

대전 광역시 대기오염과 일별 사망자 수의 상관성에 관한 시계열적 연구(1998년~2001년)

조용성 · 이종태* · 김윤신

한양대학교 환경 및 산업의학연구소, 이화여자대학교 보건관리학과*
(2003년 9월 23일 접수, 2004년 2월 13일 승인)

A Time-Series Study of Ambient Air Pollution in Relation to Daily Death Count in Daejeon, 1998-2001

Yong-Sung Cho · Jong-Tae Lee* · Yoon-Shin Kim

Institute of Environmental and Industrial Medicine, Hanyang University, Seoul, Korea
Department of preventive Medicine, Ewha Womans University, Seoul, Korea*
(Manuscript received 23 September 2003; accepted 13 February 2004)

Abstract

This study is performed to examine the relationship between air pollution exposure and mortality in Daejeon for the years of 1998 - 2001. Daily counts of death were analyzed by general additive Poisson model, with adjustment for effects of seasonal trend, air temperature, humidity, and day of the week as confounders in a nonparametric approach. Daily death counts were associated with CO(4 day before), O₃(current day), PM₁₀(4 day before), NO₂(6 day before), SO₂(2 day before). Increase of 31.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (interquartile range) in PM₁₀ was associated with 2.0 % (95% CI = 0.5 % - 3.5 %) increase in the daily number of death. This effect was greater in children(less than 15 aged) and elderly(more than 65 aged). We concluded that Daejeon had 2 - 4 % increase in mortality in association with IQR in air pollutants. Daily variations in air pollution within the range currently occurring in Daejeon might have an adverse effect on daily mortality. These findings also support the hypothesis that air pollution at levels below the current ambient air quality standards of Korea except PM10, is harmful to sensitive subjects, such as children or elderly.

Key words : Air pollution, Daily death counts, Time-series analysis, General additive model

I. 서론

대기오염 문제의 심각성은 1900년대에 이르러 급격한 산업화로 인하여 발생한 오염피해 사례를 경험하면서 대두되기 시작하였다. 특히 1950년대 초반 영국의 런던스모그 사건과 미국의 LA 스모그 사건을 통해 수 천명의 사망자가 발생한 이후 건강에 대한 대기오염의 사회적 관심이 집중되기 시작하였으며, 그 이후 대기오염과 사망간의 관련성을 규명하기 위한 많은 연구들이 수행되기 시작하였다(Dockery *et al.*, 1989; Schwartz *et al.*, 1993). 유럽 및 미국을 중심으로 대기오염의 인체 위해성에 대한 본격적인 역학적 연구가 수행되기 시작하여 시간·공간적 차이, 인구·사회학적 차이, 환경적 조건, 산업구조 혹은 대기오염 발생원 차이에서 기인된 대기오염의 질적 차이에도 불구하고 대기오염의 인체위해 가능성을 일관되게 제시하였을 뿐만 아니라, 특히 어린이와 노약자 및 천식과 심혈관계 질환자 등 만성 호흡기성 질환자들과 같은 민감집단(susceptible group)에 있어서는 더 큰 영향을 주는 것으로 규명되고 있다(Burnett *et al.*, 1997; Delfino *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2002). 또한, 선진국은 물론이고 우리나라를 포함한 여러나라에서 대기질 관리를 위해 제정한 대기기준 이하의 농도에서도 이 같은 위해성이 규명되고 있어 사회적인 불안을 더욱 가중시키고 있다(Katsouyanni *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2000; Stieb *et al.*, 2002).

한편, 우리나라에서 수행된 기존의 관련 연구에서는 대기오염과 인체영향과의 관련성을 규명한 연구보다는 거주민의 생활양식이나 대기오염 측정과 발생원 규명 및 기여도 산정 등의 측정·분석 관련 연구가 주로 이루어지고 있었으며(백성욱·황승만, 1992; 유정석 등, 1995; 이태정·김동술, 1997), 1970년대 이후부터 대기오염물질과 사망간의 관련성에 대한 연구가 시작되었으나, 대기오염노출에 대한 만성영향을 주로 설문조사

에 의존해서 알아보았기 때문에 결과가 너무 주관적이었고 혼란변수를 제대로 통제하지 못한 결과를 제시하였다(이종태·김호, 2001). 이러한 상황에서 1990년대 후반부터 1990년대 자료를 통해 대기오염과 일별 사망에 미치는 단기효과에 대한 연구가 시작되면서, 서울에서 오존 50 ppb 증가가 사망률을 1.5 % 증가시키고, 울산에서는 2.0 % 증가시켰다고 보고되었다. 또한 일별 사망이 아황산가스와 오존 농도와 관련이 있으며, 총부유분진과는 관계가 없다고 보고하였다(Lee *et al.*, 1999). 1991-1997년까지의 자료를 가지고 7개 주요 대도시를 대상으로 한 연구에서는 오존이 사망에 유의한 영향을 미치지 않았고, 총부유분진과 아황산가스가 유의한 영향을 미쳤다고 보고하였다(Lee *et al.*, 2000).

