

미세먼지의 건강영향

Health Effects of Ambient Particulate Matter

신 동 천 | 연세의대 예방의학교실 | Dong Chun Shin, MD

Department of Preventive Medicine, Yonsei University College of Medicine

E-mail : dshin5@yumc.yonsei.ac.kr

J Korean Med Assoc 2007; 50(2): 175 - 182

Abstract

Fine or ultrafine particulate matter (PM) is a mixture of solid and liquid particles, including carbon-centered combustion particles, secondary inorganics, and crustal-derived particles. Recently, ambient particulate matter has been regarded as a serious health problem in the Republic of Korea. This review focuses on the importance of PM-induced effects, and the adverse health effects from experimental and epidemiological studies. There is widespread evidence that short-term increases in particulate matter result in increased mortality and morbidity in adults and children, even at low levels. Considerable consistency between results from experimental and epidemiological studies has been observed for many health effects, including pulmonary diseases and cardiovascular diseases, although the biologic mechanisms of the health effects are unclear. The adverse health effects are reported to be more pronounced in susceptible population groups such as the elderly, children, or people with preexisting cardiovascular and respiratory conditions. In addition to short-term exposures, long-term exposure to particulate matter is also associated with an increase in total mortality, cardiopulmonary mortality, and respiratory morbidity. The present review suggests that despite a considerable amount of research over the last decades, both epidemiological and experimental studies are needed to further clarify the issues on the effects of fine and ultrafine particulate matter.

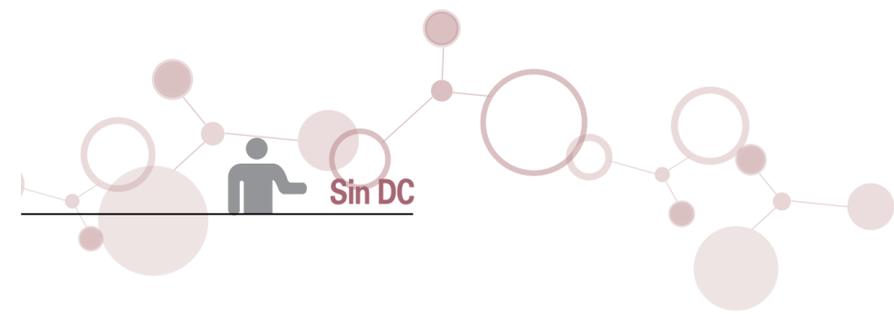
Keywords : Particulate matter; Epidemiology; Health effect; Cardiovascular disease

핵심 용어 : 미세먼지; 역학; 건강영향; 심혈관계 질환

서론

20세기 중반에 발생한 여러가지 대기오염 사건은 인간에게 많은 영향을 끼쳤다. 특히 대기오염으로 인한 사망률과 유병률의 증가는 중공업과 가정에서 소비되는 화석연료로 인한 대기오염의 중요성에 대해 일깨워준 중요한

계기가 되었다. 과거에는 오염물질 배출에 대한 규제가 강화된다면 대기오염이 인간의 건강에 큰 위협요소가 되지 않을 것으로 생각하였으나, 최근 미국, 유럽과 같이 대기오염 수준이 낮은 국가에서도 대기오염과 사망률 및 유병률 증가가 유의한 관련성이 있는 것으로 보고되고 있다. 이러한 인체영향은 주로 화석연료의 연소시 발생하는 미세먼지에 의



한 것으로 최근 여러 연구에서 보고하고 있다.

세계보건기구(1)에서는 매년 대기오염으로 인하여 3백만 명이 사망하는 것으로 보고하였으며, 사망자 수 측정의 불확실성을 고려할 경우에 실제 사망자는 140만명 내지는 600만명에 이를 것으로 추정하였다. 이 수치는 전 세계 매년 사망자(5천5백만명)의 5%에 달하는 수치이다.

우리나라에서도 1990년대 후반을 기점으로 대기오염에 대한 중요성을 인식하고, 대기오염으로 인한 사망률 또는 유병률에 대한 역학연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 우리나라는 다른나라에 비해 미세먼지의 농도가 상대적으로 높기 때문에 미세먼지 노출로 인한 위해성은 매우 높을 것으로 생각된다. 따라서 본 특별기고에서는 대기오염물질 중에서 현재 인체에 미치는 영향이 큰 것으로 알려져 있는 미세먼지를 중심으로 그 특성과 인체에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

미세먼지의 특성

1. 미세먼지

미세입자는 매우 복잡한 성분을 가진 대기 중에서 부유하고 있는 물질이며, 대부분 자동차 배기가스, 도로의 먼지 등으로부터 발생한다. 미세먼지의 크기와 성분은 매우 복잡하고 다양한데, 입자의 크기, 표면적, 화학적 조성이 건강영향을 결정하는 것으로 알려져 있다. 미세먼지의 노출은 호흡기 및 심혈관계 질환의 발생 뿐만 아니라 사망률의 증가와도 관련이 있는 것으로 보고하고 있다(2~4).

