

2002년 봄 서울 지역에 발생한 심한 황사가 일별 사망에 미치는 영향

황승식, 조수현, 권호장¹⁾

서울대학교 의과대학 예방의학교실 및 의학연구원 환경의학연구소, 단국대학교 의과대학 예방의학교실²⁾

Effects of the Severe Asian Dust Events on Daily Mortality during the Spring of 2002, in Seoul, Korea

Seung-Sik Hwang, Soo-Hun Cho, Ho-Jang Kwon³⁾

Department of Preventive Medicine, Seoul National University College of Medicine & Institute of Environmental Medicine, SNUMRC
Department of Preventive Medicine, College of Medicine, Dankook University⁴⁾

Objectives: During the spring of 2002, an unprecedented 2 Asian dust events were experienced in Seoul. On those days, the PM₁₀ was surprisingly increased, with daily PM₁₀ averages exceeding 600 and 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ on March 21 and April 8, respectively. Accordingly, public concern relating to the possible adverse health effects of these dust events has increased, as the dust arrives in Korea after having flown over heavily industrialized eastern China. We investigated the effects of these Asian dust events on the mortality during the spring of 2002, in Seoul, Korea.

Methods: The total number of deaths per day during the spring of 2002 in Seoul was extracted from the mortality records of the National Statistical Office. We constructed 14 Asian dust days (March 17-March 23, April 7-April 13) and 42 control days during the 56 day study period (March 3-April 27) with respect to the days of the week. The daily average numbers of deaths between the Asian dust and control days were analyzed, with adjustment for meteorological variables and pollutants.

Results: The daily PM₁₀ average during the Asian dust

days was 295.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, which was significantly higher than during the control days ($P < 0.001$). The daily average number of deaths from all causes during the Asian dust days was 109.9; 65.6 for those aged 65 years and older, 6.7 from respiratory causes (J00-J99) and 25.6 from cardiovascular causes (I00-I99). The estimated percentage increases in the rate of deaths were 2.5% (95% CI=-5.0-10.6) from all causes; 2.2% (95% CI=-7.4-12.8) for those aged 65 years and older, and 36.5% (95% CI=0.7-85.0) from respiratory causes, but with a 6.1% (95% CI=-19.7-9.7) decrease in deaths from cardiovascular causes.

Conclusion: The Asian dust events were found to be weakly associated with the risk of death from all causes. However, the association between dust events and deaths from respiratory causes was stronger. This suggests that persons with advanced respiratory diseases may be susceptible to Asian dust events.

J Prev Med Public Health 2005;38(2):197-202

Key Words: Asian dust events, Particulate matter, Mortality

서론

황사는 최초의 기록을 삼국사기에서 찾아볼 수 있을 정도로 오래된 자연 현상이다. 그러나 근년에 황사의 빈도와 강도가 증가하고 있고, 특히 공업화된 중국 지역을 거쳐 한반도에 유입되는 경우 대기오염 물질을 포함하고 있을 가능성이 제기되면서 황사가 건강에 미치는 영향에 대한 우려가 점차 커지고 있다. 황사 관련 신문기사의 내용을 분석한 한 연구에 따르면 황사 관련 언론보도가 최근에 급증하고 있

고, 그 중 건강영향과 관련된 기사가 44%로 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 보고되었다 [1]. 특히 2002년 봄 우리나라에는 예년에 비하여 황사 현상이 자주 발생하였고, 3월 중순과 4월 초순에는 전례 없이 심한 황사의 발생이 관측되었다 [2]. 심한 황사로 인해 각급 초등학교가 휴교하는 데에 이르게 되자 황사를 일종의 환경재앙으로 인식하게 되었고 황사의 건강영향에 대한 역학적 증거를 확보하기 위한 연구가 시작되는 계기가 되었다.

동북 아시아 지역에서 발생하는 자연 현

상인 황사는 중국과 몽골의 건조지대에서 발생하여 편서풍 기류를 따라 한반도와 일본, 심지어는 북미까지 장거리 수송되기도 하며 사회경제적으로 광범위한 피해를 주는 것으로 알려져 있다 [3-5]. 반면 황사 현상이 건강에 미치는 영향에 대한 연구는 제한적으로 보고되고 있는데 황사 먼지가 호흡기계를 자극하여 기관지염을 유발하거나, 안질환을 유발하여 특히 콘택트렌즈 사용자에게 영향을 미치고 세균 오염이 관찰되는 것으로 보고되었다 [6,7]. 우리나라에서 측정되는 황사 먼지의 입경 분포는 발생원지역과 이동거리에 영향을 받는 데 주로 2.5-10 μm 크기의 분진이 증가

접수: 2004년 10월 4일, 채택: 2005년 2월 18일

본 논문은 환경부 차세대 핵심환경기술개발사업(Eco Technopia 02-1-09-1-014)의 지원으로 수행되었음.

책임저자: 조수현(서울시 중로구 연건동 28, 전화: 02-740-8323, 팩스: 02-747-4830, E-mail: chosuh@snu.ac.kr)

가 현저한 것으로 보고되고 있고, 이러한 미세먼지의 경우 하부 기관지까지 흡입되어 호흡기계 손상을 초래할 수 있으므로 공중보건의 관점에서 중요하다.

