu)	망간(Mn)	철(Fe)	니켈(Ni)
황사시	0.0680	0.0018	0.0266	0.1357	0.8276	8.1426	0.0233
평상시	0.0845	0.0027	0.0181	0.2011	0.0660	2.2473	0.0141

3~5  $\mu\text{m}$ 의 미세먼지로서 풍화되기 쉬운 장석이 다량 잔류하고 있는, 탄산칼슘 등을 비교적 다량 함유하고 있는 알카리성 토양이다. 그러나 장거리 이동되는 황사의 성상은 발원지에서의 토양성분 이외에도 이동과정 중에서 오염된 지역의 가스상 물질들이 추가된다. 그리고 가스와 입자의 상호작용에 의해  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  등의 가스상 물질이 입자표면에 흡착되어 황산염이나 질산염 등이 많이 생성되는 것으로 조사된다. 이 과정 중에서 오존과 같은 산화제 등이 입자표면에서  $\text{SO}_2$  등의 가스상 물질들을 산화시켜 황산염 등의 입자상 물질을 생성시킨다. 그림 2는 한국에서의 황사 입자 입경분포를 나타낸다.

또한 최근 공기 중에 부유하는 중금속에도 관심이 높아지고 있는데, 국립환경과학원이 2001~2004년 동안 전국의 7개 주요 도시에서 측정한 황사발생시의 중금속 농도를 평상시와 비교 분석한 결과를 보면, 망간은  $0.8276 \mu\text{m}/\text{m}^3$ 으로 평상시  $0.066 \mu\text{m}/\text{m}^3$  보다 12.5배 가량 증가했으며, 철은 평상시  $2.2473 \mu\text{m}/\text{m}^3$ 에서  $8.1426 \mu\text{m}/\text{m}^3$ 으로 3.6배 가량 증가한 것으로



[그림 2] 황사 입자의 입경 분포(한국)

나타났다. 그러나 크롬, 니켈 및 구리는 평상시와 유사했고, 납과 카드뮴은 오히려 농도가 감소했다. 표 2는 2001~ 2004년 사이의 전국 7개 도시에서의 황사발생시 중금속 농도 비교를 나타낸다.

### 입자상 오염물질 제거 기술

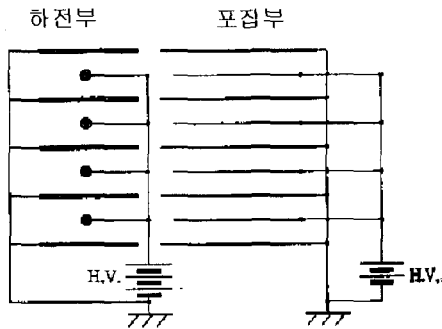
실내에서 발생되거나 대기에서 유입되는 입자상 물질을 주로 제거하는 기술로 큰먼지 제거용 필터와 미세먼지 제거용 필터로 구분할 수 있는데, 고체상의 큰먼지 제거용 필터에는 난연성의 PP나 PE로 그물망 형상의 필터를 만들어 통상 사용하고 있으며, 일정 시간 사용 후 물로 세척하여 반영구적으로 사용이 가능하다. 이때 그물망 필터에 통상 유무기 항균제를 코팅하여 항균 기능을 부여하고 있다.

미세먼지 제거용 필터로는 정전부직포 필터나 전기 집진필터를 적용하고 있으며, 최근에는 압력 손실이 적은 고효율의 HEPA 필터, 전기집진과 정전부직포를

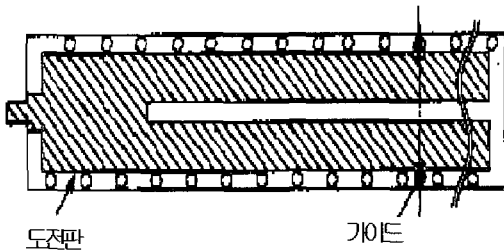
결합한 복합필터 및 먼지와 냄새를 동시에 제거하기 위해 플라즈마 필터를 적용하고 있다. 정전부직포 필터는 섬유 제작시 섬유상에 고전압을 부여하여 정전분극에 의해 극성을 갖게 하고 이를 부직포로 제작, 필터로 사용한다. 통상 에어컨용 필터의 경우 저압력 손실이 요구되어 100 g/m<sup>2</sup> 정도의 필터를 주로 사용한다. 또한 적용 형태도 단순히 평판형에서 압력손실을 줄이고 포집면적을 확대하기 위하여 주름진 형태로 제작하여 적용하는 경우가 유리하나 주기적으로 교환해 주어야 하는 불편한 점이 있다.

