

대기질 개선과 저소득계층 어린이 건강보호 효과

배현주[†]

서울대학교 보건환경연구소
(2010. 5. 8. 접수/2010. 6. 7. 수정/2010. 6. 22. 채택)

Effects of Reduced Ambient PM₁₀ Levels on the Health of Children in Lower-income Families

Hyun-joo Bae[†]

Institute of Health and Environment, Seoul National University
(Received May 8, 2010/Revised June 7, 2010/Accepted June 22, 2010)

ABSTRACT

We examined the association of particulate matter with an aerodynamic diameter $<10 \mu\text{m}$ (PM₁₀) with asthma-related hospitalization, stratified by socioeconomic status (SES), among children less than 15 years of age in Seoul, Korea, between 2003 and 2005. In addition, we estimated the reduction in the number of asthma-related hospitalizations that would result from implementing the World Health Organization (WHO) guideline. SES was defined based on data concerning health insurance premium grades, and grouped into two levels: lower-income group and control group. The lower-income group was classified as having an accumulated income which did not exceed the 50th percentile of the median income. Time-series analysis was performed to evaluate the association between PM₁₀ and asthma-related hospitalization. The Environmental Benefits Mapping and Analysis Program was used to analyze the impact on children's health. Based upon an increase of $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ of PM₁₀, the asthma-related hospitalization risk for the lower-income group was increased by 1.78% (95% confidence intervals (CI) = 0.79-2.78%), while the risk for the control group was increased by 0.83% (95% CI = 0.34-1.32%). Attaining the WHO guideline, relative to the concentration in 2007, would result in a reduction in asthma-related hospitalizations of 18 cases per 100,000 of the children population in the lower-income group, and 7 cases in the control group. The health benefits of improved air quality for children in the lower-income group were thus 2.5 times greater than for children in the control group. Our results show that the lower-income group is disproportionately burdened with asthma-related hospitalization arising from air pollution. Therefore, biologically- and socioeconomically-disadvantaged populations should be considered in public health interventions in order to protect the children's health.

Keywords: lower-income family, children, air quality improvement, health benefits

I. 서 론

수질, 폐기물, 화학물질 등의 환경오염물질과 달리 대기오염은 개인의 의사 또는 선택에 관계없이 대규모 인구집단이 동시에 노출된다는 특징이 있다. 그러나 대기오염으로 인한 건강위해영향은 전체 인구집단에서 동일하게 작용하지 않는다. 즉, 동일한 수준의 대기오염 농도에 노출되더라도 대기오염이 건강에 미치는 영향의 크기는 개인 또는 어떤 특성을 지닌 인구집단에 속

하느냐에 따라 다르게 나타날 수 있다. 대기오염으로 인한 건강위해영향은 성별, 연령, 인종 등 인구학적 특성에 따라 다르게 나타나는 것으로 보고되고 있으며, 특히 어린이와 노약자 등 생물학적 약자들이 대기오염에 민감하다고 알려졌다.¹⁻³⁾

최근에는 사회경제적 수준에 따라 대기오염으로 인한 건강위해영향에 차이가 있다는 연구결과들이 보고되고 있다.^{4,5)} 사회경제적 취약집단은 낮은 사회적 지위로 인하여 여러 환경오염 매체에 노출되어 절대적인 노출량이 많을 뿐만 아니라, 의료서비스, 부적절한 영양섭취와 행동양식 등 다양한 건강위해요인에 노출될 가능성이 높다.^{6,7)}

대기오염으로 인한 건강영향 중 천식은 우리나라에서

[†]Corresponding author : Institute of Health and Environment, Seoul National University
Tel: 82-2-880-2795, Fax: 82-2-745-9104
E-mail : hjbae357@gmail.com

유병률이 지속적으로 증가하고 있으며,⁸⁾ 일부 국가에서는 가난한 집단이나 소수인종에서 천식이 더 빈번하게 발생하고,⁹⁾ 사회경제적 수준이 낮은 집단에서 천식유병률이 더 높은 것으로 보고되었다.¹⁰⁾ 또한 Lin 등의 연구¹¹⁾에서 사회경제적 지위가 낮은 집단은 이산화질소와 아황산가스로 인한 천식입원 위험이 유의하게 증가하였으나, 사회경제적 지위가 높은 집단에서는 천식입원 위험이 유의하게 증가하지 않았다. 또한 Burra 등¹²⁾은 사회경제적 지위가 낮은 집단에서 PM_{2.5}와 아황산가스로 인한 천식병원방문 위험이 높다고 보고하였다.

미국의 청정대기법(Clean Air Act)에서는 국가 대기질 기준이 어린이, 노약자, 호흡기 질환자 등과 같은 취약한 인구집단을 보호할 수 있는 수준으로 설정되어야 한다고 규정하고 있다.¹³⁾ 우리나라 환경보건정책 종합계획에서는 어린이, 노약자 등의 민감군과 저소득층 등의 취약계층까지도 보호할 수 있도록 환경기준을 재정립하고 강화하여 국민의 질병부담을 감소시킬 것을 주요 목표로 하고 있다.¹⁴⁾

민감군 또는 취약계층을 고려한 환경기준을 마련하기 위해서는 환경오염으로 인한 건강위해영향을 정량적으로 분석하여 민감군 또는 취약한 인구집단을 규명하는 연구가 선행되어야 한다. 그리고 민감군 또는 취약한 인구집단이 규명되면, 이들의 건강을 체계적이고 과학적으로 보호할 수 있는 방안이 마련되어야 한다.

