

시계열자료를 이용한 대기오염과 일별 사망수의 관련성 분석

서 화 숙 · 정 호 준 · 이 흥 근
서울대학교 환경보건학과
(2002년 7월 11일 접수; 2002년 10월 19일 채택)

Air Pollution and Daily Mortality in Busan using a Time Series Analysis

Hwa-Sook Seo, Hyo-Joon Jeong and Hong-Keun Lee

Dept. of Environmental Health Science, Graduate School of Public Health, Seoul National Univ., Seoul 110-799, Korea
(Manuscript received 11 July, 2002; accepted 19 October, 2002)

To identify possible associations with concentrations of ambient air pollutants and daily mortality in Busan, this study assessed the effects of air pollution for the time period 1999-2000. Poisson regression analysis by Generalized Additive Model were conducted considering trend, season, meteorology, and day-of-the-week as confounders in a nonparametric approach. Busan had a 10% increase in mortality in persons aged 65 and older(95% CI : 1.01-1.10) in association with IQR in NO₂(lagged 2 days). An increase of NO₂(lagged 2days) was associated with a 4% increase in respiratory mortality(CI : 1.02-1.11) and CO(lagged 1 day) showed a 3% increase(CI : 1.00-1.07).

Key words : GAM(Generalized Addictive Model), Time series analysis, Air polution, Busan

1. 서 론

최근 대기오염으로 인한 건강 위해정도가 과거에 피드처럼 단시간에 현저하게 나타나는 것은 아니지만, 폭로인구가 대규모이므로 상대적으로 다수의 질환자가 발생할 수 있다. 인구집단을 대상으로 비교적 작은 위험의 증가도 감지할 수 있는 생태학적 연구는 대도시 규모의 인구집단에 대한 오염정도와 인체피해를 파악하기에 적합한 연구방법이라 하겠다. 현재 미국에서는 CAA(Clean Air Act)의 대기환경기준 제정에 있어서, 1차 기준을 건강영향평가를 통한 공중보건의 보호에, 2차 기준을 공공복지와 재산 및 생태계 보호에 두고 있다¹⁾. 최근 대부분의 선진외국에서도 전통적인 오염원 중심의 대기질 관리에서 보건 및 생태계 피해를 반영하는 수용체(receptor) 중심의 관리로 전환하고 있으며, 이를 위해 대기오염이 실제 건강에 미치는 영향에

대한 체계적인 연구를 수행하고 있고 정량화의 신뢰도를 높이기 위해 자료의 분석기법을 개선해 오고 있다. 국민보건을 위한 정보인프라가 구축되면 대기질 관리안이나 기준안 수립에 있어 현재의 시뮬레이션이나 예측평가에 의존하지 않고, 실측자료를 활용한 비용-편익 분석이 이뤄질 수 있을 것이고, 건강피해에 기반한 기준 설정 등 제반 환경정책의 입안과 수립 및 시행 과정에 건강피해 개념을 적용함으로써 대기오염으로부터 국민의 건강 향상을 기할 수 있다.

대기오염과 사망의 관련성에 대한 생태학적 시계열연구의 대표적인 것으로는 유럽에서 동일한 프로토콜을 제정하여 15개 도시에서 진행된 대규모 프로그램인 APHEA(Air Pollution and Health: a European Approach)를 들 수 있다. 1997년부터 1999년에 걸쳐 16개국 30도시에서 진행된 APHEA-2는 APHEA-1에 비해 양-반응 평가, 심폐기능(cardio-pulmonary function), 민감한 군집 구명, 각 나라별 결과의 차이에 대한 체계적인 해석 등에 중점을 두고 대기오염이 사망수나 내원수에 미치는 단기 효과를 평가하였다²⁻⁴⁾. 체코의 Annette Peters

Corresponding Author : Hyo-Joon Jeong, Dept. of Environmental Health Science, Graduate School of Public Health, Seoul National Univ., Seoul 110-799, Korea.
Phone : +82-2-740-8871
E-mail : jeong1208@dreamwiz.com

는 오염도가 높은 탄광분지 지역과 독일 접경 전원 지역에 대해 시계열분석을 시도하여, 이틀전의 TSP $100 \mu\text{gm}^{-3}$ 증가 당 3.8%(CI : 0.8-6.9%)의 사망률 증가와 하루전 PM₁₀ 100gm^{-3} 당 9.8%(CI : 0.7-19.7%)의 사망률 증가를 보고하였다⁵⁾. 미국 Ohio주의 Steubenville의 자료를 분석에 따르면 TSP 농도가 $100\mu\text{gm}^{-3}$ 증가함에 따라 다음날 사망자 수가 4% 증가하게 되고, SO₂는 분진의 효과를 보정하면 사라진다는 결과를 제시하였으며 그밖에도 이와 유사한 연구가 진행되어 왔었다⁶⁻⁹⁾.