황사가 건강에 미치는 영향에 대한 연구는 극히 제한적으로 수행되어 왔는데, 봄철 황사 시기에 미세먼지의 증가가 천식 환자의 상부기도의 증상 악화 및 폐기능의 저하와 관련 있다는 연구와, 황사와 관련된 시기에 호흡기계 외래 환자의 내원이 증가하였음을 관찰한 연구 등이 있었다 [8-10]. 특히 황사 먼지가 사망에 미치는 영향에 대한 연구로는 서울 지역에서 1995년부터 1998년까지 발생한 황사 현상과 일별 사망자 수의 관계를 분석한 결과, 황사가 있었던 날이 그렇지 않은 날에 비해서 전체 사망자와 65세 이상의 사망자, 그리고 심장 질환 또는 폐 질환으로 인한 사망자에서 사망 위험이 통계적으로 유의하지는 않지만 증가하는 것으로 나타난 연구와, 대만 타이페이 주민들의 사망 자료를 이용하여 1995년부터 2000년까지 황사가 온 다음날 호흡기 질환으로 인해 사망할 위험이 높아진다는 연구가 있었다 [11,12].

본 연구에서는 2002년 3월과 4월에 걸쳐 서울 지역에서 심한 황사가 발생한 시기를 대기분진의 농도로 재구성하여, 황사 기간과 그렇지 않은 기간의 일별 사망자 수를 비교하여 심한 황사가 사망에 미치는 영향을 비교하고 심한 황사에 영향을 받기 쉬운 민감한 집단을 파악하고자 하였다.

연구방법

1. 연구대상 및 자료수집

1) 사망 자료

사망원인과 사망지역(시군구 단위), 연령, 성별 등에 대한 개인정보가 포함되어 있는 통계청 사망자료를 확보하였다. 2002년 3월부터 4월까지 서울 지역에서 외상으로 인한 사망외인(국제표준질병분류 10차 개정판, ICD-10 V01-Y89)을 제외한 총 사망자 수, 65세 이상 사망자 수, 호흡기계 질환(ICD-10 J00-J98)으로 인한 사망자 수 및 심혈관계 질환(ICD-10 I00-I99)으로 인한

사망자 수는 생물학적 개연성을 고려하여 선정되었고 일별 사망자 수를 산출하였다.

2) 대기오염, 기상 및 황사 자료

2002년 3월부터 4월까지 서울시 25개 지역에 위치한 대기오염 자동측정망에서 시간대별로 측정된 미세먼진, 일산화탄소, 이산화질소, 오존 및 아황산가스의 농도 자료를 국립환경연구원으로부터 제공받아 서울시 전체의 일별 평균을 계산하였다. 기상자료는 같은 기간 동안 하루 24시간 시간대별 자동기상관측장비로 측정된 기온, 상대습도 및 기압 자료를 기상청으로부터 획득하여 일별 평균을 산출한 다음 분석에 이용하였다. 황사 현상은 같은 기간 동안 기상청에서 관측하여 서울 지역에 황사 발생을 예보한 결과를 이용하였다. 황사 현상은 세계기상기구의 기준에 따라 관측 전문가의 눈으로 관측하는데, 그 세기에 따라 3단계로 구분하여, 강도 0은 시정이 다소 혼탁, 강도 1은 하늘이 혼탁하고 황색먼지가 물체표면에 약간 쌓이는 정도, 강도 2는 하늘이 황갈색으로 되어 빛을 약화시키며 황색먼지가 쌓임으로 구분한다. 2002년에 관측된 가장 강한 강도 2의 황사 현상은 이전에는 1980년 4월과 1984년 3월에만 관측되었다 [13].

2. 분석방법

1) 분석방법의 개요

2002년 3월부터 4월까지 기상청에서 관측한 황사 현상에서 심한 황사가 발생한 2002년 3월 21일과 4월 8일을 고려하여

2002년 3월부터 4월까지의 기간을 일주일 단위로 재구성한 결과 총 8주로 구분하였다. 8주의 연구기간 중에서 요일을 고려하여 2002년 3월 17일부터 23일까지의 1주일과 2002년 4월 7일부터 4월 13일까지의 1주일을 포함한 2주를 심한 황사기간으로 정의하였고 심한 황사기간을 제외한 나머지 6주를 대조기간으로 정의하였다 (Figure 1). 기상 변수와 대기오염물질 농도의 영향을 보정한 모델을 만들어 심한 황사기간과 대조기간의 일별 사망자 수의 평균을 비교하여 황사의 건강영향을 평가하였다.

