도시 대기오염의 위해 평가에 있어서 황사효과 분석 —서울시 총사망 및 원인별 사망률에 미치는 영향—

손지영*,** · 조용성*** · 김윤신* · 이종태****† · 김연정*****

*한양대학교 일반대학원 보건학과, **School of Forestry and Environmental Studies, Yale University,

***Department of Epidemiology, School of Public Health, UCLA

****고려대학교 보건과학대학 환경보건학과, *****서울의료원 의학연구소

(2009. 5. 3. 접수/2009. 5. 12. 수정/2009. 6. 19. 채택)

An Analysis of Air Pollution Effect in Urban Area Related to Asian Dust on All-cause and Cause-specific Mortality in Seoul, Korea, 2000-2006

Ji-Young Son**** · Yong-Sung Cho*** · Yoon-Shin Kim* ·

Jong-Tae Lee*****† · Yeon-Jung Kim*****

*Department of Public Health, Hanyang University, Seoul, Korea

**School of Forestry and Environmental Studies, Yale University, CT, USA

***Department of Epidemiology, School of Public Health, UCLA, CA, USA

****Department of Environmental Health, College of Health Science, Korea University, Seoul, Korea

*****Affiliated Research Institute of Seoul Medical Center

(Received May 3, 2009/Revised May 12, 2009/Accepted June 19, 2009)

ABSTRACT

The objectives of this study were to compare the relative risk of all-cause mortality and cause-specific mortality associated with Asian dust events, and especially to investigate the effects on the susceptible population such as the elderly and children, which were based on the data in Seoul from 2000 to 2006. Both of the study periods with/without Asian dust days, respiratory-cause mortality was the highest, followed by cardiovascular-cause mortality and all-cause mortality in sequence among mortality related to air pollution for all-aged group. As to susceptible group, the relative risk of mortality is the highest for +65 yrs group among all-cause mortality. According to comparison of mortality with/without Asian dust days, the relative risk of all-cause mortality is larger in the model with Asian dust days than the one in the model without Asian dust days among all age group (except for under 15 yrs group) and all air pollutants. The relative risk of cause-specific mortality (except for ozone in under 15 yrs group in case of respiratory-cause mortality, and ozone in all age group and over 65 yrs group in case of cardiovascular-cause mortality) per IQR increase of each pollutant is larger in the model without Asian dust days.

Keywords: Asian dust, all-cause mortality, cause-specific mortality, susceptible population, air pollution

I. 서 론

황사(Yellow Sand, Asian dust, Sand Storm)에 관한 최초의 기록은 삼국사기에서 찾아볼 수 있을 정도로 오래된 자연현상이다.¹⁾ 주로 중국 북부의 황토지대

에서 상승기류에 의해 부유된 미세한 모래먼지가 대기 중에 확산되어 기류를 타고 이동한 이후 서서히 강하하는 현상 또는 강하하는 모래먼지를 말하는 것으로 우리나라의 대기질에 영향을 미치는 오염물질의 장거리 수송에 대한 대표적인 예라 할 수 있다. 대규모적인 모래먼지의 이동현상인 황사는 시정 및 대기질 악화의 중요한 원인이 되고 있으며 대기 중 고농도의 먼지입자는 정밀기계의 손상 등 각종 재산상의 피해와 식물의 생태계에도 심각한 영향을 초래하고 호흡기 및 안질환

†Corresponding author : Department of Environmental Health, College of Health Science, Korea University
Tel: 82-2-940-2867, Fax: 82-2-2298-0248
E-mail : jtlee@korea.ac.kr

증가 등 그 영향범위가 광대하다.^{2,3)}

이러한 황사의 건강영향에 관한 연구로는 알려지나 천식환자의 증가 및 호흡기 질환 악화,^{4,6)} 일부 천식 환자에 있어서 상부기도 증상 악화 및 폐기능의 저하를 초래하는 것으로 보고되었고,⁷⁾ 응급실 방문 및 입원,⁸⁻¹⁰⁾ 심혈관계 및 호흡기계 질환으로 인한 사망률과도 연관성이 있는 것으로 나타났다.¹¹⁾

그러나 최근의 황사입자의 물리화학적 조성 등에 관한 연구에 따르면 황사기간 동안에 대기는 직경이 더 큰 조대입자로 구성이 되며 유해중금속의 농도에 있어서도 뚜렷한 변화를 보이지 않거나 오히려 감소하는 것으로 보고되었다.^{12,13)} 또한 황사의 경우에는 일반인이 사전인지를 통해 예방적 행동유형을 보일 수 있다는 특성을 가지고 있어 이러한 황사 특성의 고려가 황사 위험평가에 있어서 중요한 부분인 될 수 있음을 시사하고 있다. Lee 등(2007)은 서울시 2000년부터 2004년까지 황사시기를 포함한 경우와 포함하지 않은 경우로 나누어 황사현상으로 인한 대기먼지가 총사망에 미치는 영향을 비교한 결과, 총사망에 미치는 대기먼지의 영향은, 황사시기를 포함하여 분석한 경우보다 황사시기를 제외하고 분석한 경우에서 더 큰 건강영향을 보이는 것으로 보고하고, 도시 대기오염의 건강위해성을 평가함에 있어서 황사시기를 포함하여 분석하는 경우 도시 대기먼지의 위해도를 과소평가할 가능성이 있음을 제시하였다.¹⁴⁾

또한 이전의 대기오염 관련 연구들에서 특히 어린이나 노인들의 경우 대기분진과 같은 대기오염물질의 영향에 매우 민감한 것으로 알려져 있으나,¹⁵⁾ 황사의 건

강영향에 대한 연구에 있어서는 민감군에 대한 연구가 상당히 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 서울시 2000년부터 2006년까지의 자료를 토대로 황사시기 포함여부에 따른 대기오염이 총사망 및 질환별 사망률에 미치는 상대적 영향을 비교하고, 어린이 및 노인과 같은 민감군에 있어서의 영향을 확인하고자 하였다.

II. 연구방법

본 연구는 시계열 분석방법을 이용하여 2000년부터 2006년까지의 서울특별시 인구집단을 대상으로 일일 사망자료와 환경측정자료 및 기상자료를 이용하여 황사일 포함 여부에 따른 도시 대기오염이 일별 총 사망, 호흡기계 사망 및 심혈관계 사망에 미치는 영향을 비교·추정하였다.

