

# 메타분석 방법을 적용한 서울시 대기오염과 조기사망의 상관성 연구 (1991년~1995년)

이종태, Douglas W. Dockery<sup>1)</sup>, 김춘배<sup>2)</sup>, 지선하<sup>3)</sup>, 정 용

연세대학교 의과대학 예방의학교실, 하버드대학교 보건대학원<sup>1)</sup>,  
연세대학교 원주의과대학 예방의학교실<sup>2)</sup>, 연세대학교 보건대학원<sup>3)</sup>

## A Meta-analysis of Ambient Air Pollution in Relation to Daily Mortality in Seoul, 1991~1995

Jong-Tae Lee, Douglas W. Dockery<sup>1)</sup>, Chun Bae Kim<sup>2)</sup>, Sun Ha Jee<sup>3)</sup>, Yong Chung

Department of Preventive Medicine and Public Health, College of Medicine, Yonsei University  
Environmental Epidemiology Program, Harvard School of Public Health<sup>1)</sup>  
Department of Preventive Medicine, Yonsei University Wonju College of Medicine<sup>2)</sup>  
Graduate School of Health Science and Management, Yonsei University<sup>3)</sup>

**Objectives:** To reexamine the association between air pollution and daily mortality in Seoul, Korea using a method of meta-analysis with the data filed for 1991 through 1995.

**Methods:** A separate Poisson regression analysis on each district within the metropolitan area of Seoul was conducted to regress daily death counts on levels of each ambient air pollutant, such as total suspended particulates (TSP), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), and ozone (O<sub>3</sub>), controlling for variability in the weather condition. We calculated a weighted mean as a meta-analysis summary of the estimates and its standard error.

**Results:** We found that the p value from each pollutant model to test the homogeneity assumption was small (p<0.01) because of the large disparity among district-specific estimates. Therefore, all results reported here were estimated from the random effect model. Using the weighted mean that we calculated, the mortality at a 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  increment in a 3-day moving average of TSP levels was 1.034 (95% CI 1.009-1.059). The mortality was estimated to

increase 6% (95% CI 3-10%) and 3% (95% CI 0-6%) with each 50 ppb increase for 3-day moving average of SO<sub>2</sub> and 1-hr maximum O<sub>3</sub>, respectively.

**Conclusions:** Like most of air pollution epidemiologic studies, this meta-analysis cannot avoid fleeing from measurement misclassification since no personal measurement was taken. However, we can expect that a measurement bias be reduced in a district-specific estimate since a monitoring station is better representative of air quality of the matched district. The similar results to those from the previous studies indicated existence of health effect of air pollution at current levels in many industrialized countries, including Korea.

*Korean J Prev Med 1999;32(2):177-182*

**Key Words:** Air pollution epidemiology, Daily mortality, Meta-analysis, Epidemiologic method

## 서 론

국내에서의 대기오염 관리는 대기오염 물질의 실외 농도를 측정하여 대기환경 기준치와 비교·평가하는 것으로 이루어지고 있다. 최근 국내 대기오염 수준의 추세는 정부의 청정연료와 저황유공급 확대 및 저공해자동차 보급과 같은 각종 대기오염저감정책 집행에 따라 이산화탄소나 총부유분진의 경우는 개선되는 추세이나 자동차의 증가로 인하여 이산화탄

소 및 오존의 오염도는 비슷하거나 오히려 완만하게 증가하고 있는 것으로 나타나고 있다(환경백서, 1997). 서울의 경우 90년대 이후 측정 오염물질(아황산가스, 총부유분진, 오존, 이산화질소, 이산화탄소 및 납)의 오염도가 대기환경기준을 초과하지 않고 있으나 주요한 대기오염 발생원인 자동차대수가 1996년 현재 전국 자동차 대수 중 약 23%인 217만대가 등록되어 있으며 계속하여 증가될 것으로 추정되기 때문에, 이와 관련해서 자동차

배출가스로 인한 대기오염은 갈수록 심각해질 것으로 추정된다.

대기오염이 인체건강에 위해한 영향을 미칠 수 있다는 점은 1952년 영국에서의 런던 스모그 사건(Logan, 1953)을 포함하여 지난 30~50년대에 유럽과 미국에서 있었던 일련의 대기오염관련 사건이 직접적인 계기가 되어서 많은 관심을 받게 되었으며 이후 체계적인 역학연구가 수행되었다. 지금까지의 연구결과를 종합하면 대기오염으로 인하여 사망률의 증가(Ozkaynak 등, 1985; Schwartz 등, 1992; Xu 등, 1994; Borja-Aburto 등, 1997,

접수: 1999년 3월 18일, 채택: 1999년 4월 12일.

