

미세먼지가 울산지역 초등학생의 폐기능에 미치는 영향

유승도[†] · 차정훈 · 김대선 · 이종태*

국립환경과학원 환경건강연구부 환경역학과, *한양대학교 대학원 보건학과
(2007. 9. 4. 접수/2007. 10. 24. 채택)

Effects of Fine Particles on Pulmonary Function of Elementary School Children in Ulsan

Seung Do Yu[†] · Jung Hoon Cha · Dae-Seon Kim · Jong Tae Lee*

Environmental Epidemiology Division, Environmental Health Research Department,
National Institute of Environmental Research

*Department of Health, Graduate School, Hanyang University

(Received September 4, 2007/Accepted October 24, 2007)

ABSTRACT

To evaluate the effect of air pollution on respiratory health in children, we conducted a longitudinal study in which children were asked to record their daily levels of Peak Expiratory Flow Rate(PEFR) using portable peak flow meter(mini-Wright) for 4 weeks. The relationship between daily PEFR and ambient air particle levels was analyzed using a mixed linear regression models including gender, age in year, weight, the presence of respiratory symptoms, and relative humidity as an extraneous variable. The daily mean concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} over the study period were 64.9 µg/m³ and 46.1 µg/m³, respectively. The range of daily measured PEFR in this study was 182~481 l/min. Daily mean PEFR was regressed with the 24-hour average PM₁₀(or PM_{2.5}) levels, weather information such as air temperature and relative humidity, and individual characteristics including sex, weight, and respiratory symptoms. The analysis showed that the increase of air particle concentrations was negatively associated with the variability in PEFR. We estimated that the IQR increment of PM₁₀ or PM_{2.5} were associated with 1.5 l/min (95% Confidence intervals -3.1, 0.1) and 0.8 l/min(95% CI -1.8, 0.1) decline in PEFR. Even though this study showed negative findings on the relationship between respiratory function and air particles, it was worth noting that the findings must be interpreted cautiously because exposure measurement based on monitoring of ambient air likely resulted in misclassification of true exposure levels and this was the first Korean study that PM_{2.5} measurement was applied as an index of air quality.

Keywords: PM₁₀, PM_{2.5}, health effect, Peak Expiratory Flow Rate(PEFR)

I. 서 론

여러 가지 환경오염 현상 중 대기오염은 공기에 포함되어 있는 유해물질이 물, 토양 등 다른 환경요인에 비하여 사람에게 노출되는 양이 많아 건강적인 측면에서 매우 중요하게 다루어지고 있다.¹⁾ 넓은 표면을 가지고 있는 폐는 호흡을 통해 다량의 유해물질 또는 자극성 물질로 손상받기 쉬워 최근 대기오염 노출이 호흡

기계통의 건강영향과 관련이 있다는 연구들이 많이 보고되고 있다.^{2,3)}

대기오염에 의한 건강피해를 예방하기 위하여 각 나라들은 대기환경기준을 제정하고, 각종 오염물질의 배출을 관리하고 있다. 우리나라의 경우 전국 주요도시의 대기질 상태는 전반적으로 개선추세에 있으나 오존(O₃) 및 이산화질소(NO₂) 등의 가스상 오염물질과 대기분진 중 인체에 보다 밀접한 영향을 줄 것으로 기대되는 미세먼지(PM₁₀ 및 PM_{2.5})의 농도는 오히려 증가 또는 보합 추세에 있으며, 이러한 결과는 자동차 사용의 급속한 증가 등에 기인하는 것으로 여겨진다.⁴⁾

[†]Corresponding author : Environmental Health Research Department, National Institute of Environmental Research
Tel: 82-32-560-7173, Fax: 82-32-568-2042
E-mail : sdyu@me.go.kr

대기오염물질 중 미세먼지는 폐 깊숙이 침투가 가능하므로 인체에 더 많은 영향을 줄 수 있으며, 미국의 6개 지역에 거주하는 성인을 대상으로 한 Dockery 등의 연구⁵⁾에서는 흡연 등과 같은 혼란변수를 통제하였을 때 사망률과 미세먼지 간의 관련성을 보고한 바 있다. 미국의 20개 대도시의 대기오염물질과 건강영향을 평가한 Samet 등의 연구⁶⁾에서는 미세먼지 농도의 증가와 일별 총 사망 및 심폐질환에 의한 일별 사망 증가간에 관련성이 있다고 하였으며, McConnell 등의 연구⁷⁾에서는 천식이 있는 아동들에게서 PM_{10} 이 증가함에 따라 정상 아동들에 비해 기관지염 및 가래 등의 증상이 증가하는 것을 보였다.