일반적으로 미세입자는 직경이 0.1~2.5 μm 이며, 극미세입자는 직경이 0.1 μm 미만인 물질을 의미한다. 이들 미세입자와 극미세입자는 대부분 화석연료의 연소에 의해 발생하는데, 연소입자는 탄소성분(elemental carbon)을 유기탄화수소(organic hydrocarbon), 질산염, 금속, 황산염 등이 둘러싸고 있는 구조를 가지며, 이 모든 성분이 입자의 독성에 중요한 역할을 하는 것으로 보고되고 있다.

미세먼지의 호흡기 영향은 주로 세기관지에서 염증반응을 일으킴으로써 발생하는데, 이러한 작용은 천식, 만성기관지염, 기도폐쇄 등을 일으키거나 악화시키는 작용을 하게 된

다. 또한 미세먼지는 폐 조직에서 박테리아의 불활성화 혹은 제거 작용을 방해함으로써 호흡기계 감염을 일으킬 수도 있다. 최근에는 미세먼지가 심근경색, 뇌졸중, 심박동수 이상, 급사 등과 같은 심혈관계질환의 중요한 위험요인으로 받아들여지고 있다.

미세먼지의 인체영향에 대한 기전은 현재 여러가지로 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 염증반응이다. 인간과 동물을 대상으로 한 연구에서 미세먼지의 흡입은 상부와 하부기도에서 염증반응을 일으키는 것으로 보고하고 있으며, 특히 활성산소와 산화스트레스를 증가시키는 것으로 알려져 있다.

현재까지 미세먼지 중 어떠한 물질이 활성산소를 생성하는가에 대해서는 논란의 여지가 있지만, PAHs, 퀴논, 구리, 크롬, 니켈, 철 등의 금속물질이 관련이 있는 것으로 보고하고 있다. 또한 기도의 상피세포와 대식세포 등이 활성산소를 생성하기도 하는데, 활성산소는 세포의 단백질, 지질, 세포막, DNA를 손상시키며, 국소적인 영향 뿐만 아니라 전신적인 작용을 일으키기도 한다. 따라서 항산화 작용과 관련된 유전자 돌연변이를 가진 사람의 경우에는 미세먼지에 의한 염증반응, 천식 증상, 알레르기성 반응이 쉽게 나타날 수 있다. 특히 만성 심장 질환을 앓고 있는 사람이나 폐 질환을 앓고 있는 사람, 당뇨병 환자의 경우에는 산화스트레스와 염증반응이 이들 질환의 중요한 발생원인으로 알려져 있기 때문에 대기오염물질에 노출되는 경우에는 상승작용에 의해 낮은 농도에서도 건강영향이 발생할 가능성이 매우 높다.

미세먼지에 의한 심혈관 질환의 발생은 비록 산화스트레스 및 염증반응의 증가와 밀접한 관련을 가지고 있지만 자율신경계의 장애와 혈액의 응고능력의 변화와도 관련이 있는 것으로 보고하고 있다. 하지만 자율신경계 장애의 원인에 대해서는 아직까지 알려져 있지 않다. 응고능력의 변화는 미세먼지를 흡입할 경우에 폐 혹은 혈관에서 유리되는 사이토카인이 응고인자와 간에서 항응고효소의 생성에 영향을 미쳤

