미세먼지 규제와 영향

김 신 도 | 서울시립대학교 환경공학과 교수
E-Mail : sdkim@uos.ac.kr

1. 국내외 규제 경향

대기 중에서 발견되는 입자상 물질은 입자의 크기, 화학적 성분, 액적과의 친화력, 빛의 산란 및 흡수등의 매우 다양한 특성을 가지고 있다. 입자의 특성 중에서도 입자의 크기는 입자를 분류하는데 많이 이용되고 있으며, 일반적으로 2.5 ㎛ 보다 큰 입자상 물질을 거대분진(coarse particle)라 하고, 이 보다 작은 입자를 미세분진(fine particle)로 분류하고 있다. 이들의 발생원을 살펴보면 조대분진은 주로 기계적인 과정이나 자연적인 현상 등에 의해 발생되며, 2.5 ㎛이하의 미세분진은 연소과정에서 직접 배출되거나 배출된 후 대기 중에서 응집, 응축, 가스에서의 입자로의 전환 등에 의해서 생성되는 이차 입자상물질이 대부분이다. 이러한 입자상 물질은 입자들의 발생원에 따라서 중금속, 수용성성분, 무기탄소, 유기탄소 및 기타 유기물질 등으로 복잡하게 구성되어 있으며, 입자들의 입경분포도 매우 다양하다.

표 1은 미국에서 입자상물질에 대한 대기오염기준의 변천을 나타내고 있으며, 미국에서는 1998년도부터 폐 속 깊숙이 유입될 수 있는 PM-2.5 particulate matters less than 2.5 ㎛ as an aerodynamic diameter)에 대한 기준이 적용되고 있는 등 미세한 입자에 대한 중요성이 증가되고 있다.

이러한 기준의 설정은 TSP, PM-10 보다 인위적 분진의 제어에 집중적인 관심을 보인다는 의미이며, PM-2.5 기준은 국민 특히 노약자의 건강 및 시정(visibility) 보호차원에서 PM-10 기준보다 합리적이며 효율적인 규제방법이라 할 수 있다.

한편, 우리나라는 1995년 이후 PM-10과 TSP의 환경기준을 동시에 설정하고 운영하다가 2001년 이후에는 TSP 항목을 삭제하였다. 동일 분진에 대해 6년간 2개 기준이 설정되어 있어 분진오염 규제에

표 1. 미국의 분진에 대한 대기환경기준의 변화

연 도	항 목	산술평균(㎍/㎥)	
		24-hr	annual
1971	TSP	260	75
1987	PM-10	150	50
1997	PM-2.5	65	15
	PM-10	150	50

커다란 혼선이 빚어지기도 하였다.

우리나라에서는 입자상 오염물질 또는 분진을 총칭하여 '먼지'라 부르고 있으며, 이를 법률적인 용어로까지 확대 사용하고 있다.

WHO의 권고기준(Guideline)은 순수하게 인체에 미치는 유해한 영향에 관한 자료를 근거로 한 값이며 각국은 이 자료를 바탕으로 사회나 국가의 특성, 즉 기술적 문제, 효과비용, 사회, 경제적 조건 등을 고려해서 법으로 공표하며 이를 기준치(standard)라 한다.

1) 우리나라

PM-10에 대한 환경기준은 1995년 이후 설정되고 점차 강화되고 있지만(연평균 80 $\mu g/m^3$에서 2001년 70 $\mu g/m^3$로 강화), 배출기준은 여전히 총먼지에 입각하여 설정되어 있기 때문에 인체에 위해성이 큰 PM-10의 저감정책은 실효를 보지 못하고 있다. 따라서 현재까지 환경기준과 배출기준 항목은 장기간동안 별개로 운영되고 있는데, 이러한 양면적 규제정책은 조속히 개선할 필요가 있다. 또한 대기환경기준의 수치로 보면 강화된 것 같이 보이지만, 실제로는 TSP중에 PM-10이 있는 것으로 그 분율을 거의 그대로 기준으로 한 것이기 때문에, 강화되었다고는 볼 수 없다. 즉, 대기오염의 대명사인 아황산가스(SO_2)와 먼지 중에서 아황산가스에 대해서는 거의 해결방법을 찾았고, 이로써 문제시되지 않고 있으나, 반면에 먼지에 대해서는 열심히 하고 있다고 해도 전혀 줄어들지 않고 있어 더욱 주의를 기울일 필요가 있다.