오존이나 미세먼지와 같은 대기오염물질들은 현재 세계보건기구(WHO)나 우리나라의 대기환경기준 이하 농도에서도 유해한 건강영향을 미칠 수 있음이 차츰 밝혀지고 있다.^{8,9)} 이는 대기오염에 폭로되는 집단 중에 노약자, 아동, 만성호흡기질환자 중 특히 천식환자와 같은 잠재적으로 대기오염에 감수성이 높은 소집단(민감군)이 존재하며, 이들 민감군은 다른 건강한 사람들에 비해, 저농도의 대기오염물질 노출에도 호흡기계에 영향을 나타낼 수 있음을 제시하고 있다.¹⁰⁾

대기오염노출에 의한 장·단기 호흡기 영향에 관한 연구는 세계적으로는 많은 연구보고가 제시되고 있지만, 우리나라에서는 주로 단면조사에 의한 사망률, 상병유병율, 폐기능 등의 지역간 비교를 하는 것이 대부분이었으며, 이러한 단면연구는 대기오염과 건강피해의 관계를 평가하는 데 영향을 줄 수 있는 혼란변수를 적절히 통제하기 어렵다는 제한점이 있다.^{11,12)}

우리나라의 경우 근래에 들어 시계열적 연구방법론을 적용한 연구들이 다수 수행되기는 하였으나, 대부분의 연구에서 지역사회 한 지점에 고정하여 대기 오염도를 측정하게 되는 측정망 자료를 그 주변 지역 주민의 대기오염 노출량으로 활용하는 방법을 주로 적용하고 있다. 이와 같이 실외 대기오염 자동측정망 자료를 이용하는 간접적인 방법으로 개인 노출량을 추정할 경우, 이로 인하여 예견되는 노출 편견의 가능성을 배제할 수 없게 된다.^{13,14)}

본 연구에서는 대기오염에 의한 호흡기계 영향을 평가하기 위하여, 대기오염에 대한 잠재적인 호흡기 민감군이라 할 수 있는 초등학교생들을 대상으로, 미세먼지(PM_{10} 및 $PM_{2.5}$)와 최고호기유량(Peak Expiratory Flow Rate, PEFR)의 경시적 관련성을 분석하고자 하였으며, 미세먼지의 노출량을 보다 정확히 반영하기 위하여 대기오염 자동측정망 자료가 아닌 조사대상 초등학교의 옥상에서 직접 측정된 자료를 이용하였다.

II. 연구방법

1. 조사대상 및 기간

울산석유화학공단에 인접한 A초등학교의 3학년과 6학년 학생 157명을 대상으로, 2001년 5월 15일~6월 12일까지 4주 동안 최고호기유량(PEFR) 조사를 실시하였다.

2. 개인특성조사

초등학교생들의 개인특성을 조사하기 위하여 인적사항 및 천식, 알레르기 증상 등과 같은 질병력에 대한 설문 조사를 실시하였으며, PEFR 측정에 앞서 체중, 신장 등을 측정하였다. 폐활량과 대기오염의 관련성 분석에 필요한 변수를 파악하기 위하여 실시한 설문조사는 학생의 학부모가 작성하는 것을 원칙으로 하였다.

3. 기상자료

PEFR 측정기간 동안의 조사대상지역의 기상자료(기온 및 상대습도)는 기상청으로부터 제공받았다.

4. 최고호기유량(Peak Expiratory Flow Rate, PEFR) 측정

폐기능의 지표 중 휴대용 측정 기구를 사용하여 피검자가 스스로 측정할 수 있는 최고호기유량(Peak Expiratory Flow Rate, PEFR)에 대한 경시적 조사는 대기오염의 급성영향 평가를 위하여 주로 사용하는 방법으로, PEFR의 측정은 영국 Clement Clarke Int. LTD의 휴대용 peak flow meter를 사용하여 측정하였다. PEFR의 측정은 제작회사에서 제공하는 측정방법을 따랐으며, 오전(9시), 정오(12시), 저녁(8시 이후)에 각 3회씩 측정하였으며, 오전과 정오의 측정은 담임교사의 관리하에 학생 스스로 측정하도록 하고, 휴일의 측정과 평일 저녁때의 측정은 학부모의 관리하에 학생 스스로 측정하도록 하였다. 또한 PEFR 측정과 함께 일별 호흡기증상(감기증상, 잦은 기침, 천식증상)을 기록하도록 하였다.¹⁵⁾

5. PM_{10} 및 $PM_{2.5}$ 측정

PEFR의 측정기간 동안 조사대상 초등학교의 2층 옥상에서 PM_{10} 및 $PM_{2.5}$ 를 측정하였다. PM_{10} 및 $PM_{2.5}$ 의 포집에는 미국 University Research Glassware사의 Annular Denuder System 2세트를 사용하였으며, 측정 시간을 오후 8시부터 익일 오후 5시까지 21시간으로 하였다. 유량은 16.7 l/min으로 설정하였으며, 측정 전·후에 유량을 확인하였다. 필터는 일본 Toyo Roshi

