

울산시의 대기 중 분진과 일별 사망에 대한 연구 (1991년~1994년)

이종태¹ · 이성임² · 신동천¹ · 정용¹

연세대학교 의과대학 예방의학교실¹

서울대학교 계산통계학과²

= Abstract =

Air particulate matters and daily mortality in Ulsan, Korea

Jong-Tae Lee¹, Seong-Im Lee², Dongchun Shin¹, Yong Chung¹

Department of Preventive Medicine and Public Health, College of Medicine, Yonsei University, Seoul, Korea¹

Department of Computer Science and Statistics, Seoul National University, Seoul, Korea²

A large number of studies have indicated associations between particulate air pollution and daily mortality. Daily measurements of total suspended particulates (TSP) by high volume air sampler were matched to daily death counts supplied by the National Statistics Office, Korea. All deaths, except deaths from accidents, occurred at Ulsan from 1 January 1991 to 31 December 1994 were considered in the poisson regression analysis. The multiple regression models were used to investigate a main effects of air particulate pollution controlling for SO₂ levels, air temperature, relative humidity, seasonal variation, and calendar year. The results indicated that the effects of TSP, SO₂, temperature, and relative humidity were not significantly associated with all cause mortality. It could, however, be emphasized that the size of the parameter estimate of TSP was very similar to that of previous studies. An increase in particulates of 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ was associated with a 3% increase in mortality. This relationship was observed at TSP levels well below the current National Ambient Air Quality Standard of 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Korea as well.

Key words : air pollution, air particulate pollution, mortality

* 이 연구는 1996년 한국학술진흥재단의 신진교수과제 연구비 지원으로 이루어졌음.

I. 서 론

인간은 누구나 예외 없이 주위 환경의 여러 요소와 밀접한 상호작용을 하면서 삶을 유지하고 있다. 따라서 인간의 건강수준도 환경 중의 여러 요인들에 의하여 얼마간은 영향을 받게 되어 있으며 이러한 상호작용의 기전을 밝혀 건강에 위해할 가능성이 있거나 혹은 위해한 정도를 평가하는 것은 예방의학적 측면에서 매우 중요하다. 그러나 최근의 환경오염 문제가 과거에 비하여 관심의 대상이 되는 환경요인과 건강장애 사이에 뚜렷한 원인적 상관성을 밝히기가 어려운 몇 가지 특성을 지니고 있는 까닭에 이러한 연구를 수행함에 있어서 어려움이 있다. 그 특성중의 하나는 과거부터 인식되어 온 환경오염피해에 대한 국가와 일반인의 인식과 대책마련으로 많은 오염요인이 관리대상이 되어 특정한 작업장 근로자를 제외하고는 일반인의 경우 노출의 정도가 낮거나 기회가 줄어들었으며 환경 중 오염물질의 농도도 매우 낮은 수준을 유지하고 있다는 것이다. 특히 환경 오염물질 중에서 특정 대기오염으로 인한 건강장애 발생의 상관성을 평가하는 것은 대기 중에 존재하는 여러 복합 오염물질과 대기 이외의 기상조건이나 실내공기 오염, 계절적 유행병 발생 등에 대한 혼란변수로 인하여 정확한 평가에 어려움이 있는 것이다. 또 다른 이유는 이러한 장기간 저 농도 폭로와 연관되어 발생하는 질병의 양상도 만성질환의 경우가 많다는 것을 들 수 있는데, 이 점 때문에 원인적 상관성을 평가하는데 있어서 적절한 신뢰성을 유지하는데 어려움이 따른다. 그 외에도 현대 산업사회의 다양성과 그로 기인된 개인 노출패턴의 다양성은 환경연구에 있어서 타당한 노출평가를 하는데 제한점으로 작용한다.

그러나 이와 같은 연구수행의 어려움에도 불구하고 최근의 대기오염이 인간의 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있다는 일관성 있는 많은 연구 결과가 있다. 따라서 일반 환경 중에서 문제가 되는 대기 오염물질중에서 분진, 이산화질소, 아황산가스, 오존 및 일산화탄소와 납 등은 국내를 비롯한 여러 나라에서 기준치를

정하여 관리하고 있다. 이러한 대기오염물질을 관리하는 배경으로서, 벨지움의 Meuse Valley(1930)와 미국 펜실바니아 주의 Donora 시(1948), 그리고 1952년 런던에서의 대기오염 사건을 들 수 있으며, 이 사건들이 갖는 공통적인 사항은 대기오염 중 분진이나 아황산가스의 농도가 급격히 증가되는 시점에 그 지역의 사망률이나 초과 사망자 수가 증가하였다는 것이다 (Schwartz와 Dockery, 1992). 이와 같은 점이 결정적 계기가 되어서 대기오염이 인체 건강에 있어서 더 이상 안심할만한 수준이 아니라는 점이 일반인을 비롯한 여러 학자들에게서 제기 되었으며, 이 후 동물실험을 비롯한 많은 독성연구와 역학연구가 수행되었다.