2) 통계분석

심한 황사기간의 기상 변수와 대기오염물질 농도의 일별 평균을 비교하였다. 또한 심한 황사기간과 대조기간 동안 일별 평균 사망자 수를 총 사망자 수, 65세 이상 사망자 수, 호흡기 질환 사망자 수 그리고 심혈관계 질환 사망자 수로 구분하여 심한 황사기간을 범주형 독립 변수로 만들고, 일별로 산출한 평균 사망자 수를 결과변수로 하여 심한 황사기간에 사망자 수가 증가하는지에 대한 상대 위험도를 계산하기 위해 포아송 회귀분석을 실시하였다. 일차적으로 일별 기온, 상대 습도, 기압과 같은 기상자료를 보정한 모델을 구축하여 분석하였고, 이차적으로 10 μm 이하 분진 (particulate matter less than 10 μm in diameter; PM₁₀)과 오존, 이산화질소, 일산화탄소 및 아황산가스와 같은 가스상 오염물질을 개별적으로 추가한 모델(2 pollutant model)을 구축하여 분석하였다.

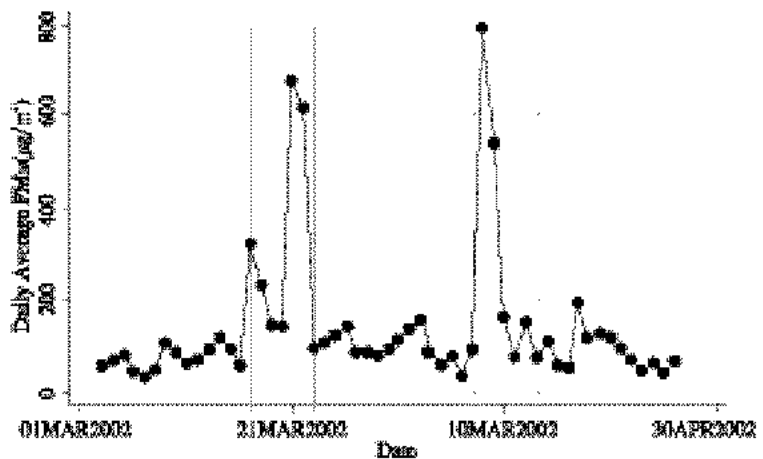


Figure 1. Daily average of PM₁₀ concentration (µg/m³) in the spring of 2002, Seoul, Korea.

log E (일별 평균 사망자 수)=심한 황사 기간 여부(예/아니오)+기온+상대습도+기압+PM₁₀+가스상 오염물질(오존, 이산화질소, 일산화탄소 및 아황산가스)

모델에서 계산된 상대 위험도에 대한 추정치를 제시하였고, 이를 바탕으로 대조 기간에 대비하여 심한 황사기간에 증가하는 입원 및 사망자수를 백분율로 환산하고 95% 신뢰구간을 함께 제시하였다. 모든 통계적 검정 결과는 양측 검정이며, 윈도우용 SAS 8.2판을 이용하여 분석을 수행하였다 [14].

연구결과

2002년 3월과 4월 서울 지역에 총 12일의 황사가 발생하였다. 3월 17-19일과 3월 21-23일 그리고 4월 8-10일에 발생한 황사는 강도 2에 해당하는 가장 심한 황사였고 4월 12일은 강도 0, 4월 16-17일에 발생한 황사는 강도 1에 해당하는 황사였다 (Table 1). 심한 황사기간과 대조기간에 기상 변수와 미세먼진 및 기타 가스상 오염 물질의 일별 평균 농도를 비교하였다 (Table 2). 기온과 상대습도 및 대기압과 같은 기상

Table 1. Asian dust days in the spring of 2002, Seoul, Korea

Year	Date (Total 12 days)	Grade
2002	17-19 March	2
	21-23 March	2
	8-10 April	2
	12 April	0
	16-17 April	1

변수는 심한 황사기간이나 대조기간에서 일별 평균에 유의한 차이가 없었다. PM₁₀은 심한 황사기간의 일별 평균이 295.2 µg/m³로 대조기간의 88.7 µg/m³보다 유의하게 높았다. 이는 심한 황사기간 14일 전체의 평균에 해당하며 특히 2002년 3월 21일 심한 황사가 발생한 날의 PM₁₀의 평균은 678.6 µg/m³까지 이르렀고, 2002년 4월 8일 심한 황사가 발생한 날의 PM₁₀의 평균은 789.3 µg/m³까지 치솟았음을 확인할 수 있었다 (Figure 1). 가스상 오염 물질의 경우 일산화탄소와 이산화질소는 심한 황사기

Table 2. Daily averages of environmental levels, pollutants and death counts on Asian dust days and control days in the spring of 2002, Seoul, Korea

	Asian dust days (N=14)		Control days (N=42)	
	Mean	SD	Mean	SD
Temperature (°C) †	16.0	1.3	18.1	4.0
Relative humidity (%)	54.9	12.7	52.3	15.1
Barometric pressure (hPa)	1013.7	3.7	1016.1	5.4
PM ₁₀ (µg/m ³) †	295.2	250.9	88.7	34.4
CO (100ppb) *	6.1	1.3	7.2	1.9
NO ₂ (ppb) †	31.7	8.3	42.3	12.2
O ₃ (ppb)	16.5	3.2	14.5	5.8
SO ₂ (ppb)	4.6	1.5	5.7	1.9
Daily deaths from all causes (count)	109.9	9.2	108.0	9.1
Daily deaths of aged 65 years or older	65.6	6.8	63.6	7.2
Daily deaths from respiratory causes	6.7	3.2	5.7	2.2
Daily deaths from cardiovascular causes	25.6	4.3	26.7	4.8

*P<0.05, †P<0.01, using t-test; SD means standard deviation

간이 대조기간에 비해 유의하게 낮았고, 아황산가스의 경우는 낮았지만 유의하지는 않았다. 오존의 경우 심한 황사기간이 대조기간보다 높았고 대기환경기준을 초과하였지만 두 기간 사이에 유의한 차이를 보이지는 않았다.