표 2. PM-10의 실내외 기준 비교(2002)

항 목		규 제 기 준
실내	서울시	24시간평균 140 $\mu g/m^3$
	환경부	24시간평균 150 $\mu g/m^3$
실외	서울시	24시간 평균 140 $\mu g/m^3$, 연평균 60 $\mu g/m^3$
	환경부	24시간 평균 150 $\mu g/m^3$, 연평균 70 $\mu g/m^3$

표 2는 우리나라의 미세먼지 관련기준을 실내·외로 구분하여 나타내고 있다. 실내 환경부 기준은 현행 지하생활공간공기질관리법 시행규칙으로 24시간 평균치가 150 $\mu g/m^3$, 서울시 기준은 서울특별시조례 제3752호에 24시간평균 140 $\mu g/m^3$으로 설정하고 있다. 따라서 실내를 깨끗이 하기 위하여 외부의 공기로 환기시키는 것으로는 실내를 깨끗이 할 수 없고, 정화설비를 사용해야 한다는 것을 암시하고 있다. 실외의 기준과 비교해 보면 실·내외 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

2) 미국

미국은 1990년 개정된 CAA에서 인체와 환경에 해롭다고 알려진 오염물질에 대해 국가 대기환경기준(NAAQS, National Ambient Air Quality Standards)을 정한바 있으며 노약자를 포함한 대중의 건강을 보호하기 위해 정한 기준(primary standards)과 시정감소, 동물, 식물에 대한 피해를 포함, 인간의 복지를 위한 기준(secondary standards) 두 가지로 분류하고 있다.

PM-10의 경우 연간 산술평균값이 50 $\mu g/m^3$, 24시간 평균이 150 $\mu g/m^3$, PM-2.5의 경우 연간 산술평균값이 15 $\mu g/m^3$, 24시간 평균이 65 $\mu g/m^3$을 초과하지 않도록 되어 있다.

3) EC(유럽연합)

EC는 고농도 오염물질이 인체에 미치는 영향을 고려하여 대기질 제한치(air quality limit value)를 두고 있으며 입자상 물질의 제한치 달성목표는 2005년, 강화 된 입자상 물질의 경우는 2010년으로

표 3. 미국의 PM-10과 PM-2.5의 대기환경기준(1998)

오염물질	기 준 치	기준 형태
PM-10		
Annual Arithmetic Mean	50 $\mu g/m^3$	Primary & Secondary
24-hour Average	150 $\mu g/m^3$	Primary & Secondary
PM-2.5		
Annual Arithmetic Mean	15 $\mu g/m^3$	Primary & Secondary
24-hour Average	65 $\mu g/m^3$	Primary & Secondary

하고 있다.

표 4를 보면 EC는 1단계 2단계로 나누어 인체의 영향에 대한 정도에 따라 그 기준을 강화시켜나가는 것을 알 수 있다. 먼저 1단계에서는 PM-10과 PM-2.5를 동시에 규제하면서 PM-10의 경우 24시간평균 50 $\mu g/m^3$(25회), 연평균 30 $\mu g/m^3$ 의 기준을 2005년까지 달성하며, 2010년에는 24시간 평균 50 $\mu g/m^3$(7회), 연평균 각각 20 $\mu g/m^3$ 으로 규제를 강화시킬 예정임을 나타내고 있다. PM-2.5는 24시간평균 40 $\mu g/m^3$(14), 연평균 20 $\mu g/m^3$을 2005년도를 목표로 하고 있어서 이는 미국의 기준인 연평균 50 $\mu g/m^3$보다 훨씬 엄한 규제임을 알 수 있다.

2. 미세먼지의 물리화학적 특성

일반적으로 대기중에서 발견되는 입자상물질은 매우 다양하며, 입경, 화학적조성, 액적과의 친화도와 빛의 산란 및 흡수 특성등으로 인하여 인체에의 영향과 오염현상을 유발한다.

