

## PM2.5의 유해성

스모그(smog)는 스모크(smoke)와 포그(fog)의 합성어로, 공장이나 대도시에서 배출되는 매년 입자가 핵이 되어 오염물질을 함유하는 안개가 발생하게 된다. 스모그는 기상 조건에 따라 장기적으로 정체하는 런던형 스모그와 석유 및 자동차의 배기가스에 의해 대기 속에 방출된 질소산화물(NOx)과 탄화수소가 강한 햇빛을 받아 광화학 반응에 의해 2차적으로 생성된 옥시단트 등으로 이루어지는 로스앤젤레스형 스모그(혹은 광화학 스모그)로 구분할 수 있다.

중국을 지난 1월에 발생한 극심한 스모그 현상의 지속으로 인해 중국내 호흡기 질환 환자가 속출하고 있다. 특히 이번 스모그 현상은 지금까지 중국에서 관측된 적이 없는 사상 최악의 스모그로 평가되고 있다. 이번 스모그 현상은 런던형 스모그에 가깝다. 그러나 최근 중국의 급격한 산업화 및 도시화 때문에 자동차의 수가 급증하였고, 이에 따라 자동차의 배기가스 발생 증가에 따른 대기오염 정도가 심해지고 있던 터라 광화학 스모그까지 더해져 더욱 심각한 상태가 되었다고 판단하고 있다.

이러한 스모그 현상에 대비하여 중국 당국은 주요 산업체의 오염물질 배출 감소를 권고하고, 주요 공장라인 중 28곳에서 생산 중단, 교통량의 약 30% 규모의 관용차량 운행 중단 등 스모그 현상을 벗어나기 위한 대책을 내놓기도 하였다.

기존 연구결과에 의하면 스모그가 발생했을 때 평상시보다 초미세먼지(PM2.5)의 농도가 2~3배 이상 높다는 보고도 있다. 이렇게 계속되는 스모그 현상으로 인해, 중국에서는 마스크 품귀현상이 발생하기도 하였는데 약국에서 판매하는 초미세먼지에 대해 성능이 검증되지 않은 일반마스크는 이미 다 팔린 상태이고, 성능이 검증된 특수 마스크도 평소보다 10배 이상이 팔리는 등 호흡기 질환을 예방하기 위한 시민들의 사재기 현상이 발생하고 있다고 보고되었다. 하지만 PM2.5는 직경이 미세해 효율 좋은 필터가 달린 마스크가 아니라면 실제로 큰 효과는 없을 것으로 판단된다.

우리나라가 중국에서 발생하는 스모그 현상에 관심을 뒤야 하는 이유는 편서풍 지대에 위치하고 있어 중국의 영향을 받기 때문이다. 이때 스모그를 이루는 PM2.5 및 중금속이 섞인 해로운 화학물질이 편서풍에 의해 우리나라에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

본 기고에서는 대기오염 물질 중 PM2.5를 중심으로 정의와 특성, 인체에 미치는 영향과 현행 법규 현황에 대해 살펴보고자 한다.

## PM2.5의 정의

먼지는 대기 중에 떠 있는 모든 먼지인 총 부유분진(total suspended particles, TSP), 입경에 따라 미세먼지 PM10 (Particulate Matter less than 10  $\mu\text{m}$ ), 극미세먼지 PM2.5 (Particulate Matter less than 2.5  $\mu\text{m}$ )로 구분할 수 있다. PM10 중 조대입자는 입자의 직경이 크기 때문에 비표면적이 작고 대기 중에서 수일 정도 밖에 체류하지 못하기 때문에 유해물질을 많이 흡착할 수 없어 유해성은 크지 않은 반면, 연료의 연소 화학 작용에 의해 생성

되거나 대기 중에서 광화학 반응에 의해 생성되는 PM2.5는 입자의 직경이 작고 비표면적이 커서 대기 중에 수일~수개월 정도 체류하기 때문에 많은 유해 물질을 흡착하여 유해성이 크다.

### 발생기전

먼지는 크기에 따라 발생원이 다르다.