1. 연구대상기간 및 지역

연구대상지역인 서울특별시는 대한민국의 수도로서 한강하류에 위치하였고 전 국민의 22% 이상인 약 1,000만 여명의 인구가 거주하는 대도시로 면적은 606.58 km²이며, 연간 교통량은 약 30억대인 것으로 보고되고 있다(Fig. 1).

연구기간은 2000년 1월 1일부터 2006년 12월 31일(7년)까지 총 2,557일이었으며, 이 기간 중 황사가 발생한 일은 총 85일이었다(Table 1). 따라서 본 연구에서는 황사가 발생한 85일을 포함한 황사포함기간과 황사가 포함되지 않은 황사불포함 기간으로 구분하여 각각

Fig. 1. Location of monitoring stations, population demographics and traffic density in Seoul. The circles mark the location of 27 monitoring stations for air pollutants.

Table 1. Asian dust days in Seoul, Korea, 2000-2006

Year	Date
2000	7 March, 23-24 March, 27-28 March
	7-8 April, 23 April, 26-27 April
	2 January
2001	3-7 March, 20-25 March
	7-12 April, 24-26 April
	16-19 May
	13-14 December
2002	12-13 January
	17-19 March, 21-23 March
	8-10 April, 12 April, 16-17 April
	11-12 November
2003	27 March
	12-13 April
2004	25 February
	10-11 March, 30-31 March
	23 April
2005	29 March
	7 April, 10 April, 14-15 April, 20-22 April,
	28-29 April
	6-7 November
2006	11 March, 13 March, 28 March
	7-9 April, 18 April, 23-24 April, 30 April
	1 May

Note. The National Meteorological Administration of the Republic of Korea provided information on the occurrence of AD events each day.

의 대기오염으로 인한 사망위해도를 분석하였다.

2. 연구자료

1) 사망자료

본 연구기간 동안 서울시에서 발생한 사망자료를 통계청으로부터 얻어 일별 사망자 수를 산출하였다. 사망 원인별 분류에서 대기오염과의 연관성이 거의 없을 것으로 생각되는 사고사나 외인사로 인한 사망(ICD 10th, V01-Y89)은 분석에서 제외하였다. 따라서 최종 원인별 사망구분은 외인사를 제외한 총사망(ICD 10th, A00-R99)과 대기오염과 관련이 높은 것으로 보고되고 있는 호흡기계 사망(ICD 10th, J00-J99) 및 심혈관계 사망(ICD 10th, I00-I99)으로 구분하여 분석하였다. 또한, 연령에 따른 대기오염 노출의 민감집단을 확인하기 위하여 전체연령, 소아(0~14세), 노인(65세 이상)으로 나누어 분석하였다.

2) 대기자료

본 연구에서는 서울특별시에 설치된 총 27개 대기오

염 자동측정소에서 상시 측정된 미세먼지(PM₁₀), 아황산가스(SO₂), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃), 일산화탄소(CO)의 5개 물질의 시간별 원자료를 국립환경과학원으로부터 얻어, 각 오염물질별로 일별 대표값을 구하였다. 미세먼지(PM₁₀), 아황산가스(SO₂), 그리고 이산화질소(NO₂)의 경우 먼저 시간별로 측정지점 전체 평균값을 구하고 이들 24개의 시간별 평균값을 이용하여 일일평균값을 구하였다. 이는 각 측정지점에서 연속적으로 측정값이 빠지게 될 경우를 보정하기 위함이다. 또한, 오존(O₃)과 일산화탄소(CO)의 경우는 각 측정지점에서의 일일 8시간 이동평균값(17개일)의 최대값을 이용하여 일일평균값을 구하였다.¹⁶⁻¹⁸⁾

3) 기상자료

기상자료는 기상청에서 측정한 자료 중 기온, 상대습도 및 해면기압을 이용하였는데 이는 사망률의 일일 변동이 기온, 습도 및 해면기압의 변화에 따라 연관성이 큰 것으로 보고되고 있기 때문이다.¹⁹⁾ 따라서 본 연구에서는 사망발생과 동일한 날의 기상자료를 혼란변수로 적용하여 분석하였으며 이들 자료의 일별평균값을 이용하였다.

3. 통계분석

본 연구에서 종속변수는 서울특별시에서 발생한 당일 사망자수 중 총 사망, 호흡기계 사망 및 심혈관계 사망을 대상으로 분석하였으며, 독립변수는 대기오염물질농도(PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃, CO)와 요일(day of week) 및 기온, 상대습도, 해면기압 등의 기상변수를 사용하였다. 또한 황사시기 포함여부에 따른 영향을 분석하기 위해 황사일을 포함한 경우와 포함하지 않은 경우의 두 그룹으로 나누어 각각 분석하였다. 각 그룹별로 각 대기오염물질농도의 IQR 증가당 사망의 상대위험도를 추정하였다.

대기오염의 영향은 사망당일에 즉시 영향을 보일 수도 있지만 며칠 후에 영향이 나타나는 지연효과를 보일 수 있으므로 사망당일과 1~3일 전의 대기오염농도로 구분하여 lag-time을 주어 일별 사망과 가장 높은 연관성을 보이는(AIC가 가장 작은) lag-time을 선정하였다.

일반적으로 일별 사망은 전체 인구집단으로 볼 때 매우 드문 사건이며 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)의 일반식은

다음과 같다.

$$\text{LnE}(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_i X_i$$

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 일일 변동은 대기기온, 상대습도 및 해면기압의 변화와 밀접한 관련성이 있다는 여러 연구^{20,21)}들에 따라 본 연구에서는 사망발생과 동일한 날의 기상 조건을 혼란변수로 적용하여 통계분석에 이용하였다.

장기적인 추세변동과 계절변동, 기상요인, 요일 및 대기오염 노출 등 본 연구에 영향을 미칠 수 있는 혼란변수들을 보정한 상태에서 예측변수에 대한 변환함수를 통해 비선형적 관계를 반영하기 위해 비모수적 평활(nonparametric smoothing)에 의해 회귀분석을 적합시키는 일반화 부가모형(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.

한편, 최근에는 위의 일반화 부가모형의 오류(default convergency)를 보정하도록 설계한 GAM-control 모델이 이용되고 있으며, 본 연구에서도 이와 같은 GAM의 default 수렴기준을 사용했을 때의 bias를 최소화하기 위해 GAM-control을 사용하였다.²²⁾ 사망에 대한 장기추세, 계절변동, 기온, 습도, 기압, 요일 효과들이 포함된 최종 모형은 다음과 같다.

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

여기서, S 는 Loess 평활함수이며, D 는 가변수(Dummy variable)를 나타내었다.