그림 1은 대기중에서 발견되는 입경에 따른 질량분포를 나타낸 것이다(Whitby, 1975). "Aitken

표 4. EC의 분진에 대한 대기질 제한치

	구 분	평균기간	제 한 치	달성목표일
1단계	24-hour limit value for the protection of human health	24 hour	50 $\mu g/m^3$, PM-10 연간 25회 이상 초과하여서는 안됨	1 January 2005
	Annual limit value for the protection of human health	Calendar year	30 $\mu g/m^3$, PM-10	1 January 2005
	24-hour action level for the protection of human health	24 hour	40 $\mu g/m^3$, PM-2.5 연간 14회 이상 초과하여서는 안됨	1 January 2005
	Annual action level for the protection of human health	Calendar year	20 $\mu g/m^3$, PM-2.5	1 January 2005
2단계	24-Hour limit value for the protection of human health	24 hour	50 $\mu g/m^3$, PM-10 연간 7회 이상 초과하여서는 안됨	1 January 2010
	Annual limit value for the protection of human health	Calendar year	20 $\mu g/m^3$, PM-10	1 January 2010

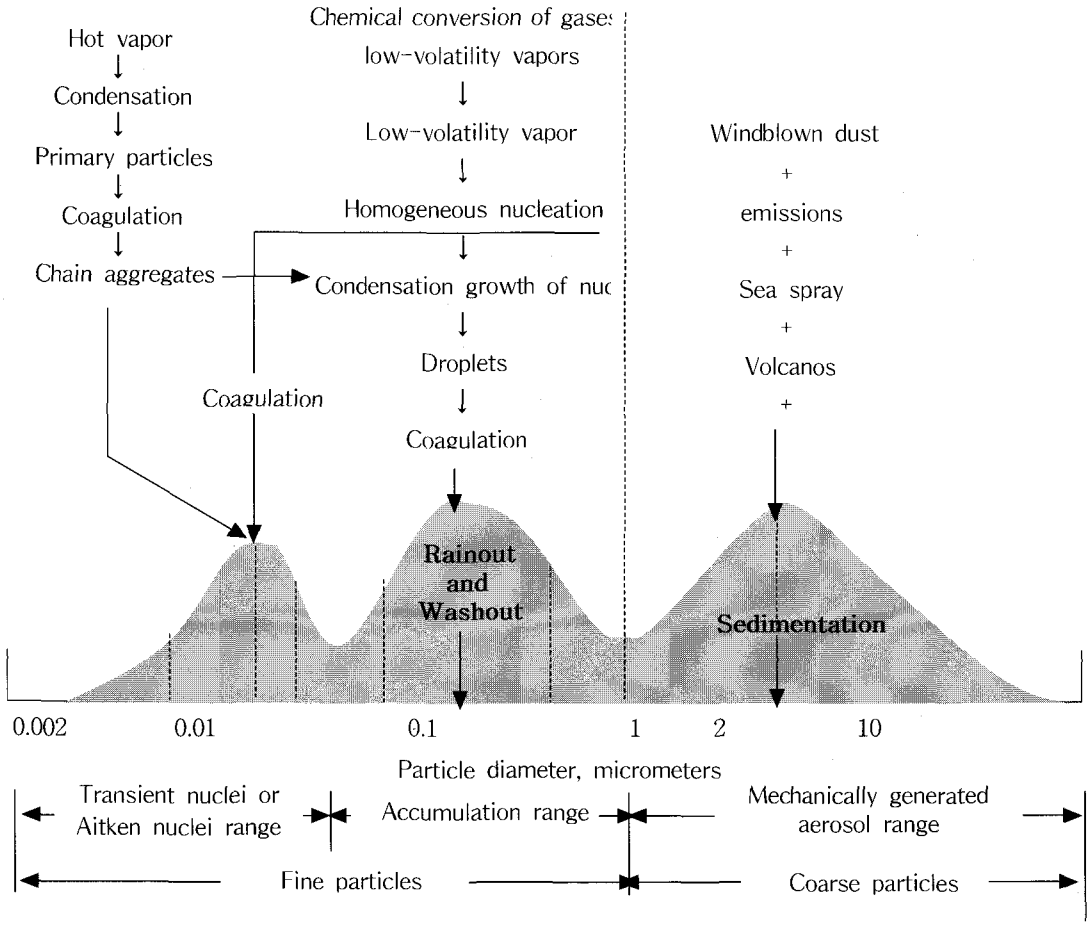

그림 1. 공업단지 대기중 분진의 입경대비 표면적의 분포(Whitby, 1975)

nuclei" 또는 "transient nuclei" 범위에 속하는 입자는 보통 0.08 ㎛이하의 크기를 갖는 입자를 지칭하는 용어로 연소과정에서 직접적으로 배출되거나 배출원에서 가스상으로 배출된 이후 곧바로 냉각, 응축되어 생성된다. 초미세분진(Aitken nuclei range)에 속하는 입자의 대기중에서의 체류시간은 매우 짧은데 즉, 대기중에서 보다 큰 입자와 급속히 병합되거나 또는 구름이나 안개액적의 핵으로서 작용하기 때문에 배출원에서 새로이 배출된 배가스 중이나 또는 대기중에서 새로이 생성된 입자 등에서만 검출 가능하다.