본 연구는 부산시 대기오염도의 분포 양상 및 특성을 파악하고 부산시의 일별사망수에 미치는 주된 대기오염물질을 구명하며, 대기오염 물질 농도의 단위 증가에 따른 일별사망수의 변화를 정량적으로 산출하고자 하였다.

2. 연구자료 및 방법

2.1. 연구자료

2.1.1. 대기오염 자료

본 연구에 사용된 자료는 부산광역시 지자체(2곳)와 환경부(7곳)에서 관리 운영하고 있는 대기오염 자동측정망(TMS, Telemetry system)의 한시간 단위 평균값을 부산시의 대기오염도 파악을 위한 기본적인 자료로 하였다. 연구 대상기간은 1999년 1월 1일부터 2000년 12월 31일에 이르는 2개년으로 하였고, 각각 오염물질에 대하여, O₃을 제외한 SO₂, CO, TSP, PM₁₀ 등 항목에 있어서는 하루 중 다소간의 변동이 관찰되므로 일반적으로 사용되는 24시간 측정치들의 평균치를 사용하여, 해당일·해당측정소의 오염도 대표치로 산정하였고, 시간대별 농도변이가 심한 O₃의 경우, 하루 중 최고농도를 노출수준으로 하는 특성을 반영하여 시간 최대치를 구했는데, 각 측정 지점별로 시간 당 평균치 중 최대치를 선정하여 그 값을 해당 측정지점에서의 시간 최대치로 삼고, 9개 측정지점에서 측정한 시간별 평균값을 구하여 각 시간별 평균값에서의 최대값을 그 날의 대표치로 사용하였다.

2.1.2. 기상 자료

부산지방기상청에 설치되어 있는 지상 1.5m 높이의 백엽상에서 관측한 기온, 상대습도, 기압을 원 자료로 하여 분석하였다. 기온과 상대습도는 3시간마다 한시간 평균치가 산출되는데, 이를 평균한 값을 그날의 대표치로 하였다. 또한 기압은 관측지점의 고도에 따라 다소 차이가 생기므로 서로 비교할 수 있는 일정한 고도, 즉 해발고도로 보정된 값인 해면기압을 사용하였다. 분석 대상 기간인 1999년 1월1일부터 2000년 12월 31일 사이에는 기상요인에

의해 초과사망을 초래할 만큼의 무더위나 한파는 관측되지 않았다.

2.1.3. 사망자료

통계청에서 제공하는 1999년과 2000년의 사망원인통계조사 원자료를 이용하여 분석하였다¹⁰⁾. 대기오염에 의한 사망자수를 파악하기 위하여, 일별 사망자수 집계에서 운수사고, 추락사고 등 사망의 외인은 제외하였다. 분석에 들어가는 사망자군을 총 사망군과 15세 미만군 및 65세 이상군의 세 그룹으로 분류하였고, 질환별로는 호흡기계질환 사망군 및 심혈관계질환 사망군 그리고 이 두 그룹을 포함하는 대기오염질환사망군의 총 여섯 그룹으로 나누어 분석하였다.

2.2. 분석 방법

일별 사망수는 희귀한 현상이고, 단위가 발생수 자료로서 양의 정수를 갖는 건수자료이므로 이산확률변수이다. 시간적으로나 공간적으로 제약이 따르는 상황에서의 이산확률분포, 즉 단위공간, 단위시간에서 사건의 출현횟수의 분포는 포아송분포(Poisson distribution)에 해당한다. 일반적인 포아송 선형회귀모형(Poisson linear regression model)을 보면 다음과 같다.

$$\ln E(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i \quad (\text{식 1})$$

여기서 E(Y)는 종속변수(Y)에 대한 기대치이고, β_i 는 각 예측변수(predictor variable)에 대한 회귀계수(regression coefficient)이며, X_i 는 예측변수를 나타낸다. 일별 사망수의 증감 양상에서는 추세 변동과 계절변동이 관찰되는데, 이들이 가져오는 일별 사망수에 대한 영향은 대기오염에 기인한 것이 아니므로 적절한 통제가 이뤄져야 한다. 즉, 예측변수에 대한 변환함수를 통해 비선형적 관계를 반영해야 하는데, 이때 적용할 수 있는 대표적인 방법이 비모수적 평활(nonparametric smoothing)에 의해 회귀분석을 적합시키는 GAM(Generalized Additive Model)이다.

$$\ln E(Y) = S_1(X_1) + S_2(X_2) + \dots + S_i(X_i) \quad (\text{식 2})$$

여기서 S_i 은 i 번째 변수에 대한 평활함수를 나타낸다.