한편, 최근 수도권을 비롯한 대도시에서의 인구 집중과 운행 차량 수의 증가, 산업규모의 확대 등에 기인하여 대기분진 중 호흡성 또는 미세분진(PM₁₀) 농도의 증가가 관찰되고 있으며 이로 인한 주민건강 위협의 가능성이 제기되고 있으나, 선행 연구들에서는 이러한 미세분진에 대한 연구결과가 부족하여 연구조사가 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 대기오염과 건강영향에 대한 관련성을 규명하기 위해 1998년부터 2001년까지 4년 간의 자료를 대상으로 최근의 관심대상물질인 미세분진과 오존을 중심으로 규명하고자 대기오염도의 분포 양상 및 특성을 파악하였고, 대전 광역시의 일별 사망자수에 미치는 주된 대기오염물질을 규명하며, 대기오염 물질 농도의 단위 증가에 따른 일별 사망수의 변화를 정량적으로 산출하고자 하였다.

II. 연구방법

본 연구는 1998년 1월부터 2001년 12월까지의 대전 광역시 일 사망 자료와 환경측정자료 및 기상자료를 이용하여 시계열(time-series) 분석방법

으로 대기오염물질이 일별 사망에 미치는 영향을 추정하였다. 대상지역인 대전 광역시는 전 국민의 2.9 % 인 141만 여명의 인구가 거주하는 대도시로 행정구역은 5개 구와 76개 동으로 이루어져 있고, 면적은 539.84 km²이다.

1. 연구자료

1) 사망자료

본 연구에서는 1998년 1월 1일부터 2001년 12월 31일까지 연구기간 동안의 대전 광역시에서 발생한 사망건수자료를 국립통계청으로부터 받아 일별 사망자 수로 파악하였다. 사망원인별 분류에서 사고사나 외인사로 인한 사망(ICD 10th, V01-Y89)은 분석에서 제외하였고 그 도시의 거주자라도 도시 밖에서 사망한 경우는 본 분석에서 제외하였다. 일별 사망자 수를 외인사를 제외한 총사망(ICD 10th, A00-R99)과 연령별 4구분[전체연령, 소아(0~15세), 노인(65세 이상), 성인(16~64세)]으로 나누어 분석하였다.

2) 대기자료

대기오염자동측정소에서는 대기중의 PM₁₀, 아황산가스(SO₂), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃), 일산화탄소(CO) 등 대기환경기준물질로 선정된 5개 항목을 대상으로, 측정된 모든 자료는 자동감시체계(TMS)를 통해 관할 환경관리청 및 환경부로 전송되고 있다. 본 연구에서는 대전 광역시에 설치된 총 3개의 대기오염 자동 측정소에서 상시 측정된 위 5개 물질을 국립환경연구원으로부터 얻었다. PM₁₀, 아황산가스, 그리고 이산화질소의 경우 각 측정지점에서의 날짜에 따른 시간별 평균값을 구하고 이들 각 시간평균값을 이용하여 일 평균값을 구하였다. 이는 각 측정지점에서 연속적으로 측정값이 빠지게 되었을 때의 경우를 보정하기 위함이다. 또한 오존과 일산화탄소의

경우는 각 측정지점에서의 일일 1시간 평균값의 최고 값을 이용하여 이들의 평균값을 이용하여 일 평균값을 구하였다.

3) 기상자료

기상자료는 기상청에서 측정한 자료 중 기온과 상대습도를 이용하였는데 이는 사망률의 일 변동이 기온과 습도의 변화에 따라 연관성이 큰 것으로 보고 되고 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 사망발생과 동일한 날의 기상자료를 혼란변수로 적용하여 분석하였으며 이들 자료의 일 평균값을 이용하였다.

2. 통계분석

본 연구에서 종속변수는 대전 광역시에서 발생한 당일 사망자수이고 이 중 외인사를 제외한 총사망을 대상으로 분석하였으며, 독립변수는 대기오염물질농도(PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃, CO) 및 기온, 상대습도 등의 기상변수를 사용하였다. 사망자수에 영향을 미치는 독립변수들이 사망당일에 즉시 영향을 보일 수 있지만 지연효과를 보일 수 있으므로 사망당일과 1일전~7일전의 오염농도 및 대기오염으로 인한 영향을 많이 받은 날들에 대한 평균 오염농도로 구분하여 지연시간(lag time)을 주어 일별 사망자 수를 가장 잘 설명하는 변수를 선정하였다.

일반적으로 일별 사망자 수는 전체 인구집단에 비해 매우 드물게 일어나며, 단위는 발생 숫자이므로 항상 양의 정수가 된다. 따라서 하루 동안 발생한 사망자수에 대한 확률 모형은 포아송분포(Poisson distribution)가 사용되며 대상인구집단이 동일한(homogenous) 위험을 지니고 있는 것으로 가정한다. 일반적으로 포아송 선형회귀모형(Poisson linear regression model)을 보면 다음과 같다.

$$\text{LnE}(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

여기서, $E(Y)$ 는 종속변수(Y)에 대한 기댓값이고, β_i 는 각 예측변수(predictor variable)에 대한 회귀계수(regression coefficient)이며, X_i 는 예측변수를 나타낸다.