축적범위에 해당되는 입자는 0.08~2 ㎛의 크기를 갖는 입자를 지칭한다. 이 범위에 속하는 입자는 연소과정, 휘발성물질의 응축, 가스-입자 전환이나 지면의 토양먼지등에서 발생한 보다 작은 입자들의 병합으로부터 생성된다.

Aitken nuclei와 축적 범위에 속하는 입자들을 미세분진이라 부르고 이 범위에 속하는 입자들의 화학적 성분을 보면 H^+, SO_4^{2-}, NH_4^+, OC과 EC등의 이온이 풍부하고 이 중에서도 OC과 SO_4^{2-}가 가장 풍부한 것으로 보고되고 있다(Whitby, 1975 : Chow et al., 1996, 1994).

한편, 2~3 ㎛ 이상의 크기를 갖는 입자를 거대분진(coarse particle)라 분류하고 주로 기계적인 물질의 처리 과정과 지각, 해양 기원 성분 등으로 구성되며, 이 밖에도 꽃가루, 포자 등과 도로 위의 각종 쓰레기, 나뭇잎과 타이어 마모로 인한 먼지 등과 같이 주로 자연적인 배출원에서 배출된다. 이 범위에 속하는 입자의 화학적 성분은 화석연료의 미연소 또는 불연소 성분, 광공업시설에서 배출되는 금속성분, 지각 기원성분과 해수성분등으로 C, SiO_2, AL_2O_3, Fe_2O_3, NiO, V_2O_3, $CaCO_3$, Na_2SO_4, NaCl, $MgCl_2$, $MgSO_4$ 등이며, TSP(Total Suspended Particle, $d_p \leq 30$ ㎛)이나 PM-10($d_p \leq 10$ ㎛)의 경우에는 토양 성분이 많이 기여하는 것으로 알려져 있다.

실제로 캘리포니아에서 측정한 결과에 따르면, PM-10의 질량농도중 39~55% 정도가 토양 성분이었고, PM-2.5의 경우에는 15~35%가 토양 성분이라는 것을 보고하고 있다(Chow et al., 1996).

그림 2는 이러한 미세분진을 포함한 에어로졸의 입경분포를 나타낸 그림으로 서울지역의 봄철 앤더슨 다단분립기를 이용한 입자의 공기역학적직경(aerodynamic diameter)에 따라 각 입자크기별 중량농도를 나타내고 있다.

위 그림에서 종축은 입자의 농도를 나타내고 있으며, 횡축은 입경의 대수값으로 나타내고 있다. 황사시에는 거대분진영역이 증가하는 것을 알 수 있으며, 황사가 통과한 후의 그림은 미세분진영역이 거대분진영역보다 훨씬 많은 부분을 차지하고, 미세분진영역과 거대분진영역을 확연히 구분하는 변곡점(2 ㎛)이 있는 쌍극분포(bimodal)를 취하는 형태를 보인다. 위 그림을 통해, 자연적인 배출원(황사)에 의해 PM-10의 농도가 증가하고 있으며,

