

대기오염 노출과 초등학교 학생들의 호흡기계 증상에 관한 패널 연구

이보은, 하은희¹⁾, 박혜숙¹⁾, 김 호²⁾, 이현정²⁾, 이연경³⁾, 이승주⁴⁾, 홍윤철⁵⁾

질병관리본부 만성병조사과, 이화여자대학교 의과대학 예방의학교실¹⁾, 서울대학교 보건대학원 보건학교²⁾, 서울 원광초등학교³⁾,
이화여자대학교 의과대학 소아과학교실⁴⁾, 서울대학교 의과대학 예방의학교실⁵⁾

Air Pollution and Respiratory Symptoms of School Children in a Panel Study in Seoul

Bo-Eun Lee, Eun-Hee Ha¹⁾, Hye-sook Park¹⁾, Ho Kim²⁾, Hyun-Jung Lee²⁾, Yeon-Kyoung Lee³⁾, Seung-Joo Lee⁴⁾, Yun-Chul Hong⁵⁾

Korean Centers for Disease Control; Department of Preventive Medicine, Ewha Womans University¹⁾;
School of public health, Seoul National University²⁾; Won Kwang Elementary School³⁾;
Department of Pediatrics, Ewha Womans University⁴⁾; Department of Preventive Medicine, Seoul National University⁵⁾

Objectives : The aim of this study was to assess the effect of air pollution on the daily respiratory symptoms of elementary school children in Seoul.

Methods : Using the panel study design, we collected diary data for the children's respiratory symptoms during the 1st day~15th day of April, July, October and December in 2003 among the 2nd and 3rd grade elementary school students. We merged the respiratory symptom data with the ambient air pollution data that was monitored by Ministry of Environment. Using a generalized estimate equation, we evaluated the relationship between the daily symptoms of the subjects and the exposure to air pollution after controlling for various potential confounders.

Results : The nitrogen dioxide (NO₂) exposure of the current day significantly increased the upper respiratory symptoms (adjusted odds ratio=1.12, 95% CI=1.01-1.24) and the lower respiratory symptoms (adjusted odds

ratio=1.18, 95% CI=1.06-1.31) in the elementary school children. The sulfur dioxide (SO₂) and carbon monoxide (CO) exposure in the current day was associated with the lower respiratory symptoms (adjusted odds ratio=1.12, 95% CI=1.01-1.25 for SO₂; adjusted odds ratio=1.16, 95% CI=1.02-1.32 for CO).

Conclusions : We found that exposure to air pollution affects the daily respiratory symptoms in children. This study suggests that the effect on children's health? due to the short term changes in air pollution levels needs to be considered as an important public health problem.

J Prev Med Public Health 2005;38(4):465-472

Key words : Panel study, Diary, Respiratory symptoms, Air pollution, Children

서론

최근 미세먼지 농도가 일정 수준 이상에 이르면 주의보나 경보를 발령하는 먼지경보제가 시행되는 등 대기오염이 건강에 미치는 영향에 대한 관심이 높아지고 있다. 대기오염 노출은 호흡기계 질환으로 인한 사망 [1,2] 뿐 아니라 응급실이나 [3,4], 병원방문 [5,6], 천식약사용 [7,8] 과 같은 호흡기계의 건강영향과 관련이 있다는 것이 여러 연구들을 통해 보고된 바 있다. 특히 어린이들은 면역 체계가 완전하지 않고 단위 체표면당 노출량이 많기 때문에 대기오염으로 인한 이러한 건강영향

에 더욱 민감한 집단으로 알려져 있다 [9]. 패널 연구는 대기오염이 인간의 건강에 미치는 단기간의 영향을 평가하는데 유용한 방법으로 형태의 연구에서 각 연구 참여자는 건강상태를 반복적으로 기록하기 때문에 건강에 대한 환경적인 영향을 평가하는데 실질적인 기초를 제공할 수 있다. 패널 연구 설계의 장점은 첫째, 기준집단이 명확하게 정의된다는 것이며 둘째, 모든 개인들이 자신의 대조군으로 작용하기 때문에 별도의 대조군이 필요하지 않고 패널 연구의 결과는 더 높은 통계적 유의성을 달성할 수 있다는 것이다 [12]. 마지막으로 대기오염과 건강증상사이의 관

찰된 결과를 혼란시킬 수 있는 개인의 특성과 행태가 확인되고 분석 시에 통제될 수 있다는 장점이 있다

패널 연구에서 10 마이크로 이하의 분진 (PM₁₀; particulate matter less than 10 μ m in aerodynamic diameter)에 대한 노출은 천식 아동들에 있어 천식 증상을 악화시키고 최대호기유속을 감소시키며 기관지확장제의 사용을 증가시키는 것으로 보고되었으며 [16,17] 천식 증상이 없는 아동들에서도 이러한 관련성을 보고한 경우가 몇 편 있었다 [18]. 그러나, 현재까지 대기오염의 급성영향에 대한 연구들은 대부분 미국이나 유럽 지역에서 이루어졌으며 우리나라에서는 단면 연구로 호흡기계증상을 조사

하는 연구가 주로 이루어졌고 패널 연구를 통해 종적연구가 이루어진 적이 거의 없었다. 또한 기존의 연구결과들과는 다른 인구집단과 다른 기상 특성을 갖는 지역에서 대기오염과 건강영향에 대한 평가를 재수행하는 것은 건강영향에 대한 대기오염의 인과성에 대한 논쟁에 부가적인 증거를 제공할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 대기오염의 영향에 더욱 민감한 집단으로 알려져 있는 어린이들을 대상으로 패널 연구를 통해 PM₁₀, SO₂, NO₂, 그리고 CO와 같은 대기오염 물질의 변동이 호흡기계 증상에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

연구방법

1. 연구대상

연구대상 학교는 서울시의 북동쪽에 위치한 노원구 소재의 초등학교로서 학교 주변에 8차선 도로가 있으며 교통량이 많은 지역으로 대기오염 농도가 비교적 높은 지역이다. 2002년도 11월에 건강 및 환경에 대한 기초설문조사에 응하였던 학생들을 대상으로 호흡기계 증상 다이어리 연구에 대한 참여 여부를 묻는 동의서를 2003년 3월에 발송하였으며 부모가 동의서에 동의한 한 경우에 연구에 참여하게 하였다. 호흡기계 증상 다이어리 연구에 참여의사를 밝힌 학생은 2학년 110명, 3학년 93으로 총 203명이었다.