국내의 경우 정부의 각종 대기오염 저감정책의 결과 아황산가스와 분진의 경우 지난 10여년간 계속하여 감소 추세에 있으나 자동차 보급률의 증가로 인하여 이산화질소와 오존의 오염도는 오히려 증가 추세에 있다. 그러나 서울을 비롯한 대부분의 도시에서 기준치를 초과하는 경우는 거의 없었으나 외국의 연구에서는 이와 같은 기준치 이내의 대기오염도에서도 건강장애가 유발되었다고 보고되고 있다. 이와 관련하여 본 연구의 대상 지역이 되는 울산시의 경우는 공업 단지를 끼고 있는 도시로서 95년 현재 아황산가스의 연평균 농도가 0.028ppm으로 비교적 높은 지역이고, 분진의 경우 연평균 농도가 $97\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 서울이나 부산에 비해 높은 오염도가 측정되었다. 이외에도 강우의 산성도나 오존, 일산화탄소의 오염도를 비교하여 볼 때 울산시가 다소 증가 추세에 있는 것을 알 수 있다 (환경부, 1996).

지난 몇 십년 동안 우리 나라의 국가적 최우선 정책은 경제발전을 통한 자립기반의 확충이었으며, 많은 사람들의 관심사항이었다. 이러한 성장 우선 정책에 반하여 부가적으로 문제점들이 나타났는데 그 중의 하나가 환경과 관련된 문제점이다. 환경이 오염된 지역에 살고 있다고 믿는 주민들은 그들을 둘러싸고 있는 주위 환경의 질에 관한 자세한 정보를 요구하고 있으며, 공기오염, 식수와 음식의 오염 등으로 대표되는 환경과 건강상태의 인과적 관계를 인식하고 있어서

이에 대한 문제제기가 일고 있다. 특히 국내에서 대기 오염 중에서 분진오염의 건강장애 효과에 대한 관심은 거의 보고가 되지 않았으며 경제발전이나 대중의 관심도 증가에도 불구하고 평가에 관한 수량적 자료가 거의 없었다.

지금까지의 여러 논문이 대기 중 분진의 일변 변화가 성인을 포함한 어린이나 노약자 등에서 호흡기 증상 발생(Pope 등, 1991; Hoek와 Brunekreef, 1993) 및 폐기능의 저하 등(Pope 등, 1991)과 상관성이 있다는 것을 보이고 있다. 이와 같은 비교적 직접적인 건강지표 이외에도 호흡기 질환으로 인한 병원 방문 회수와 응급실 이용률의 증가 또는 천식으로 인한 처방 약의 사용량 증가 같은 간접적인 지표에 있어서도 대기 중 분진이나 황산염 분무질(sulfate aerosols) 등의 농도변화와 밀접한 관계가 있음을 여러 연구 결과에서 알 수 있다(Schwartz, 1996). 동물이나 인체세포 실험에서도 산업장에서 배출된 분진의 용출물에는 돌연변이원성을 나타내는 화학물이 포함되어 있는 것으로 밝혀졌다. 이러한 일련의 결과를 통하여 직접적인 생물학적 기전은 아직 밝혀지지 않았으나, 분진의 노출로 인하여 조기 사망이 발생할 수 있다는 가설의 근거를 삼을 수 있다. 특히 대기 중 분진과 조기사망과의 연관성에 대한 연구는 지금까지 여러 지역과 기관에서 수행되었는데 서로 밀접한 상관성이 있음을 보여주고 있다(Fairley, 1990; Pope 등, 1992; Pope과 Kalkstein, 1996; Saldiva 등, 1995; Schwartz와 Dockery, 1992; Schwartz, 1994; Schwartz 등, 1996). 지금까지의 분석 결과를 종합한 Schwartz (1994)와 Ostro (1993)의 연구를 보면 대기 중 분진의 농도가 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 약 3~5%의 초과 사망이 발생한다고 제시하고 있다. 이러한 상관성의 정도는 여러 연구 결과들이 일관성 있게 나타내는 수치이다.