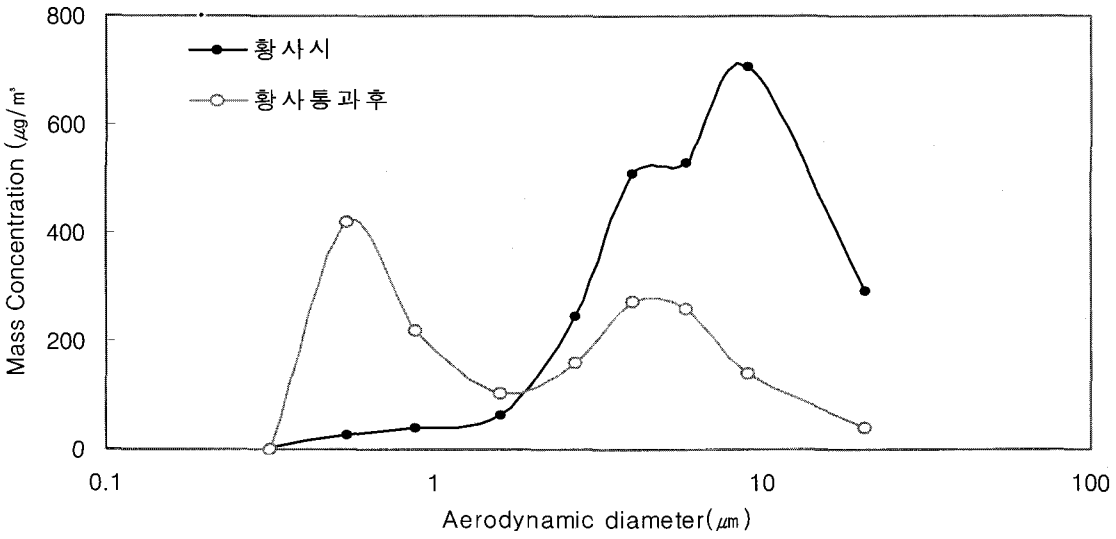

그림 2. 2000년 서울시 봄철 분진의 입경대비 분진량의 분포도

인위적인 배출원에 의해 PM-2.5의 농도가 증가하고 있음을 알 수 있다.

만일, 위의 그림이 다른 두지역의 측정결과라고 가정한다면 황사시와 같이 나타난 지역은 전원이나 농촌지역을 의미하며, 황사후와 같이 나타나는 지역은 도시의 특성을 보인 것이라고도 해석할 수 있다. 또한 한 지역의 자료라고 한다면 황사시와 같이 나타나면 봄, 여름의 계절이며 황사후와 같이 나타나면 겨울철의 연료를 많이 사용하는 계절이라고 추정할 수 있다. 이와 같이 분진의 입경분포가 분진의 성격과 특성을 설명하는 중요 변수가 됨을 알 수 있다.

3. 미세분진이 인체에 미치는 영향

입자상물질의 인체에 미치는 영향은 입자의 크기에 따라서 인체의 다른 부위에 축적된다. 10 ㎛ 이상의 크기를 갖는 대부분의 입자는 인체내로 들어가기 전에 입이나 코등에서 제거된다. 10 ㎛이하의 크기를 갖는 입자는 기관지를 통과하여 그 중의 10~60%정도가 인체에 위해를 줄 수 있는 폐에 침착된다. 폐에의 침착정도는 3 ㎛ 크기를 갖는 입자가 20%인데 반하여 입자의 크기가 0.03 ㎛일 경우 60%로 최대치를 나타내며 이 보다 작은 입자로 가면 공기와 같이 폐속을 통과하여 다시 나오므로 폐에의 침착정도는 오히려 감소하게 된다.

다음 그림 3은 입자의 크기에 따라 인체내부의 폐, 상기도, 하기도에 침적되는 효율을 나타내고 있다. 2.5 ㎛보다 큰 입자들은 상기도 영역에 침적되고, 이보다 작은 입자들은 주로 폐에 침적되는 것을 알 수 있다. 0.5 ㎛ 이상의 커다란 입자들은 관성충돌과 침전작용에 의해 호흡기에 침적되고, 이보다 작은 0.5 ㎛ 이하의 입자들은 브라운 확산에 의해 침적되는 것으로 알려져 있다.