사망률의 일변동은 기온과 상대습도의 변화와 밀접한 관련성이 있다는 여러 연구들(Anderson *et al.*, 1996; Ballester *et al.*, 1997)에 따라 본 연구에서는 사망발생과 동일한 날의 기상조건을 혼란변수로 적용하여 통계분석에 이용하였다. 또한 각 대기오염물질 노출과 사망과의 상관성을 추정하는데 있어서 소위 '지연(lead-lag)' 효과에 대한 적절한 추정을 위해 지연시간을 제시하였으며, 대기오염농도 및 기상요인 등에 의해 서로 연계되어진 사망간의 자기상관관계(autocorrelation)을 보정하고 계절적 변동을 보정하며, 예측변수에 대한 변환함수를 통해 비선형적 관계를 반영하기 위해 비모수적 평활(nonparametric smoothing)에 의해 회귀분석을 적합시키는 일반화 부가 모형(GAM : generalized additive model)을 이용하여 분석하였다.

$$\text{LnE}(Y) = S_1(X_1) + S_2(X_2) + \dots + S_i(X_i)$$

여기서, S_i 는 i 번째 변수에 대한 평활함수를 나타낸다.

일반화 부가 모형은 일반적인 선형회귀모형처럼 예측변수 X_i 와 반응변수 Y 사이의 관계를 나타내는 특정함수 형태가 있는 것이 아니라 실제 자료에 근거하여 요약된 그림의 형태로 표현해주는 특징을 갖는데, 이는 선형성을 가정하기 힘든 경우 둘 사이의 관계를 파악할 수 있다는 장점을 갖는다. 본 연구에서는 기상변수에 비모수적 평활방법인 로에스 평활함수(Loess)를 통해, 기온과 습도를 통제하였다. 사망에 대한 장기추세, 계절변동, 기온, 습도, 요일 효과들이 포함된 최종 모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{LnE}(\text{Daily death count}) = & S(\text{date}) + S(\text{air temperature}) + \\ & S(\text{humidity}) + D(\text{day of the week}) \\ & + \text{각 오염물질 농도} \end{aligned}$$

여기서, S 는 로에스 평활함수(Loess)이며, D 는 가변수(Dummy variable)를 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

1. 기술적 분석

표 1은 1,461일의 총 연구기간(1998년 1월 1일부터 2001년 12월 31일)에 사고사와 같은 외인사(ICD-10, V01~Y89)를 제외한 대전 광역시의 일 평균 사망자 수, 대기오염물질, 그리고 기상요인에 대한 평균값, 표준편차 및 분포를 나타낸 것이다. 전체 연령 사망자 수의 일 평균은 15.23명, 소아 사망자는 0.34명, 그리고 노인 사망자의 경우는 5.90명이었다. 이 기간동안 측정된 대기오염물질인 CO, O₃, PM₁₀, NO₂, SO₂의 평균값은 각각 1.50 ppm, 37.54 ppb, 52.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 22.62 ppb, 그리고 7.64 ppb으로 국내 대기환경기준을 초과하지 않았다. 그러나 PM₁₀의 경우 대전의 지역 대기환경기준의 장기기준(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하였고, 일 평균 최고 231.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 기록된 것을 보면 단기기준(국내: 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대전: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 또한 초과하는 날이 있음을 알 수 있다. 따라서 대전의 경우 PM₁₀에 대한 장기적인 저감방안이 반드시 마련되어야 함을 제시하고 있다. 알려진 바와 같이 대기오염도의 분포 특성은 다섯 가지 오염물질 모두 오른쪽으로 치우친 분포(right skewed)를 보였으며, 상대적으로 NO₂는 정규분포에 가까운 양상을 보였다.

2. 일일사망자료 및 환경 측정자료 분석

그림 1은 외인사를 제외한 총 사망과 대기오염물질의 농도 수준에 대한 일별 분포를 나타낸 것이다. 연구기간 동안 관찰된 사망자수의 일별추세를 보면 장기적인 추세변동은 관찰할 수 없었으나 전형적인 계절변동을 볼 수 있었고, 측정된

Table 1. Summary statistics for daily deaths, pollutants, weather in Daejeon, 1998-2001

	Variable	No. ^a of days	Mean (S.D. ^b)	Min. ^c	10%	25%	50%	75%	90%	Max. ^d
Death counts	All aged	1461	15.23 (3.98)	5	10	12	15	18	21	33
	0 ~ 15 aged	1461	0.34 (0.61)	0	0	0	0	1	1	3
	16 ~ 64 aged	1461	5.90 (2.39)	0	3	4	6	7	9	14
	65+ aged	1461	8.99 (3.11)	1	5	7	9	11	13	22
Air pollutants	CO (ppm)	1461	1.50 (0.75)	0.30	0.70	0.90	1.30	1.90	2.57	6.20
	O ₃ (ppb)	1461	37.54 (17.89)	3.00	17.00	25.33	34.33	46.33	62.33	108.67
	PM ₁₀ (μg/m ³)	1461	52.73 (27.73)	11.00	27.00	33.75	44.76	64.82	89.25	231.56
	NO ₂ (ppb)	1461	22.62 (11.33)	5.00	10.10	13.89	20.44	29.49	38.77	66.40
	SO ₂ (ppb)	1461	7.64 (3.89)	0.00	3.74	4.76	6.82	9.44	12.90	33.35
Weather	Temperature (°C)	1461	13.09 (9.92)	-12.50	-0.60	4.20	14.50	22.40	25.30	29.70
	Humidity (%)	1461	68.33 (14.16)	25.00	48.80	58.30	69.40	78.60	86.40	98.30