심한 황사기간과 대조기간에서 일별 평균 사망자 수를 비교한 결과 사망 외인을 제외한 총 사망자 수는 심한 황사기간에서 109.9명으로 대조기간의 108.0명보다 많았으나 유의하지는 않았다. 65세 이상 사망자 수와 호흡기 질환 사망자수의 경우 심한 황사기간에서 각각 65.6명과 6.7명

으로 대조기간의 63.6명과 5.7명보다 많았으나 역시 유의하지는 않았다. 심혈관계 질환의 경우 심한 황사기간에서 25.6명으로 대조기간의 26.5명에 비해 적었으나 유의하지는 않았다 (Table 2).

심한 황사기간과 대조기간의 일별 사망자수를 기온, 상대습도, 기압의 영향을 보정한 포아송 회귀분석을 통해 상대 위험도를 추정한 결과 65세 이상에서 1.029배 증가하였으나 유의하지 않았고, 총 사망의 경우에서도 1.025배 증가하였으나 유의한 증가를 보이지는 않았다. 호흡기계 질환으로 인한 사망은 심한 황사기간에 1.162배 증가하였으나 역시 유의한 증가는 아니었고, 심혈관계 질환으로 인한 사망은 오히려 심한 황사기간에 0.936배로 감소하였으나 또한 통계적으로 유의하지 않았다. 회귀분석 모델에 PM₁₀을 추가하여 분석에 의한 영향을 보정한 결과에서 분진을 제외한 기본 모델에서 추정된 상대 위험도와 유사하였으나, 호흡기계 질환으로 인한 사망의 경우 심한 황사기간이 대조기간에 비해 1.331배로 증가하는 양상을 보였다. 가스상 오염물질 중 오존의 경우 대기환경기준을 초과한 것으로 조사되어 기본 모델에 오존을 추가한 모델에서 상대 위험도를 추정하였고, 기상 변수를 보정한 기본 모델에 PM₁₀을 포함시키고 가스상 오염물질 중 오존을 포함시킨 모델에서 상대 위험도를 추정한 결과 65세 이상 연령에서의 사망은

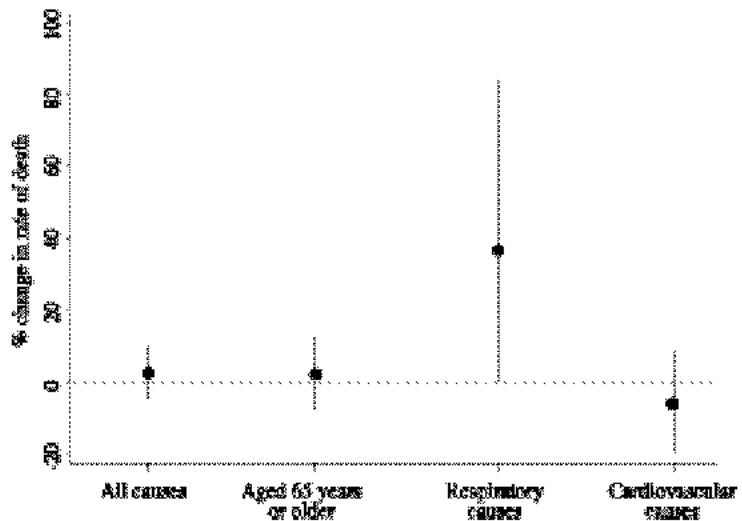


Figure 2. Estimated percentage increases in the risk of deaths from all causes, death in the aged(65 years or older), and death from respiratory and cardiovascular causes.

Table 3. Estimated relative risks (RR) of deaths and 95% confidence intervals (CI) associated with Asian dust period in the spring of 2002, Seoul, Korea

	RR (95% CI)			
	Baseline*	Baseline+PM ₁₀	Baseline+O ₃	Baseline+PM ₁₀ +O ₃
Age (years)				
< 65	1.030 (0.931, 1.139)	1.031 (0.918, 1.157)	1.029 (0.927, 1.141)	1.029 (0.914, 1.160)
≥ 65	1.029 (0.948, 1.118)	1.024 (0.931, 1.127)	1.028 (0.943, 1.119)	1.022 (0.926, 1.128)
Cause of death				
All causes	1.029 (0.966, 1.097)	1.027 (0.954, 1.105)	1.028 (0.962, 1.098)	1.025 (0.950, 1.106)
Respiratory causes	1.162 (0.890, 1.516)	1.331 (0.994, 1.783)	1.178 (0.894, 1.553)	1.365 (1.007, 1.850)
Cardiovascular causes	0.936 (0.822, 1.067)	0.939 (0.807, 1.092)	0.936 (0.818, 1.071)	0.939 (0.803, 1.097)
Other causes	1.053 (0.976, 1.137)	1.036 (0.949, 1.131)	1.050 (0.971, 1.136)	1.032 (0.942, 1.130)

*Baseline model was adjusted for temperature, relative humidity, barometric pressure

1.022배, 총 사망은 1.025배, 심혈관계 사망은 0.939배로 나타났으나 호흡기계 사망은 1.365배로 유의하게 증가하였다 (Figure 2). 오존을 제외한 가스상 오염물질인 일산화탄소, 이산화질소, 아황산가스 등도 각각 모델을 만들어 분석하였으나 오존과 유사한 추정치를 보여 결과를 따로 제시하지는 않았다 (Table 3).