Karsha Ltd.의 테플론 필터(PTFE membrane filter, pore size 2.0 μm , diameter 47 mm)를 이용하였으며, 농도를 측정하기 위해 측정 전·후에 여지를 항온·항습 상태인 데시케이터 내에 24시간 이상씩 보관하여 항상량이 되게 한 후 감도 0.01 mg의 화학저울(Model: AG245, METTLER TOLED CO.)로 칭량하였다. 대기 중 PM_{10} 과 $\text{PM}_{2.5}$ 의 농도는 포집 전·후의 여지 무게 차이를 총 포집 유량으로 나눠 산출하였다.

6. 자료의 선정

자료의 분석에 앞서 개인별로 전체 측정기간의 일별 PEFR 그래프를 작성하여 개인별 최고호기유량자료의 적정성을 검토하였다. 우선, 최고호기유량의 증가경향을 나타낸 측정 시작 일로부터 3일간의 자료는 적응기간으로 보고 제거하였다. 다음으로 각 개인별 측정 자료의 극단치와 이상치를 제거한 상태에서의 평균값으로부터 100 이상의 차이를 나타내는 자료를 제거하였고, 100 이내의 차이를 보이는 경우라도 표준편차가 10 이내로 변동폭이 거의 없고 규칙적인 자료는 신뢰성이 떨어지는 것으로 생각하여 제거하였다. 최종적으로 남은 자료가 전체 측정일수의 1/3 이하인 개인은 모든 측정값을 제거하였다.

7. 자료 분석

모든 자료에 대한 기초통계량의 산출과 조사대상 초등학생들의 개인특성 및 PEFR 측정결과에 대한 분석은 SAS(Statistical analysis system, version 8.1. SAS Institute, USA) program을 이용하여 수행하였다. PEFR과 미세먼지의 경시적 관련성은 일 평균 PEFR을 종속변수(dependent variable)로 하고, 성별, 신장, 일별 호흡기증상 여부, 일별 PM_{10} 또는 $\text{PM}_{2.5}$ 농도, 일 평균 기온 및 상대습도를 독립변수(independent variable)로 하는 혼합선형회귀모형(mixed linear regression analysis)에 의하여 분석하였다. 그 결과는 PM_{10} 과 $\text{PM}_{2.5}$ 농도 사분위범위(Interquartile Range, IQR) 증가에 따른 PEFR 변화량으로 나타내었고, 이 정도까지는 실제 경험할 수 있다고 생각되기 때문이었다.

III. 결과 및 고찰

1. 조사대상 초등학생들의 개인특성

조사에 참여하였던 학생들의 수는 총 157명이었으나, 이중 13명의 자료는 적정성 등의 문제로 제거하였으며, 나머지 144명의 자료만을 이용하여 분석하였다. 자료 분석에 이용된 144명의 학생들에 대한 개인특성

Table 1. General characteristics of participants

Variables	Grade	Gender	
		Boys	Girls
No. of subjects	3	34 (40.0%)	22 (37.3%)
	6	51 (60.0%)	37 (62.7%)
	Total	85 (100.0%)	59 (100.0%)
Age (years)	3	8	8
	6	11	11
Height (cm)	3	131.1 \pm 5.38 (121.2~142.1)	128.7 \pm 5.26 (118.2~138.4)
	6	147.7 \pm 7.30 (133.1~169.4)	147.8 \pm 6.56 (134.4~160.5)
Weight (kg)	3	31.2 \pm 5.51 (23.0~47.0)	28.7 \pm 7.25 (20.0~48.0)
	6	42.3 \pm 8.67 (27.0~68.0)	44.6 \pm 10.42 (30.0~76.0)

Note) Values are mean \pm S.D.(Min.~Max.).

은 Table 1과 같으며, 학년별로는 3학년이 56명(남-34명, 여-22명), 6학년이 88명(남-51명, 여-37명)이었다. 3학년 학생의 경우에는 신장과 체중 모두 남학생(131.1 cm, 31.2 kg)이 여학생(128.7 cm, 28.7 kg) 보다 높게 나타났으나, 6학년 학생의 경우에는 남학생(147.7 cm, 42.3 kg)에 비해 여학생(147.8 cm, 44.6 kg)에게서 신장과 체중 모두 높게 나타났다.

