

제주 지역의 대기분진이 초등학교 폐기능에 미치는 영향에 관한 패널연구

서울대학교 의과대학 예방의학교실¹⁾, 제주대학교 의과대학 예방의학교실²⁾, 동덕여자대학교 약학대학³⁾,
서울대학교 보건대학원 역학통계학과⁴⁾, 서울대학교 의학연구원 환경의학연구소⁵⁾

문재용¹⁾ · 김수영²⁾ · 박광식³⁾ · 김 호⁴⁾ · 강충원¹⁾ · 박현승¹⁾ · 조수현^{1,5)} · 홍윤철^{1,5)}

— Abstract —

The Effects of Particulate Matter on Respiratory Function of Schoolchildren in Jeju: A Panel Study

Jae-Yong Moon¹⁾, Su-Young Kim²⁾, Kwang-Sik Park³⁾, Ho Kim⁴⁾,
Chung-Won Kang¹⁾, Hyun-Seung Park¹⁾, Soo-Hun Cho^{1,5)}, Yun-Chul Hong^{1,5)}

Department of Preventive Medicine, Seoul National University College of Medicine¹⁾,

Department of Preventive Medicine, College of Medicine²⁾,

Cheju National University, College of Pharmacy, Dongduk Women's University³⁾,

Department of Biostatistics and Epidemiology, Graduate School of Public Health, Seoul National University⁴⁾,

Institute of Environmental Medicine, Seoul National University Medical Research Center⁵⁾

Objective: To evaluate the changes in respiratory function associated with daily changes in particulate pollution.

Methods: A total of 105 healthy schoolchildren of fourth and fifth grade elementary school age performed peak expiratory flow rates (PEFR) during 2 periods (May 14~June 15, Oct 22~Nov 23). We monitored concomitant ambient particulate matter (PM) levels during the periods.

Results: An elevation PM₁₀ level of 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ led to decreases in PEFR of 0.20 L/min. A 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ elevation of PM_{2.5} led to a decrease of 0.36 L/min in PEFR. In addition, 1 day lag was associated with PM₁₀ levels and PEFR changes, and PM_{2.5} showed the same result. The metal levels determined at PM₁₀ and PM_{2.5} were found to be associated with decreased respiratory function.

Conclusions: An association between respiratory function and particulate pollution was observed when particulate pollutant levels were lower than the yearly average National Ambient Air Quality Standard in the Korea(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Key Words : Particulate matter, Respiratory function test, Children, Metals

서 론

1948년 미국의 Donora와 1952년 영국의 London에서 일어난 대기오염 사건들은 대기 오염이 건강에 중대한 영향을 줄 수 있음을 상기시켰고 이 후 대기오염과 건강에 대한 연구들이 많이 수행되었다¹⁾. 대기 오염에 대한

연구는 분진, 아황산가스, 이산화질소, 일산화탄소, 오존과 같이 대기환경을 측정하는 기준 물질들을 중심으로 이루어져왔다²⁾.

그 중 대기분진은 비교적 장시간 동안 대기 중에 체류하면서 거주자들에게 건강 피해를 줄 수 있다. 여러 지역에서 이루어진 연구에 따르면 PM₁₀, PM_{2.5} 등의 대기분

진은 심폐 질환에 의한 사망률과 질병 이환율 그리고 총 사망률을 증가시키는 것으로 알려져 왔다^{2,6)}. 특히 어린이는 호흡기계가 발달하고 있는 시기로, 대기분진에 의해 폐기능이 더 민감하게 반응한다. 대기분진 노출에 의한 어린이의 급성 폐기능 변화에 관한 연구들이 많이 이루어져왔다^{7,8)}. 이 연구들의 메타분석에서 대기분진이 폐기능을 악화시킨다는 결과를 보여주었다⁹⁾.

우리 연구는 대기오염에 민감한 집단인 학동기 어린이를 대상으로 대기 분진에 의한 폐기능의 영향을 평가하기 위하여 수행되었다. 어린이들을 대상으로 한 연구들이 많이 있었지만 대부분 대기분진과 폐기능의 관련성만을 분석하였고 그 이전에 대한 연구는 부족하였다⁷⁻¹¹⁾. 또한 대기 분진이 폐기능을 감소시키는 생물학적 기전은 아직 명확하게 밝혀지지 않고 있다. 다만 연소과정에서 발생하는 분진에 중금속이 많이 포함되어 있기 때문에 독성이 커진다는 보고가 있었다¹²⁻¹⁴⁾. 이에 대기 분진에 포함된 중금속의 농도를 분석하여 폐기능에 영향을 주는 주요한 분진 성분을 밝히고자 하였다. 폐기능 검사방법으로 소아의 호흡기 증상과의 연관성을 잘 반영하는^{15,16)} 지표로서 임상분야¹⁷⁾와 어린이와 대기오염의 관련성 연구¹⁸⁾에서 많이 이용되는 최대호기유속(peak expiratory flow rate; PEFR)을 사용하였다. 연구 디자인으로 패널 스터디 디자인을 사용하여 연구 대상 어린이는 자신이 대조군이 되어 성별 등 여러 교란변수들을 자동으로 보정하였고, 연구 기간에 황사가 자주 발생하는 기간과, 황사가 자주 발생하지 않는 기간을 모두 포함하여 노출 가능한 대부분의 농도에서 폐기능의 영향을 평가하도록 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상자