2. 기초 설문조사 및 다이어리 조사

1) 기초설문조사

초등학교 학생들의 대기오염 노출과 호흡기계 증상의 관련성을 살펴보는 데 잠재적인 혼란요인으로 작용할 수 있는 변수들에 대한 정보는 다이어리 조사가 실시되기 이전에 조사된 기초설문조사로부터 확보하였다. 조사항목은 호흡기계 질병력으로 만성호흡기 질환 (예를 들면 3개월 이상 기침, 가래가 지속된 경우), 알레르기 성비염, 아토피성 피부질환에 대한 과거 경험 (지난 12개월 이전)과 최근의 경험 (12개월 전부터 현재까지)을 조사하였고 인구학적 요인으로 학년, 성, 유전적 요인

으로는 천식가족력에 대하여 조사하였고 환경적 요인으로 부모의 흡연, 집과 도로와의 거리 등을 포함하였다.

2) 다이어리 조사

호흡기계 증상에 대한 다이어리 조사는 계절별로 2003년 봄(4월), 여름(7월), 가을(10월), 겨울(12월) 4회에 걸쳐 이루어졌다. 조사 일정 며칠 전에 교사들이 학생들에게 다이어리를 배부하였으며 학생들은 해당 월의 1일부터 15일까지 보름간 다이어리를 기록하였다. 조사된 증상은 코막힘, 침 삼킬 때 목아픔, 눈의 염증, 귀의 염증, 콧물, 기침, 가래, 짹짹거림, 가슴답답, 증상이 있어서 밤에 잠이 깎, 약물복용, 병원 방문으로 총 12문항이었다. 대상자들은 매일 위의 각 증상에 대한 발생여부를 '있다' 또는 '없다'로 작성하였다.

3) 대기자료

서울시의 대기오염 측정소는 공장의 연기 등에서 배출되는 오염물질에 영향을 받지 않는 27개소를 선정해서 그 값들의 평균이 서울지역을 대표하도록 설계되었다 [19]. 본 연구에서는 2003년도 서울 지역의 대기자료로 미세먼진, 이산화질소, 아황산가스, 일산화탄소 농도 자료를 환경부로부터 제공받았다. 이들 물질들은 각각 베타선 흡수법 (PM₁₀), 비분산 적외선 분석법 (CO), 화학발광법 (NO₂), 자외선형광법 (SO₂)을 이용하여 실시간 측정되고 있는데 각 측정소에서 측정된 대기오염 물질에 대한 시간당 농도를 평균하여 24시간 평균 농도를 산출하였다. 기상자료의 경우 평균온도와 상대습도에 대한 자료를 기상청 웹 사이트에서 확보하였다.

4) 통계분석

대기오염과 다이어리를 통해 조사된 호흡기계 증상과의 관련성을 살펴보는 데 있어 잠재적인 혼란요인으로 작용할 수 있는 변수들은 동일 연구 대상자를 대상으로 실시된 기초 설문조사를 분석한 기존 연구에 근거하여 선정하였으며 [20] 이러한 변수들을 중심으로 연구대상자들의 특성을 빈도와 백분율로 제시하였다.

각각의 증상은 하루 동안에 그러한 증상이 있었는지에 대해 '있다', '없다'와 같이 이분변수로 응답되고 이러한 형태의 관측치가 반복되는 반복자료의 형태를 띠

Table 1. The characteristics of study subjects

		N	%
Age	9yrs	94	53.11
	10yrs	83	46.89
Sex	Male	93	52.54
	Female	84	47.46
Asthma family history	Yes	27	15.25
	No	150	84.75
Distance from road	≥ 10m	132	76.74
	< 10m	40	23.26
Paternal smoking	Yes	119	67.23
	No	58	32.77
Maternal smoking	Yes	1	0.56
	No	176	99.44
Respiratory disease history	Yes	24	13.79
	No	150	86.21
Atopic disease history	Yes	56	38.89
	No	88	61.11

다. 이와 같이 반응변수들이 반복측정된 경우에 계열상관 (serial correlation)을 무시하게 되면 이는 영향추정치 (effect estimates)의 과소추정을 초래하고 따라서 잠재적으로 정당하지 못한 유의성 결과를 초래할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 난점을 극복하기 위하여 generalized estimating equations (GEE)를 적용하였으며 SAS 8.0 version의 GENMOD procedure를 이용하여 분석을 수행하였다. GEE 모형에서는 주어진 대상자들의 반복된 관측치들 사이에 상관관계를 고려하면서 공변량들의 함수로써 결과변수의 기댓값을 산출하게 된다.

호흡기계 증상은 두 가지 형태로 분석되었는데 먼저 다이어리에서 조사된 세부적인 증상 항목을 그대로 사용하였고 다른 하나는 이러한 증상을 상기도 증상과 하기도 증상으로 분류하여 분석하였다. 본 연구에서 상기도 증상은 해당일에 코막힘, 목아픔, 콧물 증상 중 한 가지 이상의 증상이 있다고 보고한 경우로 정의하였고 하기도 증상은 기침, 가래, 천명음, 가슴답답, 호흡곤란과 같은 증상 중 한 가지 이상을 보고한 경우로 정의하였다.

각 대기오염 물질이 호흡기계 증상에 미치는 영향은 성별, 천식 가족력, 아토피성 피부질환 경험, 간접흡연, 집과 도로사이의 거리와 같은 개인과 관련된 변수들과 당일의 평균 기온과 상대습도, 요일, 계절과 같이 시간에 의존적인 변수들을 보정하고 평가하였다. 이전의 대기오염 연구들에서 건강 결과들이 온도나 습도와 관련이 있다는 것을 지적하였기 때문에 가장 영향을 주는 시기를 알아보기 위하여

Table 2. Summary statistic for concentrations of air pollutant and meteorological data in Seoul, 2003

	Minimum	Maximum	Mean(SD)	Interquartile range
Air pollution				
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11.5	176.7	66.5 (34.7)	42.2
NO ₂ (ppb)	15.8	93.6	39.0 (12.1)	17.3
SO ₂ (ppb)	2.3	13.2	4.8 (2.0)	2.6
CO(ppm)	0.27	2.03	0.65(0.28)	0.32
Meteorological data				
Temperature($^{\circ}\text{C}$)	-12.8	27.0	12.8 (9.5)	16.9
Humidity(%)	27.6	95.9	64.6 (14.9)	24.4