GAM은 일반적인 선형회귀모형처럼 예측변수 X_i 와 반응변수 Y사이의 관계를 나타내는 특정 함수 형태가 있는 것이 아니라 실제 자료에 근거하여 요약된 그림의 형태로 표현해 주는 특징을 갖는데, 이는 선형성을 가정하기 힘든 경우 둘 사이의 관계를 파악할 수 있다는 장점을 갖는다. 본 연구에서는 기상변수에 비모수적 평활방법인 Loess를 통해, 기온, 상대습도 및 기압의 효과를 통제하였다. 사망

시계열자료를 이용한 대기오염과 일별 사망수의 관련성 분석

에 대한 장기추세, 계절변동, 기온, 상대습도, 요일 효과들이 포함된 최종 모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{LnE(No. of daily death)} &= S(\text{date})+S(\text{sensible temperature}) \\ &+S(\text{relative humidity})+S(\text{sea level pressure}) \\ &+D(\text{day of the week}) \end{aligned} \quad (\text{식 3})$$

여기서 S는 Loess 평활 함수이며 D는 가변수(Dummy variable)를 나타낸다.

위의 모형이 추세변동과 기상요인을 적절히 통제하고 있는지 여부에 대한 평가는 각각의 변수들에 대하여 잔차플롯(diagnostic residual plot)을 통해 판단할 수 있다. 오염물질 단위증가(unit increase)에 따라 사망수에 미치는 상대위험도(RR, Relative Risk)와 95% 신뢰구간(CI, Confidence Interval)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{RR} &= \exp(\text{IQR} \times \text{coefficient}) \quad (\text{식 4}) \\ \text{95\% CI} &= \exp(\text{IQR} \times \text{coefficient} \pm 1.96 \times \text{IQR} \times \text{Std. Error}) \quad (\text{식 5}) \end{aligned}$$

3. 연구결과

3.1. 연구 자료의 분석

부산시 대기오염자료, 기상자료, 사망자료의 기본적인 기술통계량에 의한 특성은 Table 1과 같다. 부산광역시의 주민등록인구는 2000년 현재 3,812,392명에 달하며, 연구대상 기간인 1999.1.1부터 2000.12.31까지의 2개년에 대하여 사망 그룹별 사망수를 살펴

보면, 총사망은 31,987명, 호흡기계질환 사망은 218명, 심혈관계질환 사망은 2,581명, 대기오염질환 사망은 2,799명, 15세미만 아동층 사망은 445명, 65세 이상 노년층사망은 18,620명으로 각각 집계되었다¹¹⁾. 동일한 기간동안의 기상 변수는 기상청 기상연보의 기상 적요표에 나타난 평년자료 값인 기온 14.9℃, 기압 1,015.2hpa, 상대습도 65%와 일관되게 나타나고 있는 것을 알 수 있다¹²⁾. 대기오염도를 살펴보면, 각 오염물질의 평균값은 24시간 평균기준을 규정한 대기환경기준(SO₂ 30ppb, NO₂ 80ppb, TSP 300µgm⁻³, PM₁₀ 30µgm⁻³) 및 1시간 평균치 100ppb를 규정한 O₃ 기준, 모두 만족하고 있었다. Table 2에는 대기오염물질 및 기상변수 각각의 Pearson 상관계수를 나타내었다. CO와 SO₂, CO와 TSP, PM₁₀과 TSP, SO₂와 TSP, SO₂와 PM₁₀ 등이 높은 상관계수 값을 갖고 있으며, PM₁₀은 모든 변수에 대하여, 그리고 CO, SO₂, TSP는 O₃를 제외한 다른 모든 변수에 대하여 유의한 상관성을 보여주고 있었다. O₃가 PM₁₀을 제외하고는 다른 오염물질과 상관성이 나타나지 않는 점은 특기할 만한데, 이는 부산시의 O₃ 농도 분포가 인공오염원 외에도, 해양에서 발생하는 O₃ 등의 자연적 요인에도 기인하기 때문으로 판단된다. Fig. 1은 오염물질들 간의 상관 정도와 농도 분포를 나타낸 것으로 회귀직선과 히스토그램으로 표현하였다.

Fig. 2는 동기간의 기상변수 연변동을 나타내었는데, 오염물질의 변동과 마찬가지로, 계절에 따른 변동폭이 커서, 대기오염에 의한 사망의 영향만을

Table 1. Distribution of daily deaths, concentrations of air pollutants and meteorological variables (Busan, period 1999-2000)