최종 확정된 기본 모형에 5가지 오염물질(PM_{10} , SO_2 , NO_2 , O_3 , CO)을 하나씩 포함시켜 황사시기 포함 여부에 따른 연령그룹별 총 사망, 호흡기 사망, 심혈관계 사망에 미치는 영향을 분석하였다. 황사시기 포함 여부에 따른 건강영향의 크기 차이를 보기 위해 황사일을 포함한 경우와 포함하지 않은 경우로 나누어 각각 분석을 실시하였으며 혼란변수를 보정한 상태에서 각각의 대기오염 물질이 IQR만큼 증가할 때 총 사망 및 원인별 사망에 영향을 미치는 교차비를 살펴보았다. 분석은 SAS 8.1 (SAS Institute, Inc., Cary, NC)과 SPLUS 2000 (Statistical Sciences, Seattle, WA)을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

Table 2는 2,557일의 총 연구기간(2000년 1월 1일부터 2006년 12월 31일)동안 황사일 포함여부에 따른 서울시의 일평균 사망자수, 대기오염물질 및 기상요인에 대한 기술통계량을 나타낸 표이다. 황사일을 포함한 경우, 일 평균 사망 중 총 사망자수의 경우, 전체 연령에서는 93.03명, 15세 미만은 1.55명, 65세 이상은 59.91명이었다. 호흡기계 사망자수의 경우, 전체 연령은 5.49명, 15세 미만은 0.06명, 65세 이상은 4.54명이었으며, 심혈관계 사망자수의 경우에는 전체 연령 25.62명, 15세 미만 0.07명, 65세 이상 18.49명으로 조사되어 심혈관계로 인한 전체 연령 사망이 호흡기계로 인한 사망보다 높은 사망자수를 나타내었다. 한편, 대기오염물질인 CO , O_3 , PM_{10} , NO_2 , SO_2 의 일 평균값은 각각 0.86 ppm, 27.39 ppb, 66.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 36.75 ppb, 그리고 5.27 ppb로 나타나 국가 대기환경기준치 및 서울특별시

Table 2. Summary statistics for daily air pollution, weather, and death counts on model with/without Asian Dust Days in Seoul, 2000-2006

Variable		Mean (SD) ^a	
		Model with Asian Dust days (N=2557)	Model without Asian Dust days (N=2472)
Air pollutants			
CO (ppm)		0.86 (0.40)	0.86 (0.40)
O ₃ (ppb)		27.39 (15.06)	27.25 (15.13)
PM ₁₀ (μg/m ³)		66.76 (46.98)	62.76 (32.26)
NO ₂ (ppb)		36.75 (12.16)	36.82 (12.17)
SO ₂ (ppb)		5.27 (2.21)	5.26 (2.21)
Weather			
Temperature (°C)		12.81 (10.19)	12.92 (10.30)
Humidity (%)		61.94 (14.55)	62.21 (14.46)
Pressure (hPa)		1016.09 (8.15)	1016.20 (8.20)
Death counts (per day)			
All-cause	All-aged	93.03 (11.74)	92.94 (11.79)
	Under 15 yrs	1.55 (1.34)	1.55 (1.35)
	65 ⁺ yrs	59.91 (9.50)	59.86 (9.52)
Respiratory	All-aged	5.49 (2.59)	5.47 (2.59)
	Under 15 yrs	0.06 (0.26)	0.06 (0.25)
	65 ⁺ yrs	4.54 (2.31)	4.52 (2.32)
Cardiovascular	All-aged	25.62 (5.51)	25.62 (5.51)
	Under 15 yrs	0.07 (0.26)	0.06 (0.26)
	65 ⁺ yrs	18.49 (4.71)	18.49 (4.71)

^aSD, Standard Deviation.

대기환경기준치를 모두 초과하지 않았다. 동일한 연구기간 동안 기온, 상대습도 및 해면기압의 일평균은 각각 12.81°C, 61.94%, 그리고 1016.09 hPa로 나타났다.

황사 발생일을 포함하지 않은 경우, 모든 변수들의 일 평균값은 거의 유사한 값을 나타내었으나 미세먼지의 경우 평균이 66.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 62.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 감소하여 이미 알려진 바와 같이 황사가 미세먼지 농도에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

Fig. 2는 2000년부터 2006년까지 각 연도별 PM_{10} 의 일평균 농도변화 추세를 나타내는 그림으로, 황사 기간 동안 PM_{10} 농도는 비황사 기간과 비교하여 높은 수준을 나타내었다.

Table 3~5는 황사발생일을 포함한 경우와 황사발생일을 포함하지 않은 경우 각 그룹별로 대기오염으로 인한 총 사망, 호흡기 사망, 그리고 심혈관계 사망의 위험도를 비교한 표이다.

Table 3은 황사발생일을 포함한 경우와 황사발생일을 포함하지 않은 경우 각 그룹별로 각 대기오염물질이 IQR만큼 증가할 때 총 사망의 위험도를 전체연령, 15세 미만 소아, 65세 이상 노인으로 구분하여 비교한 것이다. 황사발생일을 포함한 경우, 전체연령에서 O_3 을 제외한 모든 오염물질에서 통계적으로 유의한 양의 연관성을 나타내었다. CO의 경우 0.5 ppm 증가함에 따라 총 사망위해도가 3.1% 증가[1.031(1.025-1.038)]하였으

며, PM_{10} 은 41.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가함에 따라 총 사망위해도가 0.5% 증가[1.005(1.002-1.009)], NO_2 는 17.84 ppb 증가함에 따라 총 사망위해도가 2.7% 증가[1.027(1.020-1.033)]하였고, SO_2 역시 3 ppb 증가함에 따라 총 사망위해도가 2.4% 증가[1.024(1.018-1.030)]하였다. 반면 15세 미만 소아의 경우에는 전체연령과는 상반되게 O_3 만이 통계적으로 유의한 결과를 나타내었다. O_3 농도가 20.80 ppb 증가함에 따라 15세 미만 어린이의 총 사망위해도가 통계적으로 유의하게 8.2% 증가[1.082(1.029-1.139)]하였다. 한편, 65세 이상 노인의 경우에는 전체연령과 유사한 양상을 보였으나 사망에 대한 효과크기가 전체연령에 비해 높게 나타났다. 전체적인 분석결과, 황사발생일을 포함한 서울시 총 사망의 경우 65세 이상의 노인이 대기오염에 가장 영향을 많이 받는 것으로 나타났으며, 노인과 함께 대기오염에 민감한 집단이라고 보고되고 있는 15세 미만 어린이의 경우에는 총 사망위해도가 전체연령에 비해 높지 않은 것으로 나타났다.