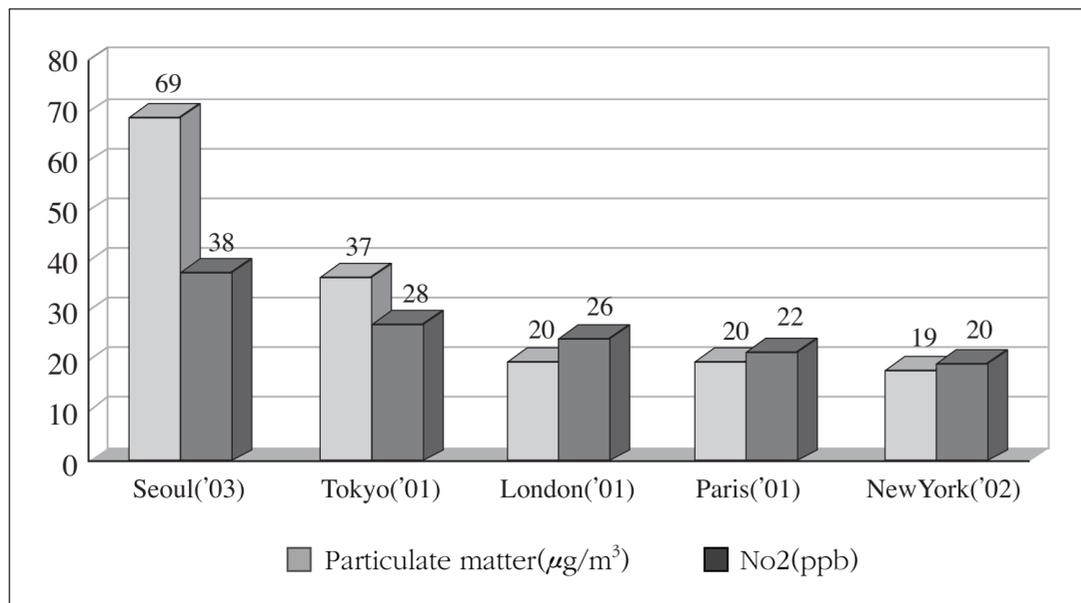


Figure 1. Air pollution in Korea (Ministry of Environment, 2003)

을 것으로 추정하고 있다.

특히 크기가 작을수록 폐포를 직접 통과해서 혈액을 통해 전신적인 순환을 할 수 있기 때문에 심혈관계 질환의 발생과 직접적인 관련이 있을 것으로 생각된다.

2. 극미세먼지

현재 우리나라 뿐 아니라 외국의 경우, PM10($\leq 10\mu\text{m}$) 혹은 PM2.5($\leq 2.5\mu\text{m}$)에 대한 중요성을 인식하고 다양한 규제장치를 마련하고 있지만 최근에는 이보다 더 작은 크기의 물질(예; 나노물질)의 잠재적 위험성이 더 큰 것으로 여러 연구에서 보고하고 있다.

최근에는 직경 100nm 이하인 극미세입자를 대상으로 많은 연구가 진행되고 있으며, 입자의 크기가 작을수록 표면적의 증가로 인해 인체 위해 또한 증가할 것이라는 의견이 지배적이다. 자동차 배기가스의 대부분이 극미세입자로 이루어져 있으며, 극미세입자는 도시지역 대기오염 증가의 주요 원인으로 알려져 있다.

같은 중량의 입자라 할 지라도 극미세입자는 그 표면적이 월등히 크기 때문에 세포로의 침투가 용이하고, 크기가 큰 입자에 비하여 폐나 기도 등의 인체 장기에 쉽게 흡수되고, 또한 폐에서 세포와의 반응성이 증가하는 것으로 알려져 있다(6, 7).

Nemmar 등(2001)은 햄스터를 이용하여 나노물질을 기관지 주입하고, 이들 물질이 어떠한 장기에 분포하는지를

조사하였는데, 기관지 주입 30분 뒤에 햄스터의 주요 장기에 직접 나노물질이 침투하여 분포하고 있음을 보여주었다.

일반적인 미세입자는 중량을 평가하는 데 비해 극미세입자는 그 크기가 매우 중요하다. Ferin 등(1994)과 Oberdorster 등(1992)의 연구에 따르면, 입경이 큰 입자보다 극미세 입자가 더 큰 염증 반응을 야기한다는 결과를 제시하였으며, Seaton 등(1995)의 연구에서도 극미세입자의 경우 표면

적이 넓기 때문에 인체 내에서 염증 반응을 활성화하는 데 중요한 대식 세포와 상피 세포와의 반응성이 증가하였다는 연구 결과를 발표하기도 하였다. 또한 Stone 등(1999)의 연구에서는 극미세입자의 표면적이 체내에서 독성 활성산소 생성과 관련이 있는 것으로 보고하였다. 최근 전 세계적으로 나노 소재 물질에 대한 관심이 집중되고 있으며, 또한 나노물질이 광범위하게 사용되고 있기 때문에 이들 물질이 인간에게 미칠 잠재적 위험성은 매우 크다고 할 수 있을 것이다. 그러나 아직까지 그 잠재적 위험성에 비해 인체영향에 대한 연구는 체계적으로 이루어지고 있지는 않다.

역학연구 결과

1980년대 후반부터 미세먼지의 인체영향에 대한 보고가 있었지만 대중의 주목을 받게 된 것은 Dockery 등(1993)이 발표한 '미국 6개 도시에서의 대기오염과 사망과의 관련성에 대한 연구' 일 것이다. 이 연구에서 대기오염물질 중에서도 미세먼지가 사망률과 밀접한 관련성이 있는 것으로 보고하면서 미세먼지에 대한 환경보건학적 중요성이 대두되기 시작하였다. Samet 등(2000)은 미국 20개 도시를 대상으로 1987년부터 1994년까지 미세먼지와 사망률과의 관련성에 관한 연구 결과를 발표하였는데, 미세먼지의 농도가 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할수록 전체 사망률은 0.51% 증가하였고, 심장 혈관 및 호흡기계 질환으로 인한 사망은 0.68% 증가한 것으로 보고

