

중 설

대기분진에 의한 건강영향

홍윤철, 조수현¹⁾

인하대학교 의과대학 산업의학과, 서울대학교 의과대학 예방의학교실 및 의학연구원 환경의학연구소¹⁾

Health Effects of Ambient Particulate Pollutants

Yun-Chul Hong, Soo-Hun Cho¹⁾

Department of Occupational Medicine, Inha University College of Medicine;
Department of Preventive Medicine, Seoul National University College of Medicine and Institute of Environmental Medicine, SNUMRC¹⁾

Recently, numerous studies have focused on the health effects of ambient particulate pollutants. Compared to earlier studies that focused on severe air pollution episodes, recent studies are more relevant to understanding the health effects of air pollution at levels common to contemporary cities. We reviewed recent epidemiologic studies that evaluated health effects of particulate air pollution and concluded that respirable particulate air pollution is an important contributing factor to acute mortality and morbidity. We observed increased respiratory and

cardiovascular deaths, increased hospital admissions and visits, and decreased lung function. We also observed increased mortality and morbidity in a Korean population. These health effects were observed at levels below the current Ambient Air Quality Standard for particulate air pollution.

Korean J Prev Med 2001;34(2):103-108

Key Words: Particulate air pollution, Mortality, Morbidity

서 론

대기분진은 대기중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상 물질을 지칭하는데 보통 0.1~500 μm 의 입경범위를 가지며, 입자의 크기에 따라 무거워서 침강하기 쉬운 것을 강하분진이라 하고, 입자가 미세하고 가벼워서 좀처럼 침강하기 어려워 장기간 대기 중에 떠다니는 것을 부유분진이라 한다. 대기분진의 성상을 보면 주로 고체상 물질이지만, 액체상 물질로 이루어질 수도 있으며 그 안에 납, 구리, 크롬, 아연, 카드뮴 등과 같은 중금속물질이 들어 있기도 하고, 황산염, 질산염 등과 같은 산성 유해물질이 함유되어 있기도 하다. 이러한 조성은 대기분진이 어느 발생원으로부터 나왔는가에 따라 달라지므로 분진의 성상을 한마디로 정의하는 것은 매우 어렵다. 대기분진의 분류를 보

면 대기중에 부유하고 있는 전체 분진을 총부유분진(Total Suspended Particles; TSP)이라 하고, 인체에 흡입되어 폐포에 침착될 가능성이 큰 분진, 즉 직경이 10 μm 이하인 분진을 미세분진(particulate matter less than 10 μm in diameter; PM 10)이라 하여 대부분의 지역에서 별도로 측정하고 있다. 최근에는 PM10중에서도 실질적인 인체영향을 미치는 것으로 알려진 직경이 2.5 μm 이하인 입자를 PM2.5이라 하여 이에 대한 측정 및 연구들이 진행되고 있다.

이러한 대기분진에 대하여 여러 연구자들이 건강영향과의 관련성을 보고하고 있다. 초기의 보고들은 1930년의 벨기에의 Meuse Valley 사건, 1948년의 Pennsylvania의 Donora 사건, 그리고 1952년의 유명한 London 사건 등과 같이 질병과 사망이 대량으로 초래되는 심각한

대기오염사건들이었다. 이러한 초기의 연구보고들은 당시의 대기오염이 수명에 직접 영향을 미치는 심각한 수준임을 나타내는 것이다.

한편, 초기의 대기분진 역학연구중 이와는 다른 두가지 중요한 연구결과가 있었는데, 첫째는 London 지역에서 전체 평균 호흡기질환사망률이 smoke와 유의한 관련이 있었다는 것이고[1], 둘째는 London 지역의 근로자는 London 보다 분진과 아황산가스(SO₂) 농도가 반정도 되는 지방의 근로자에 비하여 FEV1이 유의하게 감소하였다는 것이다[2]. 이는 대기오염에 의한 건강영향을 구체적으로 정량화하려는 연구들로서 최근의 대기분진농도와 연관된 역학연구들과 맥을 같이 하고 있다. 오늘날에는 보다 개선된 대기오염노출과 건강영향평가와 발전된 통계학적 기법을 적용함으로써 대기분진에 의한 건강영향을 보다 정확하게 평가할 수 있게 되었는데, 예를 들어 포아송회귀

분석(Poisson regression analysis), 로지스틱회귀분석(logistic regression analysis), 및 비모수적 분석 등은 여러 가지 방법론을 적용한 역학적 연구들을 가능하게 하였다.