제주 지역에 거주하는 초등학생으로 연구 참여 여부를 스스로 결정할 수 있고, 폐 기능 검사와 증상일지 작성을 할 수 있는 4~5학년 학생들을 대상으로 선정하였다. 연구의 취지와 목적에 대한 안내문을 배부하여 대상자의 부모들이 연구의 내용을 충분히 이해할 수 있도록 하였고, 연구에 참여하고자 하는 부모들에게서 동의서를 받았다. 연구 참여에 동의한 105명을 대상으로 봄철(2007년 5월 14일~6월 15일) 및 가을철(2007년 10월 22일~11월 23일) 동안 연구를 진행하였다. 이 연구 기간은 황사가 자주 발생하는 시기와 황사가 적게 발생하는 시기를 모두 포함하기 위해 설정하였다. 설문은 대상자의 부모가 작성하는 것을 원칙으로 하였고, 설문항목으로는 기본적인 인적사항(연령, 성별 등), 노출에 관한 사항(거주 장소, 거주 기간, 직업력, 간접 흡연력 등), 병력(질병 과거력,

가족력 등), 기타(거주 환경, 난방방법 등) 등을 조사하였다. 증상일지는 매일 작성하는 것을 원칙으로 하였고, 코 막힘, 침 삼킬 때 목 아픔, 콧물, 기침, 가래, 쉼쉼거림, 가슴 답답함, 호흡곤란 등의 증상이 있을 경우 기록하도록 하였다.

2. 폐기능 검사

학생들의 기초 폐 기능 상태를 파악하기 위해 기초 폐 기능 검사를 실시하였다. 안정 상태에서 portable micro-spirometer (Microspiro HI-601, Tokyo, Japan)를 이용하여 노력성 폐활량(forced vital capacity; FVC), 1초간 노력성 호기량(forced expiratory volume in one second; FEV1), 노력성 호기 중간 유량(mean forced expiratory flow during the middle half of FVC; FEF 25~75%)을 측정하였다. 학생들의 폐기능에 미치는 영향은 최대호기유속을 반복적으로 측정함으로써 평가하였으며, 최대호기유속은 mini-Wright peak flowmeter (Clement Clarke, Harlow, UK)를 사용하여 측정하였다. 대상자들은 등교 후 수업 시작 직전(오전 9시)과 점심시간 직전(오전 12시), 그리고 저녁 시간(오후 6시) 각각 세 번씩 최대호기유속을 측정하여 그 중 최대값을 기록하도록 하였다.

3. 대기분진의 측정과 중금속 분석

연구기간 동안 대기분진은 연구 대상자들의 학교 옥상에 측정 장비를 설치하여 측정하였다. PM₁₀, PM_{2.5}의 농도는 polytetrafluoroethylene 필터에 부착된 먼지의 무게를 분석하여 얻었다. 또한 PM₁₀과 PM_{2.5}에 포함된 금속성분은 ICP-MS (Perkin-Elmer, Norwalk, USA)를 이용하여 분석하였다. 금속의 농도는 시료채취 시의 공기량에 대한 PM₁₀과 PM_{2.5}에 함유된 금속량의 비율로 계산하였다.

4. 자료분석

PM₁₀과 PM_{2.5} 및 분진에 포함된 금속에 의한 PEFR의 영향을 평가하기 위해서 선형반복 통계모형을 구축하였다. 통계는 분산-공분산 구조로 compound symmetry를 적용하여 SAS(ver 9.2)의 Mixed Procedure를 사용하여 분석하였다. 폐기능의 지표인 하루 평균 PEFR을 반응변수로 설정하였고, PM₁₀ 등 대기분진농도를 설명변수로 설정하였다. 성별, 연령, 신장, 몸무게, 간접흡연유무, 천식 과거력, 기초 폐기능은 고정효과(fixed effect) 변수로 처리하였고 개인, 계절, 호흡기 증상은

Table 1. Characteristics of study subjects and their respiratory function

	Male(n=57)		Female(n=46)	
	Mean	SD	Mean	SD
Age (year)	11.98	0.13	11.94	0.24
Height (cm)	143.72	6.36	142.98	6.90
Weight (kg)	41.88	11.20	39.72	8.76
FVC* (L)	2.20	0.33	2.00	0.31
FEV1 [†] (L/sec)	1.97	0.28	1.84	0.31
FEV1/FVC (%)	89.63	6.70	92.09	6.64
PEFR [‡] (L/min)	301.47	45.98	281.84	55.36