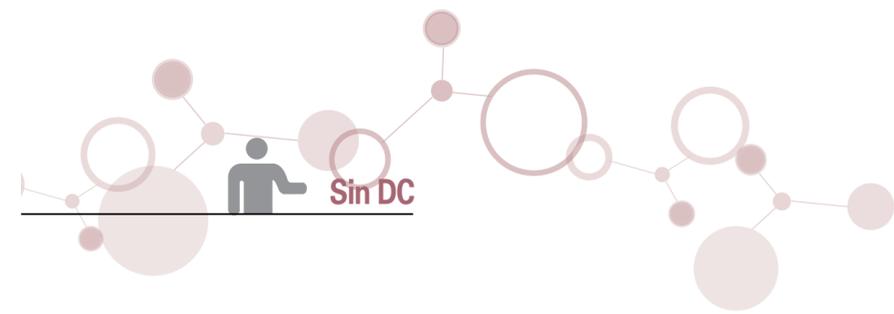


Table 1. PM mortality associations for specific causes of cardiopulmonary deaths based on pathophysiological pathways

Cause of Death	Accelerated Progression of COPD	Inflammation/Accelerated Atherosclerosis	Altered Cardiac Autonomic Function
<i>All Cardiovascular diseases</i>		↑	↑
Ischemic heart disease	...	↑↑↑	↑
Dysrhythmias, heart failure, cardiac arrest	...	↑↑	↑↑↑
Hypertensive disease	...	↑	↑
Other atherosclerosis, aortic aneurysms	...	↑↑↑	...
Cerebrovascular disease	...	↑↑	...
All other cardiovascular diseases	...	↑	...
<i>Diabetes</i>	...	↑↑	...
<i>All Respiratory diseases</i>	↑↑
COPD	↑↑↑

Source : Modified from Pope CA (2004)

하였다.

최근에는 Pope 등(2002)이 미세먼지 장기 노출과 폐암 및 심혈관질환 사망률과의 관련성에 대한 논문을 발표하면서 미세먼지의 보건학적 중요성이 더욱 더 강조되고 있다. 이 연구에서 Pope 등(2002)은 미국 암 예방연구(Cancer Prevention Study II)의 대상자 120만명을 전향적으로 추적한 결과 미세먼지 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때마다 전체 사망위험은 4% 증가하고, 심혈관계 사망은 6%, 암으로 인한 사망은 8% 증가하는 것으로 보고하였다. 이러한 역학연구 결과는 미세먼지의 노출은 단순히 호흡기계의 영향 뿐 아니라 암과 심혈관계 질환 등과 같은 전신적인 질환과도 관련이 있음을 의미한다.

우리나라에서도 1990년대 후반 일부 의학자와 보건학자에 의해 미세먼지의 건강영향에 관한 연구 결과가 보고되기 시작하였으며, 최근에는 고령자와 영·유아 등 민감집단을 대상으로 한 역학연구 결과가 지속적으로 보고되고 있다.

Hong 등(1999)은 인천 지역을 대상으로 미세먼지와 사

망과의 관련성을 연구한 결과, 미세먼지 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때마다 전체 사망률은 0.8% 정도 증가하는 것으로 보고하였으며, 미세먼지 외에도 대기 중의 NO_2 , SO_2 , CO가 사망률과 관련이 있는 것으로 보고하였다. 서울 지역을 대상으로 한 역학연구에서는 대기 중의 미세먼지, NO_2 , SO_2 , CO, 오존 농도가 증가할수록 허혈성 심장 질환 및 급성 뇌졸중으로 인한 입원과 사망이 증가하는 것으로 조사되었으며, 특히 노령인구와 여성이 대기오염에 민감한 것으로 나타났다(17, 18).

1. 대기오염 민감집단

일반적으로 환경노출 민감집단이란 실외 및 실내의 환경 중 화학적, 물리적 인자에 노출되었을 때 건강한 일반 인구집단보다 민감하게 독성영향이

나타나는 특정 인구집단을 의미한다. 실내 및 대기오염, 특히 미세먼지 노출에 민감한 집단과 질병발생 위험이 높은 집단을 정확하게 말하기는 어렵지만 고령자, 어린이, 만성 질환을 앓고 있는 환자, 천식 환자 등이 대표적이라고 할 수 있을 것이다(Table 2).

2. 어린이에 대한 건강영향

최근 우리나라에서는 대기오염에 민감한 집단으로 알려진 어린이를 대상으로 한 연구 결과가 최근 지속적으로 발표되고 있다.

Ha 등(2003)은 서울에서 대기오염과 영아 사망과의 관련성에 관한 주목할 만한 연구 결과를 발표하였는데, 이 연구에서 미세먼지에 노출된 어린이에게서 호흡기계 질환으로 인한 사망률이 유의하게 증가하였으며, 미세먼지가 $42.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하는 경우에 영아 사망률이 14.2%나 증가하는 것으로 보고하였다.