일반적으로 분진의 독성은 분진의 물리형태적 특성과 분진을 구성한 조성물의 화학적 특성이 큰 영향을 미치는 것으로 알려 졌다. 분진의 특성은 따라서 발생원의 특성과 밀접한 관계를 보이며 특히 대기 기상조건에 영향을 받는다. 보통의 대기 중 황산염 또는 질

산염들은 가수성을 띠고 있어서 대기 중의 습기를 흡수하는 흡습성장의 과정을 거쳐 분진이 형성되므로 대기 중 습도와 대기온도가 고려되어야 할 기상조건이 된다. 특히 대기온도의 경우는 대기 오염을 고려하지 않은 조사에서 사망과의 상관성이 보고되기도 하였다. 따라서 기상조건 중에서 대기온도와 습도는 대기 중 분진의 사망영향을 살피는데 고려되어야 할 주요한 통제변수이다.

따라서 본 연구 수행의 목적은 대기 중 분진 폭로와 조기 사망 발생의 상관성을 추정하는 것으로 울산시 지역을 대상으로 1991년부터 1994년의 4년간의 일별 분진 농도 변이와 당일 사망자 수 변이의 연관성을 추정하여 보았다. 이때 대기 중 분진농도 이외에 아황산가스의 농도나 대기온도 및 상대습도를 통제변수로 선정하여 분진농도의 사망자 수 변이 영향을 추정하는 것을 본 분석의 목표로 하였다.

II. 자료와 분석방법

1. 연구대상 및 자료

1) 연구대상

울산시는 반도의 남동쪽 울산만 근처에 위치한 중화학 공업도시로서 석유화학단지, 유성화학단지, 용연공단, 온산공단 및 미포공업단지를 포함하고 있는 국내 경제 발전의 성공을 상징하는 중요한 지역적 특성을 지니고 있다.

2) 사망자료

본 조사에서 사망자료는 울산시에서 1991년 1월 1일부터 1994년 12월 31일까지 발생한 사망건 수를 기본으로 국립통계청으로부터의 자료를 이용하였다. 사망원인 별 분류에서 국제질병분류번호가 800이상인 사망(ICD 9th ≥ 800), 즉 사고사나 외인사로 인한 사망의 경우와 울산시 거주자라도 울산시 밖에서 사망한 경우 본 분석에서 제외하였다.

3) 대기오염도

울산시에는 광역시로의 승격 이전에 울산군을 제외하고 환경부가 운영하는 네군데의 대기오염 측정소(개운동, 성남동, 여천동, 야음동)에서 여섯 가지의 규제 오염물질을 측정하고 있으며 본 연구에서는 분진 농도를 제외하고는 각 측정소의 일일 평균 오염 농도를 산술평균한 값을 이용하여 분석에 이용하였다. 부유분진(TSP)의 경우에는 한 측정소(성남동)에서 관측된 자료만 사용하였다. 각 측정소에서의 일별 평균 농도를 추정할 때 이들 오염농도가 시간대별로 큰 변화량을 보이기 때문에 자료가 오전 또는 오후에만 관측된 자료의 경우에는 24시간 관측된 날의 평균오염농도와는 많은 차이가 날 수 있다. 이에 각 동별로 대표성 있는 일평균 농도를 얻기 위하여 하루에 적어도 20시간 이상 관측된 경우에만 일평균 농도를 계산하였고 그 밖의 경우에는 결측치로 처리하였다.

2. 통계분석

사망률의 일일 변동은 대기기온과 습도의 변화와 밀접한 연관성이 있는 것으로 관찰되었다. 이에 따라 본 연구에서는 사망발생과 동일한 날의 기상조건을 혼란변수로 적용하여 통계분석에 이용하였다. 일평균 기온과 상대 습도는 울산시내에 위치한 기상대의 자료로부터 얻어 졌으며, 대기오염자료와 마찬가지로 일평균 기온과 상대 습도는 0시부터 24시까지 매시간 측정된 자료의 평균치로 구해 졌다.

사망률의 계절적 변동은 부분적으로 온도에 의해 설명할 수 있음에도 불구하고 전염병이나 유행병 발생과 같이 본 연구에서 고려하지 않은 요인들을 통제할 목적으로 계절을 명목변수의 형태로 본 분석에 포함시켰으며, 연간 변화량을 보정할 목적으로 사망발생 연도를 1991년을 기준으로 하여 비교하였다. 이외에도 사망률이 주중변화를 보인다는 연구결과가 있는데 울산시에서의 사망률은 주중과 주말의 차이가 거의 없이 일정하였기 때문에 회귀방정식에서 주중변이는 고려하지 않았다.

일일 사망률에 대한 날씨의 영향은 비선형 관계를 보일 것으로 기대되어진다. 즉 날씨가 아주 춥거나 아주 더운날이 그렇지 못한 경우보다 조악한 환경을 제공함으로써 건강에 장애를 발생하거나 사망의 증가를 초래할 수 있다. 그러나 날씨를 계량적으로 단순화하여 평가하는 것은 어려움이 있으므로 대기온도와 상대습도 이외에도 계절적인 요인을 고려하여 본 분석에 적용하였다. 대기온도의 경우는 전체 온도분포를 고려하여 세 등급으로 나누어 5% 이내의 온도 등급과 5~90% 수준의 온도 등급 그리고 90%이상의 온도 등급으로 가변수 처리하여 분석에 적용하였다. 상대습도는 분포에서 90%일 때를 기준으로 하여 두 등급으로 처리하여 분석하였다.