도시화와 산업화의 가속화로 인하여 도시에 거주하는 시민들의 대부분이 대기오염에 노출되고 있으

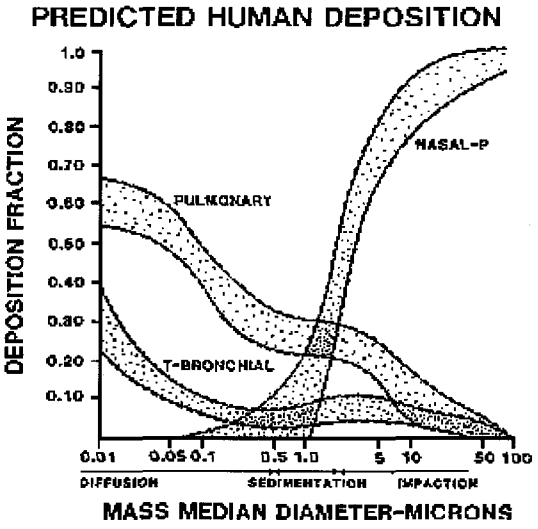

그림 3. 인간 기관지내 침착분율

며, 이로 인하여 호흡기 계통의 질병에 영향을 받고 있다. 오염된 도시대기는 여러 가지 산성물질들로 오염되어 있지만 그 중에서도 특히 SO_2와 NOx등의 무기가스들, H_2SO_4, NH_4HSO_4 그리고 $(NH_4)H(SO_4)_2$등의 산성 황산화물처럼 대기중에서 이차적으로 생성된 무기오염물질 그리고 HNO_3와 HNO_2 와 같은 가스상 질소화합물등이 오염된 대기중의 주요한 구성성분으로 알려져 있으며, 이러한 산성오염물질들은 인체에 여러 가지 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 또한 같은 중량농도에서도 분진의 크기가 작아지면 분진의 총표면적은 증가하며, 이로 인해서 주변에 오염물질을 더 많이 부착할 수 있어서 더 큰 위해를 줄 수 있다.

이렇게 보면 0.1~1 ㎛ 정도의 먼지가 우리에게 가장 피해를 많이 주는 것을 알 수 있으며, 따라서 이 범위의 분진에 대해서 주의를 기울일 필요가 있다.

표 6에 입자상물질과 관련한 외국의 역학적 연구결과들을 요약하여 나타내었다.

표 4에서 급성(acute) 질병율에 관한 연구의 대부분에서 제시한 결과는 폐기능의 감소, 호흡기능의 저하와 기침 등을 유발하는 것으로 나타났다. 입자상물질이 건강에 미치는 영향과 관련하여 특수한 몇가지 연구 결과에 따르면, 입자상물질의 단기간의 변화에 따라서 일 사망률이 변화하는 것을 관측하였고, 이러한 연구는 일 사망률과 입자상물질이 밀접한 관련을 갖고 있음을 시사하고 있다. Birmingham과 St. Louis등에서 이루어진 연구에 따르면 100 $\mu g/m^3$ 증가하면 사망률 은 11%~17% 증가하는 것으로 나타났다. 사망원인으로는 호흡기 질환으로 인한 사망률이 가장 높았고 그 다음으로 높은 것은 심장 혈관 질환으로 인한 사망으로 나타났다. 기타의 원인에 의한 사망은 매우 적은 것으

표 6. 사망률과 관련한 분진의 건강영향에 관한 일부 연구의 예(Pope 등, 1995)

항 목		연구대상지역	연 구 내 용
급성 Accute	질병률	Seattle, WA	천식을 앓고 있는 어린이의 경우 미세분진상 대기오염물질에 의하여 폐기능의 감소를 나타내었고, 정상의 어린이의 경우에는 폐기능 감소가 나타나지 않음.
		Denver, CO	기침과 심폐기능의 저하등과 같은 여러 가지 호흡기 질환이 대기중 산성 입자상물질의 오염(H^+)과 관련성을 보였고, 또한 기침이 PM-2.5와 관련성을 나타냄.
		Six U.S. cities	기침과 호흡 기능 저하가 PM-10과 정(+)의 상관성을 보임.
	사망률	Birmingham, AL	일 사망률이 PM-10과 관련성을 나타냄.
		St. Louis, Mo; Kingstone, TN	사망률이 PM-10과 관련성을 나타냄. PM-10이 100 $\mu g/m^3$증가할 경우 일 평균 사망률은 17% 증가함.
		Provo/Orem, UT	사망률이 PM-10과 관련성을 나타냄. PM-10이 100 $\mu g/m^3$증가할 경우 일 평균 사망률은 16% 증가함. 가장 높은 관련성을 나타낸 사망원인은 호흡기 질환으로 인한 사망이었음.
만성 Chronic	질병률	44 U.S. cities	폐기능이 TSP, NO_2 및 O_3농도와 부(-)의 상관관계를 나타냄.
		Port Albrni, British Columbia	입자상물질 오염이 만성 기관지 증상의 유발과 관련성이 있음을 나타내었으나 폐기능과는 관련성을 나타내지 않음.
		Kingstone, TN; St. Louis Mo; Steubenville, OH	호흡의 불안정과 천식증상과 관련성을 나타냄. 폐기능과의 관련성은 부(-)의 관련성을 나타내었으나 통계적으로 유의한 수준은 아니었음.
		53 U.S cities	의사에 의한 만성 기관지염과 호흡기 증상이 입자상 오염물질과 관련성을 나타냄.
	사망률	U.S. standard metropolitan statiscal aea	사망률과 입자상물질의 농도와의 관계는 강한 연관이 있었고, 황산염과 미세분진와의 경향이 일치하였음.
		U.S. cities	SO_4^{2-}, SO_2, NOx, 미세분진과 입자상 금속(Fe와 Mn)등이 사망률과 관련성을 나타냄. 이들 각각의 오염물질에 대해 독립적으로 계산할 수 없었지만, SO_4^{2-}와 미세분진와의 영향은 정확하게 일치함.