2. PEFR 측정결과

PEFR 측정결과, 최소 182 l/min에서 최대 481 l/min까지의 분포를 나타내었다(Table 2). 성별로는 3학년과 6학년학생 모두 남학생이 여학생에 비해 높게 나타났으며, 측정시간대별로는 오전에 측정된 PEFR 값이 정오

Table 2. Daily measured PEFR of participants

Variables	Grade	Gender	
		Boys	Girls
PEFR (Morning)	3	284 \pm 47.29 (187~425)	264 \pm 40.29 (200~347)
	6	387 \pm 42.35 (274~475)	356 \pm 37.43 (267~441)
PEFR (Noon)	3	291 \pm 44.01 (188~414)	265 \pm 39.21 (204~332)
	6	398 \pm 41.53 (299~481)	367 \pm 35.65 (271~455)
PEFR (Evening)	3	287 \pm 48.97 (182~449)	270 \pm 51.08 (198~403)
	6	395 \pm 41.89 (277~480)	364 \pm 39.59 (275~460)

Note) Values are mean \pm S.D.(Min.~Max.).

Table 3. Meteorological conditions and air particle concentrations during PEFR measurement days

Variables	Mean	S.D.	Min	25th	50th	75th	Max
Meteorological variables							
Air temperature (°C)	22.3	2.4	16.3	21.3	22.7	24.1	26.0
Relative humidity (%)	60.6	14.6	23.4	52.4	61.9	71.5	86.0
Air pollutants							
PM ₁₀ (µg/m ³)	64.9	32.0	14.3	46.6	56.0	96.7	154.0
PM _{2.5} (µg/m ³)	46.1	22.5	9.5	32.1	45.1	55.2	96.4

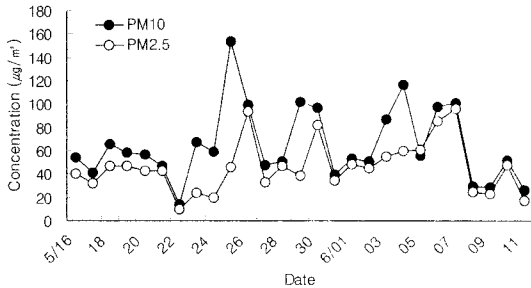


Fig. 1. Daily variation of PM₁₀ and PM_{2.5}.

및 저녁에 측정된 값보다 상대적으로 낮게 나타났다.

3. 미세먼지 농도와 기상상태

PEFR 측정기간 동안의 기상상태와 미세먼지 농도는 Table 3과 같다. 측정기간 동안의 평균 기온은 22.3°C 이었으며, 상대습도는 60.6%이었다. 조사대상 초등학교에서의 PM₁₀ 및 PM_{2.5} 평균농도는 각각 64.9 µg/m³ 및 46.1 µg/m³로, PM₁₀ 농도의 경우 24시간 평균 대기 환경기준인 100 µg/m³를 초과하는 날이 하루 있었다. PM₁₀과 PM_{2.5} 농도의 사분위범위는 각각 50.1 µg/m³ 및 23.1 µg/m³이었다.

PM₁₀ 및 PM_{2.5} 농도의 일별 변화는 Fig. 1과 같다. PM₁₀ 및 PM_{2.5} 농도의 일별 변화는 유사한 양상을 나타내었지만, PM_{2.5}에 비하여 PM₁₀ 농도의 변동폭이 큰 것으로 나타났다. PM₁₀의 농도는 황사와 같은 자연적인 오염원과 자동차, 도로의 비산먼지 등의 인위적인 오염원에 의한 영향을 동시에 받고 있어 빈도 및 농도 차이가 크다.¹⁶⁾ 신 등¹⁷⁾은 PM₁₀ 농도가 상승할수록 일반적인 기상(맑음, 흐림, 비)의 빈도는 낮아지고, 박무·안개·연무 등의 대기정체와 관련된 기상빈도가 상승한다고 보고하였다. 본 연구에서도 마찬가지로 PM₁₀의 농도가 상승한 날인 5월 23~25일, 29일~30일 그리고 6월 4~6일의 기상상태는 박무와 연무 등의 시정장애 현상이 있었다. 또한, 미세먼지의 농도가 모두 최저치인 5월 22일의 기상상태는 비로, PM₁₀과 PM_{2.5}의 감소는 강우에 의한 세정효과에 의한 것으로 사료된다. 이러한

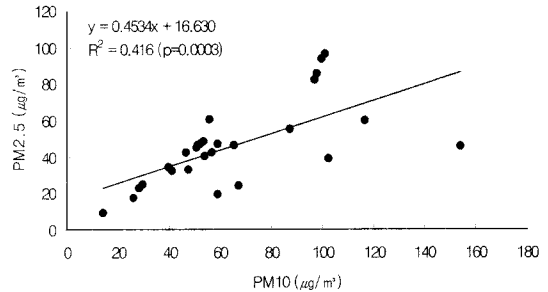


Fig. 2. Correlation coefficients between PM₁₀ and PM_{2.5}.