전기집진필터의 경우는 그림 3에서와 같이 먼지를 대전시키는 전리부와 먼지를 포집하는 포집부로 나눌 수 있는데, 전리부와 포집부가 일체로 구성된 것을 1단식이라고 하며 통상 가정용의 경우 제품이 박형으로 되는 룸에어컨에 많이 적용되고 있으며, 전리부와 포집부가 별개로 구성된 2단식의 경우는 대형 아파트나 사무실에 주로 적용되는 공기청정기나 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 구조이며, 인가되는 전압의 극성이 정(+)극성이면 먼지가 정극성으로 대전되고, 부(-)극성이면 먼지가 부극성으로 대전되어 접지되어 있는 포집부에서 포집된다. 전기 집진 필터를 설계할 때는 먼저 오존 발생량을 규정치 이하로 유지될 수 있도록 설계하고 다음 먼지제거 성능을 평가하여야 한다.

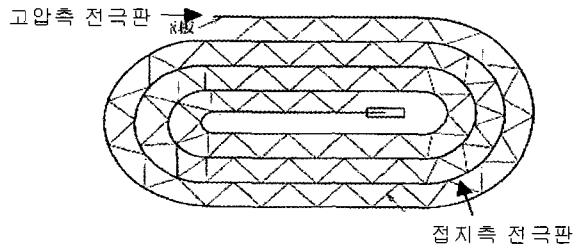
통상 오존발생량을 낮추기 위해서는 정(+)극성의 전압을 인가하고 전리부의 전극 직경도 가늘수록



[그림 3] 전기집진필터



(a)



(b)

[그림 4] 포집부 전극 구조

발생량이 적어 직경이 0.1 mm 이하의 가는 텅스텐 선을 주로 적용하며, 동일 고전압에서는 부(-)극성에 비하여 1/10 수준이다. 최근 환경부 및 산자부가 중심이 되어 일부 오존 발생량이 많은 이온 발생식 청정기에 대하여 규제를 강화코자 한다. 또한 포집부의 경우는 그림 4와 같이 일반적으로 평행평판형을 적용하나 포집면적을 확대하여 효율을 높이기 위하여 띠전극을 권선형 구조로 하거나, 도전성 도료를 절연성이 우수한 수지물 한쪽 면에 코팅하여 전극 간격을 좁게하여 포집효율을 향상시키기도 한다.

HEPA 필터는 고효율의 필터로 먼지 포집 성능이 우수하여 가정용 공기청정기에 많이 적용되며, 최근에는 성능을 향상시키고 압력손실을 낮추기 위하여 정전섬유로 제작한 HEPA 필터도 개발되고 있다.

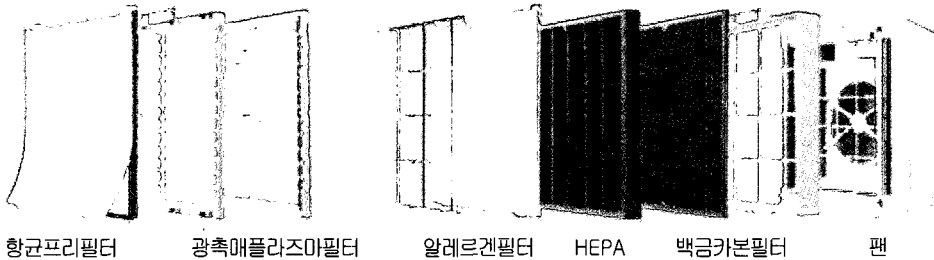
복합 필터는 전기집진필터의 전리부와 정전부직포 필터를 결합한 형태이거나 필터 여재 자체에 전압을

인가하는 여재유전형 필터로 구성되는데 전리부에서 강제로 통과되는 먼지를 대전시키고, 이를 후단에서 정전부직포로 포집하여 제거하기에 효율은 높으나 주기적으로 필터를 교환해야 한다. 표 3은 공기청정필터 방식을 나타낸다.

**제품 동향**

공기청정기는 대기환경이나 산업상의 작업환경이 아닌, 일반 건축물의 실내공간이나 클린룸 등의 공기의 필요 청정도를 생성하여 유지하기 위한 단위 장치나 설비로 정의할 수 있다. 이에 가정용으로 주로 쓰이는 공기청정기는 기계식, 전기식 및 복합식으로 나눌 수 있다. 그림 5는 기계식 필터 시스템을 나타낸다.