황사발생일 포함여부에 따른 비교에 있어서는 전체연령과 65세 이상 노인의 경우, 총 사망위해도가 모든 오염물질에 있어서 황사발생일을 포함하지 않은 경우가 황사발생일을 포함한 경우보다 더 큰 것으로 나타났다. PM_{10} 의 경우 황사발생일을 포함하지 않은 경우 총 사망이 1.2%[1.012(1.007-1.018)] 증가하는 것으로 나타나, 황사발생일을 포함하여 분석한 경우 (0.5%[1.005

Fig. 2. Mean concentrations of PM_{10} in Seoul, Korea, 2000-2006 (dotted line: main period of Asian Dust; March and April).

Table 3. Comparisons of analysis results from all-cause mortality for all-aged, under 15 yrs, and 65+ yrs by Poisson regression analysis with/without Asian Dust Days in Seoul, 2000-2006

Pollutant [lag]	Relative risk (95% CI)	
	With Asian Dust Days	Without Asian Dust Days
(All-aged)		
CO [lag1]	1.031 (1.025-1.038)	1.032 (1.026-1.039)
O ₃ [lag3]	1.001 (0.994-1.008)	1.002 (0.995-1.009)
PM ₁₀ [lag2]	1.005 (1.002-1.009)	1.012 (1.007-1.018)
NO ₂ [lag1]	1.027 (1.020-1.033)	1.029 (1.022-1.035)
SO ₂ [lag1]	1.024 (1.018-1.030)	1.025 (1.019-1.031)
(Under 15 yrs)		
CO [lag0]	1.034 (0.985-1.085)	1.027 (0.977-1.080)
O ₃ [lag2]	1.082 (1.029-1.139)	1.085 (1.030-1.142)
PM ₁₀ [lag3]	1.002 (0.974-1.030)	1.013 (0.971-1.056)
NO ₂ [lag0]	1.032 (0.982-1.085)	1.009 (0.961-1.060)
SO ₂ [lag1]	1.021 (0.974-1.071)	1.025 (0.976-1.076)
(Over 65 yrs)		
CO [lag1]	1.035 (1.027-1.043)	1.037 (1.029-1.046)
O ₃ [lag2]	1.003 (0.995-1.012)	1.005 (0.996-1.013)
PM ₁₀ [lag3]	1.006 (1.002-1.011)	1.013 (1.005-1.020)
NO ₂ [lag1]	1.031 (1.023-1.039)	1.035 (1.027-1.043)
SO ₂ [lag1]	1.027 (1.019-1.034)	1.029 (1.021-1.037)

An IQR is 0.50 ppm for CO, 20.80 ppb for O₃, 41.68 µg/m³ for PM₁₀, 17.84 ppb for NO₂, 3.00 ppb for SO₂.

The model included the following variables: an intercept, indicator variables for days of the week, and smooth spline functions for date, temperature, humidity, and air pressure.

(1.002-1.009)] 보다 PM₁₀이 총 사망에 미치는 위험의 크기가 더 큰 것으로 나타났으며 이는 통계적으로 유의하였다. 65세 이상 연령의 경우도 전체연령과 마찬가지로 모든 오염물질에 있어서 황사발생일을 포함하지 않은 경우의 총 사망위해도가 황사발생일을 포함한 총 사망위해도에 비해 더 큰 것으로 나타났으며, PM₁₀의 경우 황사발생일을 포함하지 않은 경우 총 사망이 통계적으로 유의하게 1.3%[1.013(1.005-1.020)] 증가하였고, 황사발생일을 포함하여 분석한 경우 총 사망위해도가 통계적으로 유의하게 0.6%[1.006(1.002-1.011)] 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 15세 미만 어린이의 경우에는 황사발생과 관련하여 일관된 결과를 나타내지 않았다.

Table 4는 황사발생일을 포함한 경우와 황사발생일을 포함하지 않은 경우 각 그룹별로 각 대기오염물질이 IQR만큼 증가할 때 호흡기계 사망의 위험도를 전체연

Table 4. Comparisons of analysis results from respiratory-cause mortality for all-aged, under 15 yrs, and 65+ yrs by Poisson regression analysis with/without Asian Dust Days in Seoul, 2000-2006

Pollutant [lag]	Relative risk (95% CI)	
	With Asian Dust Days	Without Asian Dust Days
(All-aged)		
CO [lag1]	1.060 (1.034-1.087)	1.058 (1.031-1.086)
O ₃ [lag3]	1.009 (0.982-1.037)	1.019 (0.991-1.047)
PM ₁₀ [lag2]	1.014 (0.999-1.029)	1.015 (0.992-1.039)
NO ₂ [lag1]	1.056 (1.030-1.084)	1.058 (1.030-1.086)
SO ₂ [lag2]	1.044 (1.018-1.071)	1.039 (1.012-1.066)
(Under 15 yrs)		
CO [lag0]	1.153 (0.837-1.587)	1.306 (0.944-1.807)
O ₃ [lag1]	1.368 (0.950-1.969)	1.307 (0.898-1.903)
PM ₁₀ [lag3]	1.018 (0.847-1.224)	1.135 (0.850-1.517)
NO ₂ [lag0]	1.236 (0.883-1.730)	1.399 (0.994-1.969)
SO ₂ [lag1]	1.121 (0.816-1.542)	1.223 (0.886-1.688)
(Over 65 yrs)		
CO [lag2]	1.043 (1.014-1.072)	1.033 (1.003-1.063)
O ₃ [lag3]	1.009 (0.979-1.040)	1.017 (0.986-1.049)
PM ₁₀ [lag2]	1.014 (0.998-1.031)	1.012 (0.987-1.039)
NO ₂ [lag2]	1.039 (1.010-1.070)	1.036 (1.006-1.067)
SO ₂ [lag2]	1.043 (1.015-1.073)	1.019 (0.990-1.049)

An IQR is 0.50 ppm for CO, 20.80 ppb for O₃, 41.68 µg/m³ for PM₁₀, 17.84 ppb for NO₂, 3.00 ppb for SO₂.

The model included the following variables: an intercept, indicator variables for days of the week, and smooth spline functions for date, temperature, humidity, and air pressure.

령, 15세 미만 소아, 65세 이상 노인으로 구분하여 비교한 것이다.