우리나라에서는 선진외국에 비하여 늦기는 하였지만 최근에 매우 활발하게 대기분진에 의한 건강영향을 분석하는 역학적 연구결과들이 발표되고 있어 지역적, 사회경제적, 인구학적 특성이 다른 외국의 자료에 의존한 해석에서 벗어나 대기분진의 건강영향을 정확하게 평가하고 관리할 수 있는 때가 멀지 않은 장래에 올 것으로 기대한다.

본고에서는 대기분진의 건강영향에 대하여 보고한 역학적 연구들을 중심으로 정리하였다. 대기분진 역학연구를 모두 정리할 수는 없었고 또 모든 연구들에 같은 의미를 부여하기도 어려워서 편의상이 연구들을 주제별로 나누어서 사망에 미치는 급성영향 연구와 만성영향 연구, 병원방문연구, 영아 및 소아연구 등 최근의 중요한 논문을 중심으로 정리하였다. 또한 우리나라의 대기분진관련 역학연구도 건강영향을 중심으로 정리하였다. 대기분진의 영향에 대한 여러 연구들이 자료의 질적 문제나 분석방법론적인 문제가 없는 것은 아니나, 본고의 목적은 이들을 비판적으로 고찰하는 것이 아니라 대기분진에 대한 연구결과들에 의하여 어떠한 건강영향이 나타나는지를 도출하여 정리하고자 하는 데 있다.

사망에 미치는 급성영향 연구

대기분진에 의한 건강영향 중 가장 놀라운 연구결과들은 대기분진농도의 단기적인 변화가 일별 사망수의 변화를 초래한다는 것이다. 대기분진의 측정이 서로 다르고 연구간의 직접적인 비교가 다소 어렵기는 하지만 대부분의 연구에서 직경 10 마이크로 이하의 미세분진(particulate matter less than 10 μm in diameter; PM10)이 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 일별사망률이 0.5-1.5% 정도 증가하는 것을 보고하고 있다[3]. 사망을 질병별로

분류하여 본 연구에서는 호흡기질환으로 인한 사망이 대기분진과 가장 강한 관련성을 보였고 심혈관계질환으로 인한 사망도 통계적으로 유의한 관련성을 나타내었다[4,5].

대부분의 급성사망연구는 포아송 Poisson 회귀분석을 이용한 시계열연구 방법을 이용하였는데 이러한 연구들의 결과 대기분진과 일별사망률의 관련성은 아황산가스나 오존과 같은 다른 오염물질이나 기상변수에 의한 혼란효과에 의한 것은 아니라는 것을 나타내고 있다.

최근 Johns Hopkins의 Samet 등의 연구자는 여러 도시에 걸친 대기오염의 영향을 조사하는 표준화된 방법론을 개발하였고 공동으로 다수 오염물질의 영향, 수명단축의 정도, 그리고 대기측정자료의 이용에서 오는 노출측정오차 등을 조사할 수 있는 최신의 통계적 기법을 개발하여 National Morbidity, Mortality and Air Pollution Study (NMMAPS)를 수행한 바 있다[6]. 90개 대도시 연구에서 NMMAPS는 대기분진과 일별사망률의 증가가 관련이 있다는 강력한 증거를 나타내었는데, 평균적으로는 PM10이 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 총사망이 0.5% 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 영향은 총사망보다 심폐질환으로 인한 사망일 때 조금 더 높게 나타났고 대기분진과 사망률의 관련성은 다른 오염물질을 포함하였을 때도 유의하게 나왔다. Samet 등[7]은 NMMAPS중 다시 미국의 20개 대도시의 대기오염물질과 건강영향을 평가하여 New England Journal of Medicine에 게재하였는데 이 연구에서도 미세대기분진 농도의 증가는 일별총사망 및 심폐질환에 의한 일별사망증가와 관련이 있다는 것을 보고하고 있다.

일별사망연구에서 대기오염영향은 당일의 영향만이 아니라 수일간 지속될 수 있기 때문에 전체 위험도를 평가할 때 지연영향(lag effect)를 고려하는 것이 타당할 것이다. Schwartz[8]는 지연영향에 대한 최근의 연구에서 NMMAPS 연구에서와 같이 지연영향을 하루만 가정한다면 PM10이 사망률에 미치는 영향을 과소평

가할 수 있다는 것을 보고하였고 지연영향이 수일간에 걸쳐 지속된다는 가정을 갖고 분석하면 지금까지 알려진 것 보다 조기사망의 위험도는 거의 두배로 높아진다고 보고 있다. 노출원에 따라서 사망률 증가에 미치는 영향도 다를 수 있는데 Laden 등[9]은 자동차로부터 배출된 PM2.5의 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가는 일별사망 3.4%의 증가와 관련이 있고 석탄연료연소로부터 배출된 PM2.5의 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가는 일별사망 1.1%의 증가와 관련이 있으며 흡연자는 사망률증가와 관련이 없었다고 보고하였다.