\*본 연구는 보건복지부 1998년도 보건의료기술연구개발사업 지원에 의한 연구결과의 일부임 (과제번호: HMP-98-1-4-0014).  
교신저자: 이종태 연세대학교 의과대학 예방의학교실 (전화: 02-361-5357; 팩스: 02-392-0239; 전자우편: jlee@yumc.yonsei.ac.kr)

Touloumi 등, 1997; Lee 등, 1999a, 1999b), 호흡기 또는 심혈관계 질환 관련 의 환 자 수 의 증 가(Pope, 1989; Schwartz, 1994; 임종한, 1998), 천식증상의 악화(Whittemore 등, 1980), 호흡기질환 증상발현 또는 폐기능저하(Koenig 등, 1993; Ostro 등, 1991; Pope 등, 1992) 등과 같은 건강영향과 유의한 상관성이 있는 것으로 보고되고 있다. 특히 이와 같이 유의한 상관성을 나타냈던 연구대상 지역에서의 대기오염도가 각 대상지역에서 적용하는 대기환경기준치를 초과하지 않았다는 점에서 중요한 시사점을 제시하고 있다. 즉 현재 규제수준 이내에서의 일반 도시 대기오염이 위해한 건강영향을 나타낼 수 있다는 것을 암시하는 것이며, 동시에 이에 대한 적절한 관리방안 마련의 필요성을 제시하는 것이라고 할 수 있다.

한편 국내에서 수행되었던 기존의 대기오염 역학 연구(권숙표 등, 1969; 신영수 등, 1972; 윤정숙과 김두희, 1985) 등은 결과를 해석하는데 있어 연구설계가 갖는 제한점, 특히 단면적 자료 분석으로 기인된 한계에 대하여 많은 지적과 비판을 받았다. 그러나 최근 2~3년 동안 국내에서도 시계열적 분석 방법을 적용한 연구(Lee 등, 1999a, 1999b; 권호장, 1998; 이종태 등, 1998; 임종환 등, 1998)가 수행되었으며, 외국에서의 결과와 유사하게 대기환경기준치 이내의 대기환경 수준에서도 사망이나 호흡기계 질환 발생 등과 같은 인체건강과 유의한 상관성이 있음을 보고하고 있다.

본 연구는 기존의 연구가 서울시에 있는 20개의 대기오염 상시측정소의 측정 자료를 통합하여 서울시에서의 총 사망 발생과 서울시 평균 대기오염도와와의 상관성을 분석한 것(권호장, 1998; Lee 등, 1999a, 1999b)과 비교하여 서울시내에서 각 측정소가 있는 지역(구 단위)을 단위 연구대상 지역으로 선정하여 각 지역에 대한 개별적 상관분석을 한 뒤 각각의 추정치를 가중평균하는 메타분석적 방법을 적용하여 대기오염도와 일별사망과의 상

관성을 평가하고자 수행되었다. 이러한 메타분석 방법의 적용은 대기오염도와 일별사망과의 상관관계에 대하여 각 구별로 분석하기 때문에 서울시 전체에 대한 평균적 대기오염도와 사망을 평가하는 기존의 분석방법에 비하여 정보편견이 어느 정도 줄어들 것으로 예측된다. 여러 연구(본 연구에서는 각 구별 분석 결과, 상대사망을 또는 예측회귀계수)로부터의 효과크기(상대사망률, 예측회귀계수)를 통합하는 데 있어 기본적으로 두 개의 통계적 모형이 각각 적용된다(송혜향, 1998). 모수효과 모형(fixed effects model)에서의 가정은 각 연구 또는 구별 모수는 고정되었다는 것이다. 이로 인하여 이 모형으로부터 추론된 결과는 메타분석에 적용된 개별연구 또는 지역에만 국한된다. 한편 각 개별 연구마다 모수가 임의로 변한다고 가정하는 랜덤효과 모형(random effects model)은 메타분석에 사용된 개별 연구들이 모집단 연구들로부터 무작위로 추출된 표본이라고 가정하므로 이 모형에서 추론된 연구 결과는 모집단으로 일반화시킬 수 있다. 즉 구별로 대기오염도의 분포변이가 크거나 대기오염물질의 조성성분이 다를 경우 이러한 구별 변이(between-district variation) 효과를 적절히 통제하기 위해서는 본 연구에서 적용하는 메타분석 방법이 효과적이며(DerSimonian과 Laird, 1986), 특히 랜덤효과모형을 적용할 경우 산출된 가중평균치는 결과의 신뢰도를 확보할 수 있는 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 서울시를 대상으로 대기오염과 인체건강영향을 평가하는 항목으로서의 일별사망발생과의 상관성을 시계열적 분석방법에 의해 평가하는 것으로 서울시를 모두 25개의 행정단위인 구로 나누어 대기오염 상시측정소가 있는 18개 구에 대한 개별 분석 결과를 제시하며 각각의 추정치를 메타분석적 방법에 의하여 통합하여 대기오염과 사망의 상관성을 평가할 목적으로 수행되었다. 이렇게 추정된 결과는 기존의 연구결과(Lee 등, 1999a, 1999b)와 비교하여 산출

된 결과들의 일관성을 검토한다.

