

## 춘천에서 2002년 봄철 황사 발생기간 동안에 채취된 미세분진 중 무기성분의 특성

김희갑\*, 정경미, 김동진, 이종태\*

강원대학교 환경과학과, \*이화여자대학교 예방의학교실

### Characteristics of Inorganic Components in Fine Particles Collected at Chunchon during the Springtime Yellow Sand Occurrence Period in 2002

Hekap Kim\*, Kyung-Mee Jung, Dong Jin Kim and Jong-Tae Lee\*

Department of Environmental Science, Kangwon National University,  
Chunchon, Kangwon-do 200-701, Korea

\*Department of Preventive Medicine, Ewha Women's University, Seoul 158-710, Korea

#### ABSTRACT

Yellow sand (YS) storms were observed about ten times in the Korean peninsula during March and April in 2002. Twenty four hour fine particle (PM<sub>2.5</sub>) samples were collected onto the 47 mm Teflon-coated quartz filters over 9 days during and after the events using the MiniVol Portable Air Sampler at a flow rate of 5 liters per minute. The highest PM<sub>2.5</sub> concentration measured during the YS period was 289 µg/m<sup>3</sup>, which is 13 times higher than the lowest of the values for the samples collected during the non-yellow sand period. The filter samples were analyzed for inorganic ions using the IC, AAS and Autoanalyzer, and for metals using the ICP-MS. The results showed that the concentrations of some inorganic ions (e.g., Ca<sup>2+</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) and metals (e.g., Fe, Mn) of soil origin were elevated during the yellow sand events.

**Key words** : Fine particle, Inorganic ion, Metal, PM<sub>2.5</sub>, Yellow sand

#### 서 론

황사(黃砂, yellow sand 또는 高砂)라고 하는 것은 주로 중국 북부의 황토지대에서 바람에 의하여 하늘 높이 불어 올라간 미세한 모래먼지가 대기 중에 확산되어 하늘을 덮었다가 서서히 강하하는 현상 또는 강하하는 모래먼지를 말한다.

이와 같은 황사는 봄철, 특히 3월 및 4월에 중국 동북부의 황하유역의 황토고원, 오르도스 사막 및 타클라마칸 사막, 그리고 몽고의 고비 사막 및 알라산 사막에서 주로 발생하며, 편서풍에 의하여 우리나라, 일본 및 대만 등에 영향을 미치는 것으로 파악되고 있다(Duce *et al.*, 1980; Iwasaka *et al.*, 1983; Murayama, 1988; Chung and Yoon, 1996; Lin, 2001). 정용승과 김태균(1991)은 대기오염의 장거리 이동에 대한 자연적 기원의 황사와 인위적 기원의 TSP, sulphate, 인공위성 영상 및 trajectory 분

※ To whom correspondence should be addressed.  
Tel: 82-33-250-8577, E-mail: kimh@kangwon.ac.kr

석 결과, 황사는 몽고와 중국 북부의 사막 및 황토 지대에서 발생하며 특히 큰 산맥군의 풍하측에서 발생한 저기압의 한랭전선 후면에 강풍이 일 때 발생하는 것으로 보고하였다.

이와 같은 황사가 주로 봄철에 나타나는 이유는 겨울 내내 얼어있던 건조한 토양이 녹으면서 잘 부서져 부유하기 쉬운 직경 20  $\mu\text{m}$  이하의 모래먼지가 많이 발생하기 때문이다. 황사가 발원지에서부터 우리 나라에 도달하는데 소요되는 시간은 1~8일이며 이동하는 고도는 1~8 km의 넓은 분포를 나타내고 있다. 황사는 태양광선을 산란 또는 흡수하여 대기의 혼탁도를 증가시킴으로써 시정 감소의 주원인이 되며, 또한 구름 속에 혼입되어 구름의 반사율을 변화시켜 일사량 및 기후변화를 일으킨다. 또한 강수의 빙정핵 역할을 하기도 하고 정밀기계를 손상시키기도 한다. 건강상에도 영향을 주어 호흡기 질환, 안 질환, 알레르기성 비염 및 결막염, 기관지 천식과 같은 폐 질환을 유발하는 것으로 보고하였다(최진수 등, 1995; 정용승, 1996).