이러한 대기분진에 의한 일별사망연구는 미국이외의 지역에서도 활발하게 수행되었으며 특히 유럽에서는 Air Pollution and Health: A European Approach (APHEA) 라는 연구를 통하여 12개의 유럽도시에서의 사망률에 대한 대기오염물질의 영향을 살펴보았는데 이 연구에서도 PM10과 아황산가스가 일별사망률 증가와 관련이 있다는 것을 보고하였다[10]. 미국 이외의 도시들, 예컨대 Bangkok[11], Shenyang[12], Christchurch[13], Semarang[14], Mexico City[15], Sydney[16] 등에서 행하여진 연구에서도 일관성 있는 결과들이 나오기 때문에 이는 대기분진과 사망사이의 원인적 연관성을 보다 분명하게 하고 있다(Table 1).

사망에 미치는 만성영향 연구

대기분진의 만성노출에 의한 건강영향 연구는 크게 생태학적인 단면연구와 코호트 역학연구로 나누어 볼 수 있다. 생태학적인 연구는 도시별 사망률과 대기분진의 농도와의 관련성을 분석한 연구들인데 이러한 연구에서도 대기분진, 특히 미세분진과 사망률의 관련성을 나타내고 있다. 그러나 생태학적인 연구는 흡연이나 기타 개인의 위험요인들을 보정하지 못하였다는 단점 외에도 사회경제적, 인구학적 특성 등에 의한 영향에 민감하다는 문제가 있다.

이에 비하여 코호트 역학 연구는 연령,

Table 1. 대기분진이 일별사망률에 미치는 급성효과에 대한 미국 및 유럽 이외의 지역 연구

저 자	지 역	소 건
Ostro et al., 1999 [11]	Bangkok, Thailand	PM10 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 전체 사망률은 1-2%, 심혈관계 사망률은 1-2%, 호흡기계 사망률은 3-6% 증가
Zu et al., 2000 [12]	Shenyang, China	TSP가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 전체 사망률은 1.7%, 심혈관계 사망률은 2.1% 증가하였다. 만성호흡기질환에 의한 사망률은 2.6% 증가하였으나 통계적으로 유의하지 않았다.
Hales et al., 2000 [13]	Christchurch, New Zealand	PM10이 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 전체 사망률은 1%, 호흡기계 사망률은 4% 증가
Browne et al., 1999 [14]	Semarang, Indonesia	주도로주변의 TSP 농도의 증가는 전체 사망률 및 호흡기계 사망률 증가와 유의한 관계가 있었다.
Borja-Aburto et al., 1998 [15]	Mexico City, Mexico	PM2.5 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 전체 사망률은 1.4% 증가하였고 이러한 사망률 증가는 심혈관계 질환과 호흡기계질환에서 보다 뚜렷하였다. 65세 이상에서 사망률 증가가 보다 크게 나타났다.
Morgan et al., 1999 [16]	Sidney, Australia	대기분진농도가 10분위에서 90분위로 증가할 때 전체 사망률은 2.63%, 심혈관계 사망률은 2.68% 증가

성, 흡연 및 기타 위험요인들을 직접적으로 통제한 상태에서 원인물질 노출과 질병발생의 관련성에 대한 증거를 제시한다는 점에서 매우 중요한 연구이다. 대기분진의 인체영향에 대한 두 개의 전향적 코호트 연구가 수행된 바 있는데 이 연구들에서도 대기분진에 대한 만성노출이 조기사망의 위험도를 증가시킨다고 보고하고 있다. 1993년 Six Cities Study에서 하바드대학교의 연구자들은 6개 소도시의 8000명 이상의 주민들을 대기분진농도별로 나누고 14-16년간 건강에 대해 추적조사 하였는데, 대기분진농도가 증가하면서 주민들의 사망률은 거의 비례적으로 증가하였다. 가장 오염된 도시인 Steubenville의 주민은 가장 청결한 도시인 Portage의 주민보다 26% 증가된 조기사망의 위험도를 나타내었고 이러한 위험도의 차이는 18.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 미세분진의 차이에 의한 것으로 평가되었다[17]. 또한 1995년의 American Cancer Society의 연구에서는 미국 151개 도시의 50만 이상의 연구대상인구에서 미세분진과 조기사망의 관련성을 보고하였다. 이 연구에서는 24.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 미세분진의 차이가 17%의 총사망 증가를 초래한다고 하였다[18]. 이러한 두 개의 코호트 연구들에