## 연구방법

연구 기간은 1991년 1월 1일부터 1995년 12월 31일까지로 이 기간동안 서울시 거주자를 대상으로 발생한 모든 사망건수를 국립통계청의 도움으로 확보하였다. 분석에 최종적으로 사용된 사망자료는 서울시 거주자 중에서 사망 장소가 서울시내인 사망만을 포함하였으며, 사고사를 비롯한 기타 외인사(국제질병분류법, ICD-9>800)의 경우는 분석에서 제외하였다. 사망자는 사망장소를 기준으로 서울시내 총 25개 구로 재분류하여 구분하였다.

대기오염도 자료는 서울시내 총 20개 대기오염 자동 측정기에서 측정·기록된 시간별 자료를 환경부로부터 확보하여 분진과 아황산가스의 경우는 일평균 농도를 하루동안의 노출량으로 적용하였으며, 오존의 경우는 하루 중 최고치를 나타내는 시간 농도값으로 하루 노출량을 정하였다. 개인노출평가 자료의 확보가 어렵거나 불가능한 경우에 결국 환경노출평가 자료를 이용하는 것이 적절한 대응 방안일 것이다. 이 때 사용되는 환경노출평가는 연구참여자 또는 사망지역의 대기질을 대표할 수 있어야 하는데, 서울시의 경우 지역범위가 광범위하고 대기오염발생원 특성도 각 지역에 따라 다양할 것으로 추정된다. 이러한 점 때문에 지역 또는 구별 대기질의 특성, 즉 오염물질의 농도나 분진을 구성하는 화학물질 특성 등이 지역간에 차이를 보일 것으로 예상되기 때문에 결국에는 각 지역 또는 구의 실제대기오염도는 그 지역에 설치된 대기오염측정기에서 평가된 것이 타당할 것이다. 이러한 변이를 감안할 때, 가능하면 분석의 단위를 최소화, 즉 전국자료 보다는 시 및 군별 자료로 또는 구별자료로 하여 분석할 필요가 있으며, 이러한 시도는 측정오류를 줄여주는 역할을 할 것으로 기대된다.

본 연구에서는 서울시 전체 25개 구를 단위 연구지역으로 선정하고 각 구에 속한 대기오염도 자료를 이용하여 개별적인 상관성 분석을 하였다. 구별 대기오염의 효과를 추정하기 위한 통계모형은 기존의 문헌(이종대 등, 1998; Lee 등, 1999a)과 동일한 방법을 사용하였다. 현재 서울시의 경우 대기오염측정기가 설치되지 않은 구는 모두 일곱(중구, 강북구, 노원구, 양천구, 금천구, 동작구 및 강동구)으로 분석에서 제외된 후 최종적으로 18개 구를 대상으로 분석하였다.

각 구별로 추정된 예측치를 각 예측치 분산의 역수를 가중치로 설정하여 서울시 전체의 가중평균 예측치를 추정하였으며(Dickersin and Berlin, 1992). 동질성 검정을 통하여 각 연구결과간의 변이가 유의수준 이상일 경우 랜덤효과모형을 적용하여 추정하였다(DerSimonian and Laird, 1986).

**결 과**

표 1은 분석대상인 서울시내 총 18개 구에 대하여 1991년에서 1995년까지의

일평균 대기오염도를 나타낸 것이다. 성동구와 도봉구의 경우는 분진을 비롯하여 아황산가스, 오존의 농도 모두 다른 구에 비하여 높게 측정되었으며, 그 이외 지역의 경우는 특별한 경향을 띠고 있지 않았다. 특히 용산구는 분진의 농도(125.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )는 비교적 높았으나 아황산가스(24.9 ppb)와 오존(31.8 ppb)은 오히려 다른 구에 비하여 낮은 수준을 보이고 있었다. 성북구와 영등포구의 경우 오존의 농도는 다른 구에 비하여 제일 높은 수준이지만 다른 오염물질의 수준은 낮은 것으로 측정되었다. 서울시의 주요 대기오염 발생원은 자동차 배기 가스나 주거지 난방이나 취사 등과 연관된 연소원발형으로 알려져 있다. 따라서 일반적으로 이러한 오염발생원의 지역별 분포 차이로 인하여 지역간 대기오염도 변이가 있으리라 추정할 수 있다. 특히 서울시의 경우 자동차 배출가스가 주요한 대기오염원임을 감안하면 차량의 통행이 많은 간선도로를 포함하는 지역이나 구의 경우 주거지역이 상대적으로 넓은 지역에 비하여 대기오염도가 높을 것으로 예측된다.

대기오염물질과 사망의 상관성을 추정하는데 있어서 소위 "lead-lag" 효과에 대

한 적절한 추정이 선행되어야 한다. 기존의 연구결과를 보면 사망당일을 포함하여 사망 5일 전까지의 기간을 대상으로 각 연구에 적절한 "lead-lag"기간을 설정하였다. 본 연구에서도 서울시 대상의 기존 연구(Lee 등, 1999a, 1999b)에서와 같이 총부유분진과 아황산가스의 경우는 사망당일의 오염농도를 포함하여 사망이틀전, 즉 총 3일 동안의 오염농도를 평균한(3-day moving average)값을 산출하여 분석하였으며, 오존의 경우는 사망당일의 시간별 오염도 중에서 최고값(daily 1-hour maximum level)을 선정하여 분석에 적용하였다.