어린이는 폐 기능이 발달하는 단계로 이 시기에 호흡기가

Table 2. Susceptible populations to adverse health effects from PM exposure

Health effects	Who's susceptible
Acute exposure	
Mortality	Elderly, Infant and children, persons with cardiopulmonary disease, pneumonia, influenza, or asthma
Hospital admission/visit	Elderly, Infant and children, persons with cardiopulmonary disease, pneumonia, influenza, or asthma
Increased respiratory symptom	People with Asthma and children
Decreased pulmonary function	Children and adults
Blood viscosity, heart rate variability, pulmonary inflammation	All
Chronic exposure	
increased mortality rates, chronic cardiopulmonary disease, reduced lung function	All

Source: modified from Pope CA (2000)

위험물질에 노출이 된다면, 성인기의 폐 기능에도 영향을 미칠 수 있다. Gauderman 등(2004)은 캘리포니아 지역의 12개 학교 1,759명을 대상으로 10세에서 18세까지 8년간 폐기능을 추적 조사한 결과, 대기오염물질에 많이 노출된 집단이 노출되지 않은 집단에 비해 폐기능이 낮을 가능성(1초간 노력성 호기량[FEV1]이 정상인의 80% 이하인 경우)이 4.9배나 높은 것으로 조사되었으며, 임신중 흡연으로 인해 태아가 영향을 받은 것과 같은 정도로 폐기능에 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 최근 Kulkarmi 등(2006)의 연구에서는 자동차 배기가스 미세먼지에 노출된 어린이의 경우 호흡기계 대식세포 속의 탄소와 미세먼지 노출이 서로 용량-반응관계에 있음을 보고하여, 미세먼지 노출로 인한 폐기능 이상의 생물학적인 관련성을 밝혔다. 우리나라에서도 Kim 등(2005)이 인천과 강화도에 거주하는 중학생을 대상으로 한 연구에서 미세먼지가 폐기능 저하와 관련이 있음을 보고하였다.

이러한 연구 결과는 대기오염이 기준치 이하로 유지된다고 하더라도 어린이와 같이 민감한 집단에는 심각한 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미하는 것으로 환경보건학적으로는 매우 중요한 결과라 할 수 있다. 특히 폐기능의 저하는 성인에 있어서 심장혈관 질환, 당뇨병 등의 발생위험을 증가시키는 것으로 최근 역학연구 결과에서 보고하고 있기 때문에 더욱 중요하다고 할 수 있다. 또한 대기오염물질에 고농도

로 노출될 경우 산모와 태아에 영향을 미쳐 조산과 저체중아의 출산 위험이 증가한다는 연구 결과도 최근에 발표되고 있다(23).

3. 기저질환자(당뇨, 심장혈관질환 등)에 대한 건강영향

만성질환을 앓고 있는 사람들을 대상으로 미세먼지의 건강영향에 대한 역학연구 결과가 최근 발표되고 있다. Wheeler 등(2006)은 심장 질환을 앓고 있는 사람들과 만성폐쇄성 폐질환을 앓고 있는 사람을 대상으로 급사(sudden death)의 주

요한 위험요인으로 알려져 있는 심박동수 변화(heart rate variability)를 조사하였는데, 기저질환을 가진 경우에 유의하게 관련성이 높은 것으로 보고하였다. 특히 당뇨병 환자의 경우 Antonella 등(2002)의 연구에 의하면미세먼지에 노출될 경우 심장혈관계 질환으로 입원할 위험이 당뇨병이 없는 사람에 비해 2배나 높은 것으로 보고하였다.

Thomas 등(2004)은 미국 일리노이 지역에 거주하는 65,180명의 노인을 대상으로 미세먼지에 노출되었을 경우에 민감하게 독성영향이 나타나는 집단을 알아보기 위한 연구를 실시하였는데, 이 연구에서는 미세먼지 농도가 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 전체 대상자의 사망률은 1.14% 증가하였지만, 심근경색이 있었던 사람은 그렇지 않은 집단에 비해 2.7배, 당뇨병을 가지고 있는 사람은 2.0배 사망률이 높은 것으로 보고하여 심장혈관계 질환이나 당뇨병을 앓고 있는 사람이 더욱 미세먼지의 노출에 영향을 받는 것으로 보고하였다.

우리나라에서는 권호장 등(2001)이 심장기능 이상자(심부전 환자)를 대상으로 조사한 결과, 대기오염물질에 따라 차이가 있지만 대기오염물질 노출에 의한 사망위험이 일반 인구집단에 비해 약 2.5배 높은 것으로 보고하였다.