Table 3. The odds ratio and 95% confidence interval of daily upper respiratory symptom for interquartile increase in air pollutants

Pollutant	Lag	Adjusted model 1*		Adjusted model 2†	
		OR	95% CI	OR	95% CI
PM ₁₀	Current	1.05	0.97 - 1.13	1.06	0.96 - 1.16
	lag1	1.04	0.98 - 1.11	1.06	0.98 - 1.15
	lag2	1.04	0.98 - 1.10	1.04	0.98 - 1.11
	lag3	1.00	0.94 - 1.06	1.00	0.92 - 1.07
NO ₂	Current	1.10	1.01 - 1.19	1.12	1.01 - 1.24
	lag1	1.08	0.99 - 1.17	1.10	1.00 - 1.21
	lag2	1.02	0.95 - 1.09	1.02	0.96 - 1.10
	lag3	1.03	0.95 - 1.12	1.04	0.94 - 1.15
SO ₂	Current	1.05	0.97 - 1.15	1.06	0.95 - 1.17
	lag1	1.00	0.93 - 1.08	1.01	0.91 - 1.11
	lag2	0.95	0.89 - 1.02	0.96	0.88 - 1.04
	lag3	0.96	0.89 - 1.04	0.98	0.87 - 1.08
CO	Current	1.11	1.00 - 1.22	1.12	0.99 - 1.27
	lag1	1.07	0.97 - 1.17	1.09	0.97 - 1.22
	lag2	1.03	0.96 - 1.10	1.04	0.97 - 1.11
	lag3	1.00	0.92 - 1.08	1.02	0.93 - 1.12

* Adjusted for mean temperature, relative humidity, day of week, and season

† Adjusted for mean temperature, relative humidity, day of week, season, sex, family history of asthma, atopic history, environmental tobacco smoke, and distance from house to road

Table 4. The odds ratio and 95% confidence interval of daily lower respiratory symptom for interquartile increase in air pollutants

Pollutant	Lag	Adjusted model 1*		Adjusted model 2†	
		OR	95% CI	OR	95% CI
PM ₁₀	Current	1.02	0.94 - 1.10	1.07	0.98 - 1.17
	lag1	1.01	0.95 - 1.08	1.07	0.98 - 1.16
	lag2	1.03	0.96 - 1.10	1.06	0.98 - 1.14
	lag3	1.02	0.96 - 1.09	1.02	0.94 - 1.10
NO ₂	Current	1.11	1.02 - 1.22	1.18	1.06 - 1.31
	lag1	1.03	0.95 - 1.12	1.08	0.98 - 1.18
	lag2	1.01	0.94 - 1.09	1.01	0.93 - 1.10
	lag3	1.02	0.94 - 1.11	1.00	0.91 - 1.10
SO ₂	Current	1.05	0.96 - 1.15	1.12	1.01 - 1.25
	lag1	1.00	0.93 - 1.07	1.05	0.96 - 1.14
	lag2	0.94	0.87 - 1.02	0.96	0.87 - 1.05
	lag3	1.00	0.92 - 1.08	0.97	0.88 - 1.07
CO	Current	1.10	0.99 - 1.22	1.16	1.02 - 1.32
	lag1	1.03	0.93 - 1.13	1.07	0.96 - 1.20
	lag2	1.02	0.95 - 1.09	1.03	0.95 - 1.12
	lag3	1.01	0.93 - 1.09	1.01	0.92 - 1.11

* Adjusted for mean temperature, relative humidity, day of week, and season

† Adjusted for mean temperature, relative humidity, day of week, season, sex, family history of asthma, atopic history, environmental tobacco smoke, and distance from house to road

당일부터 3일전까지의 평균기온과 상대 습도를 살펴보았으며 Akaike's Information Criterion (AIC) 등을 고려하여 당일 기온과 습도 자료를 이용하기로 결정하였다. 또한 대기오염물질에 대한 지연효과를 확인

하기 위하여 당일 노출부터 4일전까지의 노출과 이동평균 (moving average)을 고려하였다.

연구결과

호흡기계 다이어리를 작성하였던 연구 대상자들 중 53.1%가 9세이었고 나머지는 10세이었고 남학생이 52.5%로 여학생보다 조금 높은 비율을 차지하고 있었다 (Table 1). 15.3%의 학생들이 천식 가족력을 가지고 있었고 38.9%의 학생들이 아토피 성 피부질환을 앓은 경험이 있다고 응답하였다. 아버지가 흡연하는 경우는 67.2%로 높은 비율을 보였지만 어머니가 흡연하는 경우는 0.56%에 불과하였다.

연구기간 동안 서울지역의 미세먼지 평균농도는 $66.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 이산화질소와 아황산가스의 평균농도는 각각 39.0 ppb와 4.8 ppb이었다. 일산화탄소의 경우 연평균 0.65 ppm의 농도 수준을 나타내었다 (Table 2).

대기오염 물질의 사분위수 범위 증가에 따른 상기도 호흡기계 증상을 보면 (Table 3) 기상요인과 요일, 계절을 통제한 모형 (Model 1)과 이와 함께 다른 개인적인 요소를 추가로 통제한 모형 (Model 2)에서 전반적으로 전자에 비해 후자의 위험비의 크기가 다소 커지기는 하였으나 결과가 비슷한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 평균기온, 상대습도, 요일, 계절을 통제한 모형에서 이산화질소 당일 노출이 상기도 증상을 1.10배 증가시켰고 이는 성별, 천식 가족력, 아토피 질환력, 간접흡연, 도로로부터의 거리를 통제한 후에도 교차비가 1.12로 유의하게 유지되는 것을 볼 수 있었다. 그 외에 당일 노출로 인한 상기도 호흡기계 증상에 있어 미세먼지는 1.06, 이산화황은 1.06, 일산화탄소는 1.12의 교차비를 보였지만 통계적 유의성을 확보하지는 못하였다. 한편 3일전 노출부터 당일 노출까지를 고려하여 보았을 때 전반적으로 3일전 노출로부터 당일 노출에 가까워질수록 교차비가 증가하는 경향을 보였다.