로 나타났다.

미국의 대도시 및 도시지역에서 장기간에 측정한 바에 따르면 입자상 오염물질이 사망률과 상당히 강한 관련성이 있는 것으로 밝혀졌으며 그 중에서도 미세분진과 황산염의 농도가 강한 관련성이 있는 것으로 나타났다.

입자상물질의 인체에 미치는 영향은 입자의 크기에 따라서 그 영향의 정도가 차이가 있으며, 최근의 미국 6개 도시에서 8년 동안에 걸쳐서 이루어진 미세분진와 거대분진의 질량농도와 황산염의 농도 등으로 평가한 결과 PM-10, PM-2.5와 황산염이 일 사망률의 증가와 밀접한 관련성이 있음을 나타내었다. 특히, 이중에서도 PM-2.5의 농도가 일 사망률 증가와 가장 높은 관련성을 나타내었다. 입자상물질이 질병률이나 사망률에 어느 정도 영향을 미치는지 정확하게 정량화되어 있지는 않지만 EPA에서는 잠정적으로 사망률이 조대분진 보다는 미세분진에 기인하는 것으로 결론을 내리고 있다.

4. 미세분진로 인한 체감 오염도

미세분진과 관련한 시정감소현상은 체감환경지수로 작용되는 문제로 인식되고 있으며, 수도권에서 발생하는 시정감소 현상에 대한 연구들의 보고에 의하면 기체상태의 물질보다는 크기가 작은 입자(0.1~2.5 ㎛ 직경)들이 빛의 산란에 가장 큰 역할을 하고, 이러한 미세분진들은 대기중에 배출된 오염물질들의 물리, 화학적 반응에 의해 생성, 성장하게 되는데, 이때 생성과 성장은 상대습도에 의해 주로 영향를 받는 것으로 밝혀져 있다.

그림 4에서 맑은 날과 먼지가 많은 날을 비교한 것으로, 맑은 날은 화창하고 상쾌하지만 먼지가 많아서 흐린 날은 실제로 대기오염도와 관계없이 공기가 더럽고 음산한 느낌을 받는다. 따라서 미세분진의 농도에 따라 우리가 느끼는 체감오염도가 크게 달라진다.

이러한 분진은 여러 가지 물질로 구성되어 있으며, 특히 도시지역의 경우 황산염과 질산염, 암모늄이 주요 수용성이온성분이며 그리고 유기탄소, 원소탄소 및 기타(토양성분, 미량 중금속성분)등이 PM-2.5를 구성하고 있는 것으로 알려져 있다.

이러한 각 개별 물질들이 시정에 미치는 영향은 표 7 의 시정의 정도에 따라 PM-2.5중의 원인물질별 기여정도의 분포와 같다. 원인물질별 기여율은

그림 4. 덴버시의 청정한 날과 박무가 낀 날의 시정 비교

시정 5 km이하의 경우 10 km이상일 경우보다 황산염이 0.0414(km^{-1})에서 0.32209(km^{-1})로 증가하여 증가율이 약 7.8배, 질산염은 약 7.9배, 유기탄소화합물은 6.9배, 탄소입자는 3.4배, 잔여 입자상 물질은 2.0배로 나타나 황산염과 질산염, 유기탄소화합물과 같이 주로 2차생성 입자상 물질의 증가가 시정감소현상의 주요 원인물질임을 시사하고 있다.

그러므로 미세분진(PM-2.5)의 제어는 발생원에서부터 억제하는 것과, 도시대기중 가스상물질들의 반응등으로 인하여 발생되는 2차생성물질을 감소시키기 위한 노력이 필요하다.

5. 결 언

선진국을 보면 인간의 활동과도 밀접한 관련이 있는 미세먼지는 점점 세분화되어 그 규제기준이 종전의 PM-10에서 PM-2.5로 전환되고 있는 추세에 있다. 이는 인체기도의 해부학적 구조를 고려할 때 분진의 입경이 작을수록 깊숙이 침착될 확률이 클 뿐만 아니라, 분진의 입경이 작을수록 생체독성이 큰 물질로 구성되었을 가능성이 크기 때문이다.