연구 동향

대기오염과 관련된 초기 연구는 주로 사고와 관련된 연구

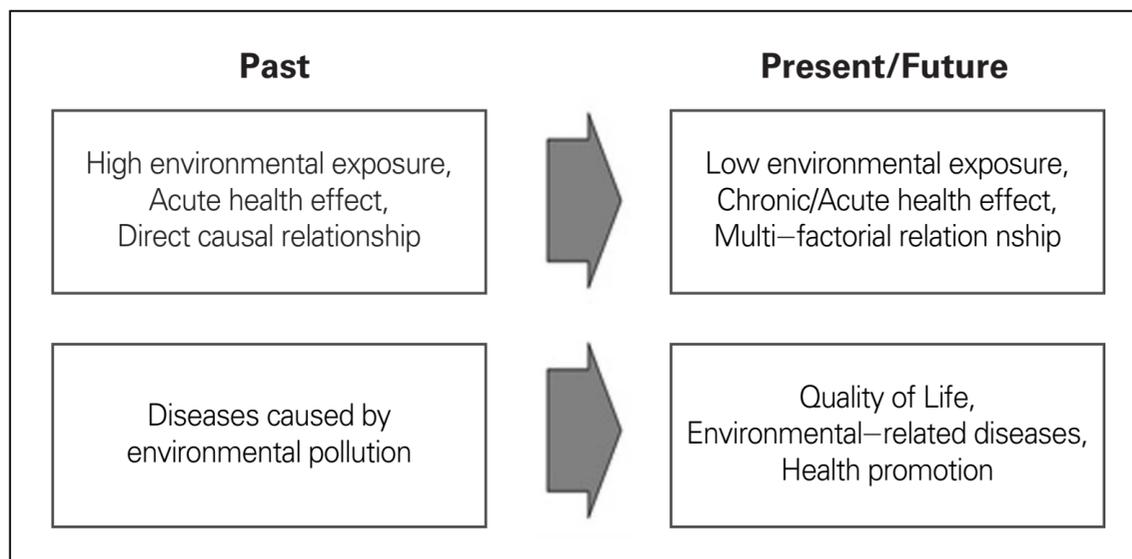
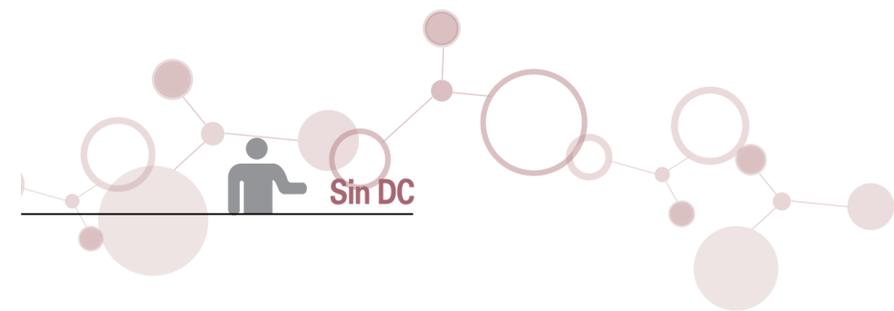


Figure 2. Environmental health policy in Korea

가 대부분으로, 아주 높은 농도의 오염물질에 노출되어 발생한 사망 혹은 이환율에 대한 보고 위주였기 때문에 초기의 환경보건정책(clean air act 등)도 이러한 고농도의 대기 오염 배출에 초점을 맞추어서 실행되었다. 하지만 1960년대부터 1980년대까지 기준 이하의 대기오염에 의한 인체영향에 대한 연구가 꾸준히 진행되었다. 1989년부터 1995년까지 몇몇 역학 연구에서 기준 이하의 미세먼지 농도가 건강에 영향을 미칠 수 있다는 결과들이 보고되면서 미세먼지 기준에 대한 재검토를 시작하게 되었으며, 배기가스와 관련된 대기오염 물질, 특히 극미세먼지에 대한 역학적, 독성학적 영향에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다(28).

특히 도시 혹은 공단지역에서 대기오염도가 기준 이하라 할 지라도 민감집단 혹은 장기간 노출될 경우, 인간에게 악영향을 끼칠 수 있다는 연구 결과가 지속적으로 보고되면서 대기오염 기준에 대한 논쟁이 현재 활발하게 진행되고 있다. 과거에는 대기오염으로 인한 호흡기계 질환의 발생과 이로 인한 사망에만 초점을 맞추었으나, 최근에는 심장혈관 질환, 뇌혈관 질환 등의 전신적인 질환으로 연구의 범위가 확대되고 있으며, 중요한 연구 결과들이 지속적으로 발표되고 있다. 특히 어린이를 대상으로 폐 성장과 미세먼지 농도와의 관련성에 대한 역학연구 결과(20), 미세먼지로 인한 건강영향은 안전 농도가 없는 선형의 용량-반응관계를 보이는 것으로 보고하였는데, 이는 대기기준 설정에 중요한 판단기준이 될 것으로 생각된다.