일반적으로 하루 동안 발생한 사망자수에 대한 확률 모형으로는 포아송 분포가 사용된다. 1991년부터 1994년까지의 연구기간동안 울산시에서 발생한 일일 사망자수에 대한 분포는 평균과 분산의 추정치가 각각 4.6과 4.8로 포아송 분포의 근사가 적절함을 알 수 있다. 한편 매일의 사망건수는 서로 어느 정도의 연관성을 보이고 있으며, 이러한 연관성을 보정하기 위하여 Liang과 Zeger(1986)에 의해 제안된 Generalized Estimation Equation(이하 GEEs)방법을 적용하여 분석하였다. 본 회귀식은 통계프로그램인 Statistical Analysis System의 SAS/STAT Software, Version 6.12의 PROC GENMOD를 이용하여 모수를 추정하였다.

추정한 통계모형은 로그-선형 모형으로 다음과 같다.

$$\log [E(Y)] = \beta X$$

이 때 X 는 독립변수들을 나타내며 $E(Y)$ 는 기대 사망건수를 나타낸다. 분석에서 고려한 독립변수로는 대기중 분진과 아황산가스의 24시간 평균농도와 기상조건으로 대기온도와 습도를 포함하였다. 이외에도 명목변수로 연도와 계절을 고려하여 분석에 적용하였다. 또한 일별 사망간의 상관성을 보정하기 위하여 exchangeable correlation 구조를 가정하여 covariance

structure를 설정하였으며, 일별 사망(Y_{ij})의 경우 인접한 일별 사망수간의 correlation은 $r_{ik}=\alpha$ (where $i \neq k$), 즉 exchangeable correlation을 적용하였으며 아래의 식과 같다.

$$\text{Corr}(Y_{ij}, Y_{ik}) = \begin{cases} 1, & i=k \\ \alpha, & j \neq k \end{cases}$$

위 식에서 i 는 연도를 나타내는 것($i=1991, 1992, 1993, 1994$)이며, j 는 날짜를 표시하는 것($j=1, 2, 3, \dots, 365$)이다. 따라서 Y_{ij} 는 특정한 연도와 날짜에 발생한 사망건수를 나타내는 독립변수로서 포아송분포를 가정하여 로그-선형 모형을 적용하여 분석하였다. 이와 같은 모형에서의 공분산 형태는 다음과 같다:

$$\text{cov}(Y_{ij}, Y_{ik}) = \Phi A_i^{1/2} R(\alpha) A_i^{1/2}$$

위 식에서 A_i 는 Y_{ij} 의 분산을 나타내는 대각행렬이고 같은 연도내에서 사망자수는 상호교환가능한 상관구조를 갖는다는 가정을 하였다. 또한 위 식에서 Φ 는 dispersion parameter이다.

III. 결 과

표 1은 울산시에서 연구 기간 발생한 평균 사망건수와 4년간의 평균 오염도 및 기상자료를 보여주고 있다. 부유분진과 아황산가스의 경우 연평균 농도가 국내 환경기준치인 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 0.05ppm 을 각각 넘지 않았다. 총 부유분진의 경우 약 16%가량의 결측치가 발생하였으며 아황산가스는 전체 자료에서 6%정도의 결측치가 발생하였다. 대기오염도, 특히 분진의 경우 결측치가 발생하였을 때 분석에서 제외되었기 때문에 이로 인한 선택편견의 가능성을 배제할 수 없다. 이러한 편견의 가능성을 확인하기 위해서 결측치 발생일의 사망건수를 전체 평균 사망건수와 비교해 볼 수 있으나 이에 대한 분석은 결측치 발생과 사망발생 그리고 대기오염 수준은 상호 상관성이 있다는 것이 논리

적으로나 현실적으로 타당하지 않기 때문에 본 연구에서는 제외하였다.