고찰

2002년 봄에 발생한 황사는 그 강도가 예전과 비교할 수 없을 정도로 강한 황사 현상이 관측되었다. 그러나 현재까지 심한 황사가 발생했을 때 건강에 미치는 영향에 대해서는 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 2002년 봄 서울 지역에 심한 황사가 발생한 시기와 대조기간에 일별 사망을 비교하여 심한 황사가 건강에 미치는 영향을 확인해 보고자 하였다.

대기분진농도의 단기적 변화가 일별 사망수의 변화를 초래한다는 결과는 다수 보고되어 왔고, 대부분의 연구에서 PM₁₀이 10 µg/m³ 증가할 때 일별사망률이 0.5-1.5% 정도 증가했음을 보고하고 있다 [15]. 황사의 건강영향에 대한 기존 연구결과들은 황사발생시 급증하는 미세먼지의 건강영향과 관련된 역학연구들이 보고되어 왔는데, 일반적인 대기분진에 대한 연구결과와 달리 유의한 관련성을 보이지 않았다는 연구 등과 관련성이 있어도 기존 대기분진의 효과에 비해 그 크기가 작은 것으로 보고되고 있다.

특히 황사의 단기적 건강영향을 일별 사망률로 비교한 연구결과는 많지 않은데 1995년부터 1998년까지 서울에서 발생한

황사를 대상으로 연구한 결과 PM₁₀과 일별 사망률간의 상관성이 있을 것으로 추정된 연구결과가 있다. 이 연구에서는 전체 사망자를 대상으로 하였을 때 황사가 있었던 날이 1.7%, 65세 이상의 사망자에서는 2.2%, 심장 질환 또는 폐 질환으로 인한 사망자에서는 4.1% 사망위험이 증가하는 것으로 나타났으나 모두 통계적으로 유의하지는 않았다. 그럼에도 불구하고 고연령 사망자와 심장 질환 또는 폐 질환으로 인한 사망자와 같이 민감 집단에서 사망위험이 높게 나온 것은 일반적인 대기분진의 피해 양상과 비슷한 것이어서, 황사가 사망위험을 실제로 증가시킬 가능성 있는 것으로 평가하고 있다 [11].

최근에 대만에서도 이와 유사한 연구가 발표되었는데, 대만 타이페이시 주민들의 사망자료를 이용하여 1995년부터 2000년까지 황사로 인한 사망위험 증가분율을 추정한 결과, 황사가 온 다음날 호흡기 질환으로 인해 사망할 위험이 7% 정도 높아진다고 보고하였다 [12]. 이 연구 결과는 국내 연구결과에 비해 높은 사망위험을 보고하고 있는데 대만과 우리나라의 황사 성분엔 차이가 있을 수 있으므로 이를 직접 비교하기는 힘들다.

본 연구에서는 심한 황사가 발생한 기간에 호흡기 질환으로 사망할 위험이 37% 증가하는 것으로 나타난 점을 제외하고는 전체 사망에 대한 위험은 3%, 65세 이상인 구에서는 2% 높아졌으며, 심혈관계 질환의 경우는 6% 감소하지만 통계적으로 유의하지 않은 결과를 보였다. 많은 연구에서 PM₁₀이 10 µg/m³ 증가할 때 사망 위험이 0.5-1.5% 정도 증가하는 것으로 보고하고 있는데 황사기간 동안 PM₁₀ 농도가 매우

높게 상승함에도 기존의 PM₁₀에 대한 연구를 활용하여 황사의 건강피해를 추정하는 결과와 비교하여 위험이 매우 낮게 관찰되었다.

이러한 이유로 다음과 같은 가능성을 고려해볼 수 있는데, 첫째는 황사현상에서 관측된 미세먼지의 입경별 분포의 차이에 기인한 것으로 생각된다. 대기분진의 경우 연소과정에 의해 주로 발생하는 2.5 µm 이하 미세먼지(PM_{2.5})에 의한 초과사망률이 PM₁₀에 의한 것보다 훨씬 큰 것으로 알려져 있다 [16,17]. 반면 황사현상에서 관측된 분진의 입경별 분포를 살펴보면 2.5-10 µm 이하의 조대분진(PM_{2.5-10})이 급격하게 증가하였고 PM_{2.5}의 분율이 상대적으로 감소한다는 보고 [18]를 통해 기존 대기분진 연구에서 추정한 것과 같은 초과사망이 관찰되지 않은 이유가 될 수 있을 것이다. 이는 미국에서 모래 폭풍 발생시 PM₁₀과 총 사망의 관련성이 관찰되지 않는다는 연구 결과 [19,20]와도 일치하였다.