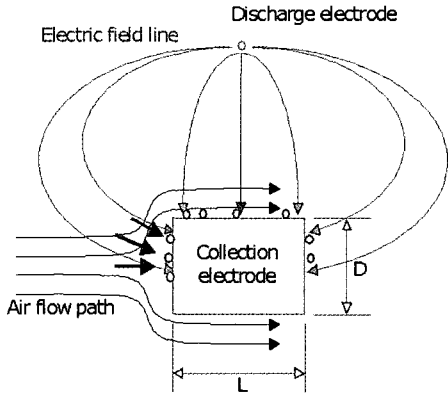
최근 가정용 공기청정기에는 황사나 바이오상의 오염물질을 효과적으로 제거하기 위하여 HEPA 필터를



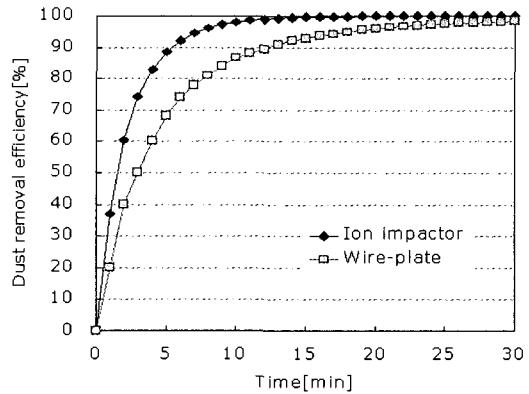
[그림 5] 기계식 필터 시스템

<표 3> 공기청정필터 방식

전기집진식	1단식	전리부와 포집부 일체	
	2단식	전리부	선 방전극식 침 방전극식
포집부		알루미늄 평행평판형 도전성 도료 코팅 적층 플라스틱형 권선형 반절연수지형	
복합필터식	전압인가형	여재유전형 입자대전형 입자대전 여재유전형	
	전압무인가형	정전부직포 필터 여재형	
	혼합형	입자 하전 + 정전부직포 필터 여재형	



[그림 6] 이온 임팩트 전극 구조



[그림 7] 시험용 분진 제거 능력 비교 평가

<표 4> JIS 8종 분진과 황사분진의 특성 비교

항목	JIS 8종 분진	황사
밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	2.9 ~ 3.1	2.7 ~ 3.2
질량중위경(MMD, μm)	6.6 ~ 8.6	7.0 ~ 8.0
입자크기 분포 (μm)	0.1 ~ 10	0.1 ~ 10
주요구성물질	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO...	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CaO...
질량농도 (μg/m <sup>3</sup> )	-	150 ~ 300

많이 사용하고 있고, 필터에 부착된 오염물질에 의하여 곰팡이나 균과 같은 제2의 오염물질 발생 방지를 위하여 항/살균 바이오 물질이 코팅 처리된 HEPA 필터도 있다. 황사가 발생될 때 급속히 제거하기 위하여 별도의 황사 운전모드를 갖고 있는 제품도 있다.

또한 최근에는 에어컨의 보급이 일반화되면서 에어컨 내부에 공기청정기능이 부가되고 있는데, 여기서는 고효율, 저압력손실 및 박형화가 설계시 반드시 고려되어야 한다. 전리부와 포집부로 구성된 전기집진필터의 경우 효율 향상 및 박형화를 위하여 포집부의 형상을 개선한 이온 임팩터 전극 구조를 가진 집진필터를 적용한 경우도 있다. 이온 임팩터 전극구조는 아이 빔(I Beam) 형상으로 집진극의 폭은 일정하게 하고 길이(L)를 기존보다 좁게 하면서 전극두께(D)를 증가시키면 집진극 면적이 증가하는 효과와 더불어 전극의 측면으로 작용하는 전기력선 분포의 증가와 입자의 충돌하전 효과에 의하여 집진 효율 향상이 기대된다. 황사 제거 성능을 평가하기

위해서 황사분진의 특성을 분석해 본 결과 일본 표준규격(JIS Z 8901)의 표준분진 8종과 거의 유사하여 성능 평가용으로 활용해도 좋을 것으로 사료된다(이재근, 2002). 표 4는 황사 대체 시험 분진 분석표를 나타낸다. 그림 6은 이온 임팩터 전극을 나타내고, 그림 7은 JIS 시험용 표준 분진을 밀폐실내에 분사한 후 0.3~0.4 μm 범위의 입자경 분진에 대하여 일반 평판형의 집진필터와 성능 비교한 결과이다.

**결론**

해마다 찾아오는 봄의 불청객인 황사에 대비하여 공기청정 기술이 본격적으로 개발되고 있으며, 공기청정기 시장이 증대됨에 따라 대기업을 포함한 많은 기업들이 신제품을 출시하고 있다. 고객들이 구입시 필터 유지비용이나 교체 편리성 및 냄새, 먼지는 물론 항살균 기능의 유무를 확인하여 구입하는 것이 필요할 것 같다. (㉔)