a. Number of day; b. Standard deviation; c. Minimum; d. Maximum

대기오염물질의 경우에는 뚜렷한 계절적 변동추세를 볼 수 있었다. 특히, 대기오염물질의 경우에는 장기적인 추세변동을 관찰할 수 있었는데, CO, SO₂, PM₁₀의 경우에는 감소추세를 나타내었으나 O₃의 경우에는 증가추세를 나타내었다. 이러한 결과는 자동차 운행 억제 및 정부의 지속적인 대기오염 규제정책 노력으로 인해 오염도가 지속적으로 줄었음을 말해주며, O₃의 경우에는 자동차 운행횟수의 감소에도 불구하고 기온증가로 인한 광화학적 반응의 활성화로 인한 기온과의 관련성이 있음을 제시하는 결과라 판단된다.

대기오염물질 농도는 겨울철이 여름철보다 비교적 높은 편이었고, 특히, SO₂는 장기적인 변화 추이를 볼 때 현저히 감소하는 추세를 보였다. 이

는 아황산가스 경우에 한하여 정부의 저감정책이 효과를 거두고 있는 것으로 평가된다. O₃은 SO₂와 반대로 농도 값이 여름철이 높고 겨울철인 낮은 계절적 변동을 보여주었다.

3. 통계적 분석

본 연구에서는 대기오염의 건강영향을 평가하는데 있어서 지연효과(Lag effect 혹은 induction time)를 고려하였는데 지금까지 각 오염물질에 대한 적절한 지연효과에 대하여 밝혀진 것이 없기 때문에 하루에서 최고 7일 이전까지의 지연효과를 평가하였다. 따라서 특정한 날의 사망자 수는 당일의 대기오염농도(lag0), 1일 전(lag1), 2일

