

## 2000-2001년 봄철 황사 및 비황사시 제주도 고산지역 대기 에어로졸 조성 비교

김원형, 강창희, 한성빈  
제주대학교 자연과학대학 화학과

### 요 약

2000년, 2001년 봄철에 대기 에어로졸 시료를 채취하고, 그 성분을 분석하여 황사와 비황사시 에어로졸의 조성 특성을 비교하였다. 수용성 성분의 평균농도는  $nss-SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^- > Na^+ > nss-Ca^{2+} > NH_4^+ > K^+ > Mg^{2+}$  순이었고, S, Na, Al, Ca, Fe, K, Mg의 농도는 각각 2.62, 1.94, 1.74, 1.64, 1.63, 0.87, 0.87  $\mu g/m^3$ 로 비교적 높게 나타났다. 황사와 비황사시에 에어로졸 성분의 농도를 비교해 본 결과  $nss-Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  성분들이 황사시에 증가하는 경향을 보였고,  $nss-Ca^{2+}$ 와  $NO_3^-$ 의 농도가 각각 5.22배, 2.4배 정도 크게 증가한 것으로 조사되었다. 토양의 지표 성분인 Al, Fe, Ca 농도는 황사시에 4.39~4.81배정도 더 증가하였고, Mg, K, Ba, Mn, Sr, Co, V, Ti 등은 2.45~3.53배까지 증가하였다. 인자분석법에 의해 황사와 비황사시 에어로졸의 조성 특성을 조사해 본 결과 황사시에는 토양의 영향이 가장 크고, 다음으로 해양 영향, 인위적 오염 영향이 큰 반면, 비황사시에는 토양의 영향이 가장 크고, 다음으로 인위적 오염 영향, 마지막으로 해양 영향이 큰 것으로 나타났다.

### 1. 서 론

매년 봄철이면 중국 타클라마칸, 고비, 알라산 사막과 황하강 유역 황토고원 등지에서 발생된 직경 0.002~0.05 mm의 작은 모래먼지가 강한 바람에 실려 100~200 만톤씩 고공으로 비산되어 편서풍을 타고 한반도, 일본을 거쳐 멀리 하와이까지 이동하는 황사 현상이 발생한다. 이러한 황사는 대개 1~3일 정도 지속된 후 양쯔강 부근에서 생긴 이동성 고기압이나 북태평양에서 확장된 고기압에 밀려 소멸되기

도 하나 심한 경우 일주일 이상 지속되어 나타나기도 한다(김양균 등, 1990; Iwasaka *et al.*, 1988; Kotamarth and Carmichael, 1993; Hira *et al.*, 1991; Okada *et al.*, 1987, 1990; Husar *et al.*, 2001). 황사는 일반적으로 동북아 지역에서 주로 3월~5월의 봄철에 관측되고 있으며, 보통 30% 정도가 발원지에서 다시 침강되고, 20%는 주변지역으로 이동하며, 한국, 일본, 태평양에 침강되는 양은 약 50% 정도인 것으로 알려지고 있다. 우리 나라에 유입되는 황사는 보통 근원지로부터 2~3일 전에

발생한 것이다(Chung and Park, 1995; Chun, 2000; Chun *et al.*, 2001). 이러한 황사의 영향으로 인해 동아시아 지역에서는 봄철에 에어로졸의 농도가 높아지며, 이 기간에 시정 감소 같은 여러 가지 결과가 나타난다. 황사입자는 대기 중에서 응결핵과 빙정핵으로 작용하여 구름물리에 영향을 주며, 태양 복사선을 흡수, 산란시켜 일사량을 감소시킴으로써 식물의 광합성을 방해한다. 또 기관지염, 천식, 안질, 알레르기 등의 질병을 유발하며, 다양한 염 물질이나 중금속 등을 흡착할 수 있고, 대기 중에서 아황산 가스를 황산으로 산화시키는 촉매의 역할을 하기도 한다(Arao and Ishizaka, 1986). 이처럼 중국에서 발생하여 주변 국가로 장거리 이동되는 봄철 황사는 특히 우리나라의 대기 에어로졸에 다양한 형태로 영향을 미친다. 우리나라는 지리적으로 아시아 대륙의 풍하 측에 위치해 있어 황사는 물론 각종 대기 오염물질의 영향을 크게 받고 있다. 또 우리나라에서 관측되는 황사 자체는 자연 발생적인 현상이지만 황사 입자는 다양한 오염물질들을 흡착한 상태로 이동될 수 있다. 따라서 이 시기에 측정된 여러 대기오염물질의 농도 변화는 중국으로부터 장거리 이동되는 대기오염물질의 영향을 좀 더 가시적으로 확인할 수 있는 근거 자료로 이용될 수 있고, 황사의 영향에 대한 직, 간접적인 관측 및 자료수집이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 보인다.