최종 통계모형에서 대기온도는 더운날(온도 $> 27.6^\circ\text{C}$)과 추운날(온도 $< 0.8^\circ\text{C}$)을 구분하여 대기온도가 0.8°C 에서 27.6°C 사이인 날과 비교되도록 변수를 처리하였으며 상대습도의 경우는 90%이상일 때와 그렇지 않은 날을 비교할 수 있도록 가변수 처리하였다. 계절의 경우는 여름을 기준으로 나머지 계절과 비교될 수 있도록 하였으며 연도는 1991년을 기준으로 가변수 처리하여 연도간 비교를 하여 보정하였다. 아황산가스의 경우는 총부유분진을 회귀식에 첨가하였을 때 통계적 유의성이 사라졌다. 이러한 점은 아황산가스와 사망과의 상관성이 부유분진이 혼란변수로 작용하였기 때문이라는 기존의 연구결과와 일치하는 점이다. 이에 따라 최종 통계모형에서는 SO_2 에 대한 자료를 제외하고 분석하여 제시하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 대기중 부유분진의 농도가 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 일별 사망자수는 약 3%가량 증가되는 것을 알 수 있다. 비록 통계적으로 5% 유의수준에서 유의하지는 않지만 외국에서의 기존 연구결과와 비교할 때 상관성의 크기에 있어서 일관성이 있음을 보이고 있다. 대기온도의 경우 일반적으로 알려진 바와 같이 온도와 사망률의 관계가 직선형이 아니고 비선형으로 U자 또는 J자 형태일 가능성을 제시하고 있다. 즉 사망률의 상대적 증가가 극단적인 기상조건, 매우 덥거나 추운날에 이루어진다는 것을 보여주고 있다. 계절적인 요인으로 여름에 비하여 나머지 계절이 상대적으로 사망자수가 증가함을 알 수 있으며, 연도가 증가될수록 사망률도 증가하였던 것으로 나타났다. 연도와 사망률과의 관계에서 1991년에서 1994년 동안 울산시의 인구수가 비교적 안정적(약 720,000~740,000명)이었다는 것을 고려할 때 실질적인 사망률의 증가가 발생하였음을 추측할 수 있다.

일반적으로 고령의 노약자 또는 어린 아동들이 환경오염을 비롯한 외부의 자극에 상대적으로 더욱 민감하게 반응할 것이라고 알려져있다. 따라서 본 연구에서는 사망자를 연령에 따라 세집단으로 나누어 개

Table 1. Summary information on the distribution of daily mortality, weather, and selected air pollutants in Ulsan, 1991-1994

Parameter	Number of days	Mean (Standard deviation)
Deaths/day	1460	4.6 (2.2)
TSP ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1223	75.3 (32.1)
SO ₂ (ppb)	1366	32.7 (13.7)
24-hr mean temperature (°C)	1460	14.0 (8.5)
24-hr mean humidity (%)	1460	65.7 (16.5)

¹TSP: Total Suspended Particulate

Table 2. Poisson regression analysis of daily mortality and total suspended particulate using GEE¹ approach, Ulsan, 1991-1994

Variable	Estimated Coefficient (SE ¹)	RR ¹ (95% CI ¹)
Intercept	1.13 (0.08)	-
TSP ¹ ($100\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.03 (0.02)	1.03 (0.99-1.07)
Hot day ²	0.06 (0.04)	1.07 (0.98-1.16)
Cold day ²	0.18 (0.12)	1.20 (0.94-1.53)
Humidity ³	0.09 (0.05)	1.09 (0.98-1.21)
Winter ⁴	0.20 (0.03)	1.22 (1.14-1.30)
Spring ⁴	0.20 (0.05)	1.23 (1.11-1.34)
Fall ⁴	0.12 (0.01)	1.13 (1.11-1.15)
92year	0.04 (0.00)	1.04 (1.04-1.04)
93year	0.14 (0.00)	1.15 (1.15-1.16)
94year	0.16 (0.02)	1.18 (1.14-1.21)

¹GEE: Generalized Estimating Equation; SE: Standard Error; RR: Relative Risk; CI: Confidence Interval; and TSP: Total Suspended Particulate

²Hot day > 27.6°C; Cold day < 0.8°C

³Humidity > 90%

⁴Winter: Dec, Jan, Feb; Spring: Mar, Apr, May; Fall: Sep, Oct, Nov

별적으로 분석을 하였으며 그 결과를 표 3에 실고 있다. 결과를 보면 노년층(60세 이상) 보다 성년층(15세 이상, 60세 미만)의 경우 분진의 영향이 커졌으며, 15세 미만의 아동들에 있어서 분진의 효과가 가장 커짐

Table 3. Adjusted relative risks (per 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ change in TSP¹) from Poisson regression using GEE¹ approach in different age groups

Group by age	RR ¹ (95% CI ¹)	Average daily deaths
All ages	1.03 (0.99-1.07)	4.6
Age ≥ 60	0.98 (0.96-1.01)	2.7
Age < 15 or Age ≥ 60	1.00 (0.98-1.02)	2.9
15 ≤ Age < 60	1.06 (0.94-1.20)	1.7
Age < 15	1.22 (0.86-1.73)	0.2

¹TSP: Total Suspended Particulate; GEE: Generalized Estimating Equation; RR: Relative Risks; and CI: Confidence Interval

을 수 있다. 비록 통계적으로 유의하지는 않았으나 연령군에 따라 분진의 효과가 일정한 방향으로 커지고 있다는 점이 유의할 만 하다.