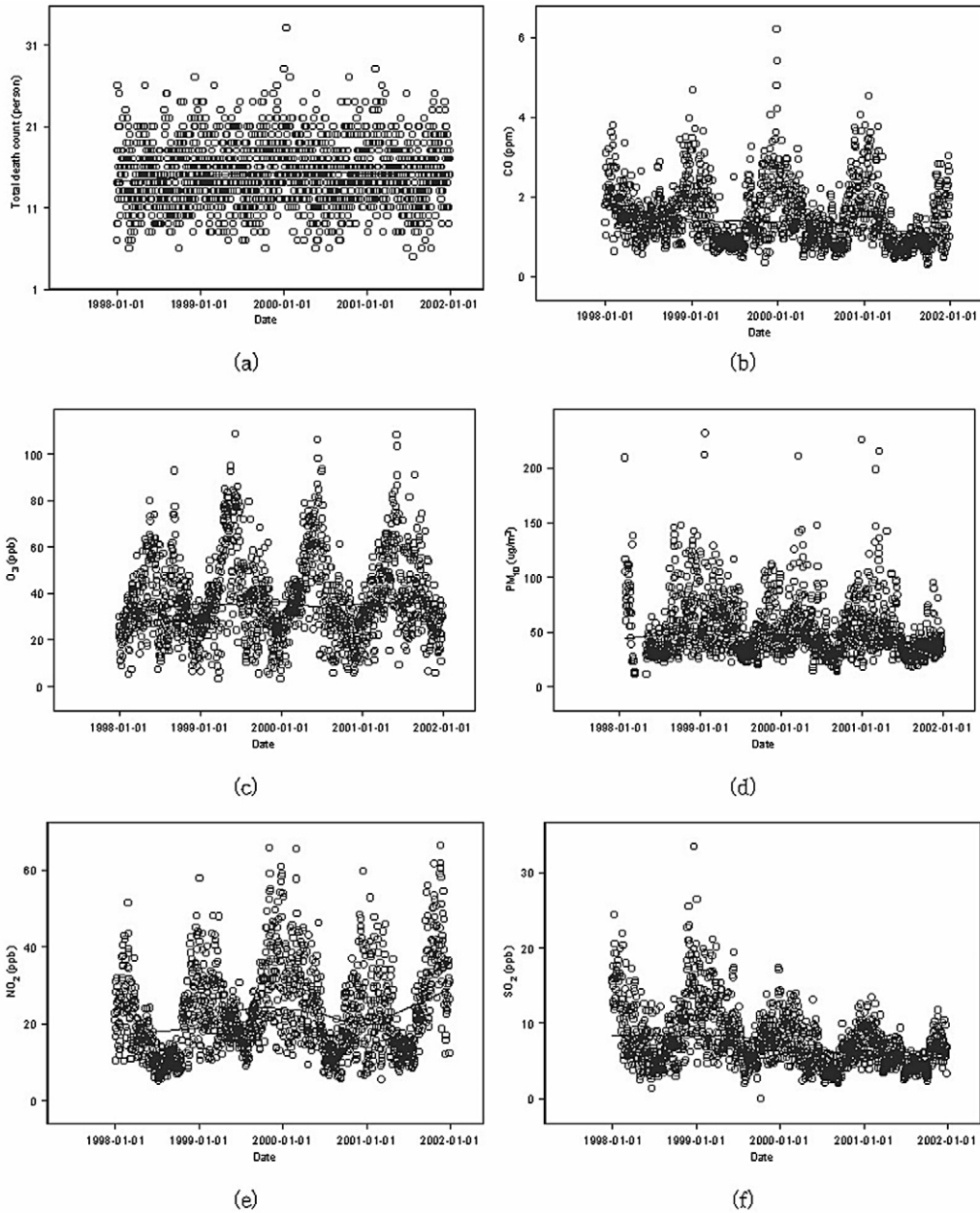


Fig. 1. Daily number of total death count for all aged(a) and daily average concentration of CO(b), O₃(c), PM₁₀(d), NO₂(e), and SO₂(f) using long-term time trends in Daejeon, 1998-2001.

전(lag2), 3일 전(lag3), 4일 전(lag4), 5일 전(lag5), 6일 전(lag6), 7일 전(lag7)으로 나누어 분석하였고, 각 오염물질에 적합한 지연효과를 평가하기

위하여 가장 높은 상관관계를 보이는 때를 평가하였다.

그림 2는 각 대기오염물질의 농도 수준과 전

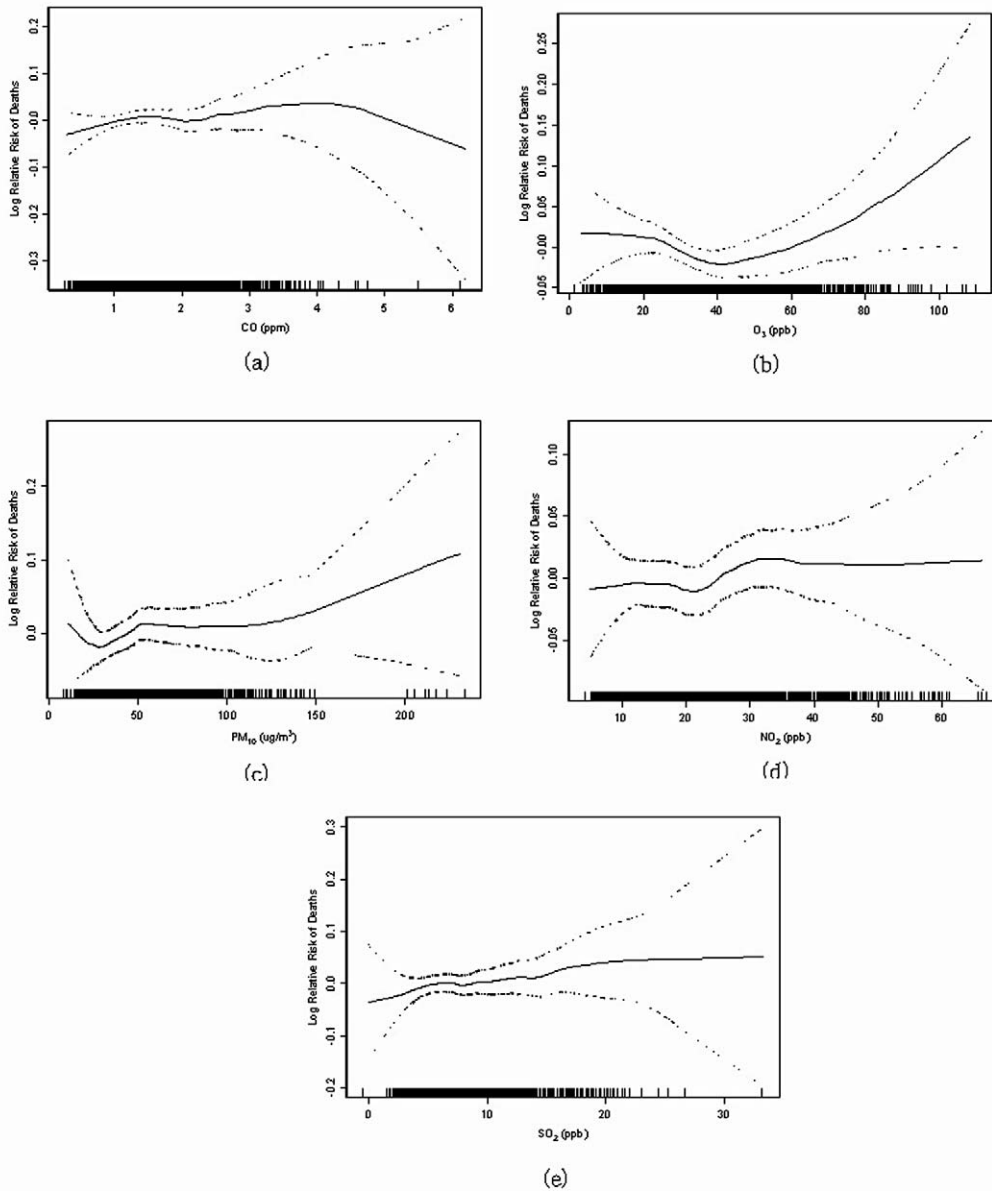


Fig. 2. Log relative risk of total death count (all aged) vs. the concentration of CO(a), O₃(b), PM₁₀(c), NO₂(d), and SO₂(e) using a single-pollutant model adjusted for long-term time trends and weather information in Daejeon, 1998-2001. The dashed lines give 95% confidence limits, and the vertical lines along the x-axis indicate the number of observations.