본 연구는 각 구별 분석결과를 마치 서로 다른 개별연구에서 도출된 것으로 가정하고 이 각각의 연구결과를 메타분석 방법에 의하여 통합하여 최종결과를 제시하였다. 이와 같은 메타분석의 결과 대기오염과 일별 사망발생 사이에는 유의한 상관성이 있는 것으로 분석되었다. 표 2에서와 같이 모수효과 모형의 결과를 보면 총부유분진의 경우 오염도가 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가함에 따라서 총사망자 수는 약 3%(95% 신뢰구간 2%~5%) 증가되었던 것으로 평가되었으며, 아황산가스와 오존, 각각의 경우 농도가 50ppb 증가함에 따라 사망자 수는 약 5%(95% 신뢰구간 4%~6%)와 2%(95% 신뢰구간 1%~4%)씩 증가하는 것으로 추정되어 세가지 오염물질이 모두 사망발생과 유의한 상관성이 있는 것으로 평가되었다. 그러나 세 오염물질 모두의 경우 동질성검정 결과, 각 개별 추정치간에는 유의한 차이(p-value<0.05)가 있는 것으로 관찰되었다(표 2). 따라서 이 경우 랜덤효과 모형을 통한 추정치가 더 타당하다고 할 수 있다. 랜덤효과 모형의 결과는 모수효과 모형에 비하여 추정치는 큰 차이를 보이고 있지 않으나 통계적 기각력이 떨어지는 것을 알 수 있다. 즉 일반적으로 큰 표준오차값을 보이고 있으며 따라서 신뢰구간의 폭이 커졌음을 알 수 있다(표 2와 그림 1). 특히 오존의 경우 50 ppb 증가에 따라 상대사망율(Relative risk of death)

**Table 1.** Daily average concentrations of ambient air pollutants measured at each district of Seoul, 1991-1995

County	Daily average concentration (SD)*		
	TSP* ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> * (ppb)*	O <sub>3</sub> * (ppb)
Jongrho	74.2 (41.3)	25.2 (18.5)	35.1 (26.0)
Yongsan	124.2 (74.7)	25.0 (23.2)	32.5 (20.0)
Seongdong	126.3 (70.5)	31.2 (34.3)	34.9 (22.6)
Kwangjin	80.1 (44.2)	16.8 (13.9)	33.8 (21.8)
Dongdaemoon	81.9 (41.2)	30.8 (27.7)	27.2 (18.4)
Joongrhang	95.2 (39.5)	25.2 (17.5)	26.5 (15.5)
Seongbook	67.9 (36.5)	37.1 (29.7)	32.2 (19.9)
Dobong	116.5 (65.4)	31.9 (28.6)	37.1 (21.4)
Eunpyung	74.1 (35.2)	22.1 (19.6)	32.4 (17.9)
Seodaemoon	102.5 (60.1)	28.2 (30.5)	32.0 (22.9)
Mapo	85.4 (41.8)	27.6 (24.6)	29.6 (20.2)
Kangseo	85.2 (44.5)	18.8 (17.2)	29.9 (22.1)
Gooro	103.0 (54.7)	28.1 (26.4)	33.1 (18.6)
Youngeungpo	75.0 (43.9)	37.7 (29.8)	28.6 (16.3)
Kwanack	-	14.9 (13.0)	29.8 (13.3)
Seocho	108.3 (70.3)	19.1 (15.7)	33.8 (21.9)
Kangnam	66.1 (32.8)	23.9 (16.9)	25.8 (16.6)
Songpa	86.9 (47.4)	23.1 (19.0)	36.3 (22.0)
Total (Seoul)	92.5 (42.9)	26.0 (20.6)	32.4 (17.0)