중국의 대기는 공업화가 빠르게 진행됨에 따라  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , 휘발성 유기화합물, 미세분진 등으로 오염되어 가고 있다. 따라서 한반도에 황사가 수송되는 과정에서 중국의 사막 지역 토양 중의 성분들 뿐만 아니라 중국의 대기오염물질들도 장거리 수송될 수 있다. 최성우와 송형도(1999)는 대구지역에서 1월과 2월에 걸쳐 채취한 분진(TSP 및  $\text{PM}_{10}$ )을 일부 금속 성분에 대해 분석한 결과, 황사 발생으로 인해 토양 기원 성분인 Fe, Al 및 Mn의 농도는 TSP에 대해 증가한 반면에, 인위적 배출원에 기인한 As, Ni, Cr 및 Cd는  $\text{PM}_{10}$  중에서 증가하는 경향을 보이는 것으로 보고하였다. 박찬구 등(2001)은 서울에서 2000년 3월 및 4월에 걸쳐 황사 발생 기간과 발생하지 않은 기간 동안에 TSP와  $\text{PM}_{10}$ 을 채취하여 분석한 결과 16종의 PAHs의 농도는 황사 발생으로 인하여 평균 약 2.5배 증가하는 것으로 보고하였다.

2002년 봄에 춘천에서 황사현상은 총 10회 관측되었으며 3월에 6회, 4월에는 4회 발생하였다. 황사가 관측된 날 풍향은 SW 또는 SSW이었고, 풍속은 최저 2.1에서 최고 4.4 m/s이었으며 평균 풍속은 3.2 m/s였다. 이 연구는 2002년 춘천지역에서 황사 발생기간 뿐만 아니라 발생 이후에 휴대용 분진채취기를 사용하여  $\text{PM}_{2.5}$ 를 채취한 후 황사발생이

중량, 중금속 및 무기이온의 농도 변화에 미치는 영향을 알아보고자 실시하였다.

## 연구 방법

### 1. 분진시료 채취

2002년 봄에 황사가 발생하였던 날들 중에서 3월 21, 22일과 4월 8, 9, 17일에, 그리고 황사가 발생하지 않은 날들 중에서 3월 27일, 4월 4, 24일과 5월 9일 모두 아침 차체에 걸쳐 강원도 춘천에 위치하고 있는 강원대학교 자연과학대학 2호관 옥상(지상 약 15 m)에서 분진시료를 채취하였다. 사용된 분진채취기는 Airmetrics사의 Portable MiniVol Sampler였으며, 5 L/min의 유속으로 24시간 동안  $\text{PM}_{2.5}$ 를 채취하였다. 시료 채취에 사용된 필터는 직경 47 mm의 Teflon-coated quartz filter (pore size 0.4  $\mu\text{m}$ , Gelman사)였고, 시료 채취 전에 데시케이터에서 48시간 이상 동안 방치한 후 중량을 측정하였다. 채취가 종료된 후 필터의 무게를 잰 후 petri dish에 넣어  $-18^\circ\text{C}$ 에서 보관하였으며, 15일이 경과되기 이전에 이등분한 후 각각 무기이온과 금속 성분에 대하여 분석하였다.

### 2. 무기이온 분석

무기이온을 분석하기 위해 반으로 자른 여지를 40 mL의 vial에 넣고, 여기에 10 mL의 증류수를 가한 후 초음파 처리기를 이용하여 상온에서 2시간 동안 추출하였다. 추출액은 Ion Chromatography Acrodisc 0.2  $\mu\text{m}$  필터(Gelman사)를 통과시킨 후에  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  및  $\text{SO}_4^{2-}$  등의 음이온은 이온 크로마토그래프(IC, Metrohm사)로,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  및  $\text{Ca}^{2+}$  등의 양이온은 원자흡광광도계(AAS, Perkin-Elmer사)로, 그리고  $\text{NH}_4^+$ 는 수질자동분석기(Auto-analyzer)로 분석하였다. Table 1-3에는 IC, AAS 및