Table 4. Correlation coefficients among fine particles and meteorological factors

	PM ₁₀	PM _{2.5}	Air temperature	Relative humidity
PM ₁₀ (µg/m ³)	1.00000 (0.0)			
PM _{2.5} (µg/m ³)	0.64505 (0.0003)**	1.00000 (0.0)		
Air temperature (°C)	0.23494 (0.2382)	0.41573 (0.0310)*	1.00000 (0.0)	
Relative humidity (%)	0.01633 (0.9356)	-0.05165 (0.7981)	-0.70171 (0.0001)**	1.00000 (0.0)

*p<0.05, **p<0.01.

기상변화로 인한 농도변화를 제외하고는 PM₁₀과 PM_{2.5}의 농도변화경향은 유사하게 나타났으며 이러한 결과는 김 등,¹⁸⁾ 최 등¹⁹⁾에 의한 연구결과와도 일치하였다.

PM₁₀과 PM_{2.5}와의 상관성은 Fig. 2와 같으며, PM₁₀ 농도가 1 µg/m³ 증가할 때 PM_{2.5} 농도는 0.45 µg/m³의 유의한 증가를 보였다.

미세먼지 농도와 기상요인과의 상관분석을 한 결과는 Table 4와 같다. 기온과 상대습도가 유의한 역상관 관계를 나타내었고, 기온과 PM_{2.5} 농도가 유의한 정상관 관계를 나타내었다.

4. 미세먼지와 PEFR의 경시적 관련성 분석

조사대상 초등학교 학생을 대상으로, PEFR과 PM₁₀

Table 5. Estimates of the regression coefficients for predicting PEFr by individual characteristics using a mixed model
$$PEFR = \beta_0 + \beta_1(\text{Gender})^a + \beta_2(\text{Age}) + \beta_3(\text{Height}) + \beta_4(\text{Symptom})^b$$

Fixed effect variable	Estimate	S.E.	p-Value
β_0	-192.971	48.962	0.0001
β_1	-23.759	6.620	0.0003
β_2	17.386	3.627	0.0001
β_3	2.639	0.520	0.0001
β_4	-6.281	1.470	0.0001

^a: Gender(boys=0, girls=1), ^b: Symptom(no=0, yes=1).

및 PM_{2.5} 농도간의 경시적 관련성 분석에 앞서 PEFr과 개인요인(성별, 체중, 신장, 천식 및 알레르기 증상 경험, 일별 호흡기감염증상)의 관련성을 검토하여 최종적으로 선택한 혼합회귀모형은 Table 5와 같다.

여학생이 남학생보다 PEFr이 23.8 l/min 적은 것으로 나타났고, 연령이 1세 증가 시 17.4 l/min, 신장 1 cm 증가 시 2.6 l/min의 PEFr이 커지는 것으로 나타났으며, 호흡기증상이 있을 경우 PEFr이 6.3 l/min 적어지는 것으로 나타났다.

혼합회귀모형을 이용하여 PEFr에 영향을 줄 수 있는 개인요인(성별, 체중, 일별 호흡기증상)과 PEFr과

Table 6. Estimates of the regression coefficients for PM₁₀ and PM_{2.5} using a mixed model
$$PEFR = \beta_0 + \beta_1(\text{Gender})^a + \beta_2(\text{Age}) + \beta_3(\text{Height}) + \beta_4(\text{Symptom})^b + \beta_5(\text{Air Pollutant}) + \beta_6(\text{Relative Humidity})$$

Fixed effect variable	Estimate	S.E.	p-Value
β_0	-185.697	49.070	0.0002
β_1	-23.742	6.623	0.0003
β_2	17.385	3.628	0.0001
β_3	2.640	0.520	0.0001
β_4	-6.302	1.469	0.0001
β_5 (PM ₁₀)	-0.030	0.016	0.0576
β_6	-0.085	0.038	0.0269
β_0	-186.941	49.032	0.0002
β_1	-23.727	6.620	0.0003
β_2	17.390	3.627	0.0001
β_3	2.639	0.520	0.0001
β_4	-6.320	1.469	0.0001
β_5 (PM _{2.5})	-0.035	0.021	0.0899
β_6	-0.070	0.036	0.0529

^a: Gender(boys=0, girls=1), ^b: Symptom(no=0, yes=1), IQR of PM₁₀: 50.1 µg/m³, IQR of PM_{2.5}: 23.1 µg/m³

오염도의 관련성에 혼란요인으로 작용할 수 있는 기상 요인(일별 기온, 상대습도)을 통제하고, 시계열자료의 자기상관성을 고려하여 일별 PEFr과 미세먼지(PM₁₀ 및 PM_{2.5}) 농도의 관련성을 분석한 결과는 Table 6과 같다. PM₁₀ 및 PM_{2.5} 농도 증가에 따른 미세한 PEFr의 감소현상이 나타났으나, 통계적으로 유의한 수준은 아니었다(p>0.05). PM₁₀과 PM_{2.5} 농도의 사분위범위 증가에 따른 PEFr 감소량은 각각 1.5 l/min(95% C.I.: -3.1~0.1 l/min), 0.8 l/min(95% C.I.: -1.8~0.1 l/min)이었다.