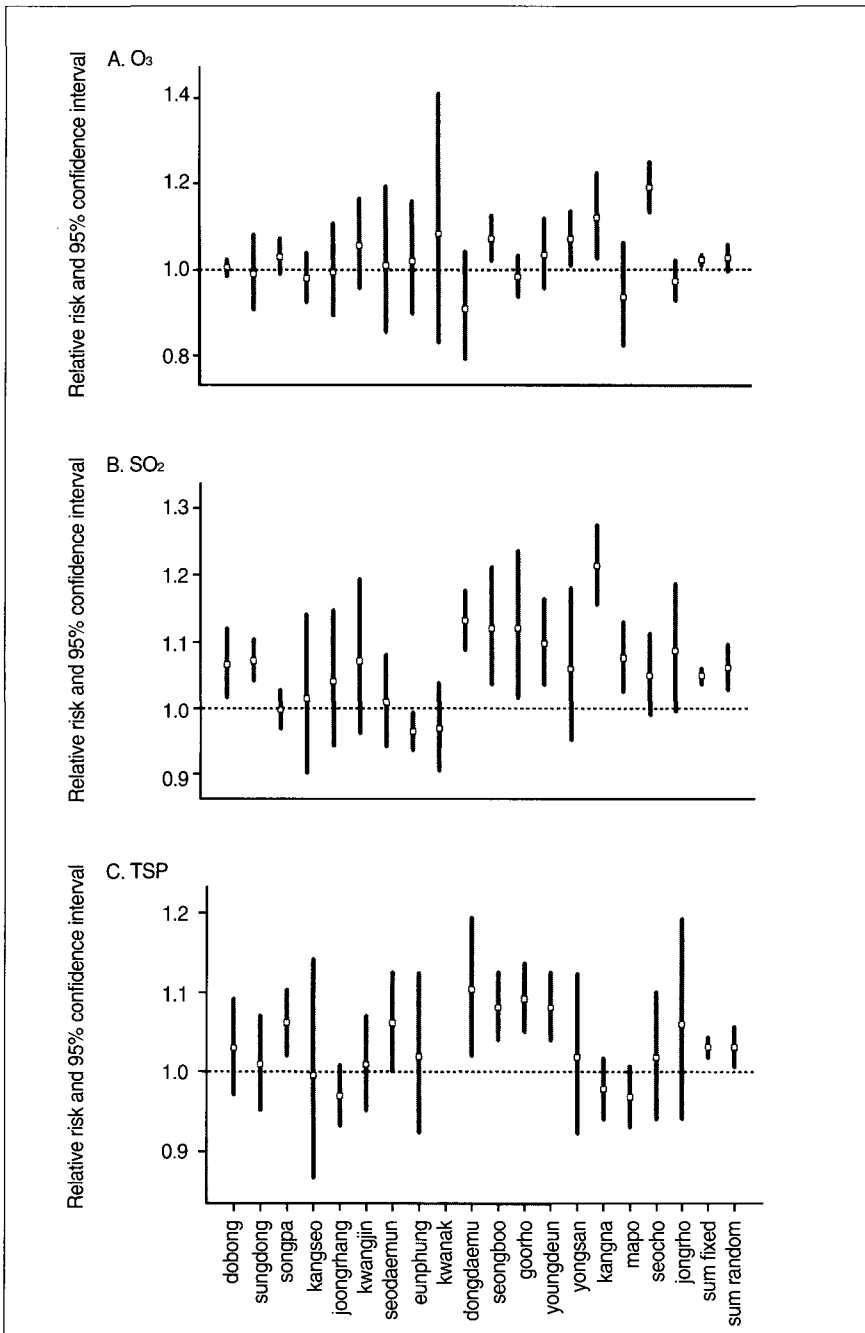
\*SD, standard deviance; TSP, total suspended particulates; SO<sub>2</sub>, sulfur dioxide; ppb, part per billion; O<sub>3</sub>, ozone

**Table 2.** Estimated pooled relative risks and 95% confidence intervals for 50 ppb change in daily 1-hour maximum levels of ozone, and 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and 50 ppb change in 3-day moving average of TSP and SO<sub>2</sub> levels, respectively

Pollutant	No. of districts	Relative risk (95% CI)		p value <sup>1</sup>
		Fixed effect model	Random effect model	
TSP <sup>2</sup> (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	17	1.033 (1.021-1.046)	1.034 (1.009-1.059)	<0.001
SO <sub>2</sub> <sup>2</sup> (50 ppb)	18	1.051 (1.039-1.064)	1.064 (1.030-1.099)	<0.001
O <sub>3</sub> <sup>2</sup> (50 ppb)	18	1.024 (1.011-1.037)	1.029 (0.998-1.060)	<0.001

\* p value from  $\chi^2$  for homogeneity.

<sup>2</sup>TSP, total suspended particulates; SO<sub>2</sub>, sulfur dioxide; O<sub>3</sub>, ozone.



**Fig 1.** Estimated individual district and pooled relative risks of mortality associated with increased levels of pollutants: A. O<sub>3</sub> (50 ppb), B. SO<sub>2</sub> (50 ppb), and C. TSP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

은 1.029이었으나 랜덤효과 모형에서 통계적으로 유의하지 않았다(95% 신뢰구간 0.998~1.060).

그림 1은 각 구별로 추정된 상대사망율(RR)과 95% 신뢰구간을 함께 표시한 것으로 오존의 경우 랜덤효과 모형(sum random)에서 유의하지 않음을 보여 주고 있다. 가중평균치는 모수효과 모형(sum fixed)과 랜덤효과 모형의 결과가 큰 차이를 보여주고 있지 않으나 신뢰도에 있어서 랜덤효과 모형이 훨씬 보수적임을 알 수 있다.