Table 1. Analytical conditions of IC

IC	Metrohm, 761 Compact IC	
	Manufacturer	Metrohm
Column	Model	Metrosep A Supp5
	Length $\times$ ID	150 mm $\times$ 4.0 mm
Eluent	3.2 mM $\text{Na}_2\text{CO}_3$ + 1.0 mM $\text{NaHCO}_3$	

**Table 2.** Analytical conditions of AAS

AAS	Perkin Elmer, 5100PC			
Gas	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> + Air			
Cations	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Wavelength (nm)	422.7	285.2	589.0	766.5
Slit (nm)	0.7	0.7	1.4	0.7
Lamp	HCL <sup>1</sup>	HCL	HCL	HCL

<sup>1</sup>Hollow Cathode Lamp.**Table 3.** Analytical conditions of the autoanalyzer

Autoanalyzer	Bran + Luebbe, AA3	
Detector	AAlI Colorimeter	
Wavelength (nm)	660	
Sampling rate	50/hr	
Sample : wash ratio	5 : 1	

**Table 4.** Concentrations of PM<sub>2.5</sub> collected on Teflon-coated quartz filter for 24 hours using the Portable MiniVol Air Sampler

YS	Date	PM <sub>2.5</sub> conc. (μg/m <sup>3</sup> )	Temp. (°C)	Rel. humidity	Wind speed (%)	Wind direction (m/s)
○	3.21	221	8.9	43.3	4.4	SW
○	3.22	75.3	7.5	34.5	3.7	SW
×	3.27	22.1	9.5	54.0	1.0	SW
×	4.04	35.5	12.4	40.5	1.1	NE
○	4.08	289	10.1	39.6	3.2	SSW
○	4.09	96.4	7.7	46.5	2.6	SSW
○	4.17	26.3	11.5	32.4	4.0	SW
×	4.24	23.9	12.2	42.6	2.8	SW
×	5.09	32.4	18.2	67.4	1.1	SW

## 결과 및 고찰

수질자동분석기의 분석조건을 나타내었다.

### 3. 금속 성분 분석

여덟 가지의 금속 성분(As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn 및 Pb) 각각에 대한 1차 표준용액(농도 1,000 mg/L)을 1 mL씩 취해 100 mL의 부피 플라스크에 넣고 60% 질산 1 mL를 가한 후 증류수로 100 mL 까지 채워 2차 표준용액을 제조하였다. 이 때 각 금속의 농도는 200 ng/mL가 되도록 하였고, 이로부터 일정한 부피를 취해 검량선을 작성하였다.

금속 성분을 추출하기 위해 120 mL 부피의 Teflon PFA 용기에 반으로 자른 필터를 넣고 5% 질산 수용액 10 mL를 가한 후 15분 동안 microwave oven (Howard Industries)에서 추출하였다(프로그램: 100% power for 5 min → 0% power for 5 min → 100% power for 5 min). 추출물은 Ion Chromatography Acrodisc 0.2 μm 필터로 여과한 후 ICP-MS로 분석하였다.

필터 자체에 함유되어 있는 금속의 배경 농도를 측정하기 위하여 네 개의 공시료(blank)를 분석하였으며, 세 개의 필터에 2차 표준용액 0.2 mL를 spike한 후 5% 질산용액 10 mL를 가한 후 위와 동일한 방법으로 처리, 분석하여 회수율을 계산하였다. 바탕 시험 및 회수율 측정 결과는 시료 중의 농도를 계산할 때 보정하기 위해 사용되었다.

### 1. 기상자료

춘천 지역에서 3월 및 4월에 황사가 발생한 시기에 분진시료를 채취하였던 날의 풍향은 SW 또는 SSW이었으며 풍속은 2.6~4.4 m/s로 비교적 강하였다. 반면에 황사가 발생하지 않았던 기간 중 시료를 채취한 날의 풍향은 4월 4일(NE)을 제외하고는 모두 SW이었으며, 풍속은 4월 24일의 2.8 m/s를 제외하면 1.0 또는 1.1 m/s로 비교적 낮았다. 시료 채취일의 온도는 5월 9일(18.2°C)을 제외하면 7.5~12.4°C로 큰 변동을 나타내지는 않았으며, 상대습도는 32.4~67.4%의 범위를 나타내었다(Table 4).