Variable	Mean(SD)	Percentile					IQR
		Min	25%	50%	75%	Max	
CO(ppm)	0.98(0.38)	0.37	0.7	0.89	1.18	2.69	0.48
NO ₂ (ppb)	21.6(7.23)	7.6	6.28	20.84	25.72	53.77	19.44
O ₃ (ppb)	37.21(14.03)	5.44	27.33	35.40	45.00	106.25	17.67
SO ₂ (ppb)	11.97(4.76)	3.49	8.67	11.07	14.07	37.45	5.4
TSP(µg/m ³)	43.13(27.22)	14.00	29.02	35.92	47.63	314.09	18.61
PM ₁₀ (µg/m ³)	63.30(28.10)	22.29	44.13	56.84	76.83	283.05	32.7
Temperature(℃)	12.22(9.48)	-12.97	5.24	13.15	20.04	28.75	
Relative Humidity(%)	65.14(19.05)	19.4	50.8	66.5	81.1	99.0	
Air Pressure(hpa)	1015.16(7.33)	992.7	1009.4	1014.8	1021.1	1036.2	
Total deaths	43.76(8.30)	20	38	43	49	77	
Resp.deaths	0.30(1.00)	0	0	0	1	4	
Cardio.deaths	3.53(1.96)	0	2	3	5	12	
Deaths(age<15)	0.61(0.76)	0	0	0	1	3	
Deaths(age≥65)	25.47(6.12)	12	21	25	29	51	

Table 2. Pearson correlation coefficients between air pollutants and meteorological variables (Busan, period 1999-2000)

	CO	NO ₂	PM ₁₀	SO ₂	TSP	O ₃	T	R.H	PRES.
CO	1.000	.205*	.476*	.764*	.662*	-.278	-.581*	-.518*	.510*
NO ₂		1.000	.416*	.327*	.255*	.045	.050	-.114*	.280*
PM ₁₀			1.000	.595*	.783*	.099*	-.162*	-.251*	.129*
SO ₂				1.000	.671*	-.001	-.254*	-.291*	.293*
TSP					1.000	-.018	-.223*	-.263*	.132*
O ₃						1.000	-.420*	.147*	-.341*
T							1.000	.757*	-.711*
R.H								1.000	-.679*
PRES.									1.000

* statistically significant (p<0.05)

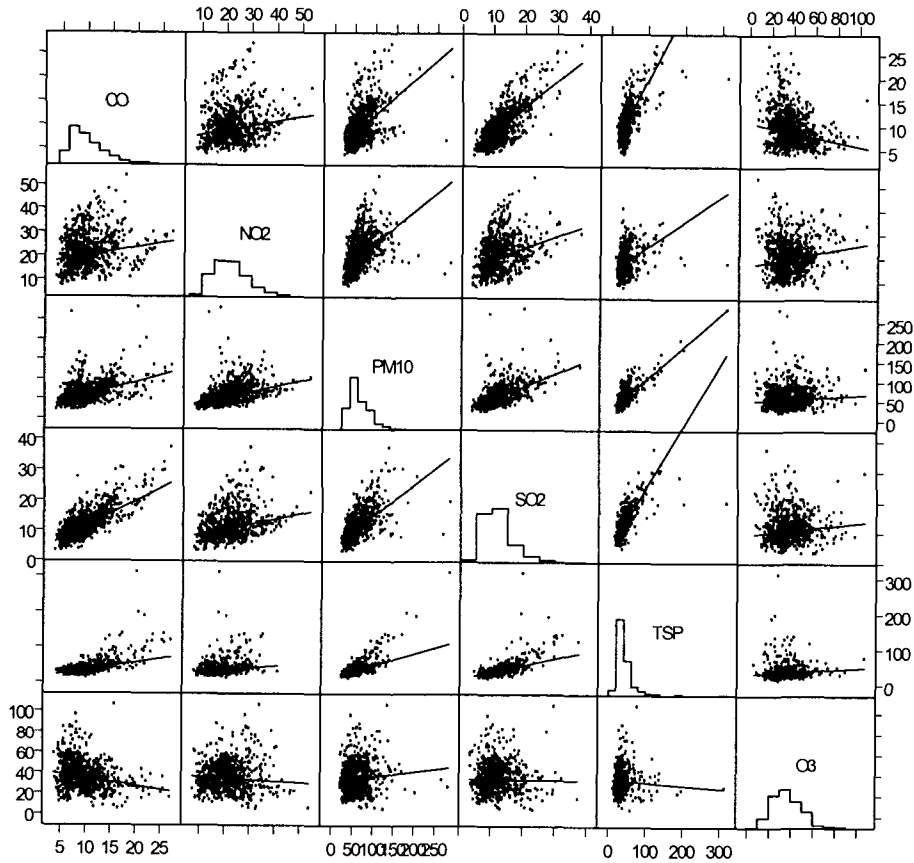


Fig. 1. Correlation matrix between air pollutants.

분리해 내는 데는 혼란 요소로 작용할 것으로 보이며, 따라서 이를 적절한 방법으로 통제해 주어야 한다. 따라서 GAM모형에 의한 자료의 적합이 타당할 것으로 사료된다.