둘째로, 2002년에 관찰된 심한 황사에 대한 단일 입자 성분 분석 결과, 토양기원 입자가 전체 분석한 입자의 90%를 차지하여 다른 연도에 발생한 황사에 비해 분포하는 화학종의 종류가 다양하지 않다는 보고 [21]를 통해서, 본 연구에서와 같이 심한 황사기간에 초과사망률이 크게 증가하지 않는다는 결과를 지지한다고 생각할 수 있다. 마지막으로 일반적인 대기분진과는 달리 황사 현상은 일반인에 의해서도 눈으로 관찰되는 현상이기 때문에, 심한 황사가 발생한 시기에 마스크 착용이나 실외 활동을 삼가는 예방 행동들이 유의하게 증가하는 연구결과 [22]에서 알 수 있는 바와 같이 2002년과 같이 심한 황사 기간에도 황사 분진의 실제 인체에 대한 노출이 생각보다 낮았을 것으로 추측해볼 수 있고, 그로 인해 심한 황사기간에 초과사망이 높지 않게 관찰된 한 원인으로 생각된다.

본 연구에서 호흡기 질환으로 인한 초과사망이 37%로 관찰되었다. 아마 서울과 같은 대도시의 경우 이미 미세먼지의 농도가 높은 상태에서 황사 먼지가 추가적으로 흡입되어 호흡기계의 방어기전에 추

가적인 부하를 줌으로써 미세분진의 독성이 더 크게 나타나게 된 것으로 생각해볼 수 있다. 이를 뒷받침할 생물학적 기전에 대한 연구가 많지 않지만, 최근 태국에서 황사 먼지를 쥐에게 흡입시킨 후 말초 혈액과 기관지 세척액에서 IL-6와 같은 염증 지표와 호중구 숫자 등이 증가했다는 보고 [23]가 위와 같은 가설을 뒷받침할 하나의 근거가 될 수 있을 것이다.

또한 황사 시기에 증가하는 $PM_{2.5}$ 크기의 분진이 기존 호흡기 질환자에서 증상을 악화시키는 데에 더욱 기여하는지와 같은 임상적 연구와, 만일 2002년의 심한 황사에서만 관찰되는 현상이라면 2002년 황사 성분 중에 호흡기 질환을 악화시킬 수 있는 요인에 대한 독성학적 연구가 뒷받침되어야 할 것이다. 또한 기존의 대기 분진의 건강영향에 대한 연구의 결과와 달리 본 연구에서 심혈관계 질환으로 인한 사망이 통계적으로 유의하지는 않지만 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 황사 먼지에 포함된 미세분진의 성분 및 조성이 일반 대기오염물질에 포함된 미세분진과 달라서 유의한 증가가 관찰되지 않을 가능성과 심혈관계 질환자에서 황사 먼지에 노출되는 정도가 호흡기 질환자보다 낮을 가능성 등이 제기될 수 있으나 이 또한 현재까지 결론을 내릴 충분한 증거가 부족할 실정이다. 사망 이외에 외래방문, 입원 및 응급실 방문 등과 같은 의료이용자료 분석의 결과와 비교 검토할 필요가 있을 것이다.

본 연구의 연구기간 동안 심한 황사가 발생한 시기에서 오존 농도가 대조기간보다 유의하지는 않지만 높게 관찰되었고, 두 시기 모두 대기환경기준보다 높게 관찰되었다. 최근 많은 역학 연구에서 대기중 오존 농도와 폐기능 저하, 천식과 같은 기존 호흡기 질환의 악화, 호흡기 질환으로 인한 응급실 방문 및 입원의 증가와 초과사망에 이르기까지 다양한 급성 건강영향이 유의한 관계가 있음을 보고하고 있다. 특히 기존에 수행된 7개의 연구 데이터를 통합하여(pooling) 시계열 분석을 수행한 결과 일중 1시간 최고 오존 농도가 100 ppb 증가할 때 초과 사망의 상대 위험도가 1.036

(95% CI=1.023-1.050)로 추정됨을 보고하고 있다 [24]. 이와 같은 보고에 근거하여 기상 변수만 포함된 기본 모델에 오존만 추가하여 분석한 결과는 PM_{10} 만 추가한 모델이나 PM_{10} 과 오존을 둘다 추가한 모델에서의 상대 위험도와 거의 유사한 추정치를 얻어서 PM_{10} 을 제외한 오존만의 효과가 뚜렷하다고 보기는 힘들다. 기존 연구와 비교하면 서울에서 조사된 연구에서도 유사하게 황사가 발생한 날의 오존 농도가 20 ppb로 대조일의 19.0 ppb보다 유의하지는 않지만 높게 관찰되었고 [11], 타이페이에서의 연구에서는 황사가 발생한 날의 오존 농도가 27.7 ppb로 대조일의 오존 농도 20.9 ppb에 비하여 유의하게 높았다 [12]. 황사 발생일에 오존 농도가 높게 관찰되는 현상은 광화학 반응에 의해 이차적으로 오존이 생성된다고 알려진 기존 지식과 비교하여 쉽게 납득되기 어렵지만, 이러한 현상이 황사 발생일의 일반적인 현상인지 아니면 우연에 의한 것인지에 대해서 아직까지 연구된 바가 없다. 이는 향후 황사 현상에 대한 기상학적 연구가 추가로 이뤄져야 될 것으로 생각된다.