IV. 고 찰

연구기간 연구대상 지역이었던 울산시의 대기오염도는 총부유분진과 아황산가스의 경우 기준치를 초과하지 않았다. 이러한 오염도 수준은 기존의 연구대상 지역과 비교할 때도 낮은 수준임을 알 수 있다. 이와 같은 점을 고려할 때 본 연구 결과, 총부유분진 농도 변화에 따른 사망률의 변화량이 기존의 결과와 일관성을 보이고 있다는 점은 매우 시사할 만한 것이다. 일반적으로 환경역학 연구가 갖는 제한점으로는 혼란 변수에 대한 통제가 충분히 이루어지지 않는 점과 대기오염물의 인체노출량을 추정하는데 있어서 개인노출량을 측정하지 못하고 지역 대표값을 동일 지역내 인구 집단에 일괄적으로 적용함으로써 생길 수 있는 정보편견의 문제점 등을 들 수 있다. 그러나 이러한 제한된 조건에서도 지리적으로, 사회경제학적 차원에서, 또는 기후 및 대기질 정도에서 차이를 보이는 여러 지역에서 수행된 역학연구가 유사한 결과를 보인다는 점은 최근의 환경관련 연구수행에 있어서 원인

적 상관성을 유추하는데 매우 중요한 요소가 되며, 이러한 일관성이 대기오염 중 분진농도의 변화와 사망률간의 상관성이 편견에 의한 것이 아니라 실제하는 것임을 제시한다고 할 수 있다.

본 연구에서 아황산가스의 영향은 유의하지 않은 것으로 나타났으며, 통계적으로 부유분진과 사망과의 상관성 추정에도 영향을 미치지 않았다. 이러한 결론은 기존의 연구(Schwartz와 Dockery, 1992)에서 아황산가스의 사망에 대한 효과는 분진으로 인한 혼란변수에서 기인된 것이라는 것과 일관된 것이다.

환경역학 연구에서 제한점으로 지적되는 사항의 하나는 타당성 있는 개인 노출평가와 관련된 것이다. 본 연구도 울산시내의 대기오염도 자동측정망의 자료를 이용하여 개인노출자료로 적용하는 반생태학(semi-ecological) 연구설계 방법을 적용하였다. 이러한 연구설계의 제한점으로 제시되는 것이 연구결과의 정보편견의 문제이다. 이와 관련하여 이번 연구에서는 사망자를 사망당시의 연령에 따라 세집단으로 나누어 개별적인 분석을 하였다. 표 3에서 본 바와 같이 노년층에 비하여 사망당시의 연령이 낮아질수록 분진과 사망발생의 상관성이 커지는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 연령에 따라 하루동안 실외에서의 활동시간에 차이가 있다는 점과 본 조사에서 적용한 노출평가 자료가 실외에서 측정된 대표 값이었다는 것을 고려하면 일부분 설명이 가능하다고 할 수 있다. 일반적으로 노약자를 비롯하여 노년층은 청장년층이나 아동들에 비하여 실외에서의 활동시간이 상대적으로 적을 것이다. 특히 평균적으로 아동들의 실외활동 시간이 가장 많을 것이라는 가정이 큰 무리가 없다면 표 3을 해석하는데 무리가 없을 것이다. 즉 분진에 대한 개인노출량이 실외에 설치된 측정소의 자료를 인용한 것이며, 개인적으로 연령에 따라 실외활동 시간에 차이를 보인다면 실외활동 시간이 많은 연령군이나 인구집단이 대기분진과 상관성이 보다 클 것이다.

역학연구에서는 두 가지 기본적인 변수, 즉 노출평가 자료와 건강영향평가 자료에 대한 측정과 이들 변수들의 상관성을 분석하는 것이 일반적인 방법이다.