하기도 증상의 경우 (Table 4) 평균기온, 상대습도, 요일, 계절을 통제한 모형에서는 이산화질소 노출만이 하기도 증상을 유의하게 증가시켰으나 (교차비 1.11, 95% CI=1.02-1.22), 다른 요인들을 추가로 통제한 모형에서는 이산화질소 (교차비 1.18, 95% CI=1.06-1.31), 아황산가스 (교차비

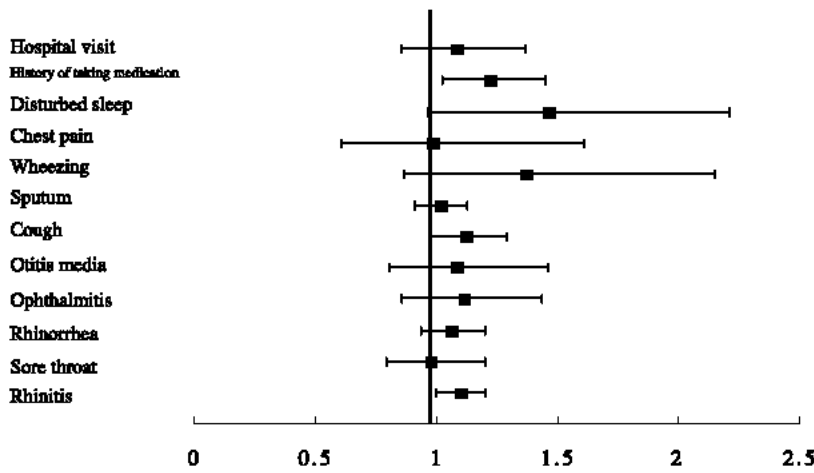


Figure 1. The effect of PM10 exposure on daily respiratory symptoms in children.

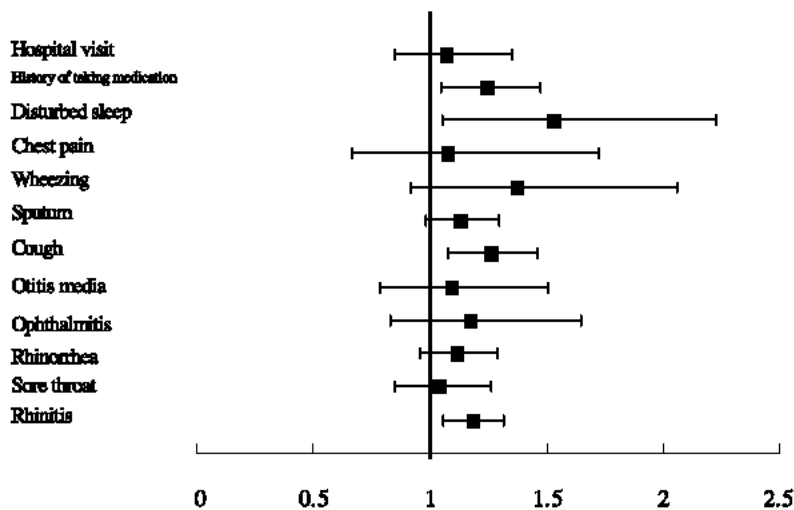


Figure 2. The effect of NO2 exposure on daily respiratory symptoms in children.

1.12, 95% CI=1.01-1.25), 일산화탄소 (교차비 1.16, 95% CI=1.02-1.32) 당일 노출이 하기도 증상과 관련이 있는 것을 볼 수 있었다. 또한 3일전의 노출부터 당일 노출까지를 살펴보았을 때 역시 지연효과보다는 당일 노출이 하기도 증상과 가장 관련성이 있는 것을 볼 수 있었다.

Figure 1에서 4는 대기오염 노출과 세부적인 호흡기계 증상과의 관련성을 보여준다. 미세먼진 당일 노출은 코막힘 (교차비 1.10, 95% CI=1.002-1.202)과 약물 복용 (교차비 1.22, 95% CI=1.02-1.45)을 유의하게 증가시키는 것으로 나타났다 (Figure 1).

Figure 2에서 보여 지는 바와 같이 이산화

질소의 경우 코막힘 (교차비 1.18, 95% CI=1.06-1.32), 기침 (교차비 1.26, 95% CI=1.08-1.46), 밤에 증상으로 잠이 깬 (교차비 1.53, 95% CI=1.05-2.23), 약물 복용 (교차비 1.24, 95% CI=1.04-1.47)과 관계가 있는 것을 볼 수 있었다.

아황산가스 노출은 천명음 증상을 1.53배 (95% CI=1.04-2.28) 증가시켰고 증상이 있어서 잠이 깨는 경우도 1.81배 (95% CI=1.11-2.95) 증가시키는 것으로 나타났다 (Figure 3).

Figure 4는 일산화탄소 노출과 호흡기계 증상과의 관련성을 나타내는데 코막힘 증상의 교차비는 1.19 (95% CI=1.04-1.36)이

있고, 기침은 1.26 (95% CI=1.05-1.52), 증상이 있어서 잠이 깨는 경우가 1.47 (95% CI=1.01-2.13), 약물 복용은 1.31 (95% CI=1.05-1.62)의 교차비를 보였다.

고찰

본 연구에서 온도나 습도와 같은 기상요인, 계절적인 요인, 기타 다른 혼란요인들을 통제된 후에 이산화질소 노출은 상기도 호흡기계 증상을 유의하게 증가시키는 것으로 나타났고 하기도 증상의 경우 이산화질소, 아황산가스, 일산화탄소 노출과 관련이 있는 것을 볼 수 있었다. PM10의 경우 상기도 및 하기도 증상을 증가시키는 경향을 보였지만 통계적 유의성이 확보되지는 못하였다. 또한 각 세부 호흡기계 증상을 살펴보았을 때 미세먼진은 코막힘, 약물복용, 이산화질소는 코막힘, 기침, 밤에 증상으로 잠이 깬, 아황산가스는 천명음 증상, 밤에 증상으로 잠이 깬, 일산화탄소는 코막힘, 기침, 밤에 증상으로 잠이 깬, 약물복용과 관련이 있는 것으로 나타났다.