최근 미국에서는 미세먼지와 이로 인한 건강영향에 대한

연구를 하기 위해 1999년부터 5개 기관을 대상으로 미세먼지 연구센터 (Particulate matter center)를 지정하여 연구를 시작하고 있으며, 최근에는 연구범위를 넓혀 나노물질까지 포함하고 있다.

또한 극미세(나노)입자의 인체영향 규명을 위한 여러 연구를 진행하고 있는데, 특히 순환기질환과의 관련성에 대한 연구가 현재 활발히 진행되고 있다. 미국의 경우 현재 순환

기질환과 대기 중 미세먼지의 장기적인 노출과의 관련성에 대한 대규모의 환경역학연구(2004 ~ 2014년, 3천만불)를 진행하고 있으며, 최근에는 EPA, NSF(National Science Foundation), NIOSH(National Institute for Occupational Safety and Health)에서 “Environmental and human health effects of manufactured nanomaterials”를 주제로 극미세입자(나노물질)의 인체 위해성에 대한 연구를 진행하고 있다.

우리나라에서도 최근 미세먼지 뿐만 아니라 극미세입자(나노물질)에 대한 잠재적인 위해성을 인식하고 관련 분야 연구가 활발히 진행되고 있다.

결론

우리나라는 지난 30~40년간 급격한 공업화와 도시 집중화로 인하여 환경은 지속적으로 악화되어 왔으며, 특히 대도시의 환경오염은 심각할 정도이다. 청정연료의 사용, LNG, LPG 등의 공급확대 등의 저감정책과 배출오염물질 규제 강화로 인하여 SO₂, CO, 총 부유분진(TSP) 농도는 점차 감소하고 있지만, 자동차의 급격한 증가로 인하여 미세먼지, 오존, 질소산화물, 탄화수소류와 같은 오염물질은 오히려 증가하는 경향을 보이고 있다. 비록 본 특별기고에서는 오존, 질소산화물, 탄화수소류 등의 인체 영향에 관한 내용은 포함하지 않았지만, 오존의 경우도 Bell 등(2004)이 미국에서 1987년부터 2000년까지 95개 도시를 대상으로 연

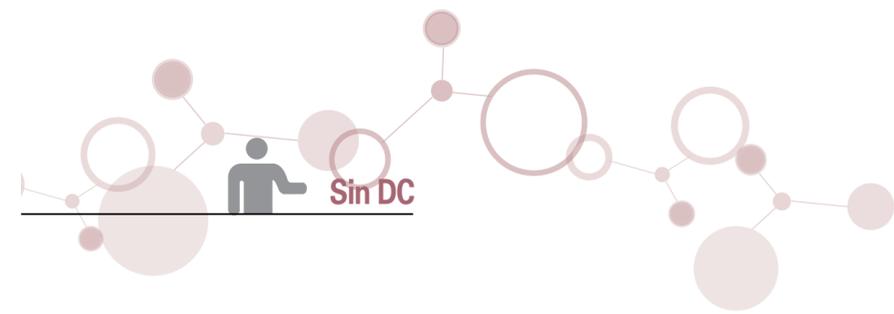
구한 결과, 짧은 기간 동안의 오존 농도변화도 전체 사망위험을 0.52% 증가시키고, 심장혈관 질환과 호흡기 질환으로 인한 사망을 0.64% 증가시키는 것으로 보고하였다.

대기오염과 인체 영향을 연구하는 것이 산업계 혹은 정부에 부정적인 영향만을 끼치지 않는 것으로 생각된다. 왜냐하면, 대기오염과 관련된 다양한 연구 결과들은 전체 사회적인 관점에서는 정책입안자나 국민들로 하여금 대기오염을 줄이려는 노력을 하게 함으로써 대기오염으로 인한 질병을 효과적으로 예방할 수 있을 것이며, 부가적인 가치를 창출할 여지가 있기 때문이다.