본 연구의 한계점으로는 일반적인 대기오염 연구에서 당면하는 문제에서처럼 사망자에서 구체적으로 황사에 의한 것인지를 최종적으로 확인할 수 없기 때문에 발생하는 비뚤림(bias)의 가능성 이외에도, 심한 황사가 발생한 시기와 대조기간의 구분을 요일을 기준으로 하여 임의로 재구성한 결과 실제로 대조기간에도 황사에 의한 영향을 배제할 수 없다는 점이 있다. 그리고 통계청 사망자료를 바탕으로 서울 지역에서 일별 사망을 수치화하였으므로 사망자료의 한계로 지적되는 진단명의 부정확성에 의한 분류 비뚤림(misclassification bias)의 가능성도 한계로 지적될 수 있다. 그러나 대조기간에도 황사에 의한 영향을 배제할 수 없다면 본 연구에서 관찰된 초과사망이 실제 초과사망보다 희석된 결과라고 생각해볼 수 있고, 진단명의 부정확성에 의한 비뚤림도 관찰 결과를 관련성이 없는 쪽으로 비트는 것으로 알려져 있으므로 본 연구에서 관찰된 초과사망보다 실제 초과사망은 더 클 가능성이

있음을 시사한다.

호흡기계 사망 영향이 크게 추정되는 반면 심혈관계 질환 사망 영향은 감소하는 것으로 추정된 결과에 대해서 고찰해보면 Table 2에서 제시한 바와 같이 연구기간 동안 서울시 일별 평균 사망은 110명 정도이고 심한 황사기간과 대조기간에서 호흡기계 및 심혈관계 사망의 차이는 1명에 불과하였다. 천 만 명이 넘는 서울시 인구를 인구를 분모로 고려한 사망률의 관점에서 이러한 차이는 매우 미미한 차이일 수 있는데, 이를 기상 요인과 대기오염물질의 변동을 보정한 시계열 분석 모델을 통해 추정된 결과이므로 비록 정밀한 통계적 모델에서 산출된 결과이지만 두 결과 모두 확률 오차(random error)에 의한 가능성을 완전히 배제하기는 힘들다고 생각된다. 이러한 관찰이 일반적인 현상인지를 확인해보기 위해서는 이전 황사 현상이 발생한 시기에서 호흡기 및 심혈관 질환 사망 위험을 구분하여 분석해볼 필요가 있을 것이다.

향후 2002년과 같은 심한 황사로 인해 건강에 미치는 영향에 대한 연구로는 초과사망 이외에도 입원, 외래 및 응급실 방문과 같은 병의원 이용 자료로 심한 황사기간에 병의원 이용이 증가하는지를 분석하는 것이 중요할 것으로 생각되며, 본 연구진의 예비조사 결과에서도 황사 시기에 호흡기 질환으로 인한 입원과 응급실 방문이 증가하는 것으로 나타나고 있다. 이외에도 황사에 대한 노출 평가의 관점에서 2002년과 같은 심한 황사기간에 개인별 행동변화가 어떤 식으로 이뤄지는지에 대한 연구가 추가되어 개인별 행동변화가 건강에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구가 더욱 진행될 필요가 있으며, 황사의 성분 중 건강 영향을 미칠 수 있는 성분에 대한 분석이 진행되어 역학 연구에 통합시켜야 될 것으로 생각된다.

결론

2002년 봄 3월과 4월에 서울시에 심한 황사 발생하여 미세분진은 최대 $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 증가하였고 평균적으로도 대조기간에 비하여 유의하게 높았으나, 다른 대기오

염물질은 유의하게 낮거나 비슷한 수준이었다. 심한 황사기간에 일별 평균 사망을 대조기간과 비교한 결과 단순 비교에서는 유의한 차이를 확인할 수 없었으나, 교란 변수인 기상 요인과 대기오염물질을 보정한 시계열분석에서는 총사망과 65세 이상 연령층의 사망은 증가하였으나 통계적으로 유의하지 않았다. 그러나 호흡기계 질환으로 인한 사망은 유의한 증가를 보였고, 심혈관계 질환으로 인한 사망은 감소하였으나 통계적으로 유의하지 않았다.

본 연구의 결과를 통해 2002년의 심한 황사가 일반적인 대기오염물질과 유사한 크기로 사망에 영향을 미쳤으나, 호흡기계 질환으로 인한 사망에 더 큰 영향을 준 것을 확인하였다. 향후 같은 기간에 외래 및 응급실 방문과 같은 의료 이용 자료를 추가로 분석하여 황사에 의한 호흡기계 질환에 대한 영향을 확인할 필요가 있다.