* : FVC: Forced Vital Capacity, [†] : FEV1: Forced Expiratory Volume in one second, [‡] : PEFR: Peak Expiratory Flow Rate

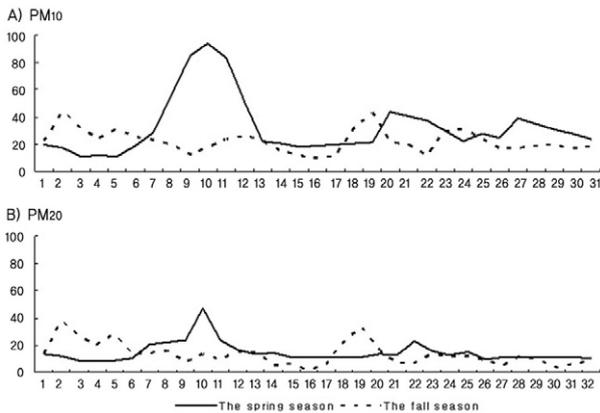


Fig. 1. Daily time-series data of PM₁₀, PM_{2.5}* during study periods (µg/m³)[†]

*24h concentration measured at elementary school roof, [†]The spring season, May 14~June 15; The fall season, October 22~November 23; 1(x) is first day of each study season.

무작위효과(random effect) 변수로 처리하였다. 기초 폐기능으로 PEFR의 평균을 사용하였다. 한번만 측정된 FEV1/FVC, FEV1, FVC 값들은 그날의 환경에 영향을 받을 수 있지만, 60일 동안 검사한 PEFR의 평균은 환경에 크게 영향을 받지 않아 어린이들의 기초 폐기능을 더 잘 대변해 줄 수 있기 때문이다. 대기 분진과 PEFR의 관계는 p-value≤0.05 인 경우 통계적으로 유의하다고 인정하였고, 대기 분진 내 금속과 PEFR의 관계는 다중분석(multiple comparison)을 고려하여 p-value≤0.0025 인 경우 통계적으로 유의하다고 인정하였다.

결 과

연구 대상자에 초등학교 4~5학년 학생 총 105명이 포함되었다. 남학생은 57명, 여학생은 48명이었으며 평균 연령은 12.0세이었다. 남학생의 평균키는 145.7 cm, 여학생의 평균키는 143.0 cm이고, 남학생의 평균 몸무게는 41.9 kg, 여학생의 평균 몸무게는 39.7 kg이었다. 남학생의 FVC는 2.20 L, FEV1은 1.97 L, PEFR은 301.47 L/min이었고, 여학생의 FVC는 2.00 L, FEV1

은 1.84 L, PEFR은 281.84 L/min 이었다(Table 1).

PM₁₀의 봄철(5월 14일~6월 15일) 평균 농도는 33.27 µg/m³이고 가을철(10월 22일~11월 23일) 평균 농도는 22.42 µg/m³이었으며, PM_{2.5}의 봄철 평균 농도는 15.35 µg/m³, 가을철 평균 농도는 13.36 µg/m³이었다. 각 기간의 최고 농도는 봄철에는 연구시작 후 10일째(2007년 05월 26일)로 PM₁₀은 93.90 µg/m³, PM_{2.5}는 43.50 µg/m³ 이었으며, 가을철에서는 2일째(2007년 10월 23일)로 PM₁₀은 43.86 µg/m³, PM_{2.5}는 37.55 µg/m³이었다(Fig. 1).

PM₁₀과 PM_{2.5}에 의한 PEFR의 영향을 파악하기 위해 노출 당일의 PEFR에서부터 그 후 5일까지의 PEFR과 비교하였다. PM₁₀은 측정 당일 PEFR와 관련성이 없었으나 그 다음날 PEFR를 유의하게 감소시켰다(p<0.05). PM₁₀이 1 µg/m³ 증가할 때 PEFR은 0.19 L/min (0.02~0.36 L/min) 감소시켰다. PM_{2.5}은 측정 당일 PEFR와 관련성이 없었으나 그 다음날 PEFR를 거의 유의하게 (marginal significant) 감소시켰다 (p=0.0568). 1 µg/m³ 증가할 때 PEFR은 0.28 L/min (-0.01~0.56 L/min) 감소되었다. 대기분진과 2일 이후의 PEFR는 유의한 관련성이 없었다(Fig. 2).

대기 분진 내 금속의 농도를 분석한 결과 Si가 PM₁₀에서 1.37 µg/m³, PM_{2.5}에서 1.13 µg/m³로 가장 많이 포함되어 있었다. 그 다음으로 Mg, Fe, Al, Zn, Pb, Cu, Mn, Ti, Ba, B, Cr, Hg, Sr, As, Ni, Cd 순으로 금속 성분들이 포함되어 있었으며, PM₁₀과 PM_{2.5}에서 비슷한 분포를 보였다(Fig. 3).