서는 개인위험인자들을 통제한 상태에서 분석된 연구들이기 때문에 시계열연구들의 단점을 보완하였다고 볼 수 있다. 최근 미국에서 대기오염에 의한 건강문제를 전문적으로 연구하는 기관인 Health Effects Institute(HEI)에서 이 두 개의 코호트 연구결과에 대한 재분석과 정확도, 그리고 민감도 등에 대하여 재분석을 하였는데, 재분석의 결과 역시 이 코호트 연구결과와 같은 결론을 내고 있어서 대기분진이 조기사망에 미치는 영향은 다시 한번 확인되었다고 볼 수 있다[19].

Brunekreef[20]는 Harvard Six Cities Study와 American Cancer Society Cohort Study에서 보고된 위험도와 생명표를 이용하여 25세 남성의 생존율에 미치는 대기분진의 효과를 추정하였는데, 현재의 평균적인 도시의 대기분진농도에 노출될 때 1.31년의 여명이 감소되는 것으로 보고하였다. Pope[21]도 대기분진에 만성적으로 노출되는 미국인의 여명감소를 분석하였는데, 코호트연구로부터 조기사망 위험도를 적용한 결과 1-3년 정도 감소되는 것으로 보고하였다.

병원방문연구

많은 연구들에서 시계열적인 연구방법론을 사용하여 대기분진농도와 병원방문의 단기적인 시간적 관련성을 평가하였는데, 대부분의 연구에서 대기분진과 호흡기질환에 의한 병원방문 사이에 관련성이 있는 것으로 나타났다. 대개 PM10이 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 병원방문도 1-4% 정도 증가하는 것으로 보고하고 있다[3]. 병원입원의 증가 역시 또 하나의 대기오염의 영향을 나타내는 지표이다. Schwartz[22]는 8개의 도시지역에서 PM10과 심장질환으로 인한 노인의 병원입원의 관련성을 조사하였는데 기후와 다른 오염물질을 보정한 가운데 PM10과 심혈관질환으로 인한 입원 사이에 관련이 있다는 것을 밝혔다. 이 연구의 결과 심장질환으로 인한 입원 중 5%는 대기오염에 의하여 초래되는 것으로 나타났는데 이는 심각한 공중보건학적 문제를 의미하는 것이다.

NMMAPS에서는 PM10을 매일 측정하고 있는 14개 도시를 대상으로 한 연구에서 Medicare로부터 얻은 자료를 통하여 대기분진과 노인인구의 병원입원의 강력하고 일관성 있는 관련성을 밝혔다. 평균적으로 PM10이 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 심혈관질환으로 인한 입원율은 1% 증가하고 폐염 및 만성호흡기질환으로 인한 입원율은 2% 증가하는 것으로 나타났다[23]. Canada에서 Delfino[24]는 대기오염과 65세 이상 노인의 만성호흡기질환 악화에 따른 응급실방문 사이에 관련성이 있다는 것을 밝혔는데, 대기질기준보다 낮은 농도에서도 PM10, PM2.5, 황산염(sulfate), 오존 등이 유의한 영향을 주는 것으로 나타났다.

최근에는 환경오염에 대한 감수성집단, 즉 생물학적 약자 집단에 대한 관심이 높아지고 있는데, 이의 일환으로 대기분진의 영향에 특별히 민감한 집단을 밝히기 위한 연구들이 수행되고 있다. 미국의 Medicare 환자들을 대상으로 한 연구에서는 천식 환자의 경우 PM10과 관련된 병원입원율이 2배 높아지고 심부전환자

에서는 PM10에 의한 만성폐쇄폐병(COPD) 입원율이 2배 높아진다는 것을 밝힘으로써 감수성집단을 확인하였다[25].

소아 및 영아에 대한 영향

폐기능 또는 호흡기증상과 대기분진 농도간의 단기적인 시간적 연관성을 분석한 대기분진의 급성 호흡기 영향에 연구들도 많이 보고되었다. 특히 소아의 폐기능과 호흡기증상에 대한 대기분진의 영향을 분석한 연구들이 활발히 보고되었다.

미국의 Southern California 대학 연구자들은 1993년 이후 3,000명 이상의 학생들에게서 호흡기영향을 추적하면서 대기오염에 의한 영향을 연구하였는데, 폐기능의 발달장애와 미세분진, 이산화질소(NO2) 등이 관련이 있다는 것과 이러한 발달장애는 야외에서 시간을 많이 보내는 아이들일수록 심하다는 것을 확인하였으며 대기오염의 노출이 성인이 되었을 때의 폐기능을 감소시킴으로써 궁극적으로 만성호흡기질환의 위험도를 증가시킨다고 결론지었다[26].