황사발생일을 포함한 경우, 전체연령에서 CO, NO₂, 그리고 SO₂가 통계적으로 유의한 양의 연관성을 나타내었다. CO의 경우 0.5 ppm 증가함에 따라 호흡기계 사망위해도가 통계적으로 유의하게 6.0% 증가[1.060(1.034-1.087)]하였으며, NO₂는 17.84 ppb 증가함에 따라 호흡기계 사망위해도가 통계적으로 유의하게 5.6% 증가[1.056(1.030-1.084)]하였고, SO₂ 역시 3 ppb 증가함에 따라 호흡기계 사망위해도가 통계적으로 유의하게 4.4% 증가[1.044(1.018-1.071)]한 결과를 나타내었다. 반면 15세 미만 어린이의 경우에는 통계적으로 유의한 결과를 나타낸 오염물질이 존재하지 않았다. 65세 이상 노인의 경우에는 전체연령과 유사한 양상을 보였으나 사망에 대한 효과크기가 전체연령에 비해 낮게 나타났다. 전체적인 분석결과, 황사발생일을 포함한 서울

시 호흡기계 사망의 경우에는 연령에 따른 민감집단을 확인할 수 없었다.

호흡기계 사망의 경우에는 15세 미만 소아에서 오존을 제외하고 모든 오염물질에서 황사발생일을 포함하지 않은 경우에서 대기오염이 호흡기계 사망에 미치는 위험의 크기가 더 큰 것으로 나타났으나 통계적으로 유의하지는 않았다.

Table 5는 황사발생일을 포함한 경우와 황사발생일을 포함하지 않은 경우 각 그룹별로 각 대기오염물질이 IQR만큼 증가할 때 심혈관계 사망의 위험도를 전체연령, 15세 미만 소아, 65세 이상 노인으로 구분하여 비교한 것이다.

황사발생일을 포함한 전체연령의 경우 CO, NO₂, 그리고 SO₂가 통계적으로 유의한 양의 연관성을 나타내었다. CO, NO₂, 그리고 SO₂ 각 오염물질별로 IQR 만큼 증가할 때 심혈관계 사망의 위험은 각각 3.9%,

2.7%, 2.8% 증가하는 것으로 나타났다. 반면 15세 미만 어린이의 경우에는 호흡기계 사망과 마찬가지로 통계적으로 유의한 결과를 나타낸 오염물질이 존재하지 않았다. 65세 이상 노인의 경우에는 전체연령과 유사한 양상을 보였으나 사망에 대한 효과크기가 전체연령과 비교해 일관되게 높게 나타나지는 않았다.

황사발생일 포함여부에 따른 심혈관계 사망의 위험을 비교한 결과, 65세 이상 노인에서 오존을 제외하고 모든 오염물질에서 황사시기를 제외하고 분석한 경우가 대기오염이 심혈관계 사망에 미치는 위험의 크기가 더 큰 것으로 나타났으며 통계적으로 유의하였다.

본 연구에서는 황사시기 포함 여부에 따른 건강영향의 크기 차이를 보기 위해 황사일을 포함한 경우와 포함하지 않은 경우로 나누어 대기오염이 총 사망 및 원인별 사망에 미치는 영향을 각각 분석하였고 그 결과 총 사망의 경우 15세 미만 소아를 제외하고 모든 연령 그룹 및 모든 오염물질에서 황사시기를 포함하지 않은 경우가 대기오염이 총사망에 미치는 위험의 크기가 더 크게 나타났다. 호흡기 사망의 경우에는 15세 미만 소아에서 오존을 제외하고 모든 오염물질에서, 심혈관계 사망의 경우에는 전체연령 및 65세 이상 노인에서 오존을 제외하고 모든 오염물질에서 혼란변수를 보정한 상태에서 각각의 대기오염 물질이 IQR만큼 증가할 때 각 원인별 사망에 미치는 위험의 크기가 황사시기를 제외하고 분석한 경우에 더 큰 것으로 나타났다.

이와 같은 연구결과는 기존의 연구결과와 일치하는 것으로 Lee 등은 다음과 같은 두 가지 측면에서 그 결과를 설명하였다. 첫째는 황사의 화학적 조성이 인체독성이 상대적으로 적은 것들로 구성되어 있다는 점으로, 황사 발생시 먼지농도(서울, 2001, 시간최고농도 473~999 µg/m³)는 평상시(서울 2000년 평균 72 µg/m³)보다 7~14배 높게 나타나지만 실제로 미세먼지농도의 상대적 비율은 감소하고 조대먼지 농도의 상대적 비율은 증가했으며,¹²⁾ 황사시 중금속 오염도는, 일반 토양에 많이 함유된 철, 망간, 니켈 등의 중금속은 평상시보다 높게 측정되었으나, 인체 및 환경에 유해한 납과 카드뮴 등 유해 중금속의 오염도는 뚜렷한 변화를 찾기 어려웠다. 둘째는 황사발생시점에 사람들의 행동양식의 변화를 들 수 있다. 황사의 경우 여타의 대기오염과 다르게 일반인이 쉽게 발생유무를 인지할 수 있으며, 또한 최근 기상청 등에서의 예보로 인하여 황사발생에 대한 사전정보 취득이 가능하다. 이로 인해 사람들의 행동패턴도 변화된다. 예를 들어 황사시기에는 가능한 한 외출을 삼가고 외출을 하더라도 마스크 등을 착용하고 귀가 시에도 평소보다 더 얼굴과 손발 등을 깨끗이 씻는

Table 5. Comparisons of analysis results from cardiovascular-cause mortality for all-aged, under 15 yrs, 65+ yrs by Poisson regression analysis with/without Asian Dust Days in Seoul, 2000-2006

Pollutant [lag]	Relative risk (95% CI)	
	With Asian Dust Days	Without Asian Dust Days
(All-aged)		
CO [lag1]	1.039 (1.027-1.051)	1.044 (1.031-1.057)
O ₃ [lag1]	1.012 (0.999-1.026)	1.011 (0.998-1.025)
PM ₁₀ [lag3]	1.002 (0.995-1.009)	1.008 (0.997-1.018)
NO ₂ [lag2]	1.027 (1.014-1.039)	1.028 (1.015-1.040)
SO ₂ [lag1]	1.028 (1.017-1.040)	1.034 (1.022-1.046)
(Under 15 yrs)		
CO [lag1]	1.067 (0.778-1.463)	1.008 (0.724-1.403)
O ₃ [lag1]	1.218 (0.844-1.759)	1.258 (0.867-1.826)
PM ₁₀ [lag1]	0.927 (0.728-1.180)	1.003 (0.751-1.340)
NO ₂ [lag0]	1.018 (0.731-1.417)	0.700 (0.486-1.010)
SO ₂ [lag0]	1.033 (0.750-1.422)	0.663 (0.456-0.963)
(Over 65 yrs)		
CO [lag2]	1.037 (1.023-1.052)	1.044 (1.029-1.059)
O ₃ [lag3]	1.001 (0.986-1.016)	1.001 (0.985-1.016)
PM ₁₀ [lag3]	1.004 (0.996-1.013)	1.021 (1.009-1.034)
NO ₂ [lag2]	1.034 (1.020-1.049)	1.037 (1.022-1.052)
SO ₂ [lag1]	1.027 (1.013-1.041)	1.034 (1.020-1.049)

An IQR is 0.50 ppm for CO, 20.80 ppb for O₃, 41.68 µg/m³ for PM10, 17.84 ppb for NO₂, 3.00 ppb for SO₂.