대기분진에 포함된 금속 성분과 PEFR의 관련성을 분석한 결과 PM₁₀에 포함된 금속 성분 중 Mn, Zn, Ni, Mg, Fe, Sr, Si에 의해 다음날 PEFR 수치가 유의하게 감소하였고, PM_{2.5}에 포함된 Cu, Ni, Sr, Si에 의해 다음날 PEFR 수치가 유의하게 감소하였다(Table 2).

고 찰

연구 대상자의 평균 PEFR은 나이, 몸무게, 키를 고려

할 때 우리나라 건강한 학동기 어린이 폐기능의 참고치 내에 포함되는 수치이다¹⁹). PM₁₀, PM_{2.5}의 평균은 각각 27.24, 14.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 WHO의 대기 질 기준 interim target 2(PM₁₀: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5}: 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 해당하며, 우리나라 PM₁₀의 연간 기준과 24시간 기준 보다 낮았으며, 다른 지역의 대기 분진 농도에 비해서 낮았다^{20,21}).

PM₁₀과 PM_{2.5}에 의해 다음 날 PEFr 값이 감소하는 것으로 나타났다. 어린이를 대상으로 한 대기분진과 폐기능에 관한 기존의 연구에서도 비슷한 결과를 보여준다. 유럽의 어린이를 대상으로 한 PEACE study에서는 PM₁₀이 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하였을 때 다음날 PEFr이 0.6 L/min 만큼 감소하였다¹⁰). 오스트리아의 초등학생을 대상으로 3년간 시행된 추적 검사에서 PM₁₀이 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 씩 증가하였을 때, 여름철 FEV1를 0.02 L/min 만큼 감소시키는 결과를 보였다. 이때 PM₁₀의 평균 농도는 17.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다¹¹). 다른 지역에서 이루어진 역학 연구들에서도 비슷한 결과를 볼 수 있었다^{7,8}). 대기분진이 폐 성장에 미치는 영향에 관해 10살에서 18살까지의 청소년을 대상으로 시행된 연구에 따르면 PM₁₀에 의해 FEV1이 82.1 ml (p=0.08), PM_{2.5}에 의해 FEV1이 79.7 ml (p=0.04) 만큼 대상자들의 폐기능 발달을 저하시킨다고 한다²²).

PM₁₀과 PM_{2.5} 모두 중요한 대기 오염 물질이지만 본 연구에서 PM₁₀과 PM_{2.5}의 건강영향을 비교해보면 PM_{2.5}가 단위농도 증가 당 폐기능을 더 많이 감소시키는 것으

로 나왔다. 기존 연구에서도 PM_{2.5}가 PM₁₀보다 호흡기능을 더 악화시키는 것으로 나타났다. 이는 분진의 물리, 화학적 특징으로 설명된다. 먼저 화학 조성은 같지만 크기가 다른 대기분진을 이용한 실험 연구에 따르면 PM₁₀보다 PM_{2.5}가 기도 말단까지 더 많이 침투하여 독성이 더 큰 것으로 나타났다²³). 또한 크기가 작을수록 접촉 면적이 더 넓어지므로 PM_{2.5}의 독성이 PM₁₀보다 더 커진다^{20,24}). 한편 대기 분진에 의한 호흡기계 질환 이환율에서도 PM_{2.5}가 PM₁₀보다 더 좋은 지표라고 보고하였다²⁵).

PM₁₀이나 PM_{2.5}에 포함된 Mn, Zn, Ni, Mg, Fe, Sr, Si, Cu 등의 중금속 성분들 역시 다음날 PEFr을 유의하게 감소시켰다. Si, Fe, Zn 등은 대개 지각에서 기원한 물질이며 대기분진에 많이 포함되어 있지만 단위 영향의 크기는 상대적으로 작았다. Ni, Sr 등은 대개 인위적인 오염물질이며 대기분진에 미량 포함되어 있지만 단위 영향의 크기는 큰 것으로 나타났다. 중금속에 의한 폐기능 저하는 활성 산소를 발생시키는 산화력으로 설명된다²⁶). 정상 폐에 존재하는 철은 폐 실질을 산화적 손상에 민감한 상태로 만들어 외부에서 들어온 다른 금속들에 의한 산화적 손상이 쉽게 일어나게 한다²⁷). 지각 내에 풍부하게 존재하는 망간은 산화적 손상을 증가시키거나 감소시키는 상반된 두 가지 역할을 모두 한다. 활성 산소를 만들어 산화적 손상을 일으킬 수 있고, 철에 의한 산화현상을 제어할 수 있기 때문이다²⁸). 망간노출 근로자를 대상으로 한 환자 대조군 연구에 따르면 망간 노출군에서 비노출군에 비해 폐기능이 유의하게 감소한 것을 관찰할 수 있었다²⁹). 초등학생을 대상으로 시행된 연구에서도 대기 중 망간 농도가 높은 지역의 초등학생들이 폐기능이 유의하게 낮은 것으로 나타났다³⁰). 우리의 연구에서도 망간 성분이 폐기능을 유의하게 감소시키는 것으로 나타났다. 아연은 세포의 증식과 분화에 필요한 필수 금속이지만, 만성 폐쇄성 폐질환 환자를 대상으로 한 패널 연구에서 들이마신 분진 내 아연이 FVC와 FEV1의 감소와 관