3.2. 대기오염물질의 영향

GAM을 이용한 비모수적 평활화에 의해 혼란요

소 및 자기상관성이 효과적으로 통제된 기본모형을 통해 사망에 영향을 주는 원인 중 대기오염이외의 요소는 제거하고, 여기에 오염물질을 하나씩 포함시킨 '단일오염물질모형'을 만들어 사망에 대한 대기오염의 독립적인 영향을 평가하였다. 또한 대기오염의 피해양상을 더욱 민감하게 파악하기 위해,

시계열자료를 이용한 대기오염과 일별 사망수의 관련성 분석

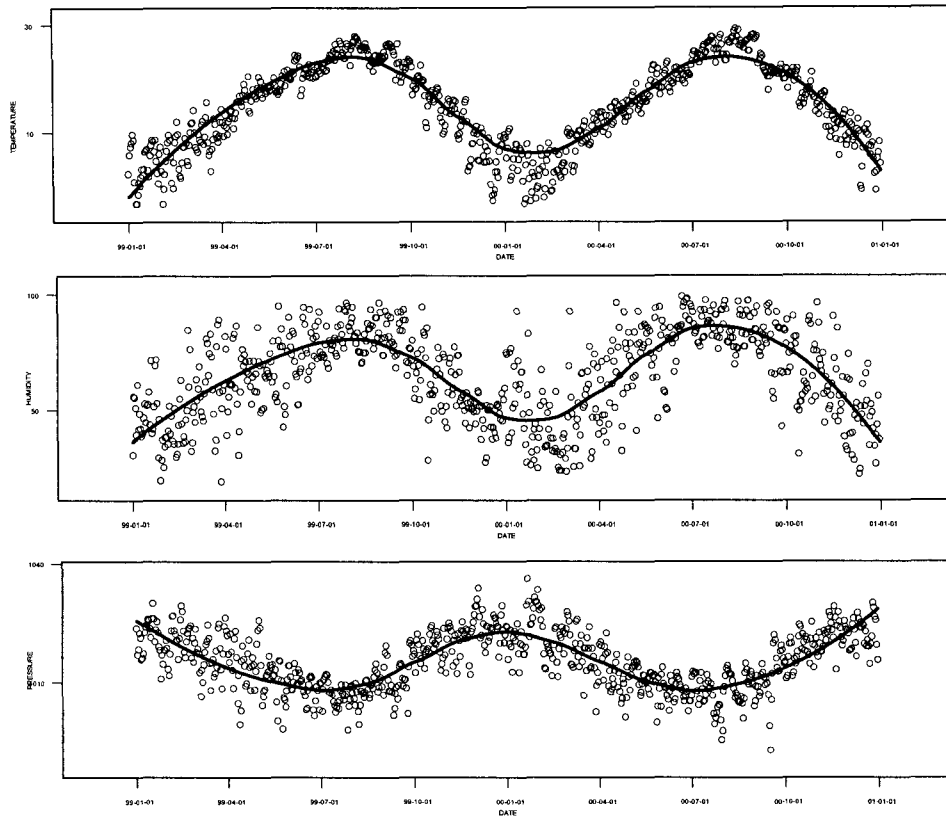


Fig. 2. Distributions of meteorological variables(Temperature, Relative Humidity and air pressure) in Busan from 1999.1.1 to 2000.12.31. The lines drawn are nonparametric smooths(Loess) of the data.

대기오염에 의한 인체영향이 발현되는 과정에서 나타나는 지연효과(lag effect)를 고려하여 당일부터 7일전까지의 농도를 대입한 모형을 구축하였다.

6개의 사망군에 6개의 오염물질모형을 적용하면 36개의 모형을 얻을 수 있고, 여기에 당일부터 일주일전까지의 지연모형을 만들면 총 288개의 모형이 구축된다. 각각 모형에서 coefficient(β)와 표준오차를 구하여, 상대위험도(RR : Relative Risk)와 신뢰구간(CI : Confidence Interval)을 최종 산정하였으며, 그 결과 중 대표적인 값을 Table 3에 나타내었다. 총사망군에서는 7일전의 TSP농도와 1일전 NO₂ 농도가 영향을 미치는 것으로 나타났고, 호흡기계질환 사망군에서는 1일전 CO의 농도와 1일전 및 2일전 NO₂의 농도가 유의하게 나타났으며, 심혈관계질환 사망군에서는 1일전 O₃농도가, 대기오염 질환 사망군에서는 1일전 CO 및 1일전, 4일전 NO₂, 그리고 15세 미만 아동층의 사망에는 6일전 NO₂, 마지막으로 65세이상 노년층 사망수에는 일주일전 TSP, 1일전 CO, 1일전·2일전 NO₂, 1일전 6일전 PM₁₀, 1일전 SO₂가 각각 사망군에 영향을 끼

치는 주된 오염물질과 그 농도인 것으로 나타났다.