천식으로 인한 소아의 응급실 방문의 관련성을 연구한 Washington 대학의 연구자들은 Seattle 지역에서 천식으로 인한 소아의 병원방문과 분진 및 일산화탄소의 농도와 관련성이 있다는 것을 밝혔다[27]. Emory 대학의 Tolbert 등[28]도 소아천식으로 인한 응급실 방문에 관한 연구를 하였는데 오존과 분진이 급성 천식으로 인한 소아의 응급실 방문율을 높이는 것으로 보고하였다. Vedal 등[29]은 Canada의 Vancouver Island에 거주하는 초등학생들을 대상으로 조사한 결과 농도가 낮은 수준에서도 PM10의 증가는 최대호기유속(peak expiratory flow) 및 기침, 가래 등의 호흡기 증상을 초래하는 것으로 밝혔고, 특히 소아천식환자는 다른 아이들에 비하여 대기분진의 영향에 보다 민감하다는 것을 밝혔다. Southern California 대학의 연구자들이 3,600명 이상의 아동들을 대상으로 수행한 연구

에서도 천식이 있는 아이들은 다른 아이들에 비하여 PM10의 증가에 따라 기관지염 및 가래 등의 증상이 증가하는 것으로 나타났다[30].

또한 최근의 몇 가지 연구결과는 대기오염이 영아사망에도 영향을 미친다는 것을 보여주고 있다. Bobak 등[31]은 Czech Republic의 대기오염이 심한 지역에서 영아사망과 대기오염물질노출과의 관련성을 평가하였는데 PM10 농도와 호흡기질환에 의한 신생아사망과 관련이 있다는 것을 보고하였다. North Carolina 대학의 Loomis[32]는 Mexico City에서 미세분진, 오존, 이산화질소 등이 영아사망율증가와 관련이 있으며 이중 분진의 영향이 다른 오염물질의 영향에 민감하지 않고 일정하게 관련성이 있는 것으로 나온다는 것을 밝혔다.

출산시 저체중은 신생아 사망률에 영향을 미치는 가장 중요한 변수로 알려져 있다. 중국 Beijing에서는 임신시의 대기오염노출과 출산시 태아체중의 관련성에 대한 연구를 수행한 바 있는데 임신 3기에 아황산가스와 총부유분진(TSP)에 대한 노출이 저체중아와 유의한 양-반응관계가 있다는 것을 보고하였다[33]. Bobak 등[34]도 생태학적 연구를 통하여 저체중아의 유병률이 아황산가스 및 총부유분진과 관련이 있다고 보고하고 있어 대기분진의 영향은 미래의 세대의 건강에도 심각한 영향을 미치는 것으로 밝혀지고 있다.

우리나라에서의 연구

우리나라에서 대기오염의 건강영향에 대한 연구는 1960년대 말부터 시작되었다. 초기의 연구방법은 주로 설문지를 이용하여 대기오염이 심할 것으로 예상되는 도시지역과 대기오염 정도가 낮은 농촌지역의 호흡기 증상 호소율을 비교하는 단면적 조사 연구가 대부분이었으며, 초기의 연구들에서는 건강영향에 대한 평가를 주관적인 증상에 의존하고 인구학적 변수나 흡연 등의 교란요인 등을 적절하게 통제하지 못하였다.

1997년에 들어서면서 대기분진에 의한 건강영향을 평가하기 위한 역학적 연구들이 시계열적 연구방법론을 적용하여 매우 활발하게 이루어지게 되었다 (Table 2). 임종환 등[35]은 호흡기질환에 미치는 급성영향에 대해서 분석한 결과 미세먼지가 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 급성호흡기질환 수진건수는 7.5% 증가하는 것으로 보고하였다. 대기분진이 사망률에 미치는 급성영향에 대한 연구들로는 권호장 등[36,45], 홍윤철 등[37,38], 이종태 등[39,41], 이미영 등[40], 주영수 등[42] 등이 서울, 인천, 울산, 대구 등의 대도시를 대상으로 시계열적 방법론과 환자-교차연구설계(Case-crossover design) 등의 연구방법론을 활용하여 수행한 연구들이 발표되었는데 이 연구들에서 대기분진이 사망률 증가, 특히 심혈관계 사망률과 호흡기계 사망률의 증가에 유의한 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 대기분진이 호흡기계에 미치는 영향을 분석한 연구결과 최현 등[43]은 인천시의 미세먼지와 호흡기질환으로 인한 소아의 응급실 내원건수와 관련성을 밝혔으며, 송호인[44]은 서울시의 미세먼지가 소아천식환자의 병원방문을 유의하게 증가시키는 것을 밝혔다.