연령층에 대한 사망의 상대위해도간의 관계를 비모수적 방법에 의해 나타낸 그림으로서, CO와 PM₁₀의 경우 농도 수준이 증가함에 따라 사망의 상대위해도 값이 선형으로 증가함을 나타내어 본

연구에서 가정한 오염물질 농도 증가와 사망 발생의 선형성이 타당함을 제시하였다. NO₂와 SO₂의 경우에는 처음에는 증가하다가 일정 농도 이상부터는 더 이상 증가하지 않는 고원부(plateau)

를 보이고 있었다.

본 연구에서 측정된 미세먼진의 농도 경향을 보면 허용기준치와 비교할 때 농도가 높다고 할 수는 없다. 그러나 1990년 후반기의 전국 대도시의 자료를 사용한 연구들에서는 미세먼진과 오존이 폐 기능을 감소시키고, 천식과 같은 기존의 호흡기질환을 악화시키며, 일별 입원율과 호흡기질환으로 인한 응급실 방문수와 사망을 증가시키는 것으로 알려져 있다(Burnett *et al.*, 1994; Schouten *et al.*, 1996; Sunyer *et al.*, 1996; Burnett *et al.*, 1997; Borja-Aburto *et al.*, 1997; Moolgavkar *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 2000; Burnett *et al.*, 2001). 또한, 미세먼진은 일별 사망수와와의 관계를 볼 때, 비교적 선형적인 증가경향을 가지는 것으로 관찰되었다(그림 2의 C).

4. 대기오염물질의 영향 분석

표 2에서는 각 오염물질의 농도 분포가 얼마나

넓은 구간에 걸쳐서 퍼져있는가를 나타내고, 최근 대기 역학연구에서 가장 많이 사용하는 사분위수(IQR : interquartile range, Q75-Q25) 범위의 증가에 따른 총 사망의 연령별 상대 위험도를 제시하였다. 전체 오염물질의 단위와 변동정도가 차이가 있기 때문에 오염물질에 대한 사망의 효과를 볼 때 일관성있는 기준이 필요하고, 많은 연구에서 전체변동에서 25%에서 75% 사이에 해당하는 값인 사분위수를 사용하여 사분위수만큼 농도가 증가할 때 사망자가 얼마나 증가할 위험이 있는지 살펴보았다.

개별오염물질을 기본모델에 포함시켜 연령별로 구분하여 보면 전체연령의 경우 PM₁₀[1.020(1.005-1.035)], NO₂[1.027(1.008-1.048)], SO₂[1.022(1.004-1.042)]가 사망자 수와 통계적 관련성을 나타내었으며, 민감집단인 65세 이상 사망자에서는 상대위험도가 전체 사망자수를 반응변수로 할 때와 비교하여 O₃를 제외한 모든 오염물질에서 통계적으로 유의하게 증가된 결과를 나타내었다.

Table 2. Poisson regression analysis of daily mortality and each ambient air pollutant with selected best lag time in one pollutant model in Daejeon, 1998-2001

Death	Relative Risk (95% Confidence Interval)				
	CO ^a	O ₃ ^b	PM ₁₀ ^c	NO ₂ ^d	SO ₂ ^e
All aged	1.016(lag4) (0.996-1.036)	1.009 (lag0) (0.990-1.028)	1.020 (lag4) (1.005-1.035)*	1.027 (lag6) (1.008-1.048)*	1.022 (lag2) (1.004-1.042)*
0 ~ 15 aged	1.095 (lag6) (0.953-1.259)	1.000 (lag1) (0.887-1.128)	1.027 (lag3) (0.921-1.145)	0.985 (lag6) (0.850-1.141)	1.054 (lag1) (0.932-1.193)
16 ~ 64 aged	1.040 (lag3) (1.009-1.073)*	1.022 (lag0) (0.992-1.052)	1.034 (lag3) (1.010-1.059)*	1.037 (lag6) (1.006-1.070)*	1.035 (lag3) (1.005-1.065)*
65+ aged	1.026 (lag0) (1.000-1.052)*	1.014 (lag4) (0.993-1.036)	1.025 (lag4) (1.005-1.045)*	1.031 (lag0) (1.007-1.056)*	1.040 (lag4) (1.015-1.066)*

a. Effect of 1.00 ppm (IQR : Interquartile range) increase

b. Effect of 21.00 ppb (IQR : Interquartile range) increase

c. Effect of 31.07 μg/m³(IQR : Interquartile range) increase

d. Effect of 15.60 ppb (IQR : Interquartile range) increase

e. Effect of 4.68 ppb (IQR : Interquartile range) increase

lag 0 : the current day

lag n : air pollutant concentration of n day ago

*, p-value < 0.05 .

그러나 또 다른 민감집단인 소아의 경우에는 사망자만을 대상으로 하였을 때는 모든 대기오염물질이 통계적 유의성을 보이지 않았다. 결과적으로 대전의 경우, 각 오염물질의 사분위수 범위의 증가에 대하여 총 사망률의 경우 2~4 % 가량 증가하는 것으로 평가되었다.