### 2. 중량 농도

중량 농도는 분진을 채취한 후 측정된 필터의 중량을 채취 전 필터의 중량으로 뺀 값을 채취한 공기의 부피로 나누어 계산하였다(Table 4). 황사가 발생하였을 때 PM<sub>2.5</sub>의 농도는 26.3~289 μg/m<sup>3</sup>로 넓은 범위를 나타내었으며 중앙값은 96.4 μg/m<sup>3</sup>이었다. 반면에 황사가 발생하지 않은 날에 채취된 PM<sub>2.5</sub>는 22.1~35.5 μg/m<sup>3</sup>로 큰 변동을 나타내지 않았으며 중앙값은 28.2 μg/m<sup>3</sup>이었다. 따라서 황사 발생시 최고 농도는 황사가 발생하지 않았던 시기 중 측정된 농도 중 가장 낮은 값에 비해 무려 13배나 높았다. 황사 발생기간 동안 측정된 PM<sub>2.5</sub> 농

도와 발생하지 않았던 날의 농도를 SPSS (version 10.0)를 이용하여 비모수 검정 (Mann-Whitney의 U)으로 비교한 결과, 5%의 유의수준에서 차이가 있는 것으로 나타났다 ( $p$ -값=0.050).

국내에서 최근에 들어 황사 발생기간 동안 채취된 분진은 주로 TSP나 PM<sub>10</sub>이므로 이번에 측정된 PM<sub>2.5</sub> 농도와 직접적으로 비교하기는 어렵다. 그렇지만 1993년 4월 서울, 부산, 대구 및 광주에서 황사 발생기간과 비발생기간 동안에 High Volume Air Sampler를 사용하여 채취한 TSP의 평균 농도는 각각 347과 154  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 황사 발생기간 동안에 2.3배 증가한 것으로 나타났다(이민희 등, 1993). 본 연구에서 측정된 중앙값을 서로 비교할 경우 황사 발생기간에 중앙 농도가 약 3.4배 증가하여 황사 발생으로 인해 미세먼진의 농도가 크게 증가하는 것을 알 수 있었다.

**Table 5.** Method detection limits ( $\mu\text{g}$ ) and recovery (%) for nine inorganic ions

Ions	MDL <sup>1</sup>	Recovery <sup>2</sup>	Ions	MDL	Recovery
F <sup>-</sup>	0.62	90±2	Na <sup>+</sup>	2.2	101±4
Cl <sup>-</sup>	1.0	95±1	K <sup>+</sup>	1.1	98±0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.35	94±3	Mg <sup>2+</sup>	0.42	95±4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.5	100±2	Ca <sup>2+</sup>	4.2	91±2
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2.7	79±5

<sup>1</sup>Determined based on the amount of each component measured for seven filters onto which a mixture of standard compounds was spiked.

<sup>2</sup>Mean ± standard deviation (n=3).

**Table 6.** Concentrations of inorganic ions ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Sampling day	Cations					Anions			
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
3. 1 <sup>1</sup>	0.41	0.56	0.17	2.2	0.53	0.20	1.1	1.5	2.8
3. 22	0.80	1.1	0.062	0.30	0.25	0.062	0.90	0.91	0.66
3. 27	3.5	1.5	0.018	0.28	0.92	1.2	2.2	1.5	2.6
4. 04	4.1	4.0	0.28	0.88	1.8	0.96	1.7	5.5	2.1
4. 08	0.058	0.21	0.13	1.5	0.61	0.18	0.67	1.2	2.2
4. 09	1.4	0.85	0.12	0.50	0.57	0.076	1.3	1.6	2.0
4. 17	0.39	0.52	0.017	0.26	0.34	0.13	0.23	1.3	1.5
4. 24	2.1	0.97	0.046	0.28	0.52	<MDL <sup>2</sup>	0.86	1.1	1.9
5. 09	0.74	0.57	0.12	0.65	0.48	<MDL	0.34	1.1	1.3

<sup>1</sup>Yellow sand occurrence day.