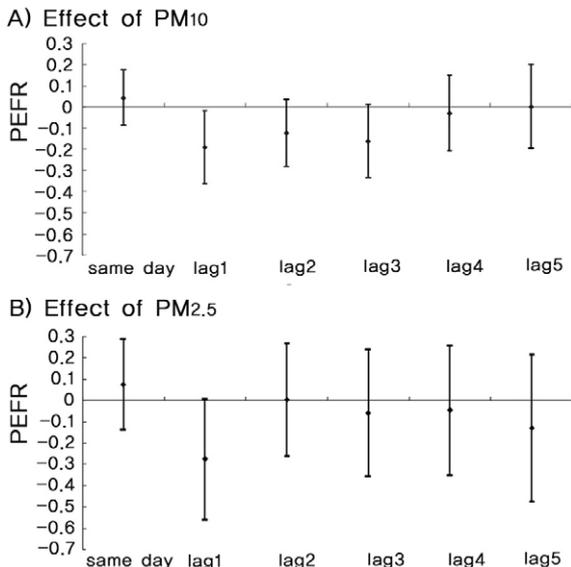


Fig. 2. Lag distribution of PEFr change by increase of PM₁₀ (A) and PM_{2.5} (B)*

*Regression coefficients β (dots) and 95% confidence intervals (bars) from linear mixed effects model for panel data controlling for sex, age, height, weight, mean of PEFr, respiratory symptoms, environmental smoking history, asthma history, season.

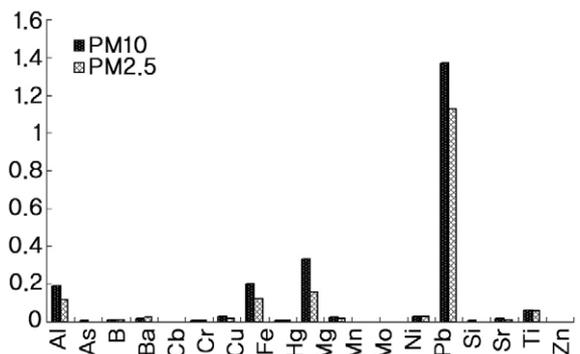


Fig. 3. Level of metal component in particulate matter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*
*Average of concentrations of metal from PM₁₀, PM_{2.5} samples during 24h at the elementary school roof (2007 spring and fall).

Table 2. Change in PEFR by selected metal from PM₁₀, PM_{2.5} samples during the previous 1 day*

Metal [†]	PM ₁₀				PM _{2.5}			
	Beta	CI (lower)	CI (upper)	p-value [‡]	Beta	CI (lower)	CI (upper)	p-value [‡]
Al (mg/m ³)	-0.03	-0.05	-0.01	0.0084	-0.01	-0.05	0.03	0.7545
Mn (mg/m ³)	-0.29	-0.45	-0.12	0.0005	-0.19	-0.37	-0.02	0.0299
Cu (mg/m ³)	-0.14	-0.25	-0.03	0.0123	-0.34	-0.56	-0.13	0.0020
Zn (mg/m ³)	-0.11	-0.17	-0.04	0.0008	-0.04	-0.08	0.00	0.0301
Pb (mg/m ³)	-0.07	-0.17	0.04	0.2025	-0.04	-0.15	0.08	0.5239
Ti (mg/m ³)	0.17	0.00	0.34	0.0468	0.23	0.07	0.39	0.0046
Cr (mg/m ³)	-0.73	-1.40	-0.07	0.0305	-0.65	-1.22	-0.09	0.0237
As (mg/m ³)	-1.34	-2.48	-0.19	0.0219	-1.23	-2.56	0.09	0.0686
Ni (mg/m ³)	-5.56	-7.89	-3.22	<0.0001	-2.37	-3.89	-0.86	0.0022
Zr (mg/m ³)	-6.89	-26.75	12.97	0.4965	14.42	-8.19	37.03	0.2111
Mo (mg/m ³)	-2.50	-8.29	3.29	0.3976	-3.08	-8.37	2.21	0.2539
Cd (mg/m ³)	-4.46	-8.94	0.02	0.0508	-2.93	-6.50	0.64	0.1077
B (mg/m ³)	0.60	0.05	1.16	0.0330	0.77	0.21	1.33	0.0074
Hg (mg/m ³)	-0.90	-1.76	-0.04	0.0410	-0.96	-1.70	-0.22	0.0111
Mg (mg/m ³)	-0.03	-0.03	-0.02	<0.0001	-0.01	-0.02	0.00	0.0159
Fe (mg/m ³)	-0.04	-0.06	-0.02	<0.0001	0.00	-0.03	0.03	0.9753
Sr (mg/m ³)	-1.67	-2.33	-1.01	<0.0001	-1.21	-1.97	-0.45	0.0017
Ba (mg/m ³)	-0.18	-0.41	0.05	0.1314	-0.03	-0.14	0.08	0.6062
Si (mg/m ³)	-0.01	-0.01	0.00	<0.0001	-0.01	-0.01	0.00	0.0006