The model included the following variables: an intercept, indicator variables for days of the week, and smooth spline functions for date, temperature, humidity, and air pressure.

등의 행동 변화를 보이게 된다. 이는 황사시기에 평소보다 외부환경에 대한 노출이 더 감소함을 의미하는 것이다.¹⁴⁾

황사의 화학적 조성과 관련하여 2001년 봄철 안면도에서 관측된 황사의 물리·화학적 특성에 관해 조사한 최재천 등의 연구에서는 황사시 오염물질의 경우 황산염과 질산염을 비롯하여 모든 물질이 2배 이상의 증가량을 보였으며 특히 토양이 기원인 칼슘은 비황사시에 비해 황사시에 8.3배의 증가량을 보이는 것으로 보고하였다.²³⁾ 2001년 황사와 비황사기간의 중금속 농도분포 특성을 연구한 최규훈 등의 연구에서는 서울시 북동부에 소재한 세종대학교를 중심으로 2001년 황사가 발생한 전후 기간을 중심으로 부유분진 및 중금속 성분들의 분포양상을 비교분석하였다. 황사/비황사 기간의 농도비를 비교한 결과 Al, Fe을 비롯한 주원소성분들이 중금속 성분들에 비해 훨씬 높은 농도비를 보였다고 보고하였다. 이는 황사시 지각성분의 유입률이 유해한 중금속류보다 훨씬 두드러졌음을 나타내는 결과이며 유해한 금속성분들의 상대적 함량이 특별히 과다한 수준에 도달하지는 않는 것으로 보고하였다.²⁴⁾

황사전후의 활동양상을 조사한 이보은 등의 연구에서는 황사에 의한 영향을 더 많이 받을 것이라고 예상되는 어린이나 노약자 등 취약계층에서 실제로 황사시기에 어떤 증상을 호소하며 황사에 의한 영향을 줄이기 위해 어떤 행동을 하는지에 대해 조사하기 위해 서울시 소재한 일개 초등학교 2개 학년 학생들을 대상으로 설문조사를 실시하여 황사시의 건강증상과 행동변화를 조사하였다. 연구결과에 따르면 황사기간 많은 학생들이 야외 여가 활동이나 외출을 삼가는 것으로 나타났다 황사에 의한 영향을 감소시키는 예방행동에 해당하는 마스크 착용에 있어서 저학년과 고학년 모두에서 절반 정도의 학생들이 마스크를 착용한 것으로 보고하였다.²⁵⁾

임형준 등의 연구에서는 황사에 대한 수도권 거주 성인의 위험도 인식을 조사하기 위해 서울 및 수도권에 거주하는 20세 이상 성인 남녀 총 500명을 대상으로 2003년 5월 12일부터 5월 13일까지 전화설문조사를 하였다. 연구 결과 황사 관련 정보 인지율은 높은 편이었으며 황사를 다이옥신과 함께 가장 위험한 건강 유해요소로 꼽고 있고 황사가 알레르기 비염, 눈의 결막염, 기관지 천식 등과 관련이 있다고 생각하고 있었다. 전체 연구 대상자 500명 중 201명(40.2%)이 황사로 인한 신체적 불편을 경험했다고 응답했으며 전체적으로 황사현상에 대한 일반인들의 인식은 매우 부정적인 것으로 나타났다.²⁶⁾

황승식 등의 연구에서도 황사기간 동안에 PM₁₀ 농도가 매우 높게 상승함에도 그 위험이 매우 낮게 관찰되는 이유로 황사 현상동안 미세먼진의 입경별 분포의 차이와 단일입자 성분분석 결과 토양기원 입자가 전체 입자의 90%를 차지하여 분포하는 화학종의 종류가 다양하지 않다는 점을 지적하고 있다.²⁷⁾

본 연구에서는 민감군을 확인하기 위하여 일별 총 사망 및 원인별 사망에 대한 황사의 효과를 연령별로 구분하여 분석하였다. 그 결과 대기오염으로 인한 총 사망의 위험이 65세 이상 노인 그룹에서 가장 큰 것으로 나타났고 호흡기 및 심혈관계 사망의 위험 크기가 총 사망보다 더 큰 것으로 나타났다. 이는 기존의 연구결과와 일치하는 것으로 1995년부터 1998년까지 서울 지역을 대상으로 일별 사망에 대한 황사의 효과를 분석한 다른 연구에서도 통계적으로 유의하지는 않았으나 총사망, 호흡기 및 심혈관계 사망과 양의 상관관계가 있으며 특히 호흡기 및 심혈관계 사망이 총사망보다 더 큰 양의 상관관계를 보였고 65세 이상 고연령 사망자와 호흡기 및 심장질환자들이 민감군일 수 있음을 제안하였다.¹¹⁾ 또한 전체연령과 65세 이상 노인 그룹을 대상으로 대기오염으로 인한 사망의 위험을 조사한 Filleul 등의 연구에서도, 두 연령 그룹 모두에서 대기오염과 외인사를 제외한 총사망 및 원인별 사망 간에 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보였고, 특히 65세 이상 노인 그룹의 호흡기계 사망 위험의 크기가 더 큰 것으로 보고하였다.²⁸⁾ Kan 등의 연구결과에서도 65세 이상 노인 그룹이 대기오염에 가장 취약한 그룹임을 보고하였고 이는 65세 이상 고연령 그룹의 경우 어린 연령 그룹에 비해 이미 호흡기계 및 심혈관계 질환에 노출되어 있을 가능성이 크고 따라서 심혈관 및 폐질환 등의 질환자와의 중복이 있기 때문으로 설명하였다.²⁹⁾

한편, 본 연구결과로는 15세 미만 연령 그룹에 있어서 뚜렷하게 민감군임을 확인할 수 없었다. 민감군 확인을 위해 수행된 브라질의 한 연구에서는 20세 미만 어린이와 청소년을 대상으로 5개 연령그룹(2세 미만, 3-5세, 6-13세, 14-19세, 전체)으로 나누어 대기오염으로 인한 호흡기계 질환 입원의 위험을 조사하였다. 그 결과 2세 미만의 연령이 가장 어린 그룹과 14-19세 그룹에서 대기오염으로 인한 호흡기 질환 입원의 위험이 가장 큰 것으로 나타났다.³⁰⁾ 따라서 이와 관련하여 소아 민감군 확인을 위해서는 추후 연령 그룹을 좀 더 세분화하여 분석할 필요가 있을 것으로 생각된다.