본 연구에서는 서울시 15세 미만의 저소득 및 대조군 어린이들을 대상으로 미세먼지(Particulate Matter less than 10 μm in diameter; PM₁₀)가 천식입원에 미치는 영향을 정량적으로 산출하였다. 또한 서울시의 대기질이 세계보건기구(World Health Organization; WHO)에서 권고한 대기질 기준(Air Quality Guidelines; AQGs)¹⁵⁾을 달성한다고 가정하였을 때 기대되는 천식입원 감소의 건강편익을 추산하여, 저소득군 어린이의 건강을 보호하기 위해 적극적인 대기질 개선 정책의 필요성과 보다 효과적인 대기질 관리 방안을 제시하고자 한다.

II. 연구자료 및 방법

1. 연구기간 및 연구대상지역

연구기간은 2003년 1월부터 2005년 12월까지이며, 연구대상지역은 서울특별시이다. 서울특별시의 면적은 약 605 km²으로 행정구역은 25개 구로 구성되어 있다. 2005년 현재 우리나라의 15세 미만 어린이는 9,257,949명으로, 이들 어린이 중 약 18%가 서울특별시에 거주하고 있다.¹⁶⁾

2. 대기오염자료 및 기상자료

대기오염자료는 서울특별시에 설치된 27개 대기오염 자동 측정소에서 측정된 매시간 PM₁₀ 농도자료를 국립환경과학원으로 부터 제공받았다. 각 측정지점에서의 날짜에 따른 시간별 평균값을 산출하고, 각 시간별 평균값을 이용하여 PM₁₀의 일별 대푯값인 24시간 평균값을 산출하였다.

기상자료는 기상청에서 측정한 기온, 상대습도, 해수면기압 자료를 이용하였다. 기온과 상대습도는 한 시간 마다 측정되며, 해수면기압은 세 시간 마다 측정된다. 기상 변수들의 일별 대푯값은 일별 평균값을 사용하였다.

3. 건강영향자료

대기오염으로 인한 건강위해영향은 천식 입원을 중심으로 살펴보았으며, 천식 입원 자료는 국민건강보험공단의 건강보험 청구자료를 이용하였다. 진료개시일자를 기준으로 하여 2003년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지의 건강보험 청구자료 중에서 주민등록상의 거주지가 서울특별시인 15세 미만 어린이를 대상으로 하였다. 또한 주상병명 또는 부상병명이 국제질병분류코드(International Classification of Diseases-10) J45(천식) 또는 J46(천식지속상태)이며, 진료형태가 입원인 건강보험 청구자료를 최종 분석대상으로 추출하였다.

본 연구에서는 건강보험 청구자료를 천식 입원 청구건수가 아닌 천식 입원 에피소드 건수로 가공하여 사용하였다. 즉, 1회 발생한 입원 청구건은 하나의 에피소드로 정의하고, 2회 이상 발생한 입원 청구건의 경우에는 선행 입원 청구건의 입원종료일과 연이은 입원 청구건의 입원개시일의 기간 차이가 0 또는 1일이면 동일한 에피소드로 가공하였다.³⁾

4. 사회경제적 수준 자료

우리나라에서는 국민건강을 향상시키고 사회보장을 증진시킬 목적으로 생활유지 능력이 있는 국민을 대상으로 건강보험제도를 실시하고 있으며, 생활유지 능력이 없거나 어려운 국민을 대상으로 의료급여제도를 실시하고 있다. 그리고 건강보험 대상자는 직장가입자와 지역가입자로 나누고 있다. 직장가입자는 소득을 기준으로 건강보험료를 부과하며, 지역가입자는 소득, 재산, 생활수준, 경제활동참가율 등을 고려하여 건강보험료를 부과하고 있다.¹⁷⁾

본 연구에서 사회경제적 수준은 국민건강보험공단의 건강보험료 부과등급자료와 의료급여자료를 이용하여 상대적 빈곤의 정의¹⁸⁾에 따라 저소득군과 대조군의 범

위를 설정하였다. 즉 의료급여 대상자와 국민건강보험료 부과등급 기준이 전체 소득 분포 중위값의 50% 이하인 경우는 저소득군으로 구분하고, 중위값의 50%를 초과하는 경우는 대조군으로 분류하였다.

5. 통계분석방법

PM₁₀ 농도 증가에 따른 일별 천식 입원의 영향은 일반화 부가모형(Generalized additive model; GAM)을 사용하여 정량적으로 분석하였다.¹⁹⁾ 일반화 부가모형은 분석에 영향을 미칠 수 있는 혼란변수를 비모수적 평활함수로 통제하면서, 포아송 회귀분석이 적합하도록 한다. 본 연구에서는 비모수적 평활방법인 locally weighted regression smoothing (LOESS) function을 이용하여 천식입원의 일일 변동과 밀접한 관계가 있다고 보고된^{20,21)} 기상변수, 장기추세 및 계절변동 등을 통제하였다. 대기오염이 천식입원에 미치는 영향에 대한 최종분석 모형은 다음 식 (1)과 같다.³⁾

$$\begin{aligned} \text{LnE(Daily admission count)} = & B_0 + B_1(\text{Pollutant}) + \\ & D(\text{Day of week}) + S_1(\text{Temperature}) + S_2(\text{Relative} \\ & \text{humidity}) + S_3(\text{Pressure at sea level}) + S_4(\text{Date}) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, S = LOESS 평활함수(smoothing function of loess)
 D = 가변수(Dummy variable)