*Regression coefficients β and confidence intervals from linear mixed effects model for panel data controlling for sex, age, height, weight, mean of PEFR, respiratory symptoms, environmental smoking history, asthma history, season.

[†]A level of p-value ≤ 0.0025 is considered statistically significant. CI, confidence interval.

[‡]Al, Aluminium; Mn, Manganese; Cu, Copper; Zn, Zinc; Pb, Lead; Ti, Titanium; Cr, Chromium; As, Arsenic; Sr, Strontium; Ba, Barium; Ni, Nickel; Zr, Zirconium; Mo, Molybdenum; Cd, Cadmium; B, Boron; Hg, Mercury; Fe, Iron; Si, Silicon; Mg, Magnesium.

련성이 있다는 결과를 보였다³¹⁾. 우리 연구에서도 통계적으로 유의하게 PEFR을 낮추었다. 카드뮴은 흡의 형태로 흡입되어 급성 독성을 일으킬 수 있는 물질이다. 미국 근로자를 대상으로 한 역학 연구들에서 카드뮴은 폐기능을 유의하게 감소시켰다^{32,33)}. 하지만 우리 연구에서는 통계적으로 유의한 결과를 보여주지는 못하였다. 니켈은 중유회(residual oil fly ash)의 금속 성분 중 30%이상을 차지하며 중유회에 의한 폐기능 악화에 상당히 기여한다³⁴⁾. 니켈카르보닐 노출 근로자 대상으로 한 연구에 따르면 여성의 경우 중유회 노출 시 FEV1과 PEFR이 유의하게 낮아졌다³⁵⁾. 알루미늄의 경우 고농도로 노출되어 발생한 폐질환 사례들이 과거에 보고 되었지만 현재는 드물다. 오스트레일리아의 알루미늄 제련공장 근로자를 대상으로 한 연구에서 고농도 알루미늄 흡에 노출된 후 FEV1, PEFR 등 폐기능 수치가 유의하게 감소하는 결과를 보였다³⁶⁾. 우리의 연구에서는 통계적으로 유의한 결과를 보여주지 못하였다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 존재한다. 반복측정자료를 이용한 연구로서 성, 나이 등 기본적인 특성들은 시간에 따라 변하지 않기 때문에 분석과정에서 자동으로 보정되지만 시간에 따라 변할 수 있고 폐기능에 영향을 줄 수 있는 감염성 질환 등의 변수는 결과에 영향을 줄 수

있다^{37,38)}. 우리 연구에서는 호흡기 증상일지를 통해 감염성 질환의 영향을 어느 정도 보정할 수 있었지만 감염성 질환 이환 여부를 전문가에게 진단 받지 않고 어린이들이 작성한 증상일지를 통해 판단했기 때문에 객관성이 떨어지는 문제가 있다. 또한 황사가 많이 발생하는 기간인 5월 14일에서 6월 15일 사이는 봄철로서 꽃가루로 인한 알레르기 반응이 폐기능 결과에 영향을 줄 수 있다. 그러나 계절 인자를 통계적으로 보정하였으므로 이러한 요인이 연구결과에 크게 영향을 주지는 않았을 것으로 생각된다. 마지막으로 연구대상을 제주지역의 초등학교 학생으로 한정하였기 때문에 본 연구의 결과를 우리나라 전체나, 학동기 어린이에 일반화하는 것은 어려울 것으로 생각된다.

우리 연구의 장점은 연구기간에 황사가 자주 발생하는 비교적 대기분진의 농도가 높은 시기와 황사가 자주 발생하지 않는 비교적 대기분진의 농도가 낮은 시기를 모두 포함하여 노출 가능한 넓은 범위의 대기분진 농도에서 폐기능을 평가했다는 점이다. 그리고 패널 스터디 디자인을 사용함으로써 연구 대상자 자신이 대조군이 되어 시간에 따라 변하지 않는 성별 등의 고정변수들이 자동으로 보정되게 하였고, 시간에 따라 변할 수 있는 호흡기증상과 계절요인을 통계적으로 보정하여 결과의 타당성을 높일 수

있었다. 특히 어린이 105명의 폐기능과 대기분진의 농도를 60일 정도 반복하여 측정함으로써 통계적 검증력을 높였다.