한편, 대기오염이 일별사망에 미치는 단기적인 악영향이 세계각지의 여러 연구를 통해 동일한 결과를 보이고 있기는 하지만, 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 대기오염과 사망과의 인과관계의 불명확성, 개인노출과 집단측정치의 측정오차, 병리생태학적 기전을 알 수 있는지의 여부 등을 고려해 볼 수 있다(하은희 · 권호장, 2001). 또한, 측정오차에 대한 문제는, 오존이 대전시내 9개 지역의 관측소에서 측정되는 집단노출자료여서 집밖과 집안을 드나들고 다양한 지역에서 생활하는 개개인의 개인노출과는 차이가 있을 수 있기 때문에 발생하는 문제이다. 이러한 개인노출과 외부 관측소(monitoring station) 관측치와의 차이는 개개인에 따라 집밖과 안에서 지내는 시간이 다르기 때문인 것으로 해석된다.

IV. 결론

본 연구는 1998년 1월부터 2001년 12월까지의 대전 광역시 일 사망 자료와 환경측정자료 및 기상자료를 이용하여 시계열(time-series) 분석방법으로 대기오염물질이 일별 사망에 미치는 영향을 추정한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 연구기간동안 측정된 대기오염물질인 CO, O₃, PM₁₀, NO₂, SO₂의 평균값은 각각 0.92 ppm, 31.65 ppb, 53.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 26.17 ppb, 그리고 7.66 ppb으로 대기환경기준을 초과하지 않았다. 그러나 PM₁₀의 경우 대전의 지역 대기환경기준의 장기기준(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하였고, 일 평균 최고 231.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 기록된 것을 보면 단기기준(국내 : 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 대전 : 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 또한 초

과하였다.

2) 관찰된 사망자수의 일별추세를 분석한 결과, 장기적인 추세변동은 관찰할 수 없었으나 전형적인 계절변동을 볼 수 있었고, 측정된 대기오염물질의 경우에는 뚜렷한 계절적 변동추세를 볼 수 있었다. 특히, 대기오염물질의 경우에는 장기적인 추세변동을 관찰할 수 있었는데, CO, SO₂, PM₁₀의 경우에는 감소추세를 나타내었으나 O₃의 경우에는 증가추세를 나타내었다.

3) 각 대기오염물질의 농도 수준과 전 연령층에 대한 사망의 상대위해도간의 관계를 비모수적 방법에 의해 평가한 결과, CO와 PM₁₀의 경우 농도 수준이 증가함에 따라 사망의 상대위해도 값이 선형으로 증가함을 나타내어 본 연구에서 가정한 오염물질 농도 증가와 사망 발생의 선형성이 타당함을 제시하였다.

4) 개별오염물질을 기본모델에 포함시켜 연령별로 구분하여 보면 전체연령의 경우 PM₁₀[1.020(1.005-1.035)], NO₂[1.027(1.008-1.048)], SO₂[1.022(1.004-1.042)]가 사망자 수와 통계적 관련성을 나타내었으며, 민감집단인 65세 이상 사망자에서는 상대위험도가 전체 사망자수를 반응변수로 할 때와 비교하여 O₃를 제외한 모든 오염물질에서 통계적으로 유의하게 증가된 결과를 나타내었으며, 각 오염물질의 사분위수 범위의 증가에 대하여 총 사망률의 경우 2~4 % 가량 증가하는 것으로 평가되었다.

본 연구결과를 종합해 보면, 최근 4년 간의 대전 광역시 대기오염 농도 수준은 우리 인체에 안전하다고 판단하여 설정한 대기환경기준을 모두 만족하고 있으나, 최종적인 건강종착지점(health-end-point)인 사망간의 관련성을 볼 때는 그러한 낮은 수준의 오염농도에서도 사망에 영향을 주는 것으로 규명되었다. 이러한 결과는 여러 국가의 연구결과와도 일관된 결과를 제시하는 것으로서, 우리나라를 포함하여 선진국의 대도시를 대상으로 한 최근의 역학연구들은 비록 장기적으로 허

용기준을 만족시키는 대기오염 수준이라 할지라도, 단기적 대기오염 수준의 변동이 대기오염 관련 질환의 사망률, 입원건수, 응급실 방문건수, 외래 방문건수 등에 유의한 영향을 미치고 있음을 논증하는 결과라 할 수 있다. 이처럼 최근의 우리의 관심이 황사나 특정 에피소드 수준의 심각한 대기오염 보다 현재 설정되어 있는 허용기준 하에서 일상적인 대기오염의 단기간 변동에 모아지고 있는 이유는 현재의 대기환경 기준이 감수성이 예민한 사람들을 포함하여 다양한 건강수준을 지닌 사람들을 각종 질환, 특히 환경성 질환으로부터 안전하게 지켜줄 수 있는 지에 대한 의문이 제기되고 있기 때문에 이에 대한 구체적인 조사가 이뤄져야 할 것으로 판단된다. 또한 대전 광역시의 경우 PM₁₀ 농도가 지역 대기기준을 초과하는 것으로 나타나 이에 대한 정부의 효과적인 대책 마련이 시급한 것으로 판단된다.