대기오염 분포의 특성상 이러한 결과들을 부산시 일별 사망수의 주원인으로 해석하기에는 무리가 있다. 대기오염 물질은 상호 높은 상관성을 갖고 있으며, 오염원을 공유하는 경우가 많아 몇몇 물질의 복합작용 때문에 나타날 수 있는 다중공선성의 문제를 배제할 수 없기 때문이다. 따라서, 단일오염물질모형에서 유의하게 나타난 오염물질과 지연시간에 대하여, 다른 물질이 포함되어도 같은 정도의 유의성을 유지하는지를 평가해볼 필요가 있다. 따라서 유의성이 나타난 단일오염물질모형에 다른 오염물질을 하나씩 대입한 '두가지오염물질모형'을 만들어 동일한 분석을 실시하였으며, 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 유의성이 유지된 오염물질과 지연시간은 호흡기계 질환사망군에 대하여 1일전 CO농도와 2일전 NO₂ 농도, 그리고 65세 이상 노년층 사망군에서 2일전 NO₂인 것으로 나타났고, 단일오염물질모형에서 호흡기계 질환사망군의 4일전 영향과 심혈관계질환 사망군의 1일전 영향에 유의성을 나타냈던 O₃의 경우 TSP를 포함한 '두가지

Table 3. Statistically significant associations between mortality and air pollutants in one pollutant model (Busan, period 1999-2000)NO₂ (1)

Mortality group	Pollutant (lag day)	Beta(β)	Standard error	t-value	AIC	RR
Total mortality	TSP (7)	0.00067	0.000310	2.15735	464.509	1.01254
Respiratory mortality	CO (1)	0.086851	0.025221	3.44364	614.634	1.04257
	NO ₂ (1)	0.02868	0.010412	2.75454	616.807	1.74638
	O ₃ (4)	0.01272	0.005533	2.29892	620.731	1.25203
	PM ₁₀ (1)	0.004759	0.002259	2.10682	618.523	1.16838
Cardiovascular mortality	O ₃ (1)	0.003482	0.001540	2.25969	746.817	1.06345
Respiratory & cardiovascular mortality	NO ₂ (1)	0.006819	0.002843	2.39827	745.345	1.14175
	O ₃ (1)	0.00305	0.001499	2.03556	751.745	1.05538
age ≥ 65 mortality	TSP (6)	0.000876	0.000372	2.35449	398.040	1.01644
	CO (1)	0.005412	0.002568	2.10703	766.373	1.0026
	NO ₂ (1)	0.004305	0.001123	3.83406	756.411	1.08729
	PM ₁₀ (6)	0.000614	0.000249	2.45701	751.763	1.02029
	SO ₂ (1)	0.003892	0.001764	2.20566	764.893	1.02124

* statistically significant (p<0.05)

Adjusted for trend, season, temperature, relative humidity, and day-of-the-week effects using a generalized additive model, 1999-2000.

Table 4. Associations between mortality and air pollutants in two pollutant model (Busan, period 1999-2000)

Mortality group	Pollutant	TSP	CO	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	SO ₂
Total mortality	TSP (lag7)	-	1.015*	1.015*	1.012*	1.014	1.009
Resp. Mortality	CO (lag1)	1.066*	-	1.029*	1.035*	1.042*	1.055*
	NO ₂ (lag1)	2.213*	1.35	-	1.787*	1.566	1.883*
	O ₃ (lag4)	1.036	1.255*	1.246*	-	1.263*	1.259*
	PM ₁₀ (lag1)	1.634*	1.079*	1.092	1.179*	-	1.149
Cardi. mortality	O ₃ (lag1)	1.061	1.064*	1.059*	-	1.067*	1.064*
Resp. & Cardi. mortality	NO ₂ (lag1)	1.220*	1.14*	-	1.131*	1.194*	1.292*
	O ₃ (lag1)	1.044	1.058*	1.049	-	1.057*	1.056*
Age ≥ 65	NO ₂ (lag1)	1.145*	1.096*	-	1.086*	1.080*	1.101*
	TSP (lag6)	-	1.018	1.016*	1.017*	0.991	1.015
	CO (lag1)	1.004*	-	0.999	1.002*	1.001	1.001
	PM ₁₀ (lag6)	1.052*	1.025*	1.018	1.012*	-	1.018*
	SO ₂ (lag1)	1.028*	1.015	0.992	1.021*	1.012	-

* statistically significant (p<0.05)

Adjusted for trend, season, temperature, relative humidity, and day-of-the-week effects using a generalized additive model, 1999-2000.

오염물질모형'에서는 유의성이 사라져 독립적인 영향을 인정할 수 없었다.

따라서 부산시의 호흡기계 질환사망수에 영향을 미치는 주된 오염물질은 1일전 CO농도와 2일전 NO₂농도이고, 노년층 사망수에 영향을 미치는 요소는 2일전 NO₂라고 할 수 있다. Figs. 3-5는 독립적인 영향이 인정된 오염물질에 대한 오염물질 농도 변화에 따른 상대위험도의 변화를 나타낸 것이다. 호흡기계 질환사망수에 대한 하루전 CO농도 및 심

혈관계 질환사망군의 하루전 NO₂농도가 사망수에 미치는 영향에 있어서는 오염물질의 농도증가에 따라 사망수의 증가양상이 두드러지는 양-반응관계를 나타내고 있으나, 노년층 사망군에서 NO₂의 농도증가에 따른 사망수의 증가는 뚜렷한 양상을 관찰할 수 없었다.