대기분진의 건강영향은 사망률의 증가나 병원내원율의 증가에 그치지 않고 하은희 등[46]이 서울시의 출산등록자료와 대기오염자료를 분석한 결과에 의하면 총부유분진농도가 임신1기에 14.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 저체중아의 위험도가 4% 증가하는 것으로 나타나서 다음 세대의 건강에도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

요 약

대기분진의 영향을 분석한 역학적 연구들은 분석방법의 오류, 생물학적인 타당성, 혼란변수의 통제 등 여러 가지 제한점들을 갖고 있기 때문에 이를 해석할 때 주의를 요한다. 그러나 대기분진역학연구들이 여러 가지 다른 연구방법과 자료원, 그리고 분석기법 등을 적용하였는데도 불구하고 연구결과간에 일치성이 매우

Table 2. 대기분진이 미치는 건강영향에 대한 우리나라의 연구

연구자	연구방법	소 견
임종한 등, 1997 [35]	시계열연구	서울지역 미세먼지가 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 급성호흡기질환 수진건수는 7.5% 증가
권호장 등, 1999 [36]	시계열연구	TSP가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 2일 후의 서울시 사망률은 2% 증가
홍윤철 등, 1999 [37]	시계열연구	PM10의 5일 이동평균농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 인천시 전체 사망률이 1.2% 증가
홍윤철 등, 1999 [38]	시계열연구	PM10은 심혈관계 및 호흡기계 사망률 증가와 유의한 관련성이 있었다. PM10과 NO ₂ , SO ₂ 및 CO 등 대기오염 물질의 combined index가 전체 사망률을 보다 잘 설명.
이종태 등, 2000 [39]	시계열연구, 메타분석	우리나라의 7개 대도시의 대기오염농도와 일별사망률의 관련성을 분석한 결과 TSP의 2일 이동평균이 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 전체 사망률이 0.5-4% 증가
이미영 등, 2000 [40]	시계열연구	대구시의 사망자료와 대기오염자료를 분석한 결과 5일전의 TSP 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 호흡기계사망이 15% 증가
최현 등, 2000 [43]	시계열연구	인천시에서 PM10 농도와 소아의 호흡기질환으로 인한 응급실 방문건수는 유의한 관련이 있다.
이종태 등, 1999 [41]	Case-crossover design	TSP 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 서울시 전체 사망률이 10% 증가
주영수 등, 2001 [42]	시계열연구, Case-crossover design	대기오염물질과 서울시 48개 병원 응급실 내원 천식발작 환자간에 유의한 관련성을 확인. 미세먼지 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가당 천식발작 위험도는 1.39배 증가
송호인, 2001 [44]	시계열연구	서울시에서 TSP가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 소아천식으로 인한 병원방문율이 1.27배 증가
권호장 등, 2001 [45]	시계열연구, Case-crossover design	PM10이 42.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 전체 사망률은 1.4% 증가 하였으며 심부전환자에서 이러한 사망률은 2.5-4.1배 증가
하은희 등, 2001 [46]	시계열연구	TSP가 임신1기에 14.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 저체중아의 위험도가 4% 증가

높기 때문에 대기분진의 인체효과에 대한 연구결과가 일정한 방법론적인 또는 분석상의 오류에 의해서 나타났을 가능성은 거의 없다.

역학적 연구들이 생물학적인 타당성에 대한 상세한 근거를 제시하기는 어렵지만 서로 다른 연구들의 결과가 호흡기질환 및 심혈관계질환에 대한 건강영향을 나타내고 있으나 기타 질환에 대해서는 의미있는 결과들이 거의 없다는 것은 대기분진이 호흡기질환 및 심혈관계질환에 미치는 생물학적인 기전의 근거를 강하게 나타낸다고 할 수 있다.

대기분진 역학연구의 또 다른 중요한 관심사는 혼란변수의 통제 문제이다. 혼란변수란 노출과 질병에 서로 연관되어 있는 다른 위험인자가 분석에서 적절하게 통제되지 못하였을 때 이로 인하여 대

기분진과 건강영향의 관련성이 잘못 나타나는 것을 말한다. 그러나 역시 서로 다른 연구들에서 여러 가지 혼란변수가 관련성에 영향을 미쳤다면 여러 지역의 다양한 연구에서 일정한 결과를 제시하기는 어려웠을 것이므로 대기분진과 건강영향의 관련성이 혼란변수의 부적절한 처리 때문에 나타난 것이라고 보기는 어렵다. 물론 대기분진 이외의 가스상 오염물질이 같이 존재하고 또 서로간의 상관성이 매우 높기 때문에 이러한 대기오염물질의 영향을 완전히 통제할 상태에서 대기분진만의 영향을 관찰한다는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 다중 공선성의 문제나 교차효과 문제 등이 앞으로 대기분진 역학연구의 과제일 것이다.

