

서울시 대기오염과 호흡기 질환 환자와의 관련성에 대한 시계열적 연구

가톨릭대학교 산업보건대학원 산업의학과 · 가톨릭대학교 산업의학센터* · 가톨릭대학교 의과대학 예방의학교실**
최병철 · 구정완* · 박성균* · 임현우* · 이강숙* · 이원철** · 박정일*

— Abstract —

Time Series Analysis between the Concentration of Air Pollutants and the Number of Respiratory Disease Outpatients in Seoul

Byeong-Chul Choi, Jung Wan Koo*, Sung Kyun Park*, Hyun Woo Yim*,
Kang Sook Lee*, Won Chul Lee**, Chung Yill Park*

*Department of Occupational Medicine, Graduate School of Occupational Health,
The Catholic University of Korea*

*Catholic Industrial Medical Center, The Catholic University of Korea**

*Department of Preventive medicine, College of Medicine, The Catholic University of Korea***

Objectives : This study was conducted to investigate whether air pollution levels in Seoul have short term effects on respiratory disease outpatients.

Methods : We analyzed five air pollutants (CO, NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀) and daily counts of outpatient for respiratory disease divided by age group (<15yrs, 15-64yrs, 65+yrs) during the period of July 1997-June 1998 using Generalized Additive Model(GAM).

Results : After controlling for seasonal trends, day of the week, week of the month, temperature and humidity, CO (RR=1.041~1.051, 0-day lag) and NO₂ (RR=1.024~1.050, 3-day lag) were significantly associated with daily counts for respiratory disease in all age groups. O₃ and SO₂ were associated, with a 3-day lag in the age group under 15 years (O₃ RR=1.047, 95% CI=1.045-1.049; SO₂ RR=1.018, 95% CI=1.017-1.020) and with a 0-day lag in the age group 15 to 64 years (O₃ RR=1.035, 95% CI=1.032-1.037; SO₂ RR=1.037, 95% CI=1.035-1.039), in the age group over 65 years (O₃ RR=1.042, 95% CI=1.033-1.051; SO₂ RR=1.029, 95% CI=1.022-1.036). PM₁₀ was weakly associated, with a 1-day lag in the age group under 15 years (RR=1.011, 95% CI=1.010-1.013) and with a 0-day lag in the age group 15 to 64 years (RR=1.021, 95% CI=1.019-1.023), in the age group over 65 years (RR=1.025, 95% CI=1.018-1.032). In the 'two pollutant model', the magnitudes of the relative risk for CO, NO₂ and O₃ were maintained, but SO₂ was not associated with daily counts for respiratory disease in the age group under 15 years after controlling for NO₂. PM₁₀ was not associated in all age groups after controlling for CO, so the association with PM₁₀ in the 'single pollutant model' might be confounded by CO. In this study, the impact of PM₁₀ on the respiratory disease was not large as compared with other pollutants.

Conclusions : Air pollution in Seoul may increase the incidence of the respiratory disease, so more positive attention for the control of air pollution should be paid.

Key Words : Air pollution, Respiratory disease outpatient, Generalized additive model(GAM), Time series analysis

서 론

대기오염이 인체 건강에 영향을 줄 수 있다는 사실은 과거 대표적인 3개의 에피소드로 잘 알려져 있다. 벨기에의 Meuse Valley, 미국의 Donora, 영국의 London 등에서 발생한 대기오염 사건은 대기오염의 악화가 초과사망과 환자수의 증가를 초래할 수 있음을 보여주었다(Costa와 Amdur, 1996). 이후 각 나라별로 적극적인 환경오염 방지 대책을 통해 같은 정도의 대기오염 사건은 발생하지 않았지만 최근 들어 현재의 낮은 대기오염 수준에서도 건강영향이 있다는 의문이 제기되어 많은 연구가 진행되고 있다.

Dockery 등(1993)과 Schwartz(1994a)는 일일 사망의 유의한 증가는 대기오염물질 농도의 증가가 그 원인이라고 보고한 이래로 미국뿐 아니라 유럽(Katsouyanni 등, 1997), 브라질(Saldiva 등, 1995), 중국(Xu 등, 1994), 그리고 우리나라(권호장, 1998; 이종태 등, 1998; Lee 등, 1999; Lee와 Schwartz, 1999; Hong 등, 1999)에서도 이러한 연관성이 반복적으로 관찰되었다. 또한 호흡기계 질환이나 심혈관계 질환 등의 이환률에 대한 연구도 진행되어 입원 및 외래와 응급실 방문 등에 유의한 영향을 미치고 있음을 보고하였다(Schwartz 등, 1993; Xu 등, 1995; Schwartz, 1996).

최근 들어서 대기오염물질의 측정능력이 발전하고 의학적 진단능력이 향상되면서 질병자료의 체계적 관리와 정교화된 연구방법의 개발과 더불어 대기오염에 의한 건강 영향을 정량화하는 것이 가능해졌는데 그 대표적인 방법이 시계열적 분석(time series analysis)이다. 시계열적 접근법은 측정 단위가 사람이 아니라 시간이므로 대기오염과 함께 시간에 따라 변화하는 변수들에 대한 통제만 잘 이루어 진다면 역학연구에서 문제가 되는 연구대상자 간의 차이에 의한 교란작용을 막을 수 있어 대기오염의 단기간 영향을 파악하는 연구에 많이 사용되어 왔다(전상일, 1999). 대기오염과 호흡기질환과의 관련성을 시도한 국내 연구는 단면적인 연구가 진행되어 오다가 90년대 들어 의료보험자료와 환경부의 대기오염 측정자료, 기상청의 기상자료 등을 이용한 시계열적 연구가 시도되었다(최기운과 백도명, 1995; 임중환 등, 1998; 전상일, 1999). 특히 전상일(1999)은 대기오염에 의한

천식과 심부전 발생의 증가를 보인 것뿐 아니라 이로 인한 질병비용을 계산하여 대기오염과 관련된 정책의 기초자료를 제공하였다. 그러나 호흡기질환 중 최근 그 발생빈도가 점차 증가하고 있는 천식에 관한 연구가 이뤄져 자칫 그 영향을 과대 평가할 수 있는 가능성이 있다. 또한 대기오염 물질에 대한 민감도는 연령에 따라 차이가 날 수 있다. 몇몇 연구가 65세 이상 연령군에서 시도가 되었는데(Schwartz, 1994b; Schwartz, 1996) 이는 65세 이상이 생물학적으로 대기오염물질에 대한 민감도가 높기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 각 연령군에 대한 대기오염의 영향을 비교하여 평가할 필요성이 있다.