감사의 글

“이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음” (KRF-2001-041-F00097)

참고문헌

- 백성욱, 황승만, 1992, 주성분/중회귀분석을 이용한 대구지역 대기중 부유분진의 발생원별 특성 평가, 한국대기환경학회지, 8(3), 179-190.
- 유정석, 김동술, 김윤신, 1995, 서울시 PM-10 오염원의 정량적 기여도 추정, 한국대기환경학회지, 11(3), 279-290.
- 이종태, 김호, 2001, 대기오염 건강영향평가를 위한 역학연구 설계 및 방법론, 예방의학회지, 34(2), 119-126.
- 이태정, 김동술, 1997, 수원지역 입자상 오염물질의 오염원 기여도의 추정 (1997) 한국대기환경학회지, 13(4), 285-296.
- 하은희, 권호장, 2001, 대기오염 역학연구의 주요 쟁점들, 예방의학회지, 34(2), 109-118.
- Anderson, H.R., de Leon, A.P., Bland, J.M., Bower, J.S., and Strachan, D.P., 1996, Air pollution and daily mortality in London:1987-92, *BMJ*, 312, 665-669.
- Ballester, F., Corella, D., Perez-Hoyos, S. Saez, M, and Hervas, A., 1997, Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991-1993, *Int. J. Epidemiol.*, 26, 551-561.
- Borja-Aburto, V.H., Loomis, D.P., Bangdiwala, S.I., Shy, C.M., and Rascon-Pacheco, R.A., 1997, Ozone, suspended particulates, and daily mortality in Mexico city, *Am. J. epidemiol.*, 145, 258-268.
- Burnett, R.T., Dales, R.E., Raizenne, M.E., Krewski, D., Summers, P.W., Roberts, G.R., May, R.Y., Dann, T., and Brook, J., 1994, Effect of low ambient levels of ozone and sulfates on the frequency of respiratory admissions to Ontario hospitals, *Environ. Res.*, 65, 172-194.
- Burnett, R.T., Cakmak, S., Brook, J.R., and Krewski, D., 1997, The role of particulate size and chemistry in the association between summertime ambient air pollution and hospitalization for cardiorespiratory disease, *Environ. Health Perspect.*, 105, 614-620.
- Burnett, R.T., Smith-Doiron, M., Stieb, D., Raizenne, M.E., Brook, J.R., Dales, R.E., Leech, J.A., Cakmak, S., and Krewski, D., 2001, Association between ozone and hospitalization for acute respiratory disease in children less than 2 years of age, *Am. J. Epidemiol.*, 153, 444-452.
- Delfino, R.J., Murphy-Moulton, A.M., Burnett, R.T., Brook, J.R., and Becklake, M.R., 1997, Effects

- of air pollution on emergency room visits for respiratory illnesses in Montreal, Quebec, *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.*, 155, 568-576.
- Dockery, D.W., Speizer, F.E., Stram, D.O., Ware, J.H., Spengler, J.D., and Ferris, B.G., 1989, Effects of inhalable particles on respiratory health of children, *Am. Rev. Respir. Dis.*, 139, 587-594.
- Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., Rossi, G., Wojtyniak, B., Sunyer, J., Bacharova, L., Schouten, J.P., Ponka, A., and Anderson, H.R., 1997, 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, *BMJ*, 314, 1658-1663.
- Lee, J.T., Shin, D.C., and Chung, Y., 1999, Air pollution and daily mortality in Seoul and Ulsan, Korea, *Environ. Health Perspect.*, 107, 149-154.
- Lee, J.T. Kim, H., Hong, Y.C., Kwon, H.J., Schwartz, J., and Christiani, D.C., 2000, Air pollution and daily mortality in seven major cities of Korea, 1991-1997, *Environ. Res.*, 84, 247-254.
- Lee, J.T., Kim, H., Song, H., Hong, Y.C., Cho, Y.S., Shin, S.Y., Hyun, Y.J., and Kim, Y.S., 2002, Air pollution and asthma among children in Seoul, Korea, *Epidemiology*, 13, 481-484.
- Moolgavkar, S.H., Luebeck, E.G., and Anderson, E.L., 1997, Air pollution and hospital admissions for respiratory causes in Minneapolis St. Paul and Birmingham, *Epidemiology*, 8(4), 364-370.
- Schouten, J.P., Vonk, J.M., and Graaf, A., 1996, Short term effects of air pollution on emergency hospital admissions for respiratory disease : Results of the APHEA project in two major cities in the Netherlands, 1977-89, *J. Epidemiol. Comm. Health*, 50(Suppl 1), S22-S29.
- Schwartz, J., Slater, D., Larson, T.V., Peirson, W.E., and Koenig, J.Q., 1993, Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle, *Am. Rev. Respir. Dis.*, 147, 826-831.
- Stieb, D.M., Judek, S., and Burnett, R.T., 2002, Meta-analysis of time series studies of air pollution and mortality : Effects of gases and particles and the influence of cause of death, age, and season, *J. Air & Waste Manage.*, 52, 258-261.
- Sunyer, J., Castellsague, J., Saez, M., Tobias, A., and Anto, J.M., 1996, Air pollution and mortality in Barcelona, *J. Epidemiol. Comm. Health*, 50(Suppl 1), S76-S80.