PM₁₀이 천식 입원 발생에 미치는 영향을 보다 정확하게 추정하기 위하여 강화된 수렴기준(convergence criterion)을 적용하였다.²²⁾ 통계모형의 선정은 모형 적합도를 평가하는 기준 통계량인 Akaike's information criterion(AIC)가 가장 작은 값을 가지는 모형으로 선정하였다.²³⁾ 또한 PM₁₀의 지연효과(lag effect)를 고려하기 위해서 천식 입원 당일에서부터 최고 6일 이전까지의 PM₁₀ 농도가 천식 입원에 미치는 영향을 분석하고, 천식 입원과 연관성이 가장 높게 나타난 날을 지연효과일로 선정하였다.

포아송 회귀분석의 회귀계수는 대기오염물질의 단위 농도 변화에 따른 건강영향의 농도-반응함수(Risk coefficient)이다. 자료의 정리와 자료를 GAM에 적합시키는 것은 SAS 9.1 version과 S-Plus 6.1 version을 사용하였다.

6. 건강편익추산

대기오염 농도 변화에 따른 건강편익을 추산하기 위해서는 대기오염에 노출되는 대상인구수, 분석하고자 하는 건강영향의 기본 발생률 또는 유병률 또는 발병

률, 대기 정책을 시행함으로써 기대되는 대기오염물질의 농도 변화, 그리고 대기오염물질의 농도 변화에 따른 건강위해영향 정도의 변화를 정량적으로 평가한 농도-반응(Concentration-Response) 함수를 적용하여 다음 식 (2)와 같이 계산한다.^{13,24,25)}

$$\begin{aligned} \text{Health Impact Function} \\ = (\exp(\text{Beta} \times (\text{Delta Q}) - 1)) \times \text{Incidence} \times \text{Pop} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, Beta: 대기오염물질 농도 변화에 따른 건강위해영향의 농도-반응함수

Delta Q: 대기오염물질 농도값의 변화

Incidence: 대상 질병의 기준 발생률 또는 유병률 또는 발병률

Pop: 대기오염물질에 노출되는 인구수

대기오염물질의 농도 변화에 따른 건강위해영향의 정량적인 농도-반응함수인 Beta값은 PM₁₀ 농도 증가에 따른 천식입원영향을 시계열 분석한 결과인 risk coefficient 값이다. 대기오염물질의 농도 변화값을 계산하기 위하여 peak shaving 방법을 사용하여 대기오염농도를 시뮬레이션하였다. Peak shaving 방법은 목표농도를 초과하지 않는 농도는 원래의 대기오염 농도값을 그대로 사용하고, 목표 농도를 초과하는 농도값들만 목표 농도를 달성하도록 대기오염 농도값을 줄여주는 시뮬레이션 방법이다.²⁶⁾ 즉, 2007년 측정된 대기오염 일평균 농도값이 WHO의 AQGs인 50 µg/m³을 초과하는 농도값들만 목표 농도를 달성하도록, 구별로 PM₁₀ 농도값을 줄여주었다.

대기질 변화에 따른 건강상의 편익을 분석하기 위해서 미국 환경보호청(Environment Protection Agency; EPA)에서 개발한 BenMAP(Environmental Benefits Mapping and Analysis Program)을 사용하였다.²⁷⁾

III. 연구결과

1. 기술 통계 분석

PM₁₀ 변수, 기상변수 및 일별 천식 입원 에피소드건수의 평균, 표준편차 및 분포를 Table 1에 나타내었다. 서울시의 PM₁₀ 연평균 농도는 2003년부터 2005년 까지 각각 70 µg/m³, 69 µg/m³, 58 µg/m³로 감소하는 경향을 보였고, PM₁₀의 일평균 농도는 62.65 µg/m³이었다. 총 연구기간인 1,096일 중에서 우리나라 대기환경기준인 PM₁₀ 24시간 평균 100 µg/m³을 초과한 일수는 128일(11.68%)이었고, WHO의 AQGs인 PM₁₀ 24시간 평균 50 µg/m³을 초과한 일수는 626일(60.83%)이었다.

Table 1. Daily distribution of PM₁₀, weather, and asthma hospitalization cases among children between 2003 and 2005 in Seoul

Variable	Percentiles					Mean	SD
	Min	25%	Median	75%	Max		
Exposure measurement							
PM ₁₀ (µg/m ³)	10.34	38.73	55.84	78.83	288.22	62.65	33.79
Weather							
Temperature (°C)	-14.00	4.13	14.15	21.68	30.43	12.71	10.07
Humidity (%)	21.08	51.21	62.77	74.00	95.79	62.79	14.89
Pressure at sea level (hPa)	994	1010	1016	1023	1036	1016	8
Health outcome							
Asthma Hospitalization (episode cases)	2	14	21	30	79	24	13

2003년부터 2005년까지 서울시의 15세 미만 어린이에서 천식 입원 에피소드는 총 23,958건이 발생하였고, 일별 평균 천식 입원 에피소드는 24건이었다. 또한 연구기간동안에 저소득군 및 대조군 어린이에서 천식 입원 에피소드는 각각 3,545건과 20,413건이 발생하였다.