이에 본 연구는 대기오염과 전혀 관련이 없는 호흡기 질환을 제외한 전체 호흡기질환 환자수와 대기오염과의 관련성을 15세 미만, 15~64세, 65세 이상으로 구분하여 비교하고, 시계열분석에서 발생할 수 있는 교란 요인에 의한 영향을 최소화하여 호흡기 질환 환자에 영향을 미치는 주된 대기오염 물질을 살펴보고 그 위험비를 정량하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 자료

1) 의료보험 자료

본 연구의 상병자료는 병의원에 내원한 지역 의료보험자에 대하여 각 의료기관에서 진료 후 국제 질병분류표(International Classification of Disease 10, ICD-10)에 따라 진단된 질병 실적에 관한 의료보험연합회의 전산자료이다. 원 자료에는 조합기호, 상병기호, 요양기관번호, 서식(입원/외래), 초진 및 재진 회수, 내원일수, 진료일수, 진료개시일, 진료비, 성별, 생년월일, 나이 등의 항목이 포함되어 있었다. 분석에 사용된 자료는 진료개시일을 기준으로 1997년 7월 1일부터 1998년 6월 30일까지 호흡기 질환으로 서울 소재 의료기관에서 외래진료를 받은 환자만을 발췌하여 사용하였다. 호흡기 질환의 경우 ICD-J00부터 ICD-J99까지로 정의되어 있으나, 본 연구에서는 대기오염의 영향으로 생각되지 않는 외부요인에 의한 폐질환(J60-J70), 간질에 영향을 주는 기타 호흡기 질환(J80-J84), 하기도의 화농성 및 괴사성 병태(J85-J86), 흉막의 기타 질환(J90-J94), 호흡기계의 기타 질환(J95-J99) 등은 제외시키고, 급성 상기

도 감염(J00-J06), 폐렴(J12-J18), 기타 급성 하기도 감염(J20-J22), 만성 하기도 질환(J40-J46)만을 선별해 일별 호흡기질환 환자수로 정의하였다.

2) 대기오염 자료

대기오염 자료는 서울에 설치된 대기 자동 측정소 20개소에서 1997년 7월 1일부터 1998년 6월 30일까지 측정된 대기오염 지표인 아황산가스(SO₂), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃), 일산화탄소(CO), 미세분진(PM₁₀)을 대상으로 하였다. 자동측정망 자료는 매 시간동안 연속적으로 측정한 1시간 평균치 값이 자동감시체계(telemetry system)를 통해 관할 환경 관리청 및 환경부로 전송된 것으로, 본 연구에서는 이 자료를 이용하여 각 오염물질의 일별 대표치를 구한 후 분석에 사용하였다.

일별 평균치의 경우, 분진, SO₂, NO₂, CO, O₃는 먼저 각 시간대별로 20개 지점의 측정치를 평균하여 시간당 평균치를 구하고 이 값을 이용하여 24시간 평균치를 구하여 그날의 평균치로 삼았다. 오존의 경우는 환경 기준을 고려하여 시간 최대치를 또한 대표값으로 선정하였는데, 이는 각 측정 지점별로 시간당 평균치 중 최대치를 선정하여 그 값을 해당 측정지점에서의 시간최대치로 삼고 20개 측정지점에서 측정한 시간최대치의 평균값을 그날의 최대오존농도로 하였다.

3) 기상자료

기상자료는 서울시 기상청에서 측정한 서울의 기온과 상대습도에 대한 자료를 사용하였다. 기온과 상대습도는 시간 평균치의 평균을 구하여 그날의 평균기온과 상대습도로 삼았다.

2. 분석 방법

의료기관 호흡기질환 수진 건수에 영향을 미치는 변수는 그 지역의 일별 대기오염 정도(미세분진, 아황산가스, 이산화질소, 일산화탄소, 오존 등)와 일별 기상요인(평균 기온, 상대습도 등), 의료보험 수진자의 인적 특성과 건강습관(나이, 성별, 사회경제적 요인, 흡연력) 등이 있다. 어떤 주어진 날에, 병원 방문자나 사망자는 전체 인구집단으로 볼 때 매우 적은 부분이고 그 수는 발생 건수이므로 포아송 분포(Poisson distribution)를 따르게 되며, 일별 발생 환자를 예측하는 식은 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$\text{Log}(E(Y)) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p \quad (1)$$

시계열자료의 분석에서 모델을 구축하는데 있어서 변동 요인으로서 장기적인 추세(trend), 계절(season) 요인, 기온 및 습도이다. 이러한 변동요인을 제어하는 방법으로 본 연구에서는 generalized additive model(GAM)을 사용하였다. GAM은 설명변수와 반응변수 사이의 관계를 일반적인 선형회귀모형처럼 특정 함수형태가 아닌 실제 자료에 근거하여 요약된 그림(scatter plot)의 형태로 표현해 주는 것으로, 선형적 관계를 가정하기 힘들 때 둘 사이의 관계를 파악하는데 유용한 것으로 알려져 있다. GAM에서는 설명변수들을 비모수적인 smooth function으로 통제하면서 포아송회귀분석을 적합시키는 것이 가능하게 되는데 그 일반적 형태는 다음과 같다.

$$\text{Log}\{(E(Y))\} = S_1(X_1) + \dots + S_p(X_p) \quad (2)$$

S_p: smooth function of p-th variable

Smooth function에는 여러 가지가 있는데, 본 연구에서는 자료사이의 비선형성을 탐지하는데 우수하고, 포아송 분포를 하는 시계열자료에서 장기적인 추세변동과 계절변동을 제거하는데 널리 사용되고 있는 Loess(locally weighted regression)를 사용하였다. Loess는 중심이 되는 한 점(X_p)으로부터 떨어진 거리에 따라 차별화 된 가중치를 부여하기 때문에 자료가 가진 자체 특성을 더욱 자세히 표현할 수 있는 장점이 있다.