따라서 각국의 PM-10의 기준이 PM-2.5로 입경이 작아지고 있는 것은 지극히 당연한 것이다. 또한 미세먼지에 대한 일반인들의 관심이 높아지면서 대기질 개선에 대한 국민적 욕구는 나날이 증가되어 가고 있는 반면, 정부의 노력으로 대기질의 수치들은 개선되어지는 효과를 나타나고 있으나, 국민들이 느끼는 체감환경지수는 나빠지고 있다.

그리고 미세먼지의 발생원의 특성에 따라 입자의 물리화학적 형태가 다름을 고려했을 때에, 인체에 미치는 영향 또한 다르게 나타날 것이다. 이러한 미세먼지의 중량에 따른 규제 기준만으로는 미세분진을 평가하기에 한계가 있으므로 입자의 중량중심의 측정법에서 개수측정법들의 새로운 측정방법의 도입도 고려해야 할 것이다.

쾌적한 환경을 추구하는 국민들은 경제가 발전할수록 상대적으로 더욱 심각한 체감오염을 실감할 것이며, 또한 국민들은 환경권 보호 및 알권리의 추구 차원에서 대기환경보전에 더욱 커다란 관심을 보일 것이다. 이에 따라 PM-10에 대한 기준의 강화 및 PM-2.5에 대한 기준을 신설하기 위한 방대한 연구조사가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 이것은 PM-2.5와 인체에 대한 위해성에 대한 분석과 현재 일반시민들의 노출 및 폭로수준, 그리고 PM-2.5의 물리적 화학적 특성, 시정과의 관계 또한 건성강하로 인한 자연 및 재산 피해, PM-2.5의 제어방안 등을 방대하게 조사, 연구하여 국민이 안락한 환경을 영위할 수 있게끔, 안전한 환경기준과

표 7. 시정장애시 PM-2.5중 화합물의 기여 분율

unit : (km^{-1})

Visibility(Km)	Sulfate	Nitrate	Organic Carbon	Element Carbon	Remainder
0~5	0.3209	0.2489	0.1378	0.2276	0.1446
	(28.1%)	(21.8%)	(12.8%)	(21.4%)	(13.2%)
5~10	0.0837	0.0646	0.0608	0.1202	0.1256
	(17.6%)	(13.2%)	(12.4%)	(25.8%)	(26.0%)
10 <	0.0414	0.0315	0.0199	0.0663	0.0720
	(15.7%)	(12.1%)	(7.8%)	(26.6%)	(28.6%)

관리방안이 정립되어야 할 것이다.

-참고문헌-

1. 김신도, 김종호, 김태식 역 (1995) 에어로졸, 동화기술.
2. 김신도, 김종호, 봉춘근 저 (2001) 대기오염방지공학, 향문사.
3. 김신도, 이정주, 이경용 (1995) 서울시민의 대기환경에 관한 인식 및 태도, 한국환경위생학회지 Vol.21, No.4, pp. 63~74.
4. 김신도, 한진석 (1996) 서울시 대기중 입자상 오염물질의 조성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, Vol.12, No. 4, pp.389~398.
5. 김신도, 한진석, 김병곤 (1996) 1994년 수도권 지역에서의 시정과 미세입자상물질 화학조성과의 관계해석, 한국대기보전학회지, Vol. 12, No. 4, pp. 377~387.
6. 김신도, 김태식(1997) 미세입자의 입경분포와 시정에 관한 연구, 대한환경공학회지, Vol.19, No. 12, pp. 1531~1538.
7. 국립환경연구원 (2001) 국내·외 대기환경관련 기준 및 동향.
8. Chow, J.H., J.G. Watson, Z. Lu D.H. Lowenthal, C.A. Frazier, P.A. Solomon, R.H. Thuillier and K. Magliano (1996) Descriptive analysis of PM at regionally representative locations during STVAQS/AUSPEX, Atmos. Environ, 30(12), 2079-2112.
9. Lodge, J.P., Chan, T.L. (1986) Cascade Impactor Sampling & Dats Analysis, American Industrial Hygiene Association
10. Pope Ⅲ, C.A., D.V. Bates and M.E. Raizenne (1995) Health effects of particulates air pollution : Time for reassessment? Environmental Health Perspectives, 103(5), 472-480
11. Seinfeld, J.H. (1986) Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, John willey & Sons.