참고문헌

1. Im HJ, Ha M, Cho SH, Kwon HJ. Perceptions of the Asian dust: Analysis of the newspaper articles about the Asian dust. *Korean J Prev Med* 2003; 36(3): 298-301 (Korean)
2. In HJ, Lee EH, Park SU. An analysis of dust-occurrence reports at WMO synoptic stations in spring 2002. Proceedings of the 34th Meeting of KOSAE 2002; 2A(2): 93-94 (Korean)
3. Jaffe D, Anderson T, Covert D, Kotchenruther R, Trost B, Danielson J, Simpson W, Bernsten T, Karlsdottir S, Blake D, Harris J, Carmichael G, Uno I. Transport of Asian air pollution to North America. *Geophys Res Lett* 1999; 26(6): 711-714
4. Husar RB, Tratt DM, Schichtel BA, Falke SR, Li F, Jaffe D, Gasso S, Gill T, Laulainen NS, Lu F, Reheis MC, Chun Y, Westphal D, Holben BN, Gueymard C, McKendry I, Kuring N, Feldman GC, McClain C, Frouin RJ, Merrill J, DuBois D, Vignola F, Murayama T, Nickovic S, Wilson WE, Sassen K, Sugimoto N, Malm WC. Asian dust events of April 1998. *J Geophys Res* 2001; 106(D16): 18137-18330
5. Song SK, Kim YG, Moon YS. Comparison of synoptic meteorological and optical features of Asian dust during springtime in 2002. Proceedings of the 34th Meeting of KOSAE 2002; 2A(3): 95-97 (Korean)
6. Satoshi K. Estimation of natural burden to aerosols in urban air. *J Air Poll Control Assoc* 1978; 13: 252
7. Yoon YH. On the yellow sand transported to the Korean Peninsula. *J Korean Met Soc* 1990; 26(2): 111-20 (Korean)
8. Park JW, Lim YH, Kyung SY, An CH, Lee SP, Jeong SH, Ju YS. Effects of ambient particulate matter (PM₁₀) on peak expiratory flow and respiratory symptoms in subjects with bronchial asthma during yellow sand period. *Tuberc Respir Dis* 2003; 55(6): 570-578 (Korean)
9. Min PK, Kim CW, Yun YJ, Chang JH, Chu JK, Lee KE, Han JY, Park JW, Hong CS. Effect of yellow sand on respiratory symptoms and diurnal variation of peak expiratory flow in patients with bronchial asthma. *J Asthma Allergy Clin Immunol* 2001; 21(6): 1179-1186 (Korean)
10. Lee S, Lim YO, Cheong Y. Out-patient visits for respiratory diseases and yellow sand phenomena. *Korean J Epidemiol* 1991; 13(2): 159-168. (Korean)
11. Kwon HJ, Cho SH, Chun YS, Lagarde F, Pershagen G. Effects of the Asian dust events on daily mortality in Seoul, Korea. *Environ Res* 2002; A90: 1-5
12. Chen YS, Sheen PC, Chen ER, Liu YK, Wu TN, Yang CY. Effects of Asian dust storm events on daily mortality in Taipei, Taiwan. *Environ Res* 2004; 95(2): 151-155
13. Available from Asian dust homepage: URL: <http://yellow.metri.re.kr>
14. SAS Institute Inc. SAS system version 8.2. Cary, NC: SAS Institute Inc, 1999.
15. Pope CA, Bates DV, Raizenne ME. Health effects of particulate air pollution: time for reassessment? *Environ Health Perspect* 1995; 103: 472-480
16. Schwartz J. Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. *Epidemiology* 1996; 7: 20-28
17. USEPA. Air quality criteria for particulate matter. EPA 600/P-99/002bB 2001. Office of Research and Development
18. Kim KH, Kim MY, Shin JY, Choi KH, Kang CH. Insights into Factors Determining the Aerosol Distribution Characteristics of the Asian Dust on the Basis of the Concurrent Analysis of PM_{2.5}, PM₁₀, and TSP During the Spring Season of 2001. *J KOSAE* 2002; 18(5): 419-426 (Korean)
19. Schwartz J, Norris G, Larson T, Sheppard L, Claiborne C, Koenig J. Episodes of high coarse particle concentrations are not associated with increased mortality. *Environ Health Perspect* 1999; 107: 339-342
20. Pope CA, Hill RW, Villegas GM. Particulate air pollution and daily mortality on Utah's Wasatch Front. *Environ Health Perspect* 1999; 107: 567-573
21. Ministry of Environment. Health risk assessment of Asian dust, annual mid-term report 2003 (Korean)
22. Lee BE, Hwang SS, Park HS, Ha EH, Kwon HJ, Lee JT, Cho YS, Park YS, Leem JH, Hong YC, Cho SH, Pang MG. The effects of Asian dust events of perceived symptoms and behavior of elementary school students. *J Korean Soc Sch Health* 2003; 16(1): 1-8 (Korean)
23. Lei YC, Chan CC, Wang PY, Lee CT, Cheng TJ. Effects of Asian dust event particles on inflammation markers in peripheral blood and bronchoalveolar lavage in pulmonary hypertensive rats. *Environ Res* 2004; 95(1): 71-76
24. Thurston GD, Ito K. Epidemiological studies of acute ozone exposures and mortality. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 2001; 11(4): 286-294