이번 연구에서 건강영향평가 자료는 사망신고서에 따라 국립 통계청에서 작성한 사망자료를 기본으로 구축하였다. 따라서 금번 연구결과의 타당성을 검증하는데 있어서 사망자료의 완전성 및 정확성을 고려하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서 대상으로 한 울산지역에서의 일평균 사망자 수는 약 4~5명으로서 울산시 총인구수가 대략 720,000~760,000명인 것을 감안하면 매우 낮은 것임을 알 수 있다. 이러한 점은 외국에서 발표된 자료와의 비교에서도 확인할 수 있다. 표 4를 보면 울산시와 인구수가 비슷한 독일의 다른시의 경우 일평균 사망자수가 18명으로 울산시 4.6명과 비교할 때 큰 차이가 남을 알 수 있다. 또 다른 비교는 국내 사망률이 대략 520명/100,000명이라고 가정할 때 울산시 인구를 고려하여 예측되는 일평균 사망자수는 약 10명 정도이다. 따라서 이러한 차이에 대한 합리적인 설명은 본 연구 결과의 타당성을 검토하는데 매우 중요한 부분이 된다. 본 연구에서 우선적으로 검토한 부분은 울산시민의 연령구조와 본 연구에서 제외한 외인사로 인한 사망건수의 비율을 전국과 비교하는 것이었다. 표 5를 보면 예상하였던 바와 같이 울산시의 60세 이상 노인인구 비율이 전국과 비교하여 절반이하로 비교적 젊은 연령군으로 이루어졌음을 알 수 있다. 또한 외인사로 인한 비율도 22%로 전국의 14%보다 높음을 알 수 있다. 이외에도 사망자료의 누락을 고려할 수도 있으나 최근의 국내 사망자료의 완전성이 사망신고율을 기준으로 90% 이상인 점을 감안하면 사망자료의 누락으로 인한 영향은 미미할 것으로 생각된다(김일순, 1989).

대기오염과 사망과의 관계를 설명하는데 항상 고려되는 변수로는 대기온도와 습도 같은 기후조건과 계절적 특성 등(Styer 등, 1995)이 있는데 본 연구에는 이들에 대한 통제가 이루어졌으므로 이로 인한 혼란편견의 가능성은 무시할 수 있다. 그러나 독감의 유행과 같은 변수에 대한 통제는 본 연구에서 이루어지지 않았으나 계절적 요인을 고려하는 것으로 편견 가능성을 최소화하였다고 할 수 있다.

향후 본 연구와 관련하여 보충되어야 할 분야는 대

Table 4. Comparisons of daily average death counts in several cities

City	Time period	Population	Average daily deaths
Athens	1987~1991	2,000,000	35
London	1987~1991	7,200,000	176
Paris	1987~1990	6,140,000	130
Mexico City ¹	1990~1992	2,082,000	25
Köln	1977~1989	740,000	18
Utah County	1985~1989	260,000	2.7
Philadelphia	1973~1980	1,688,710	48.2
Ulsan	1991~1994	740,000	4.6

¹Southeast area of Mexico City

Table 5. Comparisons of mortality characteristics between Ulsan and the whole country, 1994

Area	Number of population aged ≥ 60(%)	Number of deaths defined as ICD ¹ (800(%))
Whole country	3,861,859/44,453,179 (8.7)	198,661/230,677 (86.1)
Ulsan	30,662/767,093 (4.0)	6,785/8,724 (77.8)

¹ICD: International Classification of Deaths, 9th

기 중 분진 측정을 더욱 세밀한 방법을 적용하여 정보 편견을 줄이는 것이다. 따라서 총부유분진의 $PM_{10/2.5}$ 와 같은 미세분진 측정을 통한 상관성분석이 있어야 할 것이며 계절별 또는 지리적으로 분진의 화학적 구성 성분의 차이를 비교 검토하는 것이 제안된다. 국내 사망자료 이용과 작성에 있어서의 신뢰성을 확보하여 감시체계(surveillance system)로서 사망자료가 이용될 수 있도록 하여야 한다. 또한 생물학적 기전을 밝히기 위한 연구가 수행되어야 할 것이다. Seaton 등(1995)은 분진에 장기간 노출될 경우 결국 노출집단의 분진에 대한 민감도를 증가시켜 건강장애를 유발할 것으로 제안하고 있다. 사망원인 중에서 심혈관계 질환으로 인한 사망이 대기 중 분진농도와 밀접한 상관

성을 나타낸다는 보고도 있다(Burnett 등, 1995; Schwartz와 Morris, 1995; Peters 등, 1997). 이에 대하여 대기오염물질이 하기도 혹은 폐포에 손상을 일으켜서 혈액의 점도를 높여서 심장질환으로 인한 사망을 증가시킨다는 가설을 제기하기도 한다(Seaton 등, 1995).