또 다른 교란작용으로 요일(day) 및 주(week) 효과를 들 수 있다. 일반적으로 병원의 외래 건수는 일요일과 공휴일에는 감소하고, 월요일에 증가하는 경향이 있는데 이는 대기오염의 영향으로 볼 수 없다. 또한 의료기관의 진료건수는 매달 첫 주에 가장 많고 마지막 주에 가장 적어지는 경향이 있다. 이러한 경향을 제어하기 위하여 본 연구에서는 요일과 주에 대하여 위장변수(dummy variable)를 사용하였다. 요일의 경우 일요일을 기준으로 6개의 위장변수를 만들었으며, 주에 대해서는 마지막 주를 기준으로 3개의 위장변수를 만들어 모델에 포함시켰다(전상일, 1999).

이렇게 일별 호흡기질환 외래 건수에 영향을 미칠 수 있는 교란요인을 제어하여 대기오염과 호흡기질

환과의 관련성을 평가하는 기본모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Log(No. of daily respiratory disease outpatients)} \\ & = S(\text{date})+S(\text{temperature})+S(\text{relative humidity}) \\ & +D(\text{day of the week})+D(\text{week of the month}) \quad (3) \end{aligned}$$

(S: smoothing function(Loess), D: dummy variable)

이렇게 기본모델을 설정한 후 각 변수에 대한 일별 호흡기질환 환자수의 잔차(residuals)를 그려 각 변수의 교란효과가 제대로 통제되었는지를 평가하였다. 다음으로 시계열 자료의 분석에서 흔히 문제가 되는 자기상관성 (autocorrelation)에 대한 검증을 하였다. 호흡기질환 자료에서 이러한 자기상관성이 존재하는 지를 평가하기 위하여, 기본모델의 일별 호흡기질환 환자수의 잔차에 대한 자기상관함수(autocorrelation function, ACF)를 그려 호흡기질환 환자수의 자기상관성이 계속 존재하는지를 평가하였다.

기본모델을 선정한 후, 기본모델에 CO, NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀ 등의 대기오염물질을 하나씩 포함시킨 '단일오염물질 모델(one pollutant model)'을 만들었다. 호흡기질환에 영향을 미치는 변수들의 효과는 즉시 나타날 수도 있지만 지연효과(lag effect)를 보일 수도 있다. 따라서 단일오염물질 모델에서는 각 대기오염물질의 당일 값부터 5일 전까지의 값을 차례로 넣어 residual deviance를 최소로 하는 지연

시간을 결정하였다. 또한 대기오염물질은 단일하게 영향을 미칠 뿐 아니라 다른 대기오염물질과 복합적 효과를 가져오므로 다른 오염물질의 영향을 제어한 상태에서 각 오염물질의 독립적인 효과를 평가하여야 한다. 본 연구에서는 단일오염물질 모델에서 유의성이 인정된 물질에 대하여 다른 오염물질을 포함시킨 '두가지 오염물질 모델(two pollutant model)'을 만들어 유의성의 지속여부를 평가하였다. 이 모델로부터 각 오염물질의 단위증가에 대한 상대위험비(relative risk)와 95 % 신뢰구간(Confidence Interval, CI)을 구하였다. 포아송 회귀분석에서는 회귀계수에 exponential을 취하여 상대위험비를 추정할 수 있다. 본 연구에서는 오염물질의 단위증가의 기준으로 'Interquartile Range(IQR)'를 선정하였으며, 상대위험비와 95 % 신뢰구간은 다음과 같은 방법으로 구하였다.

$$RR = \exp(IQR \times \text{coefficient}) \quad (4)$$

$$95 \% CI = \exp(IQR \times \text{coefficient} \pm 1.96 \times IQR \times SE) \quad (5)$$

본 연구에서는 자료의 분석으로, 자료의 관리는 주로 SAS 6.12를 사용하였으며, GAM의 분석은 S-plus 4.0(MathSoft Inc, 1997)을 사용하였다.

Table 1. Distribution of daily data on respiratory disease, air pollutants and meteorology in Seoul at 1997. 7~1998. 6

Variable	Mean	Min	Percentile			Max
			25th	50th	75th	
Respiratory Disease						
<15 y	9895.6	322	6631	9231	12913	41284
15-64 y	5284.4	134	3596	5409	6992	14399
65+y	493.0	8	319	496	666	1786
CO (ppm)	1.15	0.39	0.84	1.04	1.38	2.76
NO ₂ (ppb)	30.63	10.31	22.54	29.40	36.99	79.94
O ₃ (ppb)	36.46	9.42	24.45	33.00	44.5	99.16
SO ₂ (ppb)	8.35	3.48	5.64	7.29	10.13	21.59
PM ₁₀ (µg/m ³)	60.75	17.10	38.99	57.50	76.43	164.67
Temperature (°C)	13.6	-11.9	5.8	15.1	21.8	30.4
Relative Humidity (%)	62.9	33.5	54.3	62.9	72.1	92.1

CO, NO₂, SO₂, PM₁₀ : mean of 24 hour mean concentrations of 20 measuring posts in Seoul

O₃ : mean of daily peak concentrations of 20 measuring posts in Seoul

Table 2. Pearson correlation coefficients for air pollutants and weather variables

	Temp	RH	CO	NO ₂	O ₃	SO ₂	PM ₁₀
Temp	1.000						
RH	0.382**	1.000					
CO	-0.332**	-0.011	1.000				
NO ₂	-0.209**	-0.102	0.382**	1.000			
O ₃	0.611**	0.027	-0.260**	-0.059	1.000		
SO ₂	-0.437**	-0.127*	0.589**	0.547**	-0.291**	1.000	
PM ₁₀	0.011	0.074	0.401**	0.512**	0.149**	0.692**	1.000