2. 저소득군 및 대조군 어린이의 PM₁₀과 천식 입원의 농도-반응 함수

PM₁₀ 농도가 소아천식 입원에 미치는 영향을 평가하는 데 있어 지연효과를 고려하였으며, 천식 입원과 관련성이 가장 높은 날을 지연효과일로 선정하였다. 지연효과에서 소아천식 입원은 천식 입원이 발생하기 하루 전날(lag1)의 PM₁₀ 농도와 관련성이 가장 높은 것으로 나타났다.

PM₁₀ 농도가 소아천식 입원에 미치는 영향을 살펴보면, 저소득군과 대조군 모두에서 PM₁₀ 농도의 증가는 소아천식 입원 위험을 통계적으로 유의하게 높였다(Table 2). PM₁₀ 농도 10 µg/m³ 증가시 소아천식 입원 위험이 0.90%(95% Confidence Interval(CI)=0.45-1.36) 증가하였다. 사회경제적 수준에 따라서는 PM₁₀ 농도 10 µg/m³ 증가시 저소득군의 소아천식 입원 위험은 1.78%(95% CI = 0.79-2.78) 증가하였고, 대조군의 소아천식 입원 위험은 0.83%(95% CI = 0.34-1.32) 증가하였다.

3. 대기질 농도의 시뮬레이션

대기질 개선으로 인한 소아천식 입원감소의 건강편익을 추산하기 위하여, 서울특별시의 2007년도 PM₁₀ 농도 수준이 WHO AQGs인 PM₁₀ 24시간 평균 농도 50 µg/m³를 달성하도록 각 구별 PM₁₀ 농도값을 peak shaving 방법으로 시뮬레이션 하였다(Fig. 1). 즉, 2007년 대기오염 측정망 PM₁₀ 측정값의 일평균 농도가 WHO의 AQGs를 초과하지 않는 농도들은 원래 대기오염 농도값을 사용하고, WHO의 AQGs를 초과하는 농도값들만 목표 농도를 달성하도록 PM₁₀ 농도를 줄여주었다. 그리고 PM₁₀의 2007년 기준 농도값과 목표 농도값 간의 차이를 계산하였으며, 이들 농도값의 차이는 연구대상 인구집단이 노출되는 PM₁₀ 농도값의 변화이다.

2007년 서울특별시에서 PM₁₀의 구별 연평균 농도 분포는 54-62 µg/m³이었다. PM₁₀ 24시간 평균 농도가 WHO의 AQGs인 50 µg/m³를 달성하도록 PM₁₀ 농도값을 시뮬레이션시키면 PM₁₀의 구별 연평균 농도 분포는 40-43 µg/m³이 된다. 따라서 2007년 PM₁₀ 농도값과 WHO의 AQGs를 달성할 경우의 PM₁₀ 농도값에 대한 구별 차이값의 연평균 분포는 13-19 µg/m³이었다.

4. 대기질 개선에 따른 저소득군 및 대조군 어린이의 건강편익

대기질 개선으로 기대되는 건강편익은 PM₁₀의 기준

Table 2. Percent increase and 95% confidence intervals of asthma hospitalization among children for every 10 µg/m³ increase in PM₁₀

	Lower-income group	Control group	Total
Risk Coefficient	0.001764757	0.000826567	0.00089721
Standard Error	0.000498	0.000251	0.000230
Percent increase of asthma hospitalization	1.78	0.83	0.90
95% Confidence Interval	0.79-2.78	0.34-1.32	0.45-1.36

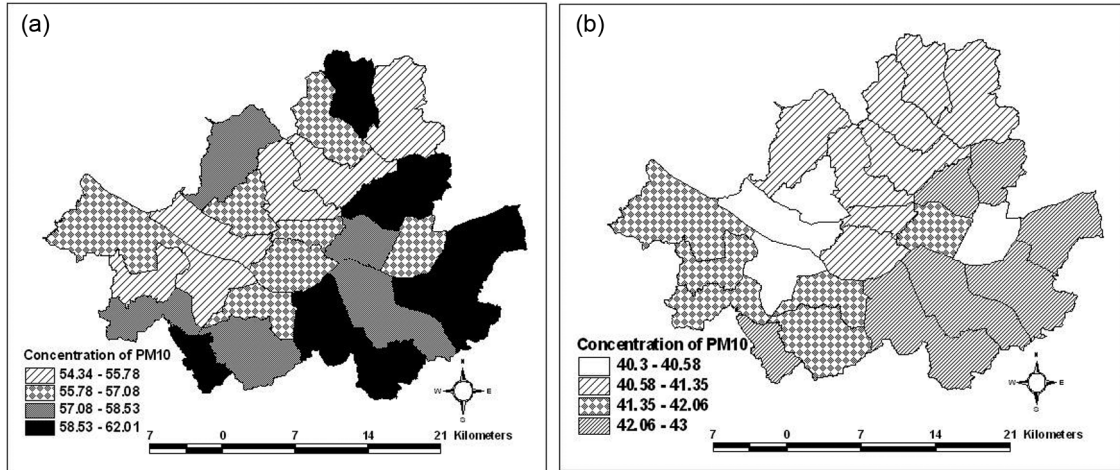


Fig. 1. Distribution of annual average of PM₁₀ concentrations from (a) monitored values of 2007, and (b) peak shaving simulation under WHO daily guideline (50 µg/m³) in Seoul.