비교적 오염이 덜된 제주도 지역에서도 대기분진이 건강한 초등학교생들의 폐기능을 악화시키는 것을 확인하였다. PM₁₀보다는 크기가 작은 PM_{2.5}가 호흡기계에 더 큰 영향을 주었고 대기분진에 포함된 특정 중금속 성분이 폐기능을 유의하게 악화시켰다. 특히 Ni, Sr 등은 인위적인 오염물질로써 폐기능에 대한 단위 영향이 큰 것으로 나타났다. 이런 결과들을 종합해보면 대기분진의 농도를 감시할 목적으로 PM₁₀을 사용하는 것은 좋지만 건강의 영향을 평가할 때에는 크기가 작은 PM_{2.5}나 대기분진에 포함된 중금속을 분석할 필요가 있다고 생각된다.

요 약

목적: 대기오염이 적은 지역의 초등학교생을 대상으로 대기분진의 농도에 따라 폐기능의 변화를 평가하는 것을 목적으로 하였다.

방법: 제주 지역 초등학교 4,5학년의 건강한 학생 105명을 대상으로 매일 최대호기유속(peak expiratory flow rate; PEFR)과 대기분진의 농도를 측정하였다. 대기분진에 의한 PEFR의 변화를 평가하기 위해 선형 반복 통계 모형을 사용하여 분석하였다.

결과: PM₁₀ 1 µg/m³ 증가 시 PEFR이 0.20 L/min이 감소하였으며, PM_{2.5} 1 µg/m³ 증가 시 PEFR이 0.36 L/min이 감소하였다. 이 감소는 하루의 자연시차를 두고 통계적으로 유의하였다. PM₁₀, PM_{2.5}에 포함된 일부 금속물질들도 폐기능을 유의하게 감소시키는 결과를 보였다.

결론: 상대적으로 대기오염이 적은 제주 지역에서도 대기분진이 건강한 학동기 어린이 폐기능을 유의하게 감소시켰다.

참 고 문 헌

- 1) Ren C, Tong S. Health effects of ambient air pollution recent research development and contemporary methodological challenges. *Environ Health* 2008;7(1):56.
- 2) U.S. Environmental Protection Agency. (1997). Health and environmental effects of particulate matter, Fact Sheet. Available: <http://www.epa.gov/ttn/oarpg/naaqsf/pmhealth.html> [cited 8 January 2009]
- 3) Borja-Aburto V, Castillejos M, Gold D, Bierzwinski S, Loomis D. Mortality and ambient fine particles in southwest Mexico City, 1993-1995. *Environ Health Perspect* 1998;106(12):849-55.
- 4) Michelozzi P, Forastiere F, Fusco D, Perucci C, Ostro B,

- Ancona C, Pallotti G. Air pollution and daily mortality in Rome, Italy. *Occup Environ Med* 1998;55(9):605.
- 5) Pope III C, Burnett R, Thun M, Calle E, Krewski D, Ito K, Thurston G. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *J Am Med Assoc* 2002;287:1132-41.
- 6) Samet J, Dominici F, Curriero F, Coursac I, Zeger S. Fine particulate air pollution and mortality in 20 US cities, 1987-1994. *N Engl J Med* 2000;343:1742-9.
- 7) Roemer W, Hoek G, Brunekreef B. Effect of ambient winter air pollution on respiratory health of children with chronic respiratory symptoms. *Am Rev Respir Dis* 1993;147(1):118-24.
- 8) Hoek G, Brunekreef B. Acute effects of a winter air pollution episode on pulmonary function and respiratory symptoms of children. *Arch Environ Health* 1993;48(5):328-35.
- 9) Dockery D, Pope C. Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annu Rev Public Health* 1994;15(1):107-32.
- 10) Roemer W, Hoek G, Brunekreef B, Haluszka J, Kalandidi A, Pekkanen J. Daily variations in air pollution and respiratory health in a multicentre study: the PEACE project. *Pollution Effects on Asthmatic Children in Europe. Eur Respir J* 1998;12(6):1354-61.
- 11) Horak F, Studnicka M, Gartner C, Spengler J, Tauber E, Urbanek R, Veiter A, Frischer T. Particulate matter and lung function growth in children: a 3-yr follow-up study in Austrian schoolchildren. *Eur Respir J* 2002;19:838-45.
- 12) Anderson H, Bremner S, Atkinson R, Harrison R, Walters S. Particulate matter and daily mortality and hospital admissions in the west midlands conurbation of the United Kingdom: Associations with fine and coarse particles, black smoke and sulphate. *Occup Environ Med* 2001;58(8):504-10.
- 13) Schwartz J, Laden F, Zanobetti A. The concentration-response relation between PM_{2.5} and daily deaths. *Environ Health Perspect* 2002;110(10):1025-30.
- 14) Hong YC, Hwang SS, Kim JH, Lee KH, Lee HJ, Yu SD, Kim DS. Metals in particulate pollutants affect peak expiratory flow of schoolchildren. *Environ Health Perspect* 2007;115(3):430.
- 15) Brand P, Duiverman E, Waalkens H, van Essen-Zandvliet E, Kerrebijn K. Peak flow variation in childhood asthma: Correlation with symptoms, airways obstruction, and hyperresponsiveness during long term treatment with inhaled corticosteroids. *Thorax* 1999;54:103-7.
- 16) Choi BS, Park JD, Hong YP, Chang IW. Normal predicted values of pulmonary function of the primary school children in rural area and sensitive index of respiratory symptoms. *Korean J Prev Med* 1995;28(3):690-705.(Korean)
- 17) Quanjer P, Lebowitz M, Gregg I, Miller M, Pedersen O. Peak expiratory flow: Conclusions and recommendations