폐기능(FVC, FEV₁, PEFr)과 부유분진 수준의 관련성을 평가한 미국에서의 연구로는 Harvard Six-City study로부터의 어린이 폐기능 자료의 분석,²⁰ 일차 및 이차 National Health and Nutrition Examination Surveys로부터의 자료분석,^{21,22} Switzerland의 8개 다른 지역으로부터의 분석²³이 있으며, 이들 각 연구들에 있어 대기오염의 폐기능에 대한 영향은 연령, 인종, 성별, 신장, 체중을 보정하고, 흡연을 통제하거나 비흡연자에 제한한 후에 추정된다. 이들 연구는 폐기능과 부유분진 농도간에 음의 상관성이 있음을 제시하였다.

24-US Cities에 대한 연구에서는 폐기능의 상대적인 저하(예측치의 85% 이하) 위험은 오염이 심한 도시일 수록 더욱 크고, 이는 정상폐의 성장과 발달에 호흡성 분진 또는 분진 산도의 유해한 영향을 제시한다고 보고한 바 있다.²⁴

미국의 Southern California 대학 연구자들은 1993년 이후 3,000명 이상의 학생들을 대상으로 대기오염에 의한 호흡기 영향을 추적 연구하여 폐기능의 발달장애와 미세먼지, 이산화질소 등이 상관성이 있음을 관찰하였고, 야외에서 시간을 많이 보내는 아이들일수록 상관성이 크다는 것을 확인하였으며, 장기적 대기오염 노출로 성인이 되었을 때 폐기능이 저하됨으로써 궁극적으로 만성호흡기 질환의 위험도를 증가시킨다고 결론지었다.²⁵

Dockery와 Pope²⁶는 기존 역학연구 결과를 통하여 분진의 급성호흡기 영향을 검토한 결과, 폐기능의 작은 감소를 관찰했는데, PM₁₀ 10 µg/m³ 증가 시 FVC는 0.15%, PEFr은 0.08% 감소하였다고 보고하였다.

Vedal 등²⁷은 Canada의 Vancouver Island에 거주하는 초등학생들을 대상으로 조사한 결과 농도가 낮은 수준에서도 PM₁₀의 증가는 PEFr 및 기침, 가래 등의 호흡기 증상에 영향을 초래하는 것으로 밝혔고, 특히 소아천식환자는 다른 아이들에 비하여 대기분진의 영향에 보다 민감하다는 것을 밝혔다.

우리나라에서의 경우, PM₁₀ 및 PM_{2.5}이 폐기능에 미치는 급성적 영향을 분석하는 연구는 이제 시작단계라

할 수 있고, Lee 등²⁸⁾은 울산지역에서의 패널(panel) 조사에 의한 초등학생의 PEFR과 대기오염자동차측정소의 PM₁₀ 농도간에 경시적 관련성을 분석한 바 있으나, 유의한 관련성을 관찰하지 못하였고, 국지적인 기상 및 지형의 복잡성에 따른 노출평가의 제한점을 제시한 바 있다.

초등학생들의 미세먼지 노출수준을 좀 더 정확하게 평가하기 위하여 인근지역의 대기오염자동차측정소 자료를 이용하지 않고 조사대상 학교에서 직접 미세먼지를 측정본 연구에서는, 대기환경기준 이내의 농도수준에서 통계적으로 유의한 수준은 아니었으나 PM₁₀ 및 PM_{2.5} 농도가 증가할 때 초등학생의 PEFR가 미세하게 감소하는 것을 관찰할 수 있었다. 그러나 이 결과는 단일오염물질의 폐기능에 대한 영향을 나타내는 것임에도 미세먼지의 경우 SO₂에 함께 노출될 경우 상승작용이 있는 것으로 알려져 있고, 또한 타 오염물질과 함께 분석될 경우 그 결과가 변할 수 있는 가능성이 있으므로 좀 더 연구가 필요할 것이다. 현재까지의 결과를 기준으로 할 때 노출측정의 중요성과 함께, 대기질 관리에 있어 호흡기 민감군에 대한 고려가 필요하다는 사실을 재확인하였다.