Temp : Temperature, RH : Relative Humidity

* : significant at the 0.05 level

** : significant at the 0.01 level

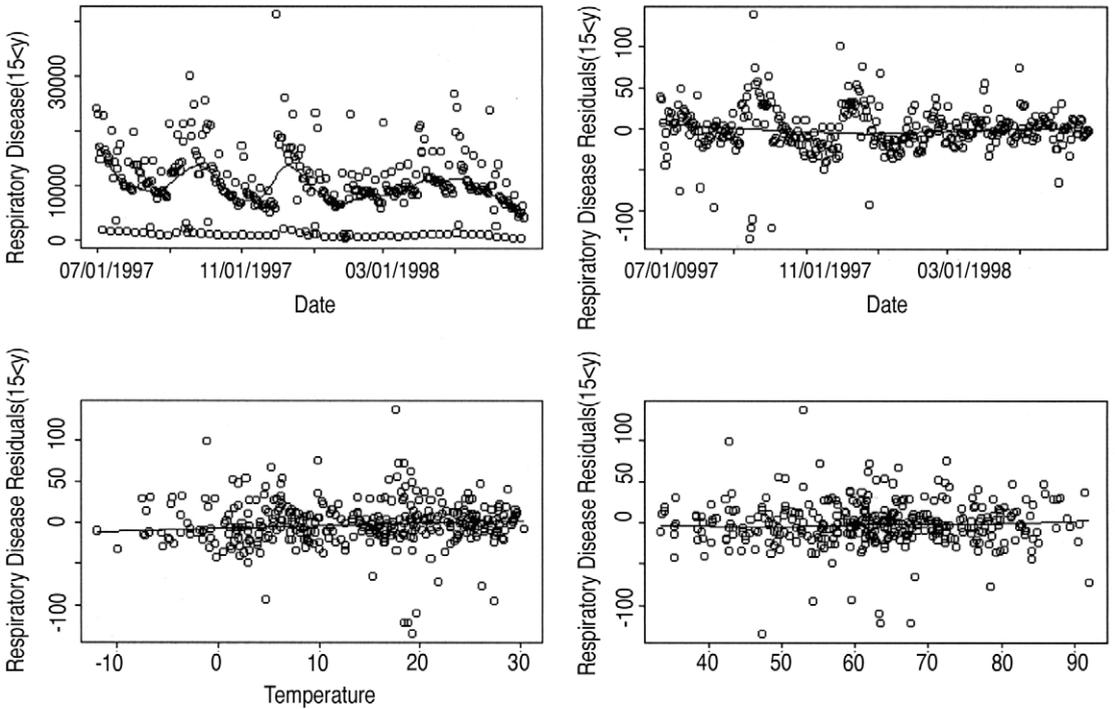


Fig. 1. A temporal plot and residual plots of respiratory disease outpatients versus time, temperature and relative humidity for under 15 years in Seoul at 1997.7-1998.6. The lines shown are smoothing spline curves of the data.

결 과

1. 연구자료의 특성

Table 1은 연구기간 동안의 서울시 일별 호흡기

질환 환자수와 대기오염, 기상의 분포이다. 일별 호흡기질환 환자수의 경우, 97년 연앙인구를 기준으로 살펴본 일별 발생율은 15세 미만(이하 'Y'군)이 인구 10만명당 482.6명, 15세에서 64세(이하 'M'군)가 인구 10만명당 67.7명, 65세 이상(이하 'O'군)

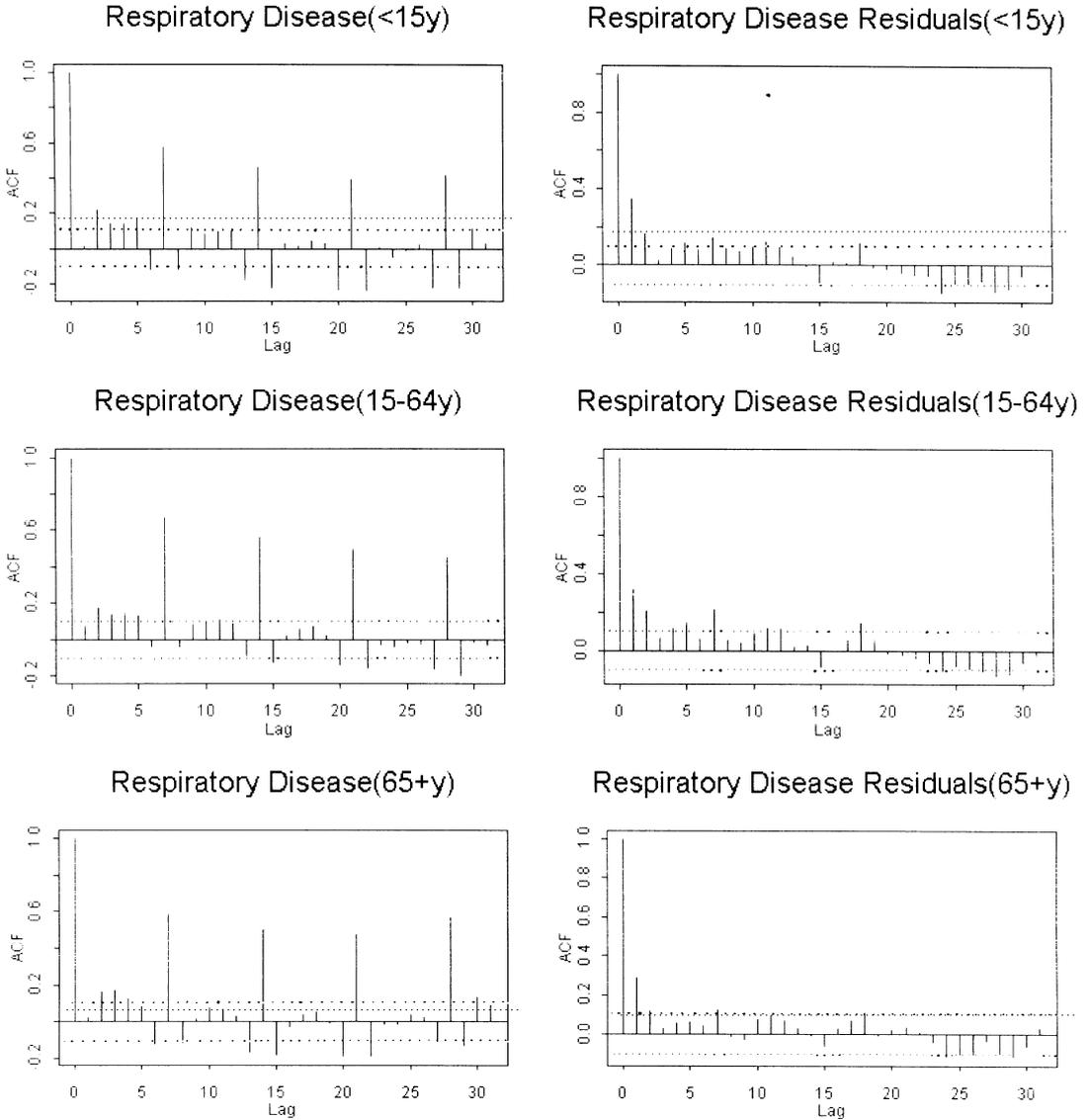


Fig. 2. Autocorrelation functions for daily respiratory disease outpatients by age group and their residual plots. The dotted lines are 95% confidence intervals.