대기오염 농도가 높은 계절인 12월부터 3월까지 방콕의 일반 성인, 간호사, 아동을 대상으로 하였던 패널 연구에서 PM10의 증가는 아동의 하기도 및 상기도 증상을 증가시키는 것으로 보고되었다. 또한 천명음 증상이 있었거나 천식 진단을 받은 4, 5학년 아동들을 대상으로 한 Utah 지역의 연구에서도 로지스틱 회귀분석결과 PM10 노출은 상기도나 하기도 증상, 천식약 복용과 통계적으로 유의한 관련성이 있는 것으로 나타났다. 5-7세 아동을 대상으로 한 패널 연구에서 호흡기계 증상은 PM10 노출과 관련이 있어서 PM10 20 µg/m³의 증가는 당일 날의 아동들의 하기도 증상을 8% 증가시키는 것으로 나타났다 [24]. 그러나, 본 연구에서는 PM10 노출이 사분위 구간 증가할 때 상기도 및 하기도 증상을 각각 6%, 7% 증가시키는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의한 관련성을 발견하지는 못하였다. Schwartz 등 [25]은 미국에서 수행되었던 종적인 다이어리 연구를 재분석하였는데 Harvard Six Cities Diary Study

의 two pollutant model에서 하기도 호흡기계 증상은 PM_{2.5}와 관련이 있었지만 coarse particles과는 유의한 관련성이 없었다. 패널의 대부분(77%)이 천식약을 복용하고 있었던 Gielen 등 [26]의 네델란드 연구에서 PM₁₀ 노출은 상기도 및 하기도 증상을 증가시키는 경향을 보였지만 통계적 유의성이 유지되지는 않았다. 3년 동안 매겨울마다 이루어졌던 또 다른 연구에서는 기존에 호흡기계 증상이 있는 아동들의 경우 PM₁₀, SO₂ 노출과 하기도 증상간의 유의한 관련성이 있었지만 호흡기계 증상이 없는 아동들에서는 이러한 관련성을 발견할 수 없었다. 한편 최근에 유럽 17개 지역에서 이루어진 PEACE (Pollution Effects on Asthmatic Children in Europe) 연구에서 미세먼지는 하기도 호흡기계 증상이나 기관지 확장제 사용과 관련이 없는 것으로 나타났다며 건강한 아이들이 주 연구 대상이었던 Hoek와 Brunekreef [28]의 연구에서 PM₁₀ 노출은 하기도 증상을 감소시키는 것으로 보고되었다.

본 연구에서 아황산가스 당일 노출은 평균기온과 습도, 요일, 계절을 통제한 모형에서는 하기도 증상에 대해 1.05 (95% CI=0.96-1.15)의 교차비를 보였지만, 성별, 천식 가족력, 아토피 경험, 간접흡연, 집으로부터 도로까지의 거리까지 통제한 후에는 하기도 증상을 유의하게 증가시키는 것으로 나타났다 (OR=1.12, 95% CI=1.01-1.25). SO₂는 천식을 악화시키는 것으로 알려져 있는데 [29] 독일 아동들에 대한 패널 연구에서 5일 동안의 SO₂ 평균 농도가 호흡기계 증상 점수와 관련성이 있었으며 [30] 네델란드의 비산업지역에 거주하는 아동들을 대상으로 한 연구에서는 전날의 SO₂ 농도가 상기도 증상과는 유의한 관련성을 보이지 않았지만 하기도 호흡기계 증상과는 관련이 있었다 (OR=1.73, 95% CI=1.11-2.72) [28]. 미국의 6개 도시 연구에서 SO₂ 노출은 하기도 증상과 유의한 관련성 (OR=1.28, 95% CI=1.13-1.46)이 있었으나 이러한 관련성은 몇몇 영향력 있는 변수들을 제외 한 후에 사라지는 것을 볼 수 있었다. 본 연구에서 NO₂는 상기도 증상과 하기도 증상 모두를 유의하게 증가시

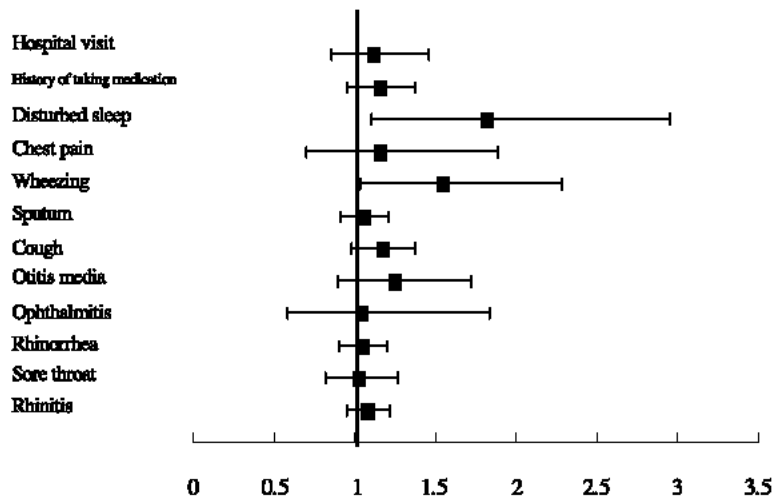


Figure 3. The effect of SO₂ exposure on daily respiratory symptoms in children.

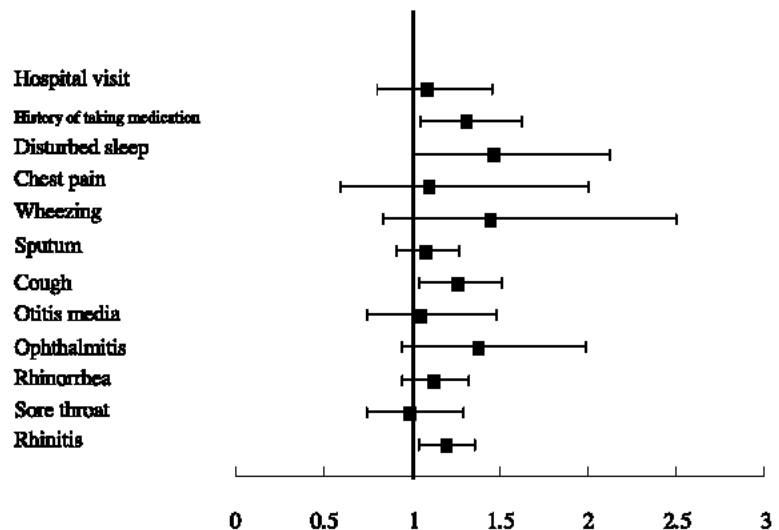


Figure 4. The effect of CO exposure on daily respiratory symptoms in children.

키는 것으로 나타났다. Hoek와 Brunekreef [28]의 연구에서 NO₂ 노출은 하기도 호흡기계 증상을 증가시켰으나 유의한 관련성을 보이지는 않았다. Romer 연구에서는 만성 호흡기 증상을 가진 아이들에서 이산화질소 농도는 천식증상이나 기타 호흡기계 건강과 관련이 없었고 Higgins 등 [32]의 연구에서도 SO₂가 모형에 포함되었을 때 NO₂의 영향은 사라졌다.