결론적으로, 대기분진이 사망률 및 병원내원을 등에 미치는 영향은 확립되었

다고 보아도 될 것이다. 또한 우리나라의 연구들을 통하여 대기분진의 건강영향은 예외 없이 우리에게도 나타나는 문제라는 것을 확인하였다. 그러나 이러한 역학적 관련성에 대한 성과에도 불구하고 발생기전의 평가, 감수성 인구집단의 확인, 예방 및 관리 대책 마련 등 앞으로 해야 할 과제가 많이 남아있다.

참고문헌

1. Martin AE. Mortality and morbidity statistics and air pollution. *Proc R Soc Med* 1964; 57: 969-975
2. Holland WW, Reid DD. The urban factor in chronic bronchitis. *Lancet* 1965; 1: 445-448
3. Pope CA, Bates DV, Raizenne ME. Health effects of particulate air pollution: time for reassessment? *Environ Health Perspect* 1995; 103: 472-480
4. Schwartz J, Dockery DW. Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *Am Rev Respir Dis* 1992; 145: 600-604
5. Pope CA III, Schwartz J, Ransom MR. Daily mortality and PM10 pollution in Utah Valley. *Arch Environ Health* 1992; 47: 211-217
6. Samet JM, Dominici F, Zeger SL, Schwartz J, Dockery DW. The national morbidity, mortality, and air pollution study. Part I: Methods and methodological issues. Health Effects Institute Research Report 94, Part I, 2000.
7. Samet JM, Dominici F, Curriero FC, Coursac I, Zeger SL. Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities, 1987-1994. *NEJM* 2000; 343: 1742-1749
8. Schwartz J. The distributed lag between air pollution and daily deaths. *Epidemiology* 2000; 11: 320-326
9. Laden F, Neas LM, Dockery DW, Schwartz J. Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U.S. cities. *Environ Health Perspect* 2000; 108: 941-947
10. 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