이 인구 10만명당 101.9명으로 'Y'군이 가장 민감한 군으로 나타났다. 대기오염의 경우, 1997년 7월부터 1998년 6월까지 1년간의 각 오염물질의 평균 농도는 모두 환경부가 정하고 있는 연간 대기오염 허용기준(NO_2 -50ppb, SO_2 -30ppb, PM_{10} - $80\mu\text{g}/\text{m}^3$) 이하로 나타났다. 24시간 평균(O_3 는 1시간 최대농도)의 경우도 NO_2 (80ppb), SO_2 (140ppb),

O_3 (100ppb)는 모두 기준 이하의 값을 보였고, PM_{10} ($150\mu\text{g}/\text{m}^3$)은 3회를 초과하였으나 연간 3회 초과하면 안된다는 규정에는 어느 정도 만족하고 있어 서울시의 대기오염 수준은 허용기준의 측면에서는 관리가 잘 되고 있는 것으로 나타났다. CO는 대기환경기준이 1시간(25ppm)과 8시간(9ppm)으로 정해져 있어 24시간 평균을 사용한 본 연구의 결과

Table 3. Significant relative risk at one pollutant model of CO, NO₂, O₃, SO₂, PM₁₀ with various lag times

Pollutant	Age (year)	Lag (day)	RR [†] (95 % CI)	Pollutant	Age (year)	Lag (day)	RR [†] (95 % CI)
CO	< 15	0	1.041 (1.039~1.042)	NO ₂	< 15	1	1.043 (1.041~1.044)
		1	1.007 (1.006~1.009)			2	1.029 (1.027~1.030)
	15~64	0	1.051 (1.049~1.053)		15~64	3	1.050 (1.048~1.051)
		1	1.019 (1.016~1.021)			4	1.022 (1.021~1.024)
SO ₂	< 15	0	1.048 (1.041~1.055)	≥ 65		0	1.018 (1.016~1.020)
		1	1.005 (1.003~1.006)			1	1.023 (1.021~1.025)
	15~64	1	1.012 (1.011~1.014)		2	1.013 (1.011~1.016)	
		3	1.018 (1.017~1.020)		3	1.024 (1.022~1.027)	
PM ₁₀	< 15	4	1.005 (1.003~1.006)	≥ 65	4	1.005 (1.003~1.007)	
		15~64	0		1.037 (1.035~1.039)	0	1.014 (1.007~1.021)
	≥ 65	1	1.028 (1.025~1.030)		1	1.021 (1.013~1.028)	
		2	1.017 (1.014~1.019)		3	1.025 (1.018~1.032)	
O ₃	< 15	3	1.021 (1.018~1.023)	< 15	0	1.022 (1.020~1.024)	
		4	1.007 (1.005~1.010)		1	1.024 (1.022~1.026)	
	15~64	0	1.010 (1.003~1.017)		2	1.039 (1.037~1.040)	
		1	1.011 (1.010~1.013)		3	1.047 (1.045~1.049)	
PM ₁₀	< 15	3	1.009 (1.008~1.011)	15~64	4	1.012 (1.010~1.014)	
		15~64	0		1.021 (1.019~1.023)	0	1.035 (1.032~1.037)
	≥ 65	1	1.009 (1.007~1.011)		1	1.027 (1.024~1.029)	
		2	1.006 (1.004~1.008)		2	1.028 (1.026~1.030)	
O ₃	< 15	0	1.025 (1.018~1.032)	≥ 65	3	1.032 (1.030~1.035)	
		3	1.011 (1.004~1.019)		0	1.042 (1.033~1.051)	
	15~64	1	1.020 (1.012~1.028)		1	1.020 (1.012~1.028)	
		2	1.016 (1.008~1.024)		2	1.016 (1.008~1.024)	
≥ 65	3	1.040 (1.032~1.049)	3	1.040 (1.032~1.049)			

RR : relative risk, CI : confidence interval

†: for the interquartile range increase of CO(0.545ppm), NO₂(14.45ppb), O₃(20.1ppb), SO₂(4.48ppb), PM₁₀(37.44µg/m³)

로는 비교가 힘들다 대체로 기준 이하를 보이는 것으로 판단된다. Table 2는 기상변수와 대기오염 물질간의 Pearson 상관관계수이다. SO₂는 모든 변수와 유의한 상관관계를 보였으며 특히 PM₁₀과 매우 큰 상관관계 수 값을 가져 같은 오염원으로서 체내에 폭로 된다는 여러 증거와 동일한 결과를 나타냈다. CO 역시 상대습도를 제외한 모든 변수와 유의한 상관관계를 보였다.

2. 모델의 구축 및 평가

대기오염물질이 호흡기질환 환자수에 미치는 영향을 파악하기 위해 설정한 기본모델의 적합성을 판정

하기 위해 기본모형의 잔차를 대상으로 교란요인의 제어여부와 자기상관성에 대한 평가를 실시하였다. Fig. 1은 'Y'군의 일별 호흡기질환 환자수의 분포와 기본 모델에 적용시킨 잔차 그림이다. 추세변동과 기온, 상대습도에 대한 잔차 그림(residual plot)은 기본 모델을 적용하지 않은 상태에서 나타난 경향성이 거의 사라지고 비모수적 smooth가 직선에 가까운 것을 볼 때, 구축한 기본모델이 이러한 교란요인을 적절하게 제어하고 있음을 알 수 있다. 'M'군과 'O'군 역시 'Y'군과 동일한 결과의 분포를 보였다.