결론적으로 동질성이 확보되지 않은 상태에서 랜덤효과 모형이 모수효과 모형보다 타당도가 클 것으로 기대되며, 동시에 보수적인 결과를 제시한다고 할 수 있다. 표에서와 같이 랜덤효과 모형의 결과에서도 대기오염과 사망은 유의한 상관관계가 있는 것으로 추정되었다.

### 고 찰

일반적으로 대기오염역학 연구 결과는 개인노출평가가 이루어지지 않는다는 점에서 타당성에 대한 많은 지적을 받고 있다. 하루 중 대부분을 실내에서 활동하고 있는 일반인의 노출유형과 대기오염 상시측정소 설치 장소의 대표성에 대한 문제, 서울시내에서 지엽적으로 분포의 변이를 보이고 있는 대기오염도를 일괄하여 통합하는 평균농도만을 상관성 분석에 적용하는 문제들 때문에 특히 측정오류에 기인한 결과해석의 타당도에 대한 문제점이 지적되었다. 그러나 일별사망에 대한 상관성 분석에 있어서 시간이나 예산, 무엇보다도 현실적으로 연구대상지역의 모든 연구대상자들에 대한 개인노출평가를 할 수 없다는 점에서 표본노출평가 또는 상시측정망의 측정자료를 이용할 필요가 있다. 또한 실내공기 오염도는 실내공간의 형태와 환기방법 및 정도, 그리고 실내공기오염원에 따라 시간이나 공간적으로 매우 다양할 것으로 추정되며, 이러한 점 때문에 지금까지 개발된 측

정도구로는 신뢰성 있는 측정에 한계가 있다. 물론 이에 대한 신뢰성 있는 측정자료의 확보는 공기 중 오염물질과 인체건강의 상관성을 평가하는데 중요하지만 많은 경우 이러한 자료가 없거나 부족한 형편이다.

현재까지 방법론적으로 이러한 정보편견으로 인한 오류를 줄일 수 있는 것으로 제안된 것은 시계열적 분석 방법을 적용하는 것(Pope과 Schwartz, 1996)과 대기오염측정소의 대표성을 확보하는 것이다. 기존 연구에서와 같이 본 연구도 시계열적 자료 분석에 의해 수행되었으며, 특히 후자와 관련하여 서울시 전역을 구로 나누어 개별적 상관분석을 하였기 때문에 각 구별 분석은 보다 대표성 있는 오염도 측정값을 이용하였다고 할 수 있다. 즉, 본 연구는 서울시를 대상으로 이루어진 기존의 대기오염 역학 연구에서 적용한 노출평가와는 다른 방법을 적용하였는데, 이는 일종의 메타분석 방법이라고 할 수 있으며, 각 구단위에서 추정된 예측치들의 가중평균을 산출하여 제시하였다. 이러한 분석방법의 적용은 서울시 전역에서 측정된 개별 대기오염도의 일별 평균값을 구하여 당일의 사망건수와의 상관성을 추정하는 것에 비하여 일반적으로 정보편견을 줄여줄 것으로 기대된다.

메타분석의 결과 총부유분진과 아황산가스의 경우 총사망자 수의 증가와 유의한 상관관계가 있었으며, 추정치의 수준이 기존의 연구에서와 동일한 수준이라는 점에서 현재 수준의 대기오염도가 사망발생에 영향을 미친다고 볼 수 있다. 이러한 결론은 이번 연구의 결과만으로 제시된 것은 아니다. Bates(1992)가 언급한 바와 같이 특히 대기오염역학 연구에서 소위 "일관성"은 대기오염과 사망발생의 원인적 상관성을 추론하는데 매우 중요한 요인이 된다. 50년대 영국 런던에서의 대기오염사건 이후 수행되었던 여러 연구들이 매우 유사한 결과를 일관되게 제시하고 있으며, 이러한 일관성은 각각의 개별 연구가 갖는 제한점에도 불구하고

상관성의 유의성과 함께 비슷한 수준의 추정치를 제시한다는 점에 있다. 이번 연구 장점 중의 하나는 동일한 연구 대상을 서로 다른 분석방법과 가정을 적용하여 제시된 결과를 서로 비교할 수 있었다는 것이다. 표 3은 동일한 자료를 대상(서울시, 1991~1995)으로 서로 다른 분석방법 또는 연구설계를 적용하여 분석한 결과를 비교하여 보여주고 있다. 각 연구마다 서로 다른 가정과 방법론을 적용하였음에도 불구하고 매우 유사한 결과를 보여주고 있다는 점에서 현재 수준의 대기오염도가 사망발생과 밀접한 인과적 상관성이 있음을 암시하고 있다.