한편 본 연구에서 각 대기오염 물질과 세부 호흡기계 증상과의 관련성을 살펴보았을 때 미세먼지는 코막힘, 약물복용, 이산화질소는 코막힘, 기침, 밤에 증상으로 잠이 깎, 약물복용, 아황산가스는 천명음증상, 밤에 증상으로 잠이 깎, 일산화탄소는

코막힘, 기침, 밤에 증상으로 잠이 깎, 약물복용과 관련이 있는 것으로 나타나 대기오염물질은 주로 코막힘이나 기침 증상과 유의한 관련성을 보이는 것으로 나타났다. 영국에서 정상아와 천식아동을 대상으로 한 패널 연구에서 겨울철의 PM₁₀ 7일 평균과 SO₂ 노출이 질병과 관련이 있었고 여름의 경우 PM₁₀, NO₂, SO₂ 당일노출이 기침 증상과 관련이 있었으나 습기, 기침이나 천명음으로 잠이 깎, 천명음 증상에서는 일관적인 관련성을 찾을 수 없었다. 파리의 연구에서는 경한 천식증상이 있는 아동들에서 SO₂ 노출은 천식발작, 야간기침의 발생과 관련이 있었고 NO₂ 노출은 천식발작, 천명음, 야간기침, 호흡기계 감염

과 관련이 있었다 [34]. 체코에서 1991-1992년 겨울 7개월 동안 천식 아동 89명을 대상으로 최대호기유속(PEF)과 다이아리를 이용하여 천식증상과 약물복용에 대해 조사한 연구에서는 PM₁₀ 5일평균이 기침, 객담, 콧물, 약물사용과 유의한 관련성이 있었고 SO₂는 열 증상과만 유의한 관련성을 보였다 [35]. 호주에서 지난 12개월간에 천명음 증상이 있었던 학생들을 대상으로 천식 다이아리를 조사한 연구에서 PM₁₀은 천식으로 인한 의사 방문과, NO₂는 기침과 관련이 있었다 [36]. LA지역의 대기오염과 천식 아동들의 천식 악화간의 관련성을 살펴본 연구에서 기침발생은 PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂와 관계가 있었으며 PM₁₀의 경우 추가적인 천식약 복용과도 연관이 있었다면지의 크기를 고려한 연구에서 천식 아동들의 기침은 PM₁₀, PM_{2.5}, PM_{1.0}, PM coarse fraction과 관련이 있었고 객담과 콧물은 PM₁₀, PM coarse fraction과 관련이 있었다 [10]. 한편 Vedal의 연구에서 캐나다 밴쿠버에 거주하는 천식아동과 정상아동을 포함한 전체 집단을 대상으로 분석하였을 때 PM₁₀의 증가는 기침, 가래, 목아픔과 같은 증상을 증가시키는 것으로 나타났다. 태국의 연구에서 120 µg/m³가 넘는 PM₁₀ 노출은 천식 아동들의 콧물이나 재채기와 같은 코의 자극 증상을 증가시켰고 비천식 아동에서는 어떠한 호흡기계 증상이라도 있었을 경우를 고려하였을 때 이러한 호흡기계 증상의 증가와 관련이 있었다 [37]. 그러나, McConnell 등 [38]의 연구에서는 장기 노출은 천식 아동들에서만 기관지염, 가래, 기침을 증가시키는 것으로 나타났다.

본 연구에서 대기오염 물질과 증상 유병율 사이의 관련성이 몇몇 증상에만 국한된 것은 현재 관찰된 대기오염 수준이 건강한 어린이들이 주로인 집단에 미치는 급성 건강영향은 크지 않다는 것을 반영한다. 또한 다이아리 조사가 건강한 어린이들의 가벼운 증상을 발견하기에 충분히 민감하지 못한 방법일 수도 있다. 한편 본 연구에서 천식환자군과 정상군으로 층화하여 분석을 수행하여 보았으나 유의한 차이를 발견하지는 못하였다. 이에 대한 명확한 이유를 알 수는 없으나 본 연구대

상 학생들의 의사 진단 천식 비율이 6.6%로 다소 낮았던 것이 한 가지 이유가 될 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구의 결과를 해석할 때 다음과 같은 제한점들이 고려되어야 한다. 우선 연구 대상자들이 주관적인 판단에 의해 증상보고를 하였기 때문에 잘못된 보고에 의한 편견이 있을 수 있다. 연구원이 응답에 어떤 이상한 패턴이 있는지를 체크하였으나 아동들이 기록한 증상의 타당도를 명확히 검증하지는 못하였다. 그러나, 연구기간 동안 대기오염 농도가 높지 않았고 아동들이 대기오염 농도를 인식하고 호흡기계 증상 보고를 다르게 하였을 것 같지는 않기 때문에 이렇게 초래된 증상보고 오류는 위험도의 추정 결과를 유의하지 않은 방향으로 변화시켰을 가능성이 있다. 한편 각 개별 대기오염물질 노출이 오분류되었을 가능성이 있다. 개인 노출에 대해 서울지역의 대기오염 자동측정망에서 측정된 자료를 평균하여 추정하였으며 실내용도는 고려하지 못하였다. 그러나, 이와 같은 노출 오분류 (exposure misclassification)는 무작위적으로 발생하기 때문에 이러한 편견은 영향 추정치(effect-estimates)를 관련성이 없는 쪽으로 향하게 하였을 것이다. 또한 대기 중에서 측정된 PM₁₀ 농도와 개인 PM₁₀ 농도 사이에 강한 상관관계가 있다는 보고들도 있었다. 또한 고려해야 할 점은 잠재적인 혼란요인이 대기오염과 호흡기계 건강 사이의 관련성을 혼란시켰을 수도 있다는 것이다. 그러나, 본 연구에서는 기존에 이러한 연구에서 혼란요인이라고 알려진 기상변수, 장기적인 추세, 호흡기 감염을 통제하기 위하여 평균 기온과 상대습도, 계절, 요일, 천식력을 모형에 포함시켰다. 한편 본 연구의 결과로부터 대기오염 물질 중 어떤 요소들이 관찰된 건강영향을 초래했는지를 명확히 알 수는 없다. 본 연구에서 관찰된 오염물질들은 단지 좀더 복합적인 대기오염물질 (그 오염물질들 중 일부는 본 연구에서 측정되지 않음)의 지표라고 생각하는 것이 더 합리적일 것이다. 마지막으로 본 연구는 서울 일부 지역의 일개 초등학교 학생들을 대상으로 하였기 때문에 이를 일반 인구집단