일반적으로 시계열자료에서는 자기상관성이 존재하게 되는데 본 연구의 일별 호흡기질환 환자수의 경우

Table 4. Relative risk of two pollutant model

	< 15 yrs			15~64yrs			≥ 65yrs		
	lag	RR	95% CI	lag	RR	95% CI	lag	RR	95% CI
CO	0	1.049	1.048~1.051*	0	1.051	1.049~1.053*	0	1.048	1.042~1.055*
NO ₂	3	1.050	1.049~1.052*	3	1.024	1.022~1.027*	3	1.025	1.019~1.032*
CO	0	1.044	1.043~1.046*	0	1.048	1.046~1.050*	0	1.045	1.039~1.052*
O ₃	3	1.042	1.040~1.043*	0	1.027	1.024~1.029*	0	1.035	1.026~1.044*
CO	0	1.048	1.047~1.050*	0	1.044	1.041~1.046*	0	1.045	1.038~1.053*
SO ₂	3	1.016	1.015~1.018*	0	1.016	1.013~1.018*	0	1.009	1.001~1.016*
CO	0	1.049	1.047~1.050*	0	1.052	1.050~1.055*	0	1.047	1.040~1.054*
PM ₁₀	1	0.999	0.997~1.001	0	0.997	0.994~0.999	0	1.006	0.998~1.014
NO ₂	3	1.044	1.042~1.045*	3	1.02	1.022~1.026*	3	1.025	1.018~1.032*
O ₃	3	1.038	1.037~1.040*	0	1.035	1.032~1.037*	0	1.042	1.033~1.052*
NO ₂	3	1.056	1.054~1.058*	3	1.021	1.019~1.023*	3	1.023	1.016~1.030*
SO ₂	3	0.987	0.985~0.989	0	1.034	1.032~1.036*	0	1.027	1.019~1.034*
NO ₂	3	1.049	1.048~1.051*	3	1.022	1.020~1.024*	3	1.02	1.016~1.030*
PM ₁₀	1	1.001	0.999~1.003	0	1.018	1.015~1.020*	0	1.023	1.016~1.031*
O ₃	3	1.045	1.044~1.047*	0	1.033	1.031~1.036*	0	1.04	1.032~1.050*
SO ₃	3	1.013	1.011~1.015*	0	1.036	1.034~1.038*	0	1.027	1.020~1.034*
O ₃	3	1.046	1.044~1.048*	0	1.031	1.028~1.033*	0	1.037	1.028~1.047*
PM ₁₀	1	1.005	1.004~1.007*	0	1.014	1.012~1.016*	0	1.018	1.011~1.026*
SO ₂	3	1.017	1.015~1.019*	0	1.050	1.047~1.054*	0	1.023	1.012~1.034*
PM ₁₀	1	1.010	1.008~1.011*	0	0.966	0.963~0.969	0	1.008	0.997~1.019

RR : relative risk, CI : confidence interval

† : for the interquartile range increase of CO(0.545ppm), NO₂(14.45ppb), O₃(20.1ppb), SO₂(4.48ppb), PM₁₀(37.44µg/m³)

* : also significant at two pollutant model(α=0.05)

도 모델에 적합시키지 않은 상태에서는 상당한 정도의 자기상관성이 존재하는 것을 알 수 있었다. Fig. 2는 자기상관성을 확인하는 자기상관함수(autocorrelation function)로, 그림과 같이 7일을 주기로 자기상관함수의 계수값이 높게 나타났다. 그러나 모델에 적합시키고 난 후 잔차의 자기상관함수를 그려본 결과 자기상관성이 사라져, 설정한 기본모델이 자기상관성 역시 효과적으로 제어함을 알 수 있다.

3. 대기오염물질의 영향

Table 3은 기본모델에 각 대기오염물질을 하나씩 포함시켜 살펴본 '단일오염물질 모델(one pollutant model)'에서 유의성이 인정된 지연시간(lag time)과 상대위험비(relative risk), 95 % 신뢰구간(95 % confidence interval)을 나타낸 것이다. 분석결과 CO는 모든 연령층에서 일정하게 당일 농도가 가장 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다('Y'군

RR=1.041, 'M'군 RR=1.051, 'O'군 RR=1.048), NO₂ 역시 3일전의 농도가 모든 연령층에서 가장 유의한 영향을 미쳤다('Y'군 RR=1.050, 'M'군 RR=1.024, 'O'군 RR=1.025). O₃와 SO₂는 4일전 농도부터 당일 농도까지 지연시간이 길게 나타나는 특징을 보였으며 'Y'군에서는 3일전 농도가(O₃ RR=1.047, SO₂ RR=1.018), 'M'군(O₃ RR=1.035, SO₂ RR=1.037)과 'O'군(O₃ RR=1.042, SO₂ RR=1.029)에서는 당일 농도가 가장 유의한 결과를 나타났다. 상대적으로 PM₁₀은 유의성이 낮게 나타났는데 'Y'군은 하루 전 농도(RR=1.011), 'M'군(RR=1.021)과 'O'군(RR=1.025)은 당일 농도가 가장 유의하게 나타났다.

두 오염물질씩을 기본모델에 포함시킨 '두가지 오염물질모델(two pollutant model)'은 Table 4와 같다. CO, NO₂, O₃는 상대위험비가 '단일 오염물질모델'의 값과 거의 일정하게 통계적 유의성을 유

지하였으나 SO₂는 'Y'군에서 NO₂와 같이 포함된 모델에서 통계적 유의성을 상실하였다. PM₁₀은 모든 연령층에서 CO와 같이 포함된 모델에서 통계적 유의성을 상실하여 '단일 오염물질모델'에서 나타난 유의성이 CO에 의한 교란작용의 결과임을 알 수 있었다. 또한 'Y'군에서 NO₂, 'M'군과 'O'군에서 SO₂와 같이 포함된 모델에서 역시 유의성을 상실하여 본 연구에서 살펴본 호흡기 질환에 미치는 PM₁₀의 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

고 찰

대기오염의 건강영향에 대한 시계열분석에서 문제가 되는 추세변동과 계절변동, 기상요인, 요일 및 주별 효과 등의 교란요인을 제어한 상태에서 서울지역의 대기오염물질이 호흡기질환 환자수의 증가에 유의하게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히 '두가지 오염물질모델'에서도 CO와 O₃는 상대위험비가 그대로 유지되어 호흡기질환에 대한 독립적인 영향을 갖는 것으로 생각된다.