한편, Table 5는 총사망, 호흡기계 질환사망, 심혈관계 질환사망 및 대기오염성 질환사망 등 네 그룹의 사인별로 연령대에 따른 상대위험도를 제시하

시계열자료를 이용한 대기오염과 일별 사망수의 관련성 분석

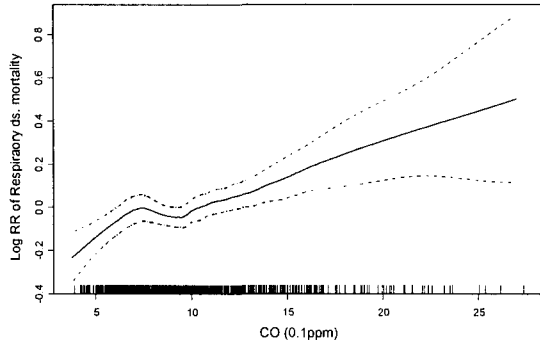


Fig. 3. Nonparametric smooth for the association between respiratory disease mortality and CO(lagged one day).

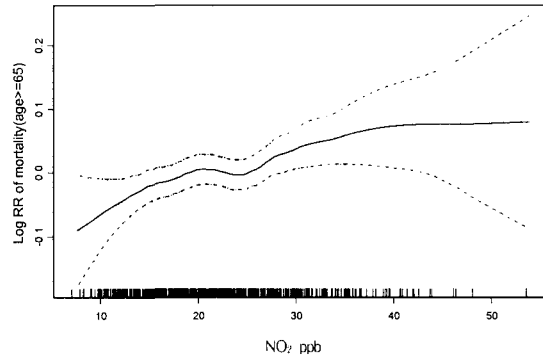


Fig. 5. Nonparametric smooth for the association between all-cause mortality at the age of over 65 and NO₂(lagged one day).

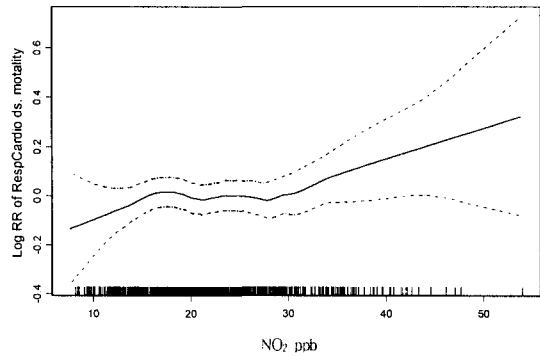


Fig. 4. Nonparametric smooth for the association between respiratory and cardiovascular disease mortality and NO₂(lagged one day).

였다. 총사망군에서 아동층의 상대위험도가 가장 높고, 다음이 노인층, 성인층 순으로 여섯 오염물질이 공히 일관된 경향을 보여 주고 있었다. 나머지 사망군은 사인에 따른 아동층의 사망수가 극소수였으므로 파악할 수 없어, 성인층과 노인층만 비교하였다. 호흡기 질환 사망은 매우 드문 사건으로 성인층의 사망수는 대기오염과 관련성을 파악하기에 불충분하여 결과를 신뢰할 수 없었다. 본 결과를 통해 주목할 만한 것은 호흡기계 사망을 제외한 모든 사망군에서 성인층과 노인층을 비교할 때, O₃를 제외한 다섯 오염물질은 노인층사망의 위험도가 더 높으나 O₃만은 성인층이 더 높게 나타났다는 점이었다.

부산시 대기오염 양상은 호흡기계 질환사망의 경우 하루 전날 CO농도가 0.48ppm 증가함에 따라 상대위험도는 1.04(95% C.I : 1.02-1.11)로 나타났고, 2일전 NO₂농도가 약 20ppb 증가함에 따라 상대위험도는 1.03(95% C.I : 1.00-1.07)이었으며, 65세 이상 노인층사망의 경우, 2일전 NO₂의 20ppb 증가에

Table 5. Relative risks with interquartile range(IQR) unit increase for mortality groups classified by age (Busan, period 1999-2000)

	Age group	TSP	CO	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	SO ₂
Total mortality	15<age	1.063	1.009	1.222	1.027	1.077	1.096
	15<age<65	0.995	0.999	0.976	1.011	0.993	0.982
	age≥65	1.005	1.001	1.024	1.007	1.015	0.998
Respiratory mortality	15<age<65	0.579	0.997	1.941	1.005	0.7068	1.136
	age≥65	0.733	0.992	0.935	0.906	1.045	0.987
Cardiovascular mortality	15<age<65	0.917	0.992	0.969	1.111	0.892	0.885
	age≥65	1.034	0.999	1.044	0.985	1.031	0.969
Respiratory & cardiovascular mortality	15<age<65	0.902	0.994	0.913	1.114	0.884	0.905
	age≥65	1.028	0.999	1.047	0.980	1.034	0.975