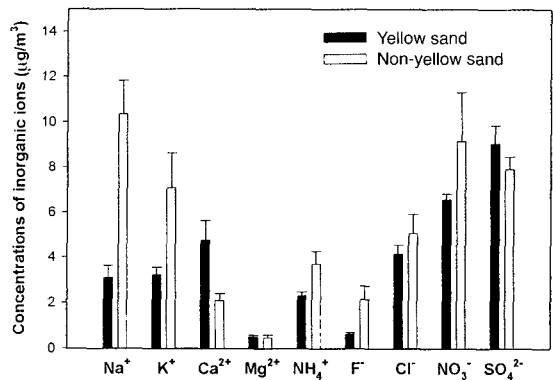
<sup>2</sup>Below the method detection limit.

### 3. 무기이온의 농도

무기이온 중에서 음이온은 F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 및 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>에 대해, 양이온은 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 및 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>에 대해 분석하였다. 각 화합물의 정량을 위한 검량선의 결정계수는 0.9994 이상으로 매우 양호하였다.

각 이온에 대한 방법검출한계 (MDL)와 회수율은 Table 5에 나타내었다. MDL은 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>에 대한 0.35에서부터 Ca<sup>2+</sup>의 4.2  $\mu\text{g}$ 까지 분포하였다. 또한 각 화합물에 대한 회수율은 모두 79% (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) 이상이 었다.

총 9일에 걸쳐 채취한 PM<sub>2.5</sub> 중 무기이온의 농도는 Table 6에 나타내었고, 황사 발생일과 비발생일



**Fig. 1.** Comparison of the concentrations of inorganic ions between the yellow sand period and the non-yellow sand period.

에 대한 각 화합물의 평균 농도는 Fig. 1에 나타내었다.

양이온 중에서  $\text{Na}^+$ 와  $\text{K}^+$ 의 농도는 황사가 발생하지 않았던 날에 오히려 더 농도가 높아 각각 3.3 및 2.2배 높게 나타났으며,  $\text{Mg}^{2+}$ 는 거의 차이가 없었다(0.49 vs. 0.46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). 반면에  $\text{Ca}^{2+}$ 의 농도는 황사 발생으로 인하여 농도가 2.3배 증가했다. 음이온 중에서는 황사 발생으로 인해  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 농도가 다소 증가(1.1배)한 것을 제외하면, 나머지 음이온들의 농도는 오히려 더 낮은 경향을 보여주었다.

이와 같은 결과는 1988년부터 1991년에 걸쳐 서울에서 TSP에 대해 측정된 결과(신은상과 김희강, 1992)와는 다른 경향을 나타냈다. 그들의 연구에서는  $\text{Ca}^{2+}$ 의 농도(1.3배) 뿐만 아니라  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  및  $\text{NH}_4^+$  등의 다른 양이온의 농도도 황사 발생기간 동안에 증가하였으며,  $\text{SO}_4^{2-}$  뿐만 아니라  $\text{NO}_3^-$ 의 평균 농도도 황사 발생기간 동안에 약 1.5배 높은 것으로 나타났다. 또한 1999년 1월에 발생

한 황사 기간 동안에 서울에서 Cascade Impactor를 사용하여 채취한 후 미세분진 중 무기이온에 대해 분석한 결과(Kim *et al.*, 2001)에서도  $\text{Mg}^{2+}$ 와  $\text{Cl}^-$ 를 제외한  $\text{NH}_4^+$  (1.3 vs. 0.9),  $\text{K}^+$  (0.1 vs. 0.5),  $\text{Ca}^{2+}$  (0.1 vs. 1.0),  $\text{NO}_3^-$  (0.5 vs. 1.2),  $\text{SO}_4^{2-}$  (2.4 vs. 5.9) 등의 농도가 황사 발생기간 동안에 더 증가한 것으로 나타났다. 이 연구 결과와 차이를 나타내는 것은 근본적으로 측정 시기와 장소가 다르기 때문일 것으로 생각되지만, 그 이외에도 이 연구에서는 총 9회(배경농도 4회)에 걸쳐 시료를 채취하여 얻어진 결과를 해석하다 보니 배경농도가 충분히 반영되지 않았을 수도 있다. 보다 충분한 이해를 위해서는 앞으로 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 중금속 농도