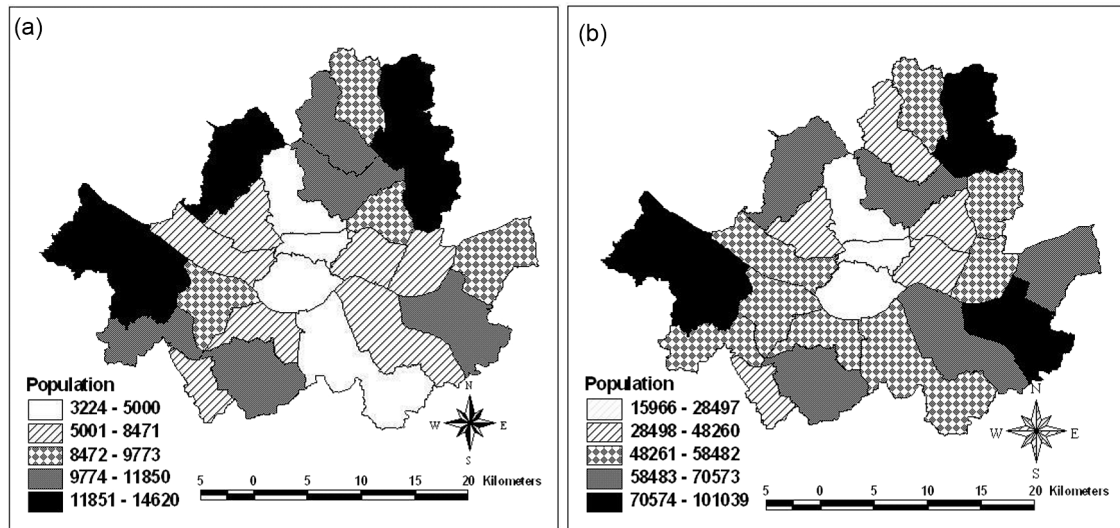


Fig. 2. Distribution of the children population of (a) the lower-income group and (b) the control group.

농도와 분석하고자 하는 목표 농도의 차이, 대기오염의 농도변화에 따른 건강위해영향의 농도-반응함수, 대기오염 농도변화에 노출되는 인구집단의 크기, 그리고 해당 인구집단의 발병률 4가지 요소에 의해 결정된다.¹³⁾

저소득군 및 대조군 어린이의 인구분포자료는 국민건강보험공단 자료를 이용하였으며, 구별 어린이 인구분포는 Fig. 2와 같다. 2005년 서울특별시의 국민건강보험 및 의료급여 대상자인 15세 미만 어린이는 총 1,638,168명으로, 통계청에서 집계한 주민등록상의 15세 미만 어린이 1,705,769명과는 약 4% 차이가 있었다.¹⁶⁾

소아천식 입원 에피소드 발병률은 2005년 천식 입원 에피소드 자료를 근거로 하여 발병률을 산출하여 적용하였다. 15세 미만 어린이 전체에서 소아천식 입원 에피소드 발병률은 인구 10만명당 553건이었으며, 저소득군 어린이와 대조군 어린이에서 발병률은 인구 10만명당 각각 612건과 542건이었다.

PM₁₀ 농도 개선으로 기대되는 소아천식 입원감소의 건강편익을 추산하기 위해서, PM₁₀ 농도는 2007년 PM₁₀ 일별 농도값이 WHO AQGs인 50 µg/m³을 달성하도록 시뮬레이션한 값을 적용하였다. 대기오염의 농

Table 3. Estimated reduction in asthma hospitalization among children from reduction in PM₁₀ to the WHO AQGs (50 µg/m³ 24-hr average) (unit : cases/year)

	Lower-income group	Control group	Total
Number of children	234,651	1,403,517	1,638,168
Prevalence of asthma hospitalization per 100,000	612	542	553
Number of avoided asthma hospitalization (95% CI)	42 (19-65)	101 (41-162)	131 (65-197)
Number of avoided asthma hospitalization per 100,000 (95% CI)	18 (8-28)	7 (3-12)	8 (4-12)

도변화에 따른 건강영향의 농도-반응함수는 PM₁₀과 천식입원의 상관성을 시계열 분석한 결과(risk coefficient)를 적용하였다.

2007년 서울특별시의 PM₁₀ 농도 수준이 WHO의 AQGs인 PM₁₀ 24시간 평균 농도 50 µg/m³로 대기질이 개선되었을 경우, 소아천식 입원감소의 건강편익을 추정하는 결과는 Table 3과 같다.

PM₁₀ 농도 개선에 따라 저소득군에서는 42건(95% CI = 19-65), 대조군에서는 101건(95% CI = 41-162)의 천식입원 에피소드가 감소하여, 총 143건의 천식입원 에피소드가 감소하는 건강편익이 발생하는 것으로 추산되었다. 그리고 15세 미만 어린이 전체를 대상으로 건강편익을 추산하면, 천식입원 에피소드가 연간 총 131건(95% CI = 65-197) 감소하였다. 따라서 전체 어린이를 대상으로 하였을 때 보다 저소득군 및 대조군 어린이의 건강편익을 구분하여 산정하였을 때 천식입원 에피소드가 감소하는 건강편익이 더 컸다. 또한 이것은 PM₁₀ 농도 개선으로 인하여 천식입원 에피소드가 15세 미만 어린이 10만명당 저소득군에서는 18건(95%

CI = 8-28), 대조군에서는 7건(95% CI = 3-12)이 감소하는 것이다.