의해 상대위험도 1.10(95% C.I : 1.01-1.10)을 나타내었다. 부산의 O₃오염도는 전국 최고수준이며 NO₂는 O₃의 전구물질(precursor)이다. 그러나 부산의 NO₂농도는 전국 최저수준임에도, 본 연구에서 호흡기계 질환사망과 노인층 사망의 주요인이었다는 점으로 미루어 두 물질간 교호작용이 일어나고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 부산시는 해양발생 O₃와 배산임해 지형에 따른 대기확산 저조 등의 자연적 요인, 그리고 휘발성유기화합물 사용 사업장의 도심 산재로 O₃농도가 쉽게 높아질 수 있는 지역 특성을 갖고 있다는 점이 이러한 현상과 관련이 있는 것으로 사료된다.

4. 결 론

부산시 대기오염이 일별 사망수에 미치는 영향을 평가하기 위해 1999년 1월 1일부터 2000년 12월 31일까지의 대기오염자료와 사망자료를 시계열분석

하였다. 본 연구는 대상 지역의 인구집단이 모두 동일한 양의 대기오염에 노출(exposure)되었다고 가정한 것이며, 특정시기의 고농도 대기오염이 인구집단의 사망 패턴과 어떤 관련성이 있는가를 모형화 한 것이다. 대기오염도는 환경기준 물질인 CO, NO₂, O₃, PM₁₀, SO₂, TSP 등 여섯항목의 일별 평균농도를 대표치로 삼았고, 사망수는, 호흡기계질환 사망군, 심혈관계질환 사망군, 대기오염질환 사망군 및 15세미만 아동층사망군, 65세이상 노년층 사망군, 총사망군 등 여섯 그룹으로 대별하여 각각의 연관성을 파악하였다.

- 1) 통계적 분석을 위해 일별 사망수를 반응변수로 하고, 추세변동, 계절변동, 기상요인 및 요일효과를 설명변수로 하는 모형을 구축한 결과 단일오염물질모형에서 부산시 사망수에 유의한 영향을 미치는 요인으로 NO₂, CO, O₃ 등으로, 이들의 상대위험도가 높게 나타났고, PM₁₀, TSP, SO₂ 등은 상대위험도가 비교적 낮은 특징을 보였다.
- 2) 두가지오염물질모형에서도 유의성을 유지한 물질은 CO와 NO₂였다. 따라서 부산지역의 호흡기질환으로 인한 사망수에 가장 유의하게 영향을 미치는 요인은 2일전 NO₂농도(RR : 1.04, 95% C.I : 1.02-1.11)와 하루전 CO농도(RR : 1.03, 95% C.I : 1.00-1.07)이고, 65세 이상 노년층 사망수에 가장 유의한 영향을 미치는 요인은 2일전 NO₂농도(RR : 1.10, 95% C.I : 1.01-1.10)임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) EPA, 1997, Air Quality Planning & Standards, Final Revisions to the Ozone and Particulate Matter Air Quality Standards.
- 2) Vigotti, M.A., 1999, Short-term effects of exposure to urban air pollution on human health in Europe, *Epidemiologia e Prevenzione*, 23, 408-415.
- 3) Schindler, C., 1999, Short-term effects of air pollution on health-A European approach to methodology, dose response assessment and evaluation of public health significance, APHEA 2.
- 4) Touloumi, G., K. Katsouyanni, D. Zmirou, J. Schuwartz, and C. Spix, 1997, Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality; a combined analysis within the APHEA project, *Am J. Epidemiol.*, 146, 177-185.
- 5) Annetteand, P. and S. Jiri, 2000, Associations between mortality and air pollution in central Europe, *Environmental Health Perspectives*, 108, 283-287.
- 6) Linn, W.S., Y. Szlachcic, H. Gong, P.L. Kinney, and K.T. Berhane, 2000, Air pollution and daily hospital admissions in metropolitan Los Angeles, *Environmental Health Perspectives*, 108, 427-434.
- 7) Schwartz, J. and D.W. Dockery, 1992, Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations, *Am. Rev. Respri. Dis.*, 45, 600-604.
- 8) Schwartsand, J. and D.W. Dockery, 2000, Air pollution and morality in elderly people; a time-series study in Sao Paulo, Brazil, *Arch Environ. Health*, 995, 159-163.
- 9) Wong, T.W. and T.S. Lau, 2001, Temporal relationship between air pollution and hospital admissions for asthmatic children in Hong Kong, *Clinical & Experimental Allergy*, 31, 565-569.
- 10) 통계청, 1999-2000, 사망원인통계연보.
- 11) 부산광역시, 1999-2001, 시정백서.
- 12) 기상청, 1999-2001, 기상연보.