V. 결 론

1952년 영국 런던에서의 대기오염 사건 이후 유럽과 미국을 비롯한 외국의 많은 국가에서 대기오염과 사망과의 상관성을 보이는 연구가 수행되었다. 특히 대기오염 중에서 분진의 경우가 많은 주목을 받아왔으며 각 국가마다 정한 기준치이내의 오염도 수준에서도 조기사망의 발생에 어느 정도 기여를 한다고 의심되어 왔다. 지금까지의 연구결과를 종합하면 대기중 총부유분진이 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 3~5%의 초과사망이 발생한다고 제시하고 있다. 이런 점에서 국내에서 울산시를 대상으로 수행된 연구 결과에서도 외국에서의 연구결과와 일관성 있게 나왔다는 점(총부유분진 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가시 3%의 초과사망 발생)은 비록 통계적으로 유의한 수준($\alpha=0.05$ 수준)은 아니었으나 시사하는 바가 크다고 할 수 있다.

분진과 사망과의 상관성을 분석하기 위하여 대기중 SO_2 농도와 기상조건 그리고 계절적 요인을 모두 통제하여 분석하였다. 계절적 요인으로는 여름이 상대적으로 사망발생이 다른 계절에 비하여 낮은 것으로 나타났다. 아황산가스의 경우는 최근 Schwartz(1994)가 제시한 바와 같이 사망발생에 독립적인 영향을 끼치기보다는 분진과의 상관성으로 인하여 실제로 상관성이 존재하기보다는 혼란편견의 결과라는 것이 본 연구에서도 확인할 수 있었다.

기존의 대기오염도와 일별 사망 자료를 이용하여 분석한 경우는 국내에서 처음 수행된 연구로서 향후 환경역학 연구방법의 일 예를 제시한다는 점에서 그 의의가 있다고 생각된다. 향후 사망자료나 기존의 상시측정 자료를 잘 보완하여 이용한다면 연구 수행에

있어서 시간과 경비를 절약하는데 매우 유용할 것이다.

따라서 본 연구는 기준치 이내의 대기오염도가 조기사망에 미치는 영향을 평가한 연구로서 통계적으로 유의하지는 않았으나 기존의 연구결과와 비교할 때 분진과 사망발생의 상관성 크기가 일관성 있게 나타났다. 따라서 지속적인 관찰과 자료수집을 통하여 이에 대한 재평가가 이루어져야 하며, 울산시뿐 아니라 서울이나 부산을 비롯한 대도시를 대상으로 대기 중 총부유분진만이 아니라 미세먼진(PM_{10/2.5})의 측정자료를 이용한 연구를 수행하여야 할 것이다.

참고문헌

- 김일순. 신고된 사망자료의 역학적 유용성 검토. 한국역학회지 1989; 11:143-149
- 환경부. 1996년 환경백서. 1996
- Burnett RT, Dales RE, Krewski D, Vincent R, Dann T, Brook JR. Associations between ambient particulate sulfate and admissions to Ontario hospitals for cardiac and respiratory disease. Am J Epidemiol 1995;142:15-22
- Fairley D. The relationship of daily mortality to suspended particulate in Santa Clara County, 1980-1986. Environ Health Perspect 1990; 89:159-168
- Hoek G, Brunekreef B. Acute effects of a winter air pollution episode on pulmonary function and respiratory symptoms of children. Arch Environ Health 1993;48:328-335
- Liang KY, Zeger SL. Longitudinal data analysis using generalized linear models. Biometrika 1986; 73:13-22
- Ostro BD. The association of air pollution and mortality: examining the case for inference. Arch Environ Health 1993;48:336-342
- Peters A, Doring A, Wichmann H, Koenig W. Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality? Lancet 1997;349:1582-1587
- Pope CA, Dockery DW, Spengler JD, Raizenne ME. Respiratory health and PM10 pollution: a daily time series analysis. Am Rev Respir Dis 1991;144:668-674
- Pope CA, Dockery DW. Acute health effects of PM10 pollution on symptomatic and asymptomatic children. Am Rev Respir Dis 1992; 142:1123-1128
- Saldiva PHN, Pope CA, Dockery DW, Lichtenfels AJ, Salge JM, Barone I, et al. Air pollution and mortality in elderly people: a time series study in Sao Paulo, Brazil. Arch Environ Health 1995;50:159-164
- SAS Institute Inc, SAS technical report P-243, SAS/STAT software: the GENMOD procedure, version 6. 12, Cary, NC: SAS Institute, 1996
- Schwartz J, Dockery DW. Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. Am J Epidemiol 1992;135:12-19
- Schwartz J. Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis. Environ Res 1994; 64:36-52
- Schwartz J, Morris R. Air pollution and hospital admissions for cardiovascular disease in Detroit Michigan. Am J Epidemiol 1995;142:23-35
- Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. Epidemiology 1996;7:20-28
- Seaton A, MacNee W, Donaldson K, Godden D. Particulate air pollution and acute health effects. Lancet 1995;345:176-178
- Styer P, McMillan N, Gao F, Davis J, Sacks J. Effect of outdoor airborne particulate matter on daily death counts. Environ Health Perspect 1995;103:490-497