또한 서울특별시 구별로 전체 어린이를 대상으로 건강편익을 분석한 결과와 저소득군 및 대조군 어린이 각각을 대상으로 건강편익을 별도로 분석하여 합산한 결과를 비교한 것은 Fig. 3과 같다. V구에서는 건강편익 결과값들이 차이를 보이지 않은 반면, G구에서는 가장 큰 차이를 보이는 등 두 가지 방법으로 산정한 건강편익 결과값들의 차이가 구별로 상이하게 나타났다.

IV. 고찰 및 결론

본 연구에서는 서울특별시에서 저소득군 및 대조군 어린이를 대상으로 PM₁₀이 소아천식 입원에 미치는 영향을 평가하고, 대기질 개선으로 기대되는 소아천식 입원감소의 건강편익을 정량적으로 산출하였다.

시계열 분석을 실시한 결과, PM₁₀ 농도 증가는 통계적으로 유의하게 소아천식 입원위험을 높였으며, PM₁₀ 농도 10 µg/m³ 증가시 소아천식 입원위험을 0.90% 높였다. 또한 사회경제적 수준에 따라서 살펴보면 PM₁₀ 농도 10 µg/m³ 증가시 저소득군 및 대조군 어린이에서 천식 입원 위험이 각각 1.78%와 0.83% 증가하였다.

개인의 사회경제적 수준에 따른 대기오염이 천식관련 질환에 미치는 영향을 규명한 연구사례가 2건 있다. 미국의 로스앤젤레스를 대상으로 수행된 연구²⁸⁾에서는 사회경제적 지표로 건강보험상태를 적용하여 개인의 사회경제적 수준에 따른 대기오염과 천식관련 입원영향을 살펴보았다. 연구결과 저소득 가구에서 PM₁₀으로 인한 천식관련 입원 위험이 더 높았다.

또한 Kim 등의 연구²⁹⁾에서는 서울특별시를 대상으로 건강보험료를 개인의 사회경제적 지위로 사용하여, 대기오염으로 인한 천식 응급실 방문 영향을 분석하였다. 연구대상자는 전체 연령으로 하였으며, 연구결과 개인의 사회경제적 지위에 따라 대기오염으로 인한 천식 응급실 방문에 차이를 보이지 않았다.

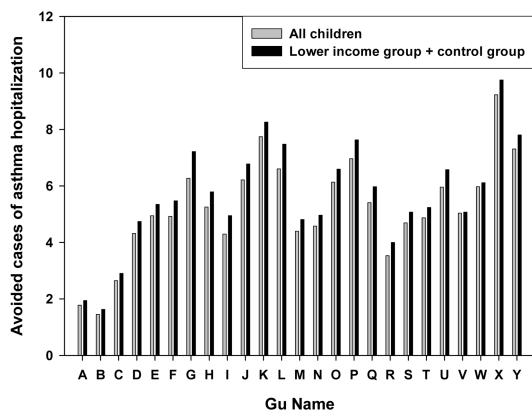


Fig. 3. Health benefits of asthma hospitalization from reduction in PM₁₀ to the WHO AQGs (50 µg/m³ 24-hr average).

사회경제적 수준이 대기오염으로 인한 건강에 영향을 미치는 경로는 노출의 차이와 감수성의 차이로 설명할 수 있다. 사회경제적 수준이 높은 사람들에 비하여 사회경제적 수준이 낮은 사람들은 오염이 더 심한 환경에서 살거나 일을 하면서 높은 환경오염수준에 노출된다. 또한 사회경제적 수준에 따라서 영양상태, 행동습관, 의료서비스에 대한 접근성, 질병 상태, 지역사회 특성 등에 차이가 있으며, 이러한 차이는 감수성에 영향을 주게 된다.^{6,30-32)}

환경오염으로부터 건강한 삶을 지키고 영위하도록 하는 것은 사회경제적으로 가장 중요한 편익으로 선진국들을 중심으로 역학 연구결과에서 도출한 대기오염농도와 건강영향 간의 농도-반응함수(dose-response function)를 활용하여, 대기질 개선이 특정인구집단에 미치는 건강영향을 정량적으로 추산하는 연구들을 진행하고 있다.^{13,27,33,34)} 이러한 건강편익결과는 정책의 효과를 파악할 수 있으므로 정책결정자 또는 이해관계자들에게 의사결정시 중요한 과학적 판단근거가 된다.³⁵⁾

본 연구에서는 2007년도 PM₁₀ 농도수준이 WHO의 AQGs인 PM₁₀ 24시간 평균 농도 50 µg/m³을 달성한다고 가정한 경우, 서울특별시에서 15세 미만 어린이의 건강편익을 추산하였다. 대기질이 개선되면 전체 어린이에서 연간 총 131건의 천식 입원 에피소드가 감소하였고, 저소득군 및 대조군 어린이를 구분하여 건강편익을 산정하면 총 143건의 천식 입원 에피소드가 감소하였다. 따라서 대기질 개선으로 기대되는 건강편익을 산정할 때 어린이 전체를 대상으로 한 건강편익에 비하여, 저소득군과 대조군 어린이에서 각각의 건강편익을 추산해서 이를 합산한 건강편익이 더 컸다. 또한 15세 미만 어린이 인구가 10만명으로 환산하면, 저소득군에서 18건(95% CI = 8-28)의 천식 입원 에피소드가 감소하고, 대조군에서 7건(95% CI = 3-12)이 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 PM₁₀ 농도 개선으로 인한 건강편익이 대조군에 비해 저소득군 어린이에서 약 2.57배 높은 것이다.