8가지 종류의 중금속에 대한 정량을 위하여 작성한 검량선의 결정계수는 모두 0.9999 이상이었다. 방법검출한계 및 회수율은 Table 7에 나타내었다. 검출한계는 성분에 따라 매우 큰 차이를 나타내어 Cd의 경우 1.5 ng에서부터 Fe의 경우 181 ng까지의 넓은 범위를 나타내었다. 여지로부터 각각의 금속 성분을 spike하여 측정한 회수율은 최저 70에서부터 최고 111%까지 분포를 보였다.

중금속 분석 결과(Table 8), Ba의 경우에는 황사가 심하게 발생하였던 이틀을 제외하면 모두 검출한계 이하였다. Cr, Cu 및 Mn은 일부의 시료에 대하여 검출한계 이하였고, 나머지 금속인 As, Cd, Fe 및 Pb은 모든 시료에서 검출되었다.

**Table 7.** Method detection limits (ng) and recovery (%) for metals measured

Metals	MDL <sup>1</sup>	Recovery <sup>2</sup>	Metals	MDL	Recovery
As	1.9	86 ± 1	Cu	101	111 ± 16
Ba	144	- <sup>3</sup>	Fe	181	70 ± 8
Cd	1.5	89 ± 2	Mn	9.5	95 ± 2
Cr	17	95 ± 4	Pb	38	101 ± 1

<sup>1</sup>Determined based on the amount of each component measured for seven filters onto which a mixture of standard compounds (2  $\mu\text{g}$  for each) was spiked.

<sup>2</sup>Mean ± standard deviation (n = 3).

<sup>3</sup>Not determined.

**Table 8.** Concentrations of eight selected metals (ng/m<sup>3</sup>)

Sampling day	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
3. 21 <sup>1</sup>	6.22	91.7	2.54	9.25	25.7	5726	176	58
3. 22	1.79	< MDL <sup>2</sup>	0.487	0.116	< MDL	1703	50.0	13.4
3. 27	3.05	< MDL	2.00	2.21	19.8	236	< MDL	25.7
4. 04	2.51	< MDL	3.46	3.22	12.2	834	< MDL	44.3
4. 08	3.99	38.4	0.492	6.01	62.7	6759	224	30.0
4. 09	2.60	< MDL	1.80	2.22	9.73	2256	64.3	50.4
4. 17	5.64	< MDL	2.10	< MDL	< MDL	531	0.0581	12.4
4. 24	3.28	< MDL	11.6	< MDL	0.925	229	< MDL	103
5. 09	13.1	< MDL	12.6	14.0	59.2	206	12.3	49.5

<sup>1</sup>Yellow sand occurrence day.

<sup>2</sup>Below the method detection limit.

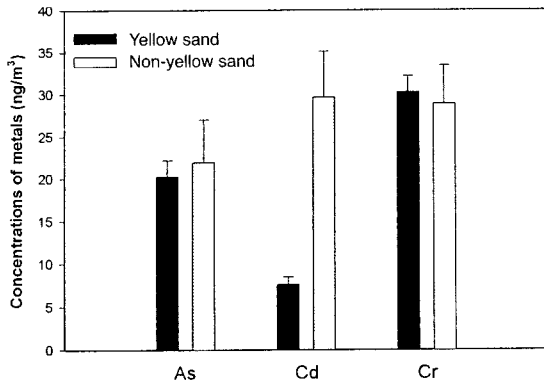


Fig. 2. Comparison of the concentrations of As, Cd and Cr between the yellow sand period and non-yellow sand period.