입자의 크기가 2.5  $\mu\text{m}$  이상의 입자는 주로 자연 배출원에서 발생하는 토사나 해염 입자 등인데 반해 2.5  $\mu\text{m}$  이하의 입자는 자동차의 배기가스, 산업장 등에서의 연소가스, 폐기물 소각장에서의 배출가스 등에서 생성되기도 하고 이들의 광화학 반응이나 가스상 물질의 응축 등을 통하여 상당량 이차적으로 생성되기도 한다.

PM2.5의 주요 구성성분은 대기중 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx), 암모니아(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)의 화학반응에 의해 이차 생성된 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 유기탄소(organic carbon, OC), 원소성 탄소(elemental carbon, EC)와 납, 크롬, 망간, 카드뮴과 같은 중금속인 것으로 알려져 있고, 이들 성분들은 스모그와 연무의 형성에 원인이 되며 빛을 산란시켜 시정(visibility) 장애를 유발하는 것으로 알려져 있다. 시정은 육안으로 식별이 쉬워 일반 시민들에게는 대기환경 체감오염의 지표로 인식되고 있다. 특히 수용성 이온 성분은 구름의 응결핵으로 작용할 수 있기 때문에 기후변화에서 매우 중요한 역할을 하며 건식 또는 습식침적을 통해 생태계로 유입되어 생물체의 영양소로 작용할 수 있으나 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 같은 산성 이온은 생태계에 심각한 피해를 유발할 수 있다.

### 인체 유해성

PM2.5는 크기가 작은 대신 비표면적이 크기 때문에 각종 중금속과 유해 대기 오염물질들과의 흡착이 용이하여, 호흡기 깊숙이 침투한 후 폐 조직에 붙어 호흡기 질환을 일으키며 PM2.5에 포함되어 있는 중금속 성분의 경우 혈관으로 흡수되어 뇌졸중이나 심혈관계 질환을 일으키는 것뿐만 아니라 사망률의 증가와도 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Dockery and Pope, 1994; Schwartz, 1994; Burnett et al., 2000; Franklin et al., 2008; Bell et al., 2009).

이러한 PM2.5의 호흡기 영향은 주로 세기관지에서 염증반응을 일으킴으로써 발생하며 이런 염증반응은 천식, 만성 기관지염, 기도폐쇄 등을 일으키거나 악화시키는 작용을 하게 된다. 또한 폐 조직에서 박테리아의 불활성화 혹은 제거 작용을 방해함으로써 호흡기계 감염을 일으킬 수도 있다. 최근에는 미세먼지가 심근경색, 뇌졸중, 심박동수 이상, 급사 등과 같은 심혈관계 질환의 중요한 위험요인으로 받아들여지고 있다. 미세먼지의 인체영향에 대한 기전은 현재 여러 가지로 설명되고 있는데 염증반응, 사이토카인(cytokine) 및 케모카인(chemokine)의 분비, 백혈구 수 증가, 폐에서 활성산소의 생성, 엔도톡신(endotoxin)에 의한 세포 및 조직의 반응 등이 대표적이다. 미세먼지의 인체 영향 중 가장 대표적인 것은 기도의 염증 반응이다. 인간과 동물을 대상으로 한 연구에서 미세먼지의 흡입은 상부와 하부

기도에서 염증반응을 일으키는 것으로 보고하고 있으며 활성산소와 산화스트레스를 증가시키는 것으로 알려져 있다.

특히, 미국의 많은 역학조사를 통해 대기 중 PM2.5 농도의 증가와 일별 유병률과 사망률의 증가가 상관성이 높은 것으로 나타났다. 입경 분포에 따른 건강의 유해도를 예측한 최근의 연구 결과에 의하면 PM10 보다도 PM2.5의 유해도가 더 확실한 상관관계를 나타낸 것으로 밝혀졌다.

또한 대기오염이 소아 천식에 미치는 영향에 관한 연구에서는 PM2.5가 10 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 증가함에 따라 기관지염의 위험도가 5% 증가하였고, 천식 아동들의 기관지염이나 가래 증상이 증가한다고 보고된 바가 있으며 PM2.5 노출로 인한 사망에 관한 연구에서는 PM2.5가 10 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 증가함에 따라 일별 사망률이 4% 정도 증가한다는 보고도 있다(Pope III et al., 2002).