지역별(구단위) 건강편익 분석 결과는 한정된 자원으로 대기질 개선이 시급한 지역의 우선순위를 선정하는데 활용할 수 있다. 전체 어린이를 대상으로 건강편익을 산정한 결과값과 저소득군 및 대조군 어린이 각각에 대하여 건강편익을 산정하여 합산한 결과값의 차이는 구별로 상이하게 나타났다. 이러한 결과는 지역별로 저소득 어린이의 인구 분포와 대기오염 농도 수준이 다르기 때문에 발생한다. 이와 같은 지역별 차이로 인하여, 건강편익분석을 통해 대기질 개선이 필요한 지역 선정에서 사회경제적 취약집단인 저소득군 어린이를 고

려한 경우와 고려하지 않은 경우 선정지역의 우선순위가 달라졌다.

본 연구에서는 몇가지 제한점이 있다. 첫째, PM₁₀ 노출자료는 개인 노출 농도를 사용하는 것이 바람직하지만, 경제적 및 시간적 문제로 인하여 개인 노출농도를 장기간 측정하는 것은 상당히 어렵다. 따라서 대기질 자동측정망에서 측정된 PM₁₀ 농도값을 노출 농도로 사용하였다. 둘째, 천식입원은 건강보험 청구자료의 주상병명 또는 부상병명을 기준으로 정의하였는데, 이것은 천식질환이 오분류될 가능성이 있다.³⁶⁾ 즉, 감기, 기관지염 또는 천식 보다 중증의 질환이 천식으로 보험청구되어 이들 질환이 천식으로 분류되었을 가능성이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 상병명 이외의 약제코드와 처치코드 등을 이용하여 보다 정확한 질병 분류가 필요하다.³⁶⁾

결론적으로 저소득군 어린이들은 생물학적 민감집단 이면서 동시에 사회경제적 취약집단으로 환경오염의 영향을 가장 많이 받을 수 있다. 따라서 국가차원에서 이들을 보호할 수 있는 대책 마련이 필요하다. 본 연구에서는 저소득군 및 대조군 어린이 각각에 대하여 대기오염으로 인한 건강영향을 평가하고, 대기질 개선으로 기대되는 건강편익을 추산하였다. 본 연구 결과는 저소득군 어린이의 건강을 보호하기 위해 보다 적극적인 대기질 개선 정책의 필요성을 제시하였고, 민감군과 취약계층을 체계적으로 보호하며, 한정된 자원으로 보다 효과적인 환경보건정책을 추진할 수 있는 과학적 근거자료를 제공하였다.

감사의 글

본 연구에 사용된 천식 입원 자료는 국민건강보험공단에서 제공해 주셨으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Zanobetti, A., Schwartz, J. and Gold, D. : Are there sensitive subgroups for the effects of airborne particles? *Environmental Health Perspectives*, **108**(9), 841-845, 2000.
2. Zanobetti, A. and Schwartz, J. : Race, gender, and social status as modifiers of the effects of PM₁₀ on mortality. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, **42**(5), 469-474, 2000.
3. Bae, H. J., Ha, J. S., Lee, A. K. and Park, J. I. : Age dependencies in air pollution-associated asthma hospitalization. *Korean Journal of Environmental Health*, **34**(2), 124-130, 2008.
4. Bell, M. L. and Dominici, F. : Effect modification by