IV. 결 론

본 연구에서는 대기오염에 의한 호흡기계 영향을 평가하기 위하여 초등학생들을 대상으로 최고호기유량(PEFR)에 대한 경시조사를 실시하였다. 대기오염에 대한 반응의 개인차를 고려할 수 있는 혼합모형(mixed model)에 시계열자료의 자기상관성을 고려할 수 있는 행렬을 추가하고, 성별, 체중, 호흡기증상유무를 통제한 상태에서 미세먼지 농도와 PEFR의 경시적 관련성을 분석하였다.

PEFR과 개인요인(성별, 체중, 신장, 천식 및 알레르기 증상경험, 일별 호흡기감염증상)간의 관련성을 분석한 결과, 여학생이 남학생보다 PEFR이 23.8 l/min 적은 것으로 나타났고, 연령이 1세 증가 시 17.4 l/min, 신장 1 cm 증가 시 2.6 l/min의 PEFR이 커지는 것으로 나타났으며, 호흡기증상이 있을 경우 PEFR이 6.3 l/min 적어지는 것으로 나타났다.

개인요인(성별, 연령, 신장, 일별 호흡기증상)과 기상요인(일별 상대습도)을 통제하고, 시계열 자료의 자기상관성 및 개인차를 고려하여 일별 PEFR과 미세먼지 농도의 관련성을 분석한 결과, 통계적으로 유의한 수준은 아니었으나 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도의 사분위범위 (PM₁₀=50.1 µg/m³; PM_{2.5}=23.1 µg/m³) 증가에 따른

PEFR 감소량은 각각 1.5 l/min(95% C.I.: -3.1~0.1 l/min), 0.8 l/min(95% C.I.: -1.8~0.1 l/min)이었다.

이상의 결과 미세먼지와 폐기능과의 유의한 결과를 나타내지는 못하였으나, 미세먼지 농도의 증가에 따라 초등학생 PEFR가 미세한 감소를 나타내는 것을 알 수 있었다. 그러나, 본 연구는 오염물질 노출량 추정에 있어 노출 편견을 줄이기 위하여 조사대상 초등학교의 옥상에서 직접 미세먼지를 측정하였고, 대기질의 지표로 PM_{2.5}를 사용한 연구라는 점에 그 의미가 있다. 따라서 대기환경기준의 검토, 대기환경정책의 수립 및 평가 등에 참고자료로 활용될 수 있을 것이며, 궁극적으로 대기오염에 의한 건강피해를 예방하는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Peters, A., Dockery, D. W., Heinrich, J. and Wichmann, H. E. : Short-term effects of particulate air pollution on respiratory morbidity in asthmatic children. *The European Respiratory Journal*, **10**(4), 872-879, 1997.
2. Droste Jos, H. J., Wieringa, M. H., Weyler, J. J., Nelen, V. J., Van Bever, H. P. and Vermeire, P. A. : Lung function measures and their relationship to respiratory symptoms in 7- and 8-year-old children. *Pediatric Pulmonology*, **27**, 260-266, 1999.
3. Von Klot, S., Wölke, G., Tuch, T., Heinrich, J., Dockery, D. W., Schwartz, J., Kreyling, W. G., Wichmann, H. E. and Peters, A. : Increased asthma medication use in association with ambient fine and ultrafine particles. *The European Respiratory Journal*, **20**(3), 691-702, 2002.
4. 강공연, 이상복 : 호흡기 침착부위에 따른 미세먼지 중 수용성 이온성분의 일별 농도 측정. *한국환경보건학회지*, **31**(5), 387-397, 2005.
5. Dockery, D. W., Pope, C. A. 3rd, Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., Ferris, B. G. Jr and Speizer, F. E. : An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *The New England Journal of Medicine*, **329**, 1753-1759, 1993.
6. Samet, J. M., Dominici, F., Curriero, F. C., Coursac, I. and Zeger, S. L. : Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities: 1987-1994. *The New England Journal of Medicine*, **343**, 1742-1749, 2000.
7. McConnell, R., Berhane, K., Gilliland, F., London, S. J., Vora, H., Avol, E., Gauderman, W. J., Margolis, H. G., Lurmann, F., Thomas, D. C. and Peters, J. M. : Air pollution and bronchitic symptoms in Southern California children with asthma. *Environmental Health Perspectives*, **107**, 757-760, 1999.
8. Gent, J. F., Triche, E. W., Holford, T. R., Belanger, K., Bracken, M. B., Beckett, W. S. and Leaderer, B. P. : Association of low-level ozone and fine particles