한편 메타분석 결과의 타당성을 확보하는데 있어서 동질성검증 결과가 보조적인 수단으로 이용될 수 있는데 본 연구에서 동질성 가설이 기각되었다(표 2). 이는 메타분석의 결과를 일반화하는데 있어서 지역(구별)간 특성, 즉 사회인구특성 및 대기오염발생원 분포특성 등에 따라 그룹화를 하여 결과를 제시하거나 통합된 결과를 산출하는데 있어서 각 구별 연구결과에 대하여 랜덤효과(random effect) 모형을 고려하여야 한다는 것을 나타낸다. 이와 같은 결과는 단위 연구대상 지역인 구에서 측정되는 대기오염측정값의 대표성이 각 구별로 차이가 날 수 있다는 점에 기인한다고 할 수 있다. 즉 특정지역에서의 대기오염측정소는 그 지역 주민의 대기오염노출 상황을 잘 반영

하는 반면 어떤 지역은 그렇지 않을 수도 있는 것이다. 따라서 본 연구는 각 개별 연구결과간의 변이를 고려한 랜덤효과모형의 결과를 제시하였으며, 그 결과 오존은 유의한 영향이 없는 것으로 밝혀졌으나 총부유분진과 아황산가스의 경우는 사망발생과 유의한 상관관계가 있음을 보여주고 있다.

이외에도 진행되어야 할 과제로서 보다 타당하고 신뢰성 있는 노출평가 방법론의 구축을 들 수 있다. 즉 대기오염으로 인한 인체건강 영향을 평가하는 생체지표를 개발하여 역학연구에 적용하여 타당한 병인론적 기전을 파악하고 원인적 상관성의 가설을 입증할 수 있는 자료를 제시해야 할 것이다. 또한 다양한 대기오염 지표 특히 미세분진 또는 연소원발 미세분진의 측정 및 적용을 통하여 적절한 대기오염지표를 개발하여야 할 것이다. 국민보건 증진 및 질병예방의 측면에서 이에 대한 다각적인 역학 연구 수행이 요구된다. 특히 이번에 적용한 메타분석 방법을 이용하여 도시별 특성을 고려한 전국적인 비교연구가 수행될 필요가 있다.

**요 약**

유럽과 미국을 비롯한 선진 산업국가에서 1930년에서 1950대 사이에 발생하였던 일련의 대기오염사건을 경험한 이후, 대기오염과 인체건강영향과의 상관성

**Table 3.** Estimated relative risk of mortality and 95% confidence intervals associated with increases in the levels of TSP<sup>1</sup>, SO<sub>2</sub><sup>2</sup>, and O<sub>3</sub><sup>3</sup> in Seoul, 1991-1995, using various analysis methods

Study	Relative risks (95% Confidence interval)		
	TSP (100µg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> (50 ppb)	O <sub>3</sub> (50 ppb)
Population-based time-series (Lee et al, 1999a)	1.051 (1.031-1.072)	1.078 (1.057-1.099)	1.015 (1.005-1.025)
Case-crossover design (Lee and Schwartz, 1999b)	1.010 (0.988-1.032)	1.049 (1.016-1.084)	1.023 (0.999-1.048)
Meta-analysis (district-based time-series)			
Fixed effect model	1.033 (1.021-1.046)	1.051 (1.039-1.064)	1.024 (1.011-1.037)
p value for homogeneity	<0.001	<0.001	<0.001
Random effect model	1.034 (1.009-1.059)	1.064 (1.030-1.099)	1.029 (0.998-1.060)

을 평가하려는 체계적인 연구수행이 있어왔다. 국내에서도 최근 2-3년 동안 단면적 연구 설계에서 벗어나 시계열적 분석방법을 적용한 연구결과들이 발표되었으며, 외국에서의 결과와 유사하게 현재 수준의 대기오염도에서도 인체건강영향 특히 조기사망발생과 유의한 상관성이 있음이 제시되었다. 특히 서울시를 대상으로 한 일련의 연구결과가 대기오염도와 일별사망파에 유의한 상관관계가 있음을 보이고 있어 이에 대한 보다 정밀한 연구수행 필요성이 제기되었다. 따라서 본 연구는 메타분석적 방법론을 적용하여 서울시내의 구별분석 결과를 통합하여 기존의 연구결과와 비교함으로써 대기오염과 인체건강영향의 원인적 상관성을 규명하는 보조적 자료를 제공하기 위하여 수행되었다.

대기오염 자동측정기가 설치된 서울시내 총 18개 구를 대상으로 대기오염도와 사망과의 상관관계를 추정하는 구별 예측치를 산출하였다. 이렇게 산출된 각 개별 예측치는 전체로서 총괄되는 가중평균 예측치를 계산하기 위하여 사용되었으며 이 때 모수효과 모형 또는 랜덤효과 모형을 적용하여 가중평균 예측치를 산출하였다. 지역별 또는 구별 예측치간의 변이차를 검정하는 동질성 검정의 결과 세 오염물질의 경우 모두 지역간 변이가 큰 것으로 평가되었으며 따라서 랜덤효과 모형의 결과를 최종결과로 선정하여 제시하였다. 랜덤효과 모형의 결과를 보면 총부유분진과 이황산가스의 경우 일별사망과 유의한 상관관계가 있는 것으로 평가되었으나 오존의 경우는 그렇지 않았다. 또한 메타분석 결과가 기존의 연구결과와 비교할 때 유사하게 평가된 점으로 미루어 현재 수준의 대기오염도와 일별사망 또는 인체건강영향과 밀접한 상관관계가 있음을 알 수 있다.