앞으로 우리나라의 환경의학 및 환경보건 분야는 과거의 고농도 환경노출, 질병이나 공해병 중심의 정책이나 연구로부터 인간의 삶의 질을 향상시키고, 건강을 증진시키기 위한 수용체(인간, 생태계) 중심의 정책으로 발전해 나가야 할 것이며, 이러한 분야에 대한 연구지원이 활발하게 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. WHO (World Health Organization). Air Pollution including WHO's 1999 Guidelines for Air Pollution Control. Geneva, Switzerland, 2000.
2. Dockery DW, Pope CA. Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annu Rev Pub Health* 1994;15:107-132.
3. Schwartz J. What are people dying of on high air pollution days? *Environ Res* 1994;64:26-35.
4. Katsouyanni K, Touloumi G, Spix C, Schwartz J, Balducci F, Medina S, Rossi G, Wojtyniak B, Sunyer J, Bacharova L, Schouten JP, Ponka A, Anderson HR. Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: Results from time series data from the APHEA project. *BMJ* 1997;314:1658-1663.
5. Pope CA, Burnett RT, Thuston GD, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Godleski JJ. 2004. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution. *Circulation* 2004;109:71-77.
6. Seaton A, MacNee W, Donaldson K, Godden D. Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet* 1995;345:176-178.
7. Utell MJ, Frampton MW. Acute health effects of ambient air pollution: The ultrafine particle hypothesis. *J Aerosol Med* 2000; 13:355-359.
8. Nemmar A, Vanbilloen H, Hoylaerts MF, Hoet PH, Verbruggen A, Nemery B. Passage of intratracheally instilled ultrafine particles (< 80nm) from the lung into the systemic circulation in hamster. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164:1665-1668.
9. Ferin J. Pulmonary retention and clearance of particles. *Toxicol Lett* 1994;72:121-125.
10. Oberdorster G, Ferin J, Gelein R, Soderholm SC, Finkelstein J. Role of the alveolar macrophage during lung injury: studies with ultra-fine particles. *Environ. Health Perspect* 1992;97: 193-199.
11. Stone PH, Godleski JJ. First steps toward understanding the pathophysiologic link between air pollution and cardiac mortality. *Am Heart J* 1999;138:804-807.
12. Dockery DW, Pope CA 3rd, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG Jr, Speizer FE. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med* 1993; 329:1753-1759.
13. Samet JM, Dominici F, Curriero FC, Coursac I, Zeger SL. Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities, 1987-1994. 2000;343:1742-1749.
14. Pope CA 3rd, Burnette RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K, Thurston GD. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002;287:1132-1141.
15. Pope CA. Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: biologic mechanism and who's at risk. *Environ Health Perspect* 2000;108:713-723.
16. Hong YC, Leem JH, Ha EH, Christiani DC. PM(10) exposure, gaseous pollutants, and daily mortality in Incheon, South Korea. *Environ Health Perspect* 1999;107:873-878.
17. Hong YC, Lee JT, Kim H, Ha EH, Schwarz J, Christiani DC. Effects of air pollutants on acute stroke mortality. *Environ Health Perspect* 2002;110:187-191.
18. Lee JT, Kim H, Cho YS, Hong YC, Ha EH, Park H. Air pollution and hospital admissions for ischemic heart diseases among individuals 64+ years of age residing in Seoul, Korea. *Arch Environ Health* 2003;58:617-623.
19. Ha EH, Lee JT, Kim H, Hong YC, Lee BE, Park HS, Christiani DC. Infact susceptibility of Mortality to air pollution in Seoul, South Korea. *Pediatrics* 2003;111:284-290.
20. Gauderman WJ, Avol E, Gililand F, Vora H, Thomas D, Berhane K, McConnell R, Kuenzli N, Lurmann F, Rappaport E, Margolis H, Bates D, Peters J. The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *N Engl J Med* 2004; 351:1057-1067.
21. Kulkarni N, Pierse N, Rushton L, Grigg J. Carbon in airway macrophages and lung function in children. *N Engl J Med* 2006;355:21-30
22. Kim JH, Lim DH, Kim JK, Jeong SJ, Son BK. Effects of parti-



- culate matter (PM10) on the pulmonary function of middle-school children. *J Korean Med Sci* 2005;20:42-45.
23. Leem JH, Kaplan BM, Shim YK, Pohl HR, Gotway CA, Bullard SM, Rogers JF, Smith MM, Tylenda CA. Exposures to air pollutants during pregnancy and preterm delivery. *Environ Health Perspect* 2006;114:905-910.
 24. Wheeler A, Zanobetti A, Gold DR, Schwartz J, Stone P, Suh HH. The Relationship between Ambient Air Pollution and Heart Rate Variability Differs for Individuals with Heart and Pulmonary Disease. *Environ Health Perspect* 2006;114:560-566.
 25. Antonella Z, Schwartz J. Cardiovascular Damage by Airborne Particles: Are Diabetics More Susceptible? *Epidemiology* 2002;13:588-592.
 26. Thomas B, Schwartz J. Who is Sensitive to the Effects of Particulate Air Pollution on Mortality?: A Case-Crossover Analysis of Effect Modifiers. *Epidemiology*. 2004;15:143-149.
 27. Kwon HJ, Cho SH, Nyberg F, Pershagen G. Effects of ambient air pollution on daily mortality in a cohort of patients with congestive heart failure. *Epidemiology* 2001;12:413-419.
 28. Pope CA. Air pollution and health—good news and bad. *N Engl J Med* 2004;351:1132-1134.
 29. Bell ML, McDermott A, Zeger SL, Samet JM, Dominici F. Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987-2000. *JAMA* 2004;292:2372-2378.