### 현행 법규 현황

선진국에서는 다양한 연구를 통해 PM2.5에 대한 저감대책을 수립하고 있으며 미국 환경보호청(EPA)에서는 1997년에 PM2.5의 기준을 신설하여 PM10과 함께 사용하고 있고, 화학적 조성에 대한 정량적인 평가와 오염원 규명을 통한 규제를 마련하고 있다.

하지만 우리나라는 2000년까지는 TSP를 대기 환경기준으로 사용하였고, 2001년부터는 PM10으로 기준을 바꾸었다.

우리나라의 경우, 수도권을 비롯한 도시에서의 인구증가와 집중으로 인한 운행 차량 수의 증가, 산업규모 확대 등에 기인하여 PM2.5 농도의 증가가 관찰되고 있으며 이로 인한 국민 건강 유해의 가능성이 제기되고 있어 이에 대한 연구와 저감 대책의 마련이 필요한 시점이다.

PM2.5의 농도를 저감시키기 위해서는 선진국과 같이 오염 발생원을 파악하고 이들 오염원의 기여도를 추정하여 관리방안을 도출해야 한다. 이는 장기간에 걸친 자료의 추적을 통해 접근이 가능하나, 우리나라의 경우, 서울과 일부 지역에서만 제한적으로 PM2.5에 대한 화학적 특성평가가 이루어져 왔고, 국가적인 차원에서 장기간으로 PM2.5 및 그 구성 성분에 대한 모니터링이 부족하여 지속적인 연구를 통한 자료 축적이 극히 미비한 실정이고, 각각의 오염물질 배출원에 대한 정확한 목록이 부재한 상황이기 때문에 오염원 기여도 산정 역시 어려운 상황이다. 이러한 이유로 어떤 배출원에서 PM2.5가 얼마나 배출되고, 배출 시 배출원 구성 물질의 성분비(source profile)와 이들이 PM2.5의 오염도에 얼마나 기여하는 것인지에 대한 논의가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

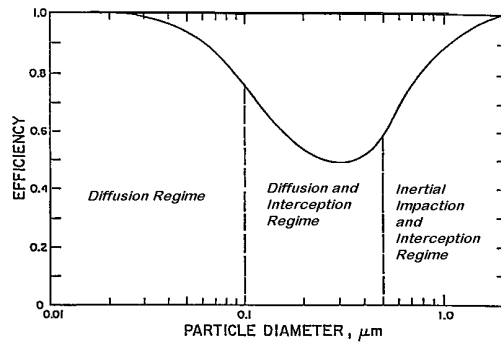
따라서 PM2.5의 지속적인 연구 결과를 통해 PM2.5의 물리적, 화학적 특성을 파악하고, PM2.5의 이동 및 확산 원리를 이해하여 수용원에 미치는 영향을 파악하여야 한다. 이렇게 오염원과 수용원 사이의 관계가 규명되고, 수용원에 영향을 미치는 오염물질의 오염원에 대한 정보가 구축되어야 오염원에 대한 제어, 수용원에서의 대책 수립 등의 정책이나 대안을 수립할 수 있다.

### 적합한 호흡 보호구 선정

이렇게 유해한 PM 2.5 로부터 내 몸을 지킬 수 있는 방법은 무엇이 있을까? 바로 위 사진에서처럼 호흡기로의 유입을 막는 것이 그 첫 단추일 것이다. 하지만 현재의 법규 현황에서 살펴보았듯이, 도심으로의 인구집중 및 산업규모의 확대 등으로 인해 PM 2.5 의 농도가 증가하고 있음에도 불구하고 아직까지 우리나라에서는 이와 관련한 어떠한 기준 등의 제도가 마련되어 있지 않다.

그렇다면 이 시점에서 우리는 어떤 기준으로 PM 2.5 로부터 호흡기를 보호해야 할 것인가?

우선 PM 2.5 라 함은 직경이 2.5  $\mu\text{m}$  이하의 “입자”이기 때문에 방진 마스크를 착용해야 할 것이다. 또 이미 우리가 알고 있듯이 한국산업안전보건공단에서는 아래 그림과 같이, 가장 여과재에 포집되지 않는 크기로 알려진 평균 입경 0.6  $\mu\text{m}$  의 염화나트륨 에어로졸을 이용하여 방진마스크 여과재의 분진 등 포집 효율을 시험하고 있으며, 이는 PM 2.5 에 포함되는 크기이다.