메타분석 방법을 적용하였어도 직접적 개인노출평가가 이루어지지 않았다는 점에서 정보편견의 가능성을 제외할 수 없

다. 그러나 이러한 메타분석 방법이 기존의 연구(서울시 전체를 대상으로 하는)에 비하여 정보편견을 어느정도 줄여줄 수 있을 것으로 기대되었으며, 분석결과 기존 연구에서 제시하는 것과 매우 유사함을 알 수 있다. 결론적으로 대기오염 역학 연구에 있어서 이와 같은 메타분석적 방법이 유용하며, 본 연구결과도 기존의 연구에서와 같이 현재 수준의 대기오염도가 인체 건강에 위대한 영향을 미칠 수 있음을 보여 준다는 점에서 향후 보다 강화된 대기오염관리 방안 마련의 필요성을 제기한다고 하겠다. 이를 위하여 대기오염기준치의 강화뿐 아니라 대기오염에 민감한 인구집단, 즉 어린이나 노약자 등에 대한 각별한 감시와 연구수행이 필요 시 된다.

**참고문헌**

권호장. 서울시의 대기오염과 일별 사망의 관련성에 대한 시계열적 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문. 1998  
 송혜향. 의학, 간호학, 사회과학 연구의 메타분석법. 청문각, 1998, 쪽 105-110  
 신영수, 이영일, 조광수, 차철환. 대기오염이 시민건강에 미치는 영향에 관한 비교연구. 대한의학협회지 1972;15:339-350  
 이종태, 이성임, 신동천, 정용. 울산시의 대기 중 분진과 일별 사망에 대한 연구 (1991년-1994년). 예방의학회지 1998;31:82-90  
 임중환, 이종태, 김동기, 신동천, 노재훈. 서울지역 대기오염이 호흡기계질환 수진건수에 미치는 단기영향에 관한 연구. 대한산업의학회지 1998;10:333-342  
 환경부. 1997년 환경백서. 이문인쇄, 1997  
 Bates DV. Health indices of the adverse effects of air pollution: the question of coherency. *Environ Res* 1992;59:336-349  
 Borja-Aburto VH, Loomis DP, Bangdiwala SI, Shy CM, Rascon-Pacheco RA. Ozone, suspended particulates, and daily mortality in Mexico City. *Am J Epidemiol* 1997;145:258-268  
 DerSimonian R, Laird N. Meta-analysis in clinical trials. *Controlled Clin Trials* 1986;7:177-188  
 Dickersin K, Berlin JA. Meta-analysis: state of the science. *Epidemiol Rev* 1992;14:154-176  
 Lee JT, Shin D, Chung Y. Air pollution and

daily mortality in Seoul and Ulsan, Korea. *Environ Health Perspect* 1999a;107:149-154  
 Lee JT, Schwartz J. Reanalysis of the effect of air pollution on daily mortality in Seoul, Korea: A case-crossover design. *Environ Health Perspect* 1999b (in press)  
 Koenig JQ, Larson TV, Hanley QS, Rebolledo V, Dumler K, et al. Pulmonary function changes in children associated with fine particulate matter. *Environ Res* 1993;63:26-38  
 Logan WPD. Mortality in the London fog incident. *Lancet* 1953;1:336-338  
 Ostro BD, Lipsett MJ, Wiener MB, Selner JC. Asthmatic response to airborne acid aerosols. *Am J Pub Health* 1991;81:694-702  
 Ozkaynak H, Spengler JD. Analysis of health effects resulting from population exposures to acid precipitation precursors. *Environ Health Perspect* 1985;63:45-55  
 Pope CA III. Respiratory disease associated with community air pollution and a steel mill, Utah Valley. *Am J Pub Health* 1989;79:623-628  
 Pope CA III, Dockery DW. Acute health effects of PM<sub>10</sub> pollution on symptomatic and asymptomatic children. *Am Rev Respir Dis* 1992;145:1123-1128  
 Pope CA III, Schwartz J. Time series for the analysis of pulmonary health data. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;154:5229-5233  
 Schwartz J, Dockery DW. Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *Am Rev Respir Dis* 1992;145:600-604  
 Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for the elderly in Birmingham, Alabama. *Am J Epidemiol* 1994;139:589-598  
 Touloumi G, Katsouyanni K, Zmirou D, Schwartz J, Spix C, et al. Short-term effects of ambient oxidant exposure on mortality: A combined analysis within the APHEA Project. *Am J Epidemiol* 1997;146:177-185  
 Whittemore AS, Korn EL. Asthma and air pollution in the Los Angeles area. *Am J Pub Health* 1980;70:687-696  
 Xu X, Gao J, Dockery DW, Chen Y. Air pollution and daily mortality in residential area of Beijing, China. *Arch Environ Health* 1994;49:216-222