11. Ostro B, Chestnut L, Vichit-Vadakan N, Laixuthai A. The impact of particulate matter on daily mortality in Bangkok, Thailand. *J Air Waste Manag Assoc* 1999; 49: 100-107
12. Xu Z, Yu D, Jing L, Xu X. Air pollution and daily mortality in Shenyang, China. *Arch Environ Health* 2000; 55(2): 115-120
13. Hales S, Salmond C, Town GI, Kjellstrom T, Woodward A. Daily mortality in relation to weather and air pollution in Christchurch, New Zealand. *Aust N Z J Public Health* 2000; 24(1): 89-91
14. Browne DR, Husni A, Risk MJ. Airborne lead and particulate levels in Semarang, Indonesia and potential health impacts. *Sci Total Environ* 1999; 227(2-3): 145-154
15. Borja-Aburto VH, Castillejos M, Gold DR, Bierzwinski S, Loomis D. Mortality and ambient fine particles in southwest Mexico City, 1993-1995. *Environ Health Perspect* 1998; 106(12): 849-855
16. Morgan G, Corbett S, Wlodarczyk J, Lewis P. Air pollution and daily mortality in Sydney, Australia, 1989 through 1993. *Am J Public Health* 1998; 88(5): 759-764
17. Dockery DW, Pope CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG, Speizer FE. An association between air pollution and mortality in six US cities. *NEJM* 1993; 329: 1753-1759
18. Pope CA, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE, Heath CW. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 151: 669-674
19. Health Effects Institute, Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of particulate air pollution and mortality. A Special Report of the Institute's Particle Epidemiology Reanalysis Project. 2000
20. Brunekreef B. Air pollution and life expectancy: Is there a relation? *Occup Environ Med* 1997; 54: 781-784
21. Pope CA. Epidemiology of fine particulate air pollution and human health: Biological mechanism and who is at risk? *Environ Health Perspect* 2000; 108(suppl 4): 713-723
22. Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for heart disease in eight U.S. counties. *Epidemiology* 1999; 10: 17-22
23. Samet JM, Zeger SL, Dominici F, Curriero F, Coursac I, Dockery DW, Schwartz J, Zanobetti A. The national morbidity, mortality, and air pollution study. Part II: Morbidity, mortality and air pollution in the United States. Health Effects Institute Research Report 94, Part II, June 2000.
24. Delfino RJ, Murphy-Moulton AM, Burnett RT, Brook JR, Becklake MR. Effects of air pollution on emergency room visits for respiratory illnesses in Montreal, Quebec. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 155: 568-576
25. Zanobetti A, Schwartz J, Gold D. Are there sensitive subgroups for the effects of airborne particles? *Environ Health Perspect* 2000; 108: 841-845
26. Peters JM, Avol E, Gauderman WJ, Linn WS, Navidi W, London SJ, Margolis H, Rappaport E, Vora H, Gong H, Thomas DC. A study of twelve Southern California communities with differing levels and types of air pollution. II. Effects on pulmonary function. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159: 768-775
27. Norris G, YoungPong SN, Koenig JQ, Larson TV, Sheppard L, Stout JW. An association between fine particles and asthma emergency department visits for children in Seattle. *Environ Health Perspect* 1999; 107: 489-493
28. Tolbert PE, Mulholland JA, MacIntosh DL, Xu F, Daniels D, Devine OJ, Carlin BP, Klein M, Dorley J, Butler AJ, Nordenberg DF, Frumkin H, Ryan PB, White MC. Air quality and pediatric emergency room visits for asthma in Atlanta, Georgia, USA. *Am J Epidemiol* 2000; 151: 798-810
29. Vedal S, Petkau J, White R, Blair J. Acute effects of ambient inhalable particles in asthmatic and nonasthmatic children. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 157: 1034-1043
30. McConnell R, Berhane K, Gilliland F, London SJ, Vora H, Avol E, Gauderman WJ, Margolis HG, Lurmann F, Thomas DC, Peters JM. Air pollution and bronchitic symptoms in Southern California children with asthma. *Environ Health Perspect* 1999; 107: 757-760
31. Bobak M, Leon DA. The effect of air pollution on infant mortality appears specific for respiratory causes in the postneonatal period. *Epidemiology* 1999; 10: 666-670
32. Loomis D, Castillejos M, Gold DR, McDonnell W, Borja-Aburto VH. Air pollution and infant mortality in Mexico City. *Epidemiology* 1999; 10: 118-123
33. Wang X, Ding H, Ryan L, Xu X. Association between air pollution and low birth weight: a community-based study. *Environ Health Perspect* 1997; 105: 514-520
34. Bobak M, Leon DA. Pregnancy outcomes and outdoor air pollution: an ecological study in districts of the Czech Republic 1986-8. *Occup Environ Med* 1999; 56(8): 539-543
35. Leem JH, Lee JT, Kim DG, Shin DC, Roh JH. Short-term effects of air pollution on hospital visits for respiratory diseases in Seoul. *Korean J Occup Med* 1998; 10(3): 333-342 (Korean)
36. Kwon HJ, Cho SH. Air pollution and daily mortality in Seoul. *Korean J Prev Med* 1999; 32(2): 191-199 (Korean)
37. Hong YC, Leem JH, Ha EH. Air pollution and daily mortality in Incheon, Korea. *J Korean Med Sci* 1999; 14(3): 239-244
38. 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
39. Lee JT, Kim H, Hong YC, Kwon HJ, Schwartz J, Christiani DC. Air pollution and daily mortality in seven major cities of Korea, 1991-1997. *Environ Res* 2000; 84: 247-254
40. Lee MY, Lee CW, Suh SK. Effect of air pollution on daily mortality in Daegu (1993-1997). *Korean J Occup Environ Med* 2000; 12(2): 235-248 (Korean)
41. Lee JT, Schwartz J. Reanalysis of the effects of air pollution on daily mortality in Seoul, Korea: A case-crossover design. *Environ Health Perspect* 1999; 107(8): 633-636
42. Ju YS, Cho SH. Effect of air pollution on emergency room visits for asthma: a time series analysis. *Korean J Prev Med* 2001; 34(1): 61-72 (Korean)
43. Choi H, Lim DH, Kim JH, Son BK, Lim JH, Hong YC. Study on the interrelationship of air pollution and respiratory diseases of children who visited the emergency room of a university hospital in Incheon. *J Korean Pediatr Soc* 2000; 43: 1372-1379 (Korean)
44. Song HI. Effect of air pollution on doctor visits due to asthma among children living in Seoul. *Asthma and Allergy* 2001 (in press) (Korean)
45. 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 (in press)
46. Ha EH, Hong YC, Lee BE, Woo BH, Schwartz J, Christiani DC. Is air pollution a risk factor for low birth weight in Seoul? *Epidemiology* 2001 (in press).