- of a Working Party of the European Respiratory Society. *Eur Respir J* 1997;10:2-8.
- 18) Boezen H, van der Zee S, Postma D, Vonk J, Gerritsen J, Hoek G, Brunekreef B, Rijcken B, Schouten J. Effects of ambient air pollution on upper and lower respiratory symptoms and peak expiratory flow in children. *Lancet* 1999;353(9156):874-8.
 - 19) Song DJ, Han YN, Lee JH, Kim HJ, Lim JY, Pee DH, Yoon JK, Choung JT. Lung function reference values in healthy Korean children. *Pediatr Allergy Respir Dis* 2002;12(2):105-13.(Korean)
 - 20) WHO. Air Quality Guidelines, Global Update 2005, Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. WHO Regional Office for Europe. Copenhagen. 2006. pp 217-305.
 - 21) Korea Ministry of Environment. 2007 Environmental Statistics Yearbook. Available: <http://www.airkorea.or.kr/> [cited 28 September 2008].
 - 22) Gauderman W, Avol E, Gilliland 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(11):1057-67.
 - 23) Diociaiuti M, Balduzzi M, De Berardis B, Cattani G, Stacchini G, Ziemacki G, Marconi A, Paoletti L. The two PM_{2.5}(fine) and PM_{2.5-10}(coarse) fractions: Evidence of different biological activity. *Environ Res* 2001;86(3):254-62.
 - 24) Utell M, Frampton M. Acute health effects of ambient air pollution: The ultrafine particle hypothesis. *J Aerosol Med* 2000;13(4):355-59.
 - 25) Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. *Epidemiology* 1996;7:20-8.
 - 26) Molinelli A, Madden M, McGee J, Stonehuerner J, Ghio A. Effect of metal removal on the toxicity of airborne particulate matter from the Utah Valley. *Inhal Toxicol* 2002;14(10):1069-86.
 - 27) Seaton A, Macnee W, Donaldson K, Godden D. Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet* 1995;345(8943):176-8.
 - 28) HaMai D, Bondy S. Pro-or anti-oxidant manganese: A suggested mechanism for reconciliation. *Neurochem Int* 2004;44(4):223-9.
 - 29) Boojar M, Goodarzi F. A longitudinal follow-up of pulmonary function and respiratory symptoms in workers exposed to manganese. *J Occup Environ Med* 2002;44(3):282-90.
 - 30) Hrustic O, Saric M. The effect of ambient exposure to manganese on the respiratory system. A study using school children as a model. *Arh Hig Rada Toksikol* 1980;31(2):149-64.
 - 31) Lagorio S, Forastiere F, Pistelli R, Iavarone I, Michelozzi P, Fano V, Marconi A, Ziemacki, Ostro B. Air pollution and lung function among susceptible adult subjects: a panel study. *Environ Health* 2006;5(1):11.
 - 32) Sakurai H. Cross-sectional study of pulmonary function in cadmium alloy workers. *Scand J Work Environ Health* 1982;8 Suppl 1:122-30.
 - 33) Smith T, Petty T, Reading J, Lakshminarayan S. Pulmonary effects of chronic exposure to airborne cadmium. *Am Rev Respir Dis* 1976;114(1):161-9.
 - 34) Dreher K, Jaskot R, Lehmann J, Richards J, Andrew J, Daniel L, McGee J. Soluble transition metals mediate residual oil fly ash induced acute lung injury. *J Toxicol Environ Health A* 1997;50(3):285-305.
 - 35) SHI Z. Study on lung function and blood gas analysis of nickel carbonyl workers. *Sci Total Environ* 1994;148(2-3):299-301.
 - 36) Field G. Pulmonary function in aluminium smelters. *Thorax* 1984;39(10):743-51.
 - 37) Becker S, Dailey L, Soukup J, Grambow S, Devlin R, Huang Y. Seasonal variations in air pollution particle-induced inflammatory mediator release and oxidative stress. *Environ Health Perspect* 2005;113(8):1032-8.
 - 38) Van der Zee S, Hoek G, Brunekreef B. Incidence of influenza-like illness, measured by a general practitioner sentinel system, is associated with day-to-day variations in respiratory health in Panel Studies. *Am J Epidemiol* 2000;152(4):389-92.