대기오염의 영향에 대하여 많은 연구가 65세 이상 연령군에서 시도가 되었는데 이는 65세 이상이 생물학적으로 대기오염물질에 대한 민감도가 높기 때문인 것으로 생각된다. 65세 이상의 연령군에 대한 본 연구에서는, O₃의 경우 하루 전 농도에서 20.1ppb의 증가가 1.042(95 % CI=1.033~1.051)의 상대위험비를 나타냈는데, Detroit에서 진행된 Schwartz(1994b)의 연구에서 5ppb 증가에 대한 폐렴은 1.026(1.013~1.040), 만성호흡기질환(COPD)은 1.028(1.007~1.049)의 상대위험비를 나타냈으며, Spokane에 진행된 Schwartz(1996)의 연구에서는 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가에 대한 호흡기 질환은 1.244(1.002~1.544)의 상대위험비를 보였다. 또한 캐나다의 16개 도시에서 진행된 호흡기 질환 입원에 미치는 O₃의 영향은 30ppb 증가에 대하여 1.024에서 1.043까지의 유의한 상대위험비를 보였다. 국내의 연구에서도 전상일(1999)은 20.9ppb 증가가 천식 입원에 대하여 1.253(lag 2)~1.385(lag 3)의 상대위험비를 나타냈고, 천식 외래에 대해서는 1.034(lag 4)~1.098(lag 2)의 상대위험비를 보였다. 오염물질 증가에 대한 기준이 각 연구마다 다양하여 직접비교는 어렵지만 상대적으로 본 연구의 상대위험비

가 낮은 이유는 본 연구에서 사용한 상병자료가 입원 자료가 아니라 외래자료인 것에서 기인한 것으로 생각된다. 그러나 우리 나라에서 진행된 최기운과 백도명(1995), 임종한 등(1998)의 연구에서는 호흡기질환에 미치는 O₃의 영향이 유의하게 나타나지 않았다. 이는 연구 대상 시기가 각기 다르기 때문에 대기 중 오존 농도의 변화에서 기인한 것일 수도 있고 분석에 사용된 모델이 서로 다름으로 인해 보다 미세한 차이를 찾아낸 결과일 수도 있다. 따라서 보다 명확한 자료의 관리와 더불어 분석 모델의 적용, 그리고 더 나아가 직접 환자를 대상으로 한 연구의 진행이 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서 모든 연령층과 '두가지 오염물질 모델'에서 안정적으로 유의성을 보인 CO의 경우 호흡기 질환과의 관련성이 보고된 연구는 거의 없었다. 시카고에서 진행된 대기오염물질과 천식 발작과의 관련성에 관한 연구에서는 가장 연관성 높은 물질로 CO가 보고되었으며, 핀란드의 헬싱키에서 천식의 발작과 유의한 연관성을 보인 대기오염물질로 또한 CO가 보고되어 천식과의 관련성이 의심되었다(Lipfert, 1993). 우리 나라의 연구에서도 최기운과 백도명(1995)은 40세 이상 연령에서 천식과 유의한 연관성을 갖는 것으로 나타났으며, 전상일(1999)의 연구 역시 소아 및 청장년층에서 유의성을 보였다. 울혈성 심부전에 대한 CO의 영향에서 CO는 온도와 역상관성을 보여, CO에 대한 연구에서는 기온의 영향을 충분히 보정하여 건강영향을 평가하는 것이 적절한 것으로 판단된다(Morris와 Naumova, 1998).

그러나 많은 연구에서 연관성이 보고된 PM₁₀의 경우는 본 연구에서는 '두가지 오염물질 모델'에서 영향이 사라져 차이가 있음을 알 수 있었다. 분진은 체내에 폭로될 때, 다른 기체상 산화물질과 복합적으로 흡입되는데 서울시의 자동차 증가 등으로 인한 대기 중 분진의 질(quality)이 이러한 산화물질을 많이 포함한 형태로 변화하여 결과가 달라졌을 가능성이 존재한다(환경부, 1998).

본 연구의 제한점으로, 상병자료로 사용한 의료보험 자료는 기본적으로 상병자료가 아닌, 보험업무의 처리를 위한 자료이기 때문에 의학적인 엄밀성으로 볼 때, 상당한 진단의 부적확성이 있을 가능성이 있다. 그러나 의료보험의 주상병으로 분류한 질병별 진단일치율이 진단명 별로 약 63~80 % 정도의 비

교적 높은 진단의 정확도를 보이므로(고려대학교 환경의학연구소, 1997) 본 연구와 같이 대규모 지역의 인구집단을 대상으로 한 연구에서는 적절할 것으로 생각된다. 또한 분석대상이 입원자료가 아닌 외래자료를 사용하였는데 자료의 신뢰도는 입원자료에 비해 떨어지지만 일별 분포의 기준이 예정된 입원이 아니라 건강 이상이 발생하였을 때의 진료 개시일이므로 임의성이 오히려 감소할 것으로 기대하였다. 또한 분석에 사용한 비모수적 방법인 smooth function 등을 통해 자료에 내재된 여러 교란변수 작용의 제어가 가능하여 대기오염의 영향을 평가하는데 적절한 것으로 판단된다.

본 연구 기간 동안 조사된 대기오염 물질의 농도는 환경부의 허용 기준보다 상당히 낮게 나타났지만, 다른 많은 연구와 마찬가지로 서울시의 일상적인 대기오염이 여러 호흡기질환의 발생을 증가시킬 수 있음을 보여준다. 이는 정부의 대기오염 대책으로 매년 오염물질의 농도는 감소하고 있지만 자동차의 증가 등으로 보다 독성이 강한 2차 산화물질의 농도는 오히려 증가하고 있는 것을 반영하는 것으로 생각된다. 따라서 대기오염으로 인한 건강영향을 줄이기 위하여 오염물질의 배출량을 규제하는 것뿐 아니라 물질별 배출원의 효율적 규제 및 감시체계 구축 등의 보다 적극적인 대책이 마련되어야 할 것이다.

요 약

목적 : 서울시의 대기오염 수준이 호흡기 질환 외래 환자수에 미치는 단기 영향을 파악하고자 하였다.

방법 : 1997년 7월부터 1998년 6월까지 서울시의 대기오염자료와 호흡기 질환에 대한 의료보험자료를 분석하였다. 추세변동과 기상요인, 요일 및 주별 효과 등의 교란요인을 제어하고 관련성을 평가하기 위하여 generalized additive model(GAM)을 이용하였다.