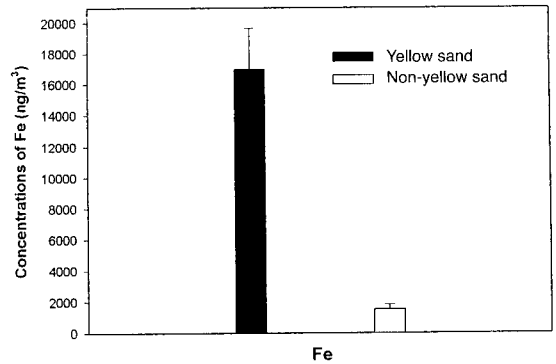


Fig. 4. Comparison of the concentrations of Fe between the yellow sand period and non-yellow sand period.

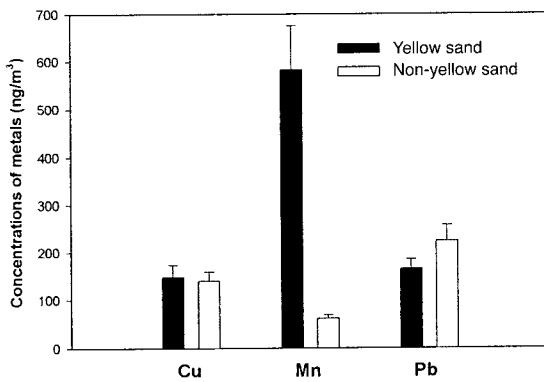


Fig. 3. Comparison of the concentrations of Cu, Mn and Pb between the yellow sand period and non-yellow sand period.

황사 발생일과 비발생일로 나누어 Ba를 제외한 일곱 가지 금속의 농도를 비교한 결과(Figs. 2-4), Cu, As 및 Cr의 농도는 두 기간 동안에 거의 차이를 보이지 않은 반면에, Pb 및 Cd의 경우에는 황사 비발생일의 농도가 발생일에 비해 각각 1.4 및 3.9 배 높게 나타났다. 그렇지만 Mn과 Fe은 황사 발생일에 그 농도가 크게 높아 Mn은 9.5배(582 vs. 61.1 ng/m<sup>3</sup>), Fe은 11.3배(16,975 vs. 1,505 ng/m<sup>3</sup>) 높게 나타났다.

이와 같이 Mn 및 Fe의 농도가 황사 발생기간 동안에 크게 높은 이유는 두 금속이 토양에 많이 함유되어 있는 성분으로서 황사의 이동과 함께 중국

으로부터 한반도로 이동하였기 때문이라고 할 수 있다. 이와 같은 결과는 신은상과 김희강(1992)의 연구에서 서울에서 얻어진 결과와 같은 경향을 나타내었는데, 그들은 황사 발생기간 동안 Fe과 Al의 농도가 비황사시에 비해 각각 4배와 6배 높은 것으로 나타났다. 또한 서울, 부산, 대구 및 광주에서 1993년 4월에 황사 발생일과 비발생일에 대하여 TSP를 채취하여 금속성분에 대해 분석한 결과(이민희 등, 1993)에서는 Cd, Cr 및 Pb의 평균 농도는 서로간에 거의 차이가 없는 것으로 나타나 이 연구에서 나타난 결과와 상이하였다. 반면에 Mn 및 Fe의 농도는 황사 발생기간의 농도가 각각 2.1 및 1.9 배 높게 나타나 증가폭은 작기는 하지만 유사한 경향을 나타냈다. 대구 지역에서 1999년 겨울에 황사가 발생한 기간 동안에 채취된 PM<sub>10</sub> 중 Fe, Al 및 Mn의 농도는 각각 1.4, 1.5 및 1.4배 증가하는 것으로 나타났고, Pb, As, Ni, Cr 및 Cd의 농도는 거의 큰 변동이 없는 것으로 나타났다(최성우와 송형도, 1999).

따라서 황사 발생에 의해 미세분진 중 토양기원 성분들의 농도는 증가하지만 기타 인위적인 금속 성분들의 농도는 큰 변화가 없거나 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 황사 발생으로 인하여 비교적 독성이 강한 무기성분들의 농도가 크게 증가하지는 않는다는 것을 암시하고 있다.