- with respiratory symptoms in children with asthma. *The JOURNAL of the American Medical Association*, **290**(14), 1915-1917, 2003.
9. Kwon, H. J. : Air pollution. *The Korean Association of Medical Journal*, **41**(10), 1025-1031, 1998.
 10. 이영길, 백남원 : 중학교 학생들의 분진폭로에 관한 조사연구. *한국환경보건학회지*, **13**(2), 25-33, 1987.
 11. Lee, J. T. and Kim, H. : Epidemiologic methods and study designs for investigating adverse health effects of ambient air pollution. *The Korean Society for Preventive Medicine*, **34**(2), 119-126, 2001.
 12. Hong, Y. C. and Cho, S. H. : Health effects of ambient particulate pollutants. *The Korean Society for Preventive Medicine*, **34**(2), 103-108, 2001.
 13. Pope, C. A. 3rd and Schwartz, J. : Time series for the analysis of pulmonary health data. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. **154**(6 Pt 2), s229-s233, 1996.
 14. Bascom, R., Bromberg, P. A., Costa, D. A., Devlin, R., Dockery, D. W., Framptom, M. W., Lambert, W., Samet, J. M., Speizer, F. E. and Utell, M. : Health effects of outdoor air pollution. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **153**, 3-50, 1996.
 15. 김대선, 유승도, 차정훈, 안승철, 차준석 : 봄철 미세먼진이 북경시 아동 폐기능에 미치는 급성영향에 관한 연구. *한국환경보건학회지*, **30**(2), 140-148, 2004.
 16. 김신도 : 우리나라 미세먼지 현황 및 문제점. 한국대기환경학회 추계학술대회, 한국대기환경학회, 2004.
 17. 신문기, 이충대, 하현섭, 최준석, 김용희 : 기상인자가 미세먼지 농도에 미치는 영향. *한국대기환경학회지*, **23**(3), 322-331, 2007.
 18. 김성연, 정문호, 손부순, 양원호, 최경호 : 서울시 일부 지역의 대기 중 미세먼지에 관한 연구. *한국환경보건학회지*, **31**(4), 301-308, 2005.
 19. 최금찬, 김종호, 김태식, 강공언, 강창희, 김신도 : 미세먼지 분야 측정분석 자료의 해석. 한국대기환경학회 춘계학술대회, 한국대기환경학회, 2003.
 20. Dockery, D. W., Speizer, F. E., Stram, D. O., Ware, J. H., Spengler, J. D. and Ferris, B. G. Jr. : Effects of inhalable particles on respiratory health of children. *The American Review of Respiratory Disease*, **139**, 587-594, 1989.
 21. Schwartz, J. : Lung function and chronic exposure to air pollution: a cross-sectional analysis of NHANES II. *Environmental Research*, **50**, 309-321, 1989.
 22. Chestnut, L. G., Schwartz, J., Savitz, D. A. and Burchfiel, C. M. : Pulmonary function and ambient particulate matter: epidemiological evidence from NHANES I. *Archives of Environmental Health*, **46**, 135-144, 1991.
 23. Ackermann-Lieblich, U., Leuenberger, P., Schwartz, J., Schindler, C., Monn, C., Bolognini, G., Bongard, J. P., Brandli, O., Domenighetti, G., Elsasser, S., Grize, L., Karrer, W., Keller, R., Keller-Wossidlo, H., Kunzli, N., Martin, B. W., Medici, T. C., Perruchoud, A. P., Schoni, M. H., Tschopp, J. M., Villiger, B., Wuthrich, B., Zellweger, J. P. and Zemp, E. : Lung function and long term exposure to air pollutants in Switzerland. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **155**, 122-129, 1997.
 24. Pope, C. A. 3rd and Dockery, D. W. : Epidemiology of particle effects. *Air Pollution and Health*. Academic Press, London, 673-706, 1999.
 25. Peters, J. M., Avol, E., Gauderman, W. J., Linn, W. S., Navidi, W., London, S. J., Margolis H., Rappaport, E., Vora, H., Gong, H. Jr. and Thomas, D. C. : A study of twelve Southern California communities with differing levels and types of air pollution; II. effects on pulmonary function. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **159**, 768-775, 1999.
 26. Dockery, D. W. and Pope, C. A. 3rd. : Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health*. **15**, 107-132, 1994.
 27. Vedal, S., Petkau, J., White, R. and Blair, J. : Acute effects of ambient inhalable particles in asthmatic and nonasthmatic children. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **157**(4 Pt 1), 1034-1043, 1998.
 28. Lee, C. R., Yoo, C. I., Lee, J. H. and Kim, Y. H. : Respiratory health of the children living near the petrochemical estate in Ulsan. *The Korean Society for Preventive Medicine*, **33**(2), 174-183, 2000.