으로 일반화하기는 어렵다. 위에 반해 본 연구는 다음과 같은 장점을 지닌다. 첫째, 본 연구는 대기오염의 급성 건강영향을 평가하는데 여러 가지 장점을 지니는 패널 연구 설계를 이용하였다. 패널 연구는 연구자가 관심 있는 세부적인 특성을 가진 대상 인구 집단을 선택할 수 있고 대상이 자신의 대조군이 되기 때문에 개인적인 특성과 다른 요인에 대한 노출이 연구기간 동안 일정하다고 가정할 수 있으며 개인 데이터내의 광범위한 반복은 영향력을 발견하는데 있어 검정력을 증가시킬 수 있다. 둘째, 매일 매일을 단위로 각 어린이들에 대한 다이아리 정보를 수집하였기 때문에 회상 편견의 가능성을 줄일 수 있었다. 그러나, 대상 어린이들이 호흡기 다이아리를 매일 기록하지 않고 한꺼번에 기록했을 가능성도 있는데 이럴 경우 확인이 쉽지 않기 때문에 다이아리 배포시 담임교사로 하여금 그날의 증상을 해당일 저녁에 기록하는 것을 강조하도록 하였다. 셋째, 기존에 이루어진 패널 연구들이 천식 아동이나 호흡기계 증상이 있는 아동들을 대상으로 한 연구들이 대부분인데 비하여 본 연구는 증상이 없는 일반 아동들을 주 대상으로 하였다. 넷째, 특정한 계절 (예를 들면 오염 농도가 높은 계절)에 초점을 맞춘 것이 아니라 각 계절마다 조사를 실시하였다.

본 연구는 대기오염 농도가 선진국 보다는 높은 수준이지만 기준 농도에 비해서는 낮은 서울지역에서 건강한 학생들이 주로인 초등학교 학생들을 대상으로 대기오염 노출이 호흡기계 증상에 미치는 영향을 파악하기 위하여 패널 연구를 실시하였다. 연구결과 NO₂ 노출이 상기도 및 하기도 호흡기계 증상을 유의하게 증가시켰고 SO₂, CO 노출은 하기도 증상과 유의한 관련성이 있었다. 많은 연구들에서 관련성을 보고한 PM₁₀의 경우 상기도 및 하기도 증상을 증가시키는 경향만을 보였다. 향후 우리나라를 비롯한 아시아 지역에서 대기오염의 급성적 또는 만성적 건강영향을 이해하기 위한 부가적인 연구들이 추가로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

요약 및 결론

본 연구에서는 대기오염의 영향에 민감한 집단인 어린이들을 대상으로 패널연구를 통해 대기오염 물질(PM₁₀, SO₂, NO₂, CO)의 변동이 호흡기계 증상에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

대기오염 농도가 비교적 높은 지역에 위치한 일개 초등학교 2,3학년 학생 203명을 대상으로 호흡기증상에 대한 다이어리를 작성하도록 하였다. 수집된 다이어리 자료는 서울시의 일간 대기 자료와 연계하여 데이터베이스를 구축한 뒤 SAS 프로그램의 GENMOD 명령어를 이용하여 generalized estimating equation을 적용하였다. 연구결과 3일전 노출부터 당일노출까지 지연효과를 고려하였을 때 당일 노출의 위험도가 가장 높았으며 당일노출과 증상과의 관련성에서 이산화질소 노출은 상기도 증상을 1.12배, 하기도 증상은 1.18배 유의하게 증가시켰다. 다른 대기오염 물질들의 경우 상기도 증상에서는 유의성을 보이지 못하였으나 하기도 증상에서는 유의하게 증상위험을 증가시켰다. 세부적인 호흡기계 증상을 보면 대기오염 노출은 주로 코막힘과 약물복용, 밤에 잠이 깨는 증상과 연관성이 있는 것으로 나타났으며 이황산가스는 천명음과도 연관성이 있는 것으로 나타났다.

본 연구결과 대기오염 농도의 일간변동은 어린이에서의 상기도 및 하기도 호흡기계 증상의 위험과 관련성이 있음이 관찰되어 민간 집단인 어린이들에서 대기오염의 건강영향에 대한 추가적인 연구와 관리 정책 수립이 필요함을 시사하였다.