결과 : 교란요인을 제어한 기본모델에 각 대기오염 물질을 포함시켜 분석한 결과, CO는 모든 연령층에서 일정하게 당일 농도가 가장 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났고(RR=1.041~1.051), NO₂ 역시 3일 전의 농도가 모든 연령층에서 가장 유의한 영향을 미쳤다(RR=1.024~1.050). O₃와 SO₂는 4일전 농도부터 당일 농도까지 지연시간이 길게 나타나는 특징을 보였으며, 15세 이하에서는 3일전 농도가(O₃

RR=1.047, 95 % CI=1.045~1.049, SO₂ RR=1.018, 95 % CI=1.017~1.020), 15-64세(O₃ RR=1.035, 95 % CI=1.032~1.037, SO₂ RR=1.037, 95 % CI=1.035~1.039)와 65세 이상(O₃ RR=1.042, 95 % CI=1.033~1.051, SO₂ RR=1.029, 95 % CI=1.022~1.036)에서는 당일 농도가 가장 유의한 결과를 나타냈다. PM₁₀은 유의성이 낮게 나타났는데 15세 이하는 하루 전 농도(RR=1.011, 95 % CI=1.010~1.013), 15~64세(RR=1.021, 95 % CI=1.019~1.023)와 65세 이상(RR=1.025, 95 % CI=1.018~1.032)은 당일 농도가 유의하게 나타났다. 두 오염물질씩을 기본모델에 포함시켜 분석한 결과 CO, NO₂, O₃는 상대위험비가 '단일 오염물질모델'의 값과 거의 일정하게 통계적 유의성을 유지하였으나 SO₂는 15세 이하에서 NO₂와 같이 포함된 모델에서 통계적 유의성을 상실하였다. PM₁₀은 모든 연령층에서 CO와 같이 포함된 모델에서 통계적 유의성을 상실하여 '단일 오염물질모델'에서 나타난 유의성이 CO에 의한 교란작용의 결과임을 알 수 있었다. 또한 15세 이하에서 NO₂, 15~64세와 65세 이상에서 SO₂와 같이 포함된 모델에서 역시 유의성을 상실하여 본 연구에서 살펴본 호흡기 질환에 미치는 PM₁₀의 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

결론 : 본 연구의 결과는 서울시의 일상적인 대기오염이 여러 호흡기질환의 발생을 증가시킬 수 있음을 보여주었다. 따라서 대기오염의 효율적 규제에 대해 보다 적극적인 대책이 마련되어야 할 것이다.

참고문헌

- 고려대학교 환경의학연구소. 환경위해성 평가 및 관리기술: 환경성 질환의 감시체계 2차년도 보고서. 서울: 환경부, 1997.
- 권호장. 서울시의 대기오염과 일별사망의 관련성에 대한 시계열적 연구. 서울대학교 의과대학 의학박사학위 논문. 서울, 1998.
- 이종태, 이성임, 신동천, 정용. 울산시의 대기 중 분진과 일별 사망에 대한 연구(1991~1994년). 예방의학회지 1998; 31:82-90.
- 임종환, 이종태, 김동기, 신동천, 노재훈. 서울지역 대기오염이 호흡기계질환 수진건수에 미치는 단기영향에 관한 연구. 대한산업의학회지 1998;10:333-42.
- 전상일. 서울시 대기오염이 건강에 미치는 영향과 질병비용에 관한 연구. 서울대학교 보건대학원 보건학 박사학위

- 논문. 서울, 1999.
- 최기운, 백도명. 우리나라에서의 천식과 대기오염에 관한 연구. 한국역학회지 1995;17:64-75.
- 환경부. 환경백서. 서울: 남형문화, 1998.
- Costa DK, Amdur MO. Air pollution. In : Klaassen CD, editor. Casarett & Doull's Toxicology. 5th edition. McGraw-Hill, 1996: 857-882.
- Dockery DW, Pope III CA, Xu X, Spengler JD, Ware JH, Fay ME, Ferris BG Jr, Speizer FE. An association between air pollution and mortality in six US cities. *New Engl J Med* 1993;329:1753-9.
- Hong YC, Leem JH, Ha EH, Christiani DC. PM₁₀ exposure, gaseous pollutants, and daily mortality in Inchon, South Korea. *Environ Health Perspect* 1999;107:873-8.
- Katsouyanni K, Touloumi G, Spix C, Schwartz J, Balducci F, Medina S, Rossi G, Wojtyniak B, Summer J, Bacharova L, et al. Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *Br Med J* 1997;314:1658-63.
- Lee JT, Shin D, Chung Y. Air pollution and daily mortality in Seoul and Ulsan, Korea. *Environ Health Perspect* 1999a;107:149-54.
- Lee JT, Schwartz J. Reanalysis of the effects of air pollution on daily mortality in Seoul, Korea: A case-crossover design. *Environ Health Perspect* 1999b;107:633-6.
- Lipfert FW. A critical review of studies of the association between demands for hospital services and air pollution. *Environ Health Perspect* 1993;101(suppl 2):s229-s268.
- MathSoft, Inc. S-plus 4, Guide to statistics. MathSoft, Inc. Seattle, 1997.
- Morris RD, Naumova EN. Carbon monoxide and hospital admissions for congestive heart failure: Evidence of an increased effect at low temperatures. *Environ Health Perspect* 1998;106:649-53.
- Saldiva PHN, Pope CA III, Schwartz J, Dockery DW, Lichtenfels AJ, Salge JM, Barone J, Bohm GM. Air pollution and mortality in elderly people: a time-series analysis in SaoPaulo, Brazil. *Arch Environ Health* 1995;50:159-63.
- Schwartz J, Slater D, Larson TV. Particulate air pollution and hospital emergency visits for asthma in Seattle. *Am Rev Respir Dis* 1993;145:600-4.
- Schwartz J. Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis. *Environ Res* 1994a; 64:36-52.
- Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for the elderly in Detroit, Michigan. *Am J Respir Crit Care Med* 1994b;150:648-55.
- Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. *Epidemiology* 1996;7:21-8.
- Xu X, Li B, Huang H. Air pollution and unscheduled hospital outpatient and emergency room visits. *Environ Health Perspect* 1995;103:286-9.