지금까지 황사에 대한 기존 연구들은 황사의 물리화학적 특성 및 환경오염도 변화에 대한 연구가 대부분이며 황사의 건강영향에 대한 연구는 상당히 미흡했

다. 또한 황사의 건강영향과 관련한 연구에 있어서도 대부분이 황사발생시 급증하는 미세먼지의 건강영향과 관련한 연구가 주를 이루었으며, 지금까지 제시된 대부분의 역학연구 결과들은 황사노출과 일상적인 대기오염 노출과의 상대적인 비교가 이루어지지 않은 것으로 이러한 위해도가 상호 비교되어야 할 필요가 있다. 이러한 점에서 본 연구결과를 통해 도시 대기오염의 건강위해성을 평가할 때 황사시기를 포함하여 분석하는 경우 도시 대기오염의 위해도를 과소평가할 가능성이 있으며, 지금까지 제안되는 기존의 연구결과보다 실제 도시 미세먼지의 건강영향이 훨씬 더 클 수 있음을 확인하였다. 또한 본 연구결과를 통해 지금까지 거의 이루어지지 않았던 황사의 건강영향에 있어서 민감군의 가능성을 확인하였다. 추후 연구에서는 이에 더하여 황사의 위해도를 평가하는데 있어서 황사가 가지고 있는 여타의 대기오염과는 다른 특성들, 예를 들면 황사시기의 예방행동 등과 같은 행동패턴의 변화 등이 추가로 조사되고 분석될 필요가 있다.

IV. 결 론

본 연구는 시계열 분석방법을 이용하여 서울특별시 인구집단을 대상으로 일일 사망자료와 환경측정자료 및 기상자료를 이용하여 황사일 포함여부에 따른 도시 대기오염이 일별 총 사망, 호흡기계 사망 및 심혈관계 사망에 미치는 영향을 비교하였다. 연구대상기간은 2000년 1월 1일부터 2006년 12월 31일(7년)까지 총 2,557일이었으며, 이 기간 중 황사가 발생한 일은 총 85일이었었다. 따라서 본 연구에서는 황사가 발생한 85일을 포함한 황사포함기간과 황사가 포함되지 않은 황사불포함 기간으로 구분하여 각각의 대기오염으로 인한 사망 위해도를 분석하였다.

1. 황사발생일을 포함한 연구기간 동안 CO, O₃, PM₁₀, NO₂, SO₂의 일 평균값은 각각 0.86 ppm, 27.39 ppb, 66.76 µg/m³, 36.75 ppb, 그리고 5.27 ppb이었으며, 황사발생일을 포함하지 않은 연구기간동안의 CO, O₃, PM₁₀, NO₂, SO₂의 일 평균값은 각각 0.86 ppm, 27.25 ppb, 62.76 µg/m³, 36.82 ppb, 그리고 5.26 ppb로 나타나, 미세먼지를 제외하고 나머지 오염물질의 경우 유사한 일 평균값을 나타내었다.

2. 황사발생일을 포함한 연구기간과 포함하지 않은 연구기간 모두에서, 전체 연령층의 대기오염으로 인한 사망의 위험이 호흡기계 사망에서 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 심혈관계 사망, 총 사망 순으로 나타났다. 연령별 민감집단 확인에 있어서는 총 사망의 경

우 대기오염으로 인한 사망의 위험이 65세 이상 노인 그룹에서 가장 큰 것으로 나타났다.

3. 황사발생일 포함여부에 따른 대기오염물질 노출로 인한 사망의 위험을 비교한 결과, 총 사망의 경우, 15세 미만 소아 그룹을 제외하고 모든 연령그룹 및 모든 오염물질에서 황사시기를 포함하지 않은 경우가 대기오염이 총사망에 미치는 위험의 크기가 더 큰 것으로 나타났다. 호흡기 사망의 경우에는 15세 미만 소아에서 오존을 제외하고 모든 오염물질에서, 심혈관계 사망의 경우에는 전체연령 및 65세 이상 노인에서 오존을 제외하고 모든 오염물질에서 혼란변수를 보정한 상태에서 각각의 대기오염 물질이 IQR만큼 증가할 때 각 원인별 사망에 미치는 위험의 크기가 황사시기를 제외하고 분석한 경우에 더 큰 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Wada, Y. : A report of historical observation record in Korea. Chowun-Chongdokbu, Incheon, 1917.
2. Monn, C., Carabias, V., Junker, M., Waerber, R., Karrer, M., Wanner, H. U. : Small-scale spatial variability of particulate matter < 10 µm(PM₁₀) and nitrogen dioxide. *Atmospheric Environment*, **31**, 2243-2247, 1997.
3. Kang, G. U. : Concentration characteristics and health effect assessment of atmospheric particulate matters during Asian dust storm episodes. *Journal of Environmental Health Sciences*, **35**(1), 21-35, 2009.
4. Chung, Y. S., Yoon, M. B. : On the yellow sand and a dust storm occurred in the spring of 1995. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, **32**(1), 17-27, 1996.
5. Park, J. W., Lim, Y. H., Kyung, S. Y., An, C. H., Lee, S. P., Jeong, S. H., Ju, Y. S. : Effects of ambient particulate matter on peak expiratory flow rates and respiratory symptoms of asthmatics during Asian dust periods in Korea. *Respirology*, **10**(4), 470-6, 2005.
6. Yoo, Y., Choung, J. T., Yu, J., Kim, D. K., Koh, Y. Y. : Acute effects of Asian dust events on respiratory symptoms and peak expiratory flow in children with mild asthma. *Journal of Korean Medical Science*, **23**, 66-71, 2008.
7. Min, P. K., Kim, C. W., Yoon, Y. J., Chang, J. H., Chu, J. K., Lee, K. E., Han, J. Y., Park, J. W., Hong, C. S. : Effect of yellow sand on respiratory symptoms and diurnal variation of peak expiratory flow in patients with bronchial asthma. *Korean Journal of Asthma, Allergy and Clinical Immunology*, **21**(6), 1179-1986, 2001.
8. Cheng, M. F., Ho, S. C., Chiu, H. F., Wu, T. N., Chen, P. S., Yang, C. Y. : Consequences of exposure to asian dust storm events on daily pneumonia hospital admissions in Taipei, Taiwan. *Toxicology and*