그렇지만 서울에서 황사 발생기간 동안에 채취된 TSP 및 PM<sub>10</sub> 중 PAHs의 농도는 140% 정도 높게 나타난 것으로 보고되었다(박찬구 등, 2001). 따

라서 겨울과 봄철에 주로 발생하는 황사가 편서풍을 타고 이동할 때 토양 기원 물질 뿐만 아니라 중국의 대기 중에 존재하는 PAHs, 휘발성 유기화합물(VOCs), SO<sub>2</sub> 등의 오염물질들도 같이 이동하여 한반도의 대기질 및 건강에 영향을 미칠 수 있으므로 이와 같은 성분들을 포함한 종합적인 연구가 필요할 것으로 생각한다.

## 결 론

춘천지역에서 2002년 봄기간 중 황사 발생기간과 비발생기간 동안에 휴대용 MiniVol Sampler를 사용하여 미세분진(PM<sub>2.5</sub>)을 채취한 후 성분 분석을 실시한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

중국으로부터 한반도에 황사가 이동함에 따라 미세분진인 PM<sub>2.5</sub>의 농도가 평상시보다 크게 증가하여 호흡기 질환을 포함한 건강에 영향을 줄 수 있음을 시사하였다. 무기이온 중에서는 Ca<sup>2+</sup>과 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 농도가 황사 발생으로 인해 농도가 증가하는 것으로 나타났으며, 금속성분 중에서는 Fe 및 Mn과 같은 토양 기원 성분들의 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 그렇지만, 인위적인 무기이온 및 금속 성분들의 농도는 증가하는 것이 관찰되지 않았다.

## 감사의 글

이 연구는 환경부의 차세대 핵심환경기술개발사업의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

박찬구, 어수미, 기원주, 김기현, 모세영. 황사가 서울시 대

- 기 중 PAHs 농도에 미치는 영향, 한국대기환경학회지 2001; 17: 179-192.
- 신은상, 김희강. 서울시에서 대기부유먼지에 대한 황사의 영향, 한국대기보전학회지 1992; 8: 52-57.
- 이민희, 한의정, 신찬기, 한진석, 김상균. 황사현상시 대기에 어로졸 중 무기물질의 동태, 한국대기보전학회지 1993; 9: 230-235.
- 정용승, 김태균. 대기오염의 장거리 이동 사례연구: 황사, TSP, sulphate의 발원지 추적, 한국대기보전학회지 1991; 7: 197-202.
- 정용승. 한·중 대기모니터링. 과학기술부. 1996; p. 171.
- 최성우, 송형도. 대구지역 겨울철 황사기간 중 중금속농도의 변이특성, 환경과학논집 1999; 4: 1-13.
- 최진수, 황승만, 백성우. 대구지역 대기 중 부유먼지에 함유된 화학성분의 입도별 분포특성, 대한환경공학학회지 1995; 11: 279-290.
- Chung YS and Yoon MB. On the occurrence of yellow sand and atmospheric loading, Atmos. Environ. 1996; 30: 2387-2397.
- Duce RA, Unni CK, Ray BJ, Prospero JM, and Merrill JT. Long-range atmospheric transport of soil dust from Asia to the tropical North Pacific: temporal variability, Science 1980; 209: 1522-1524.
- Iwasaki Y, Minoura H, and Nagaya K. The transport and spatial scale of Asian dust-storm event of April 1979, Tellus 1983; 35B: 189-196.
- Kim BG, Ahn JY, Noh HR, Park CJ, Han JS, and Park SU. Physical and chemical properties of a winter-time yellow sand event in Northeast Asia, Water, Air, and Soil Pollut. 2001; 130: 379-384.
- Lin TH. Long-range transport of yellow sand to Taiwan in Spring 2000: observed evidence and simulation, Atmos. Environ. 2001; 35: 5873-5882.
- Murayama N. Dust cloud "Kosa" from the east Asian dust storms in 1982-1988 as observed by the GMS satellite, Meteorological Satellite Center Technical Note 1988; 17: 1-8.