<Aerosol Technology, 2<sup>nd</sup> Ed., 1999, Wiley Interscience>

즉, 입자의 크기 측면에서 고려하자면 한국산업안전보건공단의 특급, 1급 및 2급 등 안전인증을 득한 방진마스크는 PM 2.5 로부터 호흡기를 보호하는데 적절하다고 볼 수 있을 것이다. 그렇다면, 어느 정도 수준의 분진포집효율을 갖는 방진마스크를 사용하는 것이 적합할 것인가? 국내 안전인증 기준에서는 각 등급에 따른 포집 효율 및 각 등급별 사용 장소는 다음과 같이 정의하고 있다.

형태 및 등급		염화나트륨(NaCl) 및 파라핀 오일(Paraffin oil) 시험(%)
안면부 여과식	특 급	99.0 이상
	1 급	94.0 이상
	2 급	80.0 이상

등급	특 급	1 급	2 급
사 용 장 소	.베릴륨 등과 같이 독성이 강한 물질들 을 함유한 분진 등 발생장소 .석면 취급장소	.특급마스크 착용장소를 제외한 분진 등 발생장소 .금속흡 등과 같이 열적으로 생기는 분진 등 발생 장소 .기계적으로 생기는 분진 등 발생장소(규소등과 같 이 2급 방진마스크를 착용하여도 무방한 경우는 제 외한다)	.특급 및 1급 마스크 착용장 소를 제외한 분진 등 발생 장소
	배기밸브가 없는 안면부여과식 마스크는 특급 및 1급 장소에 사용해서는 안 된다.		

<방진마스크 안전인증기준, 고용노동부고시 제2014- 46호>

위 표에서 볼 수 있듯이, 발생된 물질이 인체에 유해할수록 우리는 더 높은 등급의 마스크를 써야 하며, 이는 당연히 유해할수록 더 내 몸에 유입되지 못하게 해야 하기 때문일 것이다. 그렇다면 PM2.5 는 얼마나 유해한 것일까? 이미 PM 2.5 의 높은 유해성에 대해서는 이미 상당 부분 밝혀져 있으며, 세계적으로도 많은 연구가 이루어지고 있는 상황이다. (서울대학교 서용석 박사의 기고문 참고)

따라서 한국 쓰리엠에서는 PM 2.5 로부터 시민들의 호흡기를 보호하기 위해 최소한 다음과 같은 형태의 식약처 인증을 받은 황사마스크( KF80은 위의 표에서 방진마스크 2급과 동일한 성능 )를 추천하고 있다.



참고문헌

Burnett, R., Brook, J., Dann, T., Delocla, C., Philips, O., Cakmak, S., Vincent, R., Goldberg, M.,Krewski, D. 2000. Association between particulate-and gas-phase components of urban air pollution and daily mortality in eight Canadian cities. Inhalation toxicology, 12, 15-39.

Dockery, D. W.,Pope, C. A. 1994. Acute respiratory effects of particulate air pollution.

Annual review of public health, 15, 107-132.

Franklin, M., Koutrakis, P., Schwartz, J. 2008. The role of particle composition on the association between PM<sub>2.5</sub> and mortality. *Epidemiology*, 19, 680-689.

Kim, H.-S., Huh, J.-B., Hopke, P. K., Holsen, T. M., Yi, S.-M. 2007. Characteristics of the major chemical constituents of PM<sub>2.5</sub> and smog events in Seoul, Korea in 2003 and 2004. *Atmospheric Environment*, 41, 6762-6770.

Pino, P., Walter, T., Oyarzun, M., Villegas, R., Romieu, I. 2004. Fine particulate matter and wheezing illnesses in the first year of life. *Epidemiology*, 15, 702-708.

Pope III, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G. D. 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA: the journal of the American Medical Association*, 287, 1132-1141.

Schwartz, J. 1994. What are people dying of on high air pollution days? *Environmental research*, 64, 26-35.