- Environmental Health*, **71**(19), 1295-1299, 2008.
9. Chiu, H. F., Tiao, M. M., Ho, S. C., Kuo, H. W., Wu, T. N., Yang, C. Y. : Effects of Asian dust storm events on hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Taipei, Taiwan. *Inhalation Toxicology*, **20**(9), 777-781, 2008.
 10. Chan, C. C., Chuang, K. J., Chen, W. J., Chang, W. T., Lee, C. T., Peng, C. M. : Increasing cardiopulmonary emergency visits by long-range transported Asian dust storms in Taiwan. *Environmental Research*, **106**(3), 393-400, 2008.
 11. Kwon, H. J., Cho, S. H., Chun, Y., Lagarde, F., Pershagen, G. : Effects of the Asian Dust events on daily mortality in Seoul, Korea. *Environmental Research*, **90**, 1-5, 2002.
 12. Chun, Y., Boo, K. O., Kim, J., Park, S. U., Lee, M. : Synopsis, transport, and physical characteristics of Asian dust in Korea. *Journal of Geophysical Research*, **106**, 18461-18469, 2001.
 13. Kim, K. H., Choi, G. H., Kang, C. H., Lee, J. H., Kim, J. Y., Youn, Y. H., Lee, S. R. : The chemical composition of fine and coarse particles in relation with the Asian Dust events. *Atmospheric Environment*, **37**, 753-765, 2003.
 14. Lee, J. T., Son, J. Y., Cho, Y. S. : A comparison of mortality related to urban air particles between periods with Asian dust days and without Asian dust days in Seoul, Korea, 2000-2004. *Environmental Research*, **105**, 409-413, 2007.
 15. 하은희 : 황사의 건강영향에 관하여. *설비저널*, **35**(4), 21-25, 2006.
 16. Pereira Filho, M. A., Pereira, L. A. A., Arbex, F. F., Arbex, M., Conceição, G. M., Santos, U. P., Lopes, A. C., Saldiva, P. H. N., Braga, A. L. F., Cendon, S. : Effect of air pollution on diabetes and cardiovascular diseases in São Paulo, Brazil. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, **41**(6), 526-532, 2008.
 17. Samoli, E., Touloumi, G., Schwartz, J., Anderson, H. R., Schindler, C., Forsberg, B., Vigotti, M. A., Vonk, J., Kosnik, M., Skorkovsky, J., Katsouyanni, K. : Short-term effects of carbon monoxide on mortality: an analysis within the APHEA project. *Environmental Health Perspectives*, **115**(11), 1578-1583, 2007.
 18. Bell, M. L., McDermott, A., Zeger, S. L., Samet, J. M., Dominici, F. : Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987-2000. *The Journal of the American Medical Association*, **292**(19), 2372-1278, 2004.
 19. Pope, C. A., Kalkstein, L. S. : Synoptic weather modeling and estimates of the exposure-response relationship between daily mortality and particulate air pollution. *Environmental Health Perspectives*, **104**, 414-420, 1996.
 20. Anderson, H. R., de Leon, A. P., Bland, J. M., Bower, J. S., Strachan, D. P. : Air pollution and daily mortality in London : 1987-92. *British Medical Journal*, **312**, 665-669, 1996.
 21. Ballester, F., Corella, D., Perez-Hoyos, S., Saez, M., Hervas, A. : Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991-1993. *International Journal of Epidemiology*, **26**, 551-561, 1997.
 22. Dominici, F., McDermott, A., Zeger, S. L., Samet, J. M. : On the use of generalized additive models in time-series studies of air pollution and health. *American Journal of Epidemiology*, **156**(3), 193-203, 2002.
 23. Choi, J. C., Cha, J. W., Bang, S. Y., Youn, Y. H. : A study on physical and chemical characteristics of yellow sand at Anmyeon-do, Chungnam. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, **38**(2), 105-117, 2002.
 24. Choi, G. H., Kim, K. H., Kang, C. H., Lee, J. H. : The influence of the Asian dust on the metallic composition of fine and coarse particle fractions. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, **19**(1), 45-56, 2003.
 25. Lee, B. E., Hwang, S. S., Park, H. S., Ha, E. H., Kwon, H. J., Lee, J. T., Cho, Y. S., Park, Y. S., Leem, J. H., Hong, Y. C., Cho, S. H., Pang, M. G. : The effects of Asian dust events on perceived symptoms and behavior of elementary school students. *Journal of Korean Society of School Health*, **16**(1), 1-8, 2003.
 26. Im, H. J., Kwon, H. J., Ha, M. N., Lee, S. G., Hwang, S. S., Ha, E. H., Cho, S. H. : Public perceptions of the risk of Asian dust storms in Seoul and its metropolitan area. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, **39**(3), 205-212, 2006.
 27. Hwang, S. S., Cho, S. H., Kwon, H. J. : Effects of the severe Asian dust events on daily mortality during the spring of 2002, in Seoul, Korea. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, **38**(2), 197-202, 2005.
 28. Filleul, L., Le Tertre, A., Baldi, I., Tessier, J. F. : Difference in the relation between daily mortality and air pollution among elderly and all-ages populations in southwestern France. *Environmental Research*, **94**(3), 249-253, 2004.
 29. Kan, H., London, S. J., Chen, G., Zhang, Y., Song, G., Zhao, N., Jiang, L., Chen, B. : Season, sex, age, and education as modifiers of the effects of outdoor air pollution on daily mortality in Shanghai, China: The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Study. *Environmental Health Perspectives*, **116**(9), 1183-1188, 2008.
 30. Braga, A. L., Saldiva, P. H., Pereira, L. A., Menezes, J. J., Conceição, G. M., Lin, C. A., Zanobetti, A., Schwartz, J., Dockery, D. W. : Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. *Pediatric Pulmonology*, **31**(2), 106-13, 2001.