참고문헌

- Fairley D. The relationship of daily mortality to suspended particulates in Santa Clara county, 1980-1986. *Environ Health Perspect.* 1990; 89: 159-168
- Lee JT, Dockery DW, Kim CB, Lee SH, Chung Y. A meta-analysis of ambient air pollution in relation to daily mortality in Seoul, 1991-1993. *Korean J Prev Med* 1999; 32(2): 177-182 (Korean)
- Schwartz J, Slater D, Larson TV, Pierson WE, Koenig JQ. Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle. *Am Rev Respir Dis* 1993; 147(4): 826-831
- Peel JL, Tolbert PE, Klein M, Metzger KB, Flanders WD, Todd K, Mulholland JA, Ryan PB, Frumkin H. Ambient air pollution and respiratory emergency department visits. *Epidemiology* 2005; 16(2): 164-174
- Burnett RT, Dales R, Krewski D, Vincent R, Dann T, Brook JR. Associations between ambient particulate sulfate and admissions to Ontario hospitals for cardiac and respiratory diseases. *Am J Epidemiol* 1995; 142(1): 15-22
- Buckeridge DL, Glazier R, Harvey BJ, Escobar M, Amrhein C, Frank J. Effect of motor vehicle emissions on respiratory health in an urban area. *Environ Health Perspect* 2002; 110(3): 293-300
- Pope CA 3rd, Dockery DW, Spengler JD, Raizenne ME. Respiratory health and PM₁₀ pollution. A daily time series analysis. *Am Rev Respir Dis* 1991; 144(3 Pt 1): 668-674
- Gordian ME, Choudhury AH. PM₁₀ and asthma medication in schoolchildren. *Arch Environ Health* 2003; 58(1): 42-47
- Dockery DW, Speizer FE, Stram DO, Ware JH, Spengler JD, Ferris BG Jr. Effects of inhalable particles on respiratory health of children. *Am Rev Respir Dis* 1989; 139(3): 587-594
- Mar TF, Larson TV, Stier RA, Claiborn C, Koenig JQ. An analysis of the association between respiratory symptoms in subjects with asthma and daily air pollution in Spokane, Washington. *Inhal Toxicol* 2004; 16(13): 809-815
- Schwartz J, Dockery DW, Neas LM, Wypij D, Ware JH, Spengler JD, Koutrakis P, Speizer FE, Ferris BG Jr. Acute effects of summer air pollution on respiratory symptom reporting in children. *Am J Respir Crit Care Med* 1994; 150(5 Pt 1): 1234-1242
- Schlink U, Fritz GJ, Herbarth O, Richter M. Longitudinal modelling of respiratory symptoms in children. *Int J Biometeorol.* 2002; 47(1): 35-48
- Vichit-Vadakan N, Ostro BD, Chestnut LG, Mills DM, Aekplakorn W, Wangwongwatana S, Panich N. Air pollution and respiratory symptoms: results from three panel studies in Bangkok, Thailand. *Environ Health Perspect* 2001; 109 Suppl 3: 381-387
- Whittemore AS, Korn EL. Asthma and air pollution in the Los Angeles area. *Am J Public Health* 1980; 70(7): 687-696
- Pope CA 3rd, Dockery DW. Acute health effects of PM₁₀ pollution on symptomatic and asymptomatic children. *Am Rev Respir Dis* 1992; 145(5): 1123-1128
- Ostro B, Lipsett M, Mann J, Braxton-Owens H, White M. Air pollution and exacerbation of asthma in African-American children in Los Angeles. *Epidemiology* 2001; 12(2): 200-208
- van der Zee S, Hoek G, Boezen HM, Schouten JP, van Wijnen JH, Brunekreef B. Acute effects of urban air pollution on respiratory health of children with and without chronic respiratory symptoms. *Occup Environ Med* 1999; 56(12): 802-812
- Neas LM, Dockery DW, Koutrakis P, Tollerud DJ, Speizer FE. The association of ambient air pollution with twice daily peak expiratory flowrate measurements in children. *Am J Epidemiol* 1995; 141(2): 111-122
- 서울특별시 (2002), Seoul Green Plan 21 녹색서울 계획 p.40-41
- Park HS, Lee BE, Ha EH, Kim NH, Hong YC, Lee YK, Cho YS. Prevalence and environmental risk factors for respiratory symptoms among elementary school children in a city. *J Korean Soc School Health* 2003; 16(2): 1-11 (Korean)
- 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(4 Pt 1): 1034-1043
- Zeger SL, Liang KY. Longitudinal data analysis for discrete and continuous outcomes. *Biometrics* 1986; 42(1): 121-130
- Zeger SL, Liang KY, Albert PS. Models for longitudinal data: a generalized estimating equation approach. *Biometrics* 1988; 44(4): 1049-1060
- Romieu I, Meneses F, Ruiz S, Sierra JJ, Huerta J, White MC, Etzel RA. Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico city. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 154(2 pt 1): 300-307
- Schwartz J, Neas LM. Fine particles are more strongly associated than coarse particles with acute respiratory health effects in schoolchildren. *Epidemiology* 2000; 11(1): 6-10
- Gielen MH, van der Zee SC, van Wijnen JH, van Steen CJ, Brunekreef B. Acute effects of summer air pollution on respiratory health of asthmatic children. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 155(6): 2105-2108
- 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): 118-124
- 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): 328-335
- Yu O, Sheppard L, Lumley T, Koenig JQ, Shapiro GG. Effects of ambient air pollution on

- symptoms of asthma in Seattle-area children enrolled in the CAMP study. *Environ Health Perspect* 2000; 108(12): 1209-1214
30. Peters A, Goldstein IF, Beyer U, Franke K, Heinrich J, Dockery DW, Spengler JD, Wichmann HE. Acute health effects of exposure to high levels of air pollution in eastern Europe. *Am J Epidemiol* 1996; 144(6): 570-581
31. Roemer W, Hoek G, Brunekreef B, Clench-Aas J, Forsberg B, Pekkanen J, Schutz A. PM₁₀ elemental composition and acute respiratory health effects in European children (PEACE project). *Pollution Effects on Asthmatic Children in Europe. Eur Respir J* 2000; 15(3): 553-559
32. Higgins BG, Francis HC, Yates CJ, Warburton CJ, Fletcher AM, Reid JA, Pickering CA, Woodcock AA. Effects of air pollution on symptoms and peak expiratory flow measurements in subjects with obstructive airways disease. *Thorax* 1995; 50(2): 149-155
33. Ward DJ, Roberts KT, Jones N, Harrison RM, Ayres JG, Hussain S, Walters S. Effects of daily variation in outdoor particulates and ambient acid species in normal and asthmatic children. *Thorax* 2002; 57(6): 489-502
34. Segala C, Fauroux B, Just J, Pascual L, Grinfeld A, Neukirch F. Short-term effect of winter air pollution on respiratory health of asthmatic children in Paris. *Eur Respir J* 1998; 11(3): 677-685
35. Peters A, Dockery DW, Heinrich J, Wichmann HE. Short-term effects of particulate air pollution on respiratory morbidity in asthmatic children. *Eur Respir J* 1997; 10(4): 872-879
36. Jalahudin BB, O'Toole BI, Leeder SR. Acute effects of urban ambient air pollution on respiratory symptoms, asthma medication use, and doctor visits for asthma in a cohort of Australian children. *Environ Res* 2004; 95(1): 32-42
37. Preutthipan A, Udomsubpayakul U, Chaisupamongkollarp T, Pentamwa P. Effect of PM₁₀ pollution in Bangkok on children with and without asthma. *Pediatr Pulmonol* 2004; 37(3): 187-192
38. McCormell R, Berhane K, Gilliland F, London SJ, Vora H, Avol E, Gaudeman 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(9): 757-760
39. Janssen NA, Hoek G, Harssema H, Brunekreef B. Childhood exposure to PM₁₀: relation between personal, classroom, and outdoor concentrations. *Occup Environ Med* 1997; 54(12): 888-894
40. Janssen NA, Hoek G, Brunekreef B, Harssema H, Mensink I, Zuidhof A. Personal sampling of particles in adults: relation among personal, indoor, and outdoor air concentrations. *Am J Epidemiol* 1998; 147(6): 537-547