- community characteristics on the short-term effects of ozone exposure and mortality in 98 US communities. *American Journal of Epidemiology*, **167**(8), 986-997, 2008.
5. Wong, C. M., Ou, C. Q., Chan, K. P., Chau, Y. K., Thach, T. Q., Yang, L., Chung, R. Y., Thomas, G. N., Peiris, J. S., Wong, T. W., Hedley, A. J. and Lam, T. H. : The effects of air pollution on mortality in socially deprived urban areas in Hong Kong, China. *Environmental Health Perspectives*, **116**(9), 1189-1194, 2008.
 6. O'Neill, M. S., Jerrett, M., Kawachi, I., Levy, J. I., Cohen, A. J., Gouveia, N., Wilkinson, P., Fletcher, T., Cifuentes, L. and Schwartz, J. : Health, wealth, and air pollution: advancing theory and methods. *Environmental Health Perspectives*, **111**(16), 1861-1870, 2003.
 7. Ou, C. Q., Hedley, A. J., Chung, R. Y., Thach, T. Q., Chau, Y. K., Chan, K. P., Yang, L., Ho, S. Y., Wong, C. M. and Lam, T. H. : Socioeconomic disparities in air pollution-associated mortality. *Environmental Research*, **107**(2), 237-244, 2008.
 8. National Health Insurance Corporation : Statistical analysis in health insurance, 2008.
 9. Wissow, L. S., Gittelsohn, A. M., Szklo, M., Starfield, B. and Mussman, M. : Poverty, race, and hospitalization for childhood asthma. *American Journal of Public Health*, **78**(7), 777-782, 1998.
 10. Basagaña, X., Sunyer, J., Kogevinas, M., Zock, J. P., Duran-Tauleria, E., Jarvis, D., Burney, P., Anto, J. M. and European Community Respiratory Health Survey : Socioeconomic status and asthma prevalence in young adults- the European Community Respiratory Health Survey. *American Journal of Epidemiology*, **160**(2), 178-188, 2004.
 11. Lin, M., Chen, Y., Villeneuve, P. J., Burnett, R. T., Lemyre, L., Hertzman, C., McGrail, K. M. and Krewski, D. : Gaseous air pollutants and asthma hospitalization of children with low household income in Vancouver, British Columbia, Canada. *American Journal of Epidemiology*, **159**(3), 294-303, 2004.
 12. Burra, T. A., Moineddin, R., Agha, M. M. and Glazier, R. H. : Social disadvantage, air pollution, and asthma physician visits in Toronto, Canada. *Environmental Research*, **109**(5), 567-574, 2009.
 13. Wong, E. Y., Gohlke, J., Griffith, W. C., Farrow, S. and Faustman, E. M. : Assessing the health benefits of air pollution reduction for children. *Environmental Health Perspectives*, **112**(2), 226-232, 2004.
 14. Ministry of Environment : Environmental health policy plan 10 years, 2005.
 15. World Health Organization : WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen, dioxide and sulfur dioxide, 2005.
 16. Statistics Korea : Population and housing census report, 2006.
 17. Kang, H. C., Park, E. C., Lee, K. S., Park, T. K., Chung, W. J. and Kim, H. J. : Changes in distributive equity of health insurance contribution burden. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, **38**(1), 107-116, 2005.
 18. Korea Development Institute : Pro-poor Growth, 2008.
 19. Dominici, F., McDermott, A., Zeger, S. L. and Samet, J. M. : On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health. *American Journal of Epidemiology*, **156**(3), 193-203, 2002.
 20. Atkinson, R. W., Anderson, H. R., Sunyer, J., Ayres, J., Baccini, M., Vonk, J. M., Boumghar, A., Forastiere, F., Forsberg, B., Touloumi, G., Schwartz, J. and Katsouyanni, K. : Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 project. Air Pollution and Health: a European Approach. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **164**(10), 1860-1866, 2001.
 21. Zanobetti, A., Schwartz, J. and Dockery, D. W. : Airborne particles are a risk factor for hospital admissions for heart and lung disease. *Environmental Health Perspectives*, **108**(11), 1071-1077, 2000.
 22. Dominici, F., Peng, R. D., Bell, M. L., Pham, L., McDermott, A., Zeger, S. L. and Samet, J. M. : Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *Journal of the American Medical Association*, **295**(10), 1127-1134, 2006.
 23. Akaike, K. : Information theory and an extension of the maximum likelihood principle, 1973.
 24. Park, J. I. and Bae, H. J. : Assessing the Health Benefits of the Seoul Air Quality Management Plan Using BenMAP. *Korean Journal of Environmental Health*, **32**(6), 571-577, 2006.
 25. Bae, H. J., Kim, M. H., Lee, A. K. and Park, J. I. : Acute effects of PM₁₀ on asthma hospitalization among children and benefit analysis at four major cities in Korea. *Korean Journal of Environmental Health*, **35**(1), 1-10, 2009.
 26. Abt Associates Inc. : BenMAP Environmental Benefits Mapping and Analysis Program user's manual, 2008.
 27. Davidson, K., Hallberg, A., McCubbin, D. and Hubbell, B. : Analysis of PM_{2.5} using the Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (BenMAP). *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part A*, **70**(3-4), 332-346, 2007.
 28. Nauenberg, E. and Basu, K. : Effect of insurance coverage on the relationship between asthma hospitalizations and exposure to air pollution. *Public Health Reports*, **114**(2), 135-148, 1999.
 29. Kim, S. Y., O'Neill, M. S., Lee, J. T., Cho, Y., Kim, J. and Kim, H. : Air pollution, socioeconomic position, and emergency hospital visits for asthma in Seoul, Korea. *International Archives of Occupational and Environmental Health A*, **80**(8), 701-710, 2007.
 30. Lee, J. T., Kim, H. and Schwartz, J. : Bidirectional case-crossover studies of air pollution: bias from skewed and incomplete waves. *Environmental Health*

- Perspectives*, **108**(12), 1107-1111, 2000.
31. Forastiere, F., Stafoggia, M., Tasco, C., Picciotto, S., Agabiti, N., Cesaroni, G. and Perucci, C. A. : Socio-economic status, particulate air pollution, and daily mortality: differential exposure or differential susceptibility. *American Journal of Industrial Medicine*, **50**(3), 208-216, 2007.
 32. Zeka, A., Zanobetti, A. and Schwartz, J. : Individual-level modifiers of the effects of particulate matter on daily mortality. *American Journal of Epidemiology*, **163**(9), 849-859, 2006.
 33. Ostro, B. D., Tran, H. and Levy, J. I. : The health benefits of reduced tropospheric ozone in California. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **56**(7), 1007-1021, 2006.
 34. Bell, M. L., Davis, D. L., Gouveia, N., Borja-Aburto, V. H. and Cifuentes, L. A. : The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, So Paulo, and Mexico City. *Environmental Research*, **100**(3), 431-440, 2006.
 35. Environmental Protection Agency : The Benefits and Costs of the Clean Air Act Amendments of 1990-2010, 1999.
 36. Park, C. S., Kang, H. Y., Kwon, I., Kang, D. R. and Jung, H. Y. : Cost-of-illness study of asthma in Korea: estimated from the Korea National Health insurance claims database. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, **39**(5), 397-403, 2006.