제주도는 국내에서 자체오염원이 거의 없는 가장 청정한 지역으로 알려져 있으며, 또한 지리적으로도 일본과 중국의 중간에 위치하여 대기오염물질의 장거리 이동에 의한 영향을 파악하고, 그 근거자료를 수집하는데 아주 적합한 곳이다(홍민선 등, 1992; 박경운 등, 1994; 심상규 등, 1994; 이호근 등, 1995; 장광미 등, 1996; Arimoto *et al.*, 1996; Carmichael *et al.*, 1996, 1997, 2002; 김기현 등, 1997; Chen *et al.*, 1997; Arndt *et al.*, 1998; Kim *et al.*,

1998a, 1998b, 2000; 문길주 등, 1999; 강창희 등, 1999). 특히 본 연구를 수행한 고산 측정소는 제주도 서쪽 끝 지점에 위치하고 있으면서 청정지역의 조건을 구비하고 있어서 황사의 영향은 물론 중국 오염이 한반도에 미치는 영향을 평가하기에 아주 적합하다. 이러한 이유로 고산 측정소는 동아시아와 북서태평양 지역에서의 사막먼지와 인위적인 에어로졸의 유출에 대한 집중 관측 및 특성 연구를 위해 시작된 ACE (Aerosol Characterization Experiment) -Asia 프로젝트의 지상 측정소로 지정되었고, 2001년 봄부터 국내외 26개 연구기관이 참여하여 각종 대기오염관련 연구를 수행 중에 있다(Huebert and Bates, 1998). 본 연구는 이러한 고산 측정소에서 황사 에어로졸 시료를 채취, 분석하여 황사와 비황사 기간의 대기 에어로졸 특성을 비교한 결과로 황사의 영향을 평가하는데 그 목적이 있다. 이러한 연구 결과는 황사의 영향은 물론 장거리 이동에 의해 주변국으로부터 유입되는 오염물질의 영향을 평가하는데 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 실험방법

### 2.1 TSP 에어로졸 시료의 채취

TSP(total suspended particulate) 에어로졸 시료는 제주도 북제주군 한경면 고산리 소재 수월봉(33° 28' N, 127° 17' E, 해발 78 m)에 컨테이너와 high volume tape sampler (Kimoto Electric, model 195A)를 설치하여 채취하였다. 고산 측정소는 바다에 바로 인접해 있으며 이동오염원, 점오염원 및 면오염원에 의한 영향을 비교적 적게 받고 있는, 제주도에서도 가장 청정한 지역에 속하는 곳이다. 시료 채취용 필터는 roll type PTFE (Sumitomo Electric, 100 mm × 10 m)를 사용하였다. Air sampler는 측정소 컨테이너 내

부에 탑재하였으며 흡입관 (6 mL, 38 mm ID) 은 컨테이너의 측면을 관통시켜 지상 약 5 m 높이의 에어로졸이 포집될 수 있도록 설치하였다. 흡입 공기의 유속은 초기속도가 대략 170 L/min이 되도록 조정하였고, 전체 유량은 timer와 기록계를 사용하여 산출하였다. 컨테이너 내부는 습기, 온도에 의한 기기 고장 및 오작동을 방지하고, 각종 측정장비들을 탑재하여 지속적으로 가동할 수 있도록 에어컨과 제습기를 설치하여 항온, 항습을 유지하였다. TSP 에어로졸 시료는 2000년 봄철(3월부터 5월까지)에 24시간 단위로 28개, 2001년 봄철에 33개, 총 61개를 채취하였다.

## 2.2 시료의 분석

에어로졸을 채취한 PTFE 필터는 시료가 채취된 부분을 원형으로 잘라낸 뒤 다시 2등분하여 각각 수용성 이온 성분 및 중금속 성분 분석에 사용하였다. 수용성 이온 분석용 필터는 에탄올 0.5 mL로 침적시킨 후 초순수 50 mL를 가하여 초음파세척기에서 30분간 수용성 성분을 용출시키고 재차 진탕기에서 1시간 동안 수용성 성분들을 용출시켰다. 용출액은 0.45  $\mu$ m 필터로 불용성 입자를 거른 후 여액을 양이온 및 음이온 분석용 시료로 이용하였다. 2002년 시료의 경우  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  양이온은 원자흡광광도법(GBC사, Model Avanta-P)으로,  $\text{NH}_4^+$ 은 indophenol 법으로 분석하였고,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  음이온은 ion chromatograph (DIONEX 사, Model DX-500)법으로 동시에 분석하였다. 분석 조건은 IonPac AG4A-SC / IonPac AS4A-SC 분리관, 2.4 mM  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  / 2.25 mM  $\text{NaHCO}_3$  용리액, 25  $\mu$ L 시료 주입량 등이며, ASRS Suppressor와 Conductivity Detector를 이용하여 검출하였다. 그리고 2001년 시료의 경우 모든 양이온과 음이온을 ion chromatographic method(Metrohm, Modula IC)로 동시에 분석하였다. 이 IC는 2개의

Metrohm Modula IC와 auto sampler를 동시에 연결시킨 시스템으로 시료를 1회 주입하여 양이온과 음이온을 동시에 분석할 수 있도록 구성되었다.  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ 의 양이온은 Metrohm Modula IC (907 IC Pump, 732 IC Detector, and Metrohm Metrosep Cation 1-2-6 column)를 사용하여 flow rate = 1.0 mL/min, injection volume = 20  $\mu$ L, eluent = 4.0 mM tartaric acid / 1.0 mM pyridine-2,6-dicarboxylic acid의 조건으로 분석하였다. 또  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ 의 음이온은 Metrohm Modula IC (907 IC Pump, 732 IC Detector, and Metrohm Metrosep A-SUPP-4 column)를 사용하여 flow rate = 1.0 mL/min, injection volume = 100  $\mu$ L, eluent = 1.8 mM  $\text{NaHCO}_3$  / 1.7 mM  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , suppressor solution = 0.1 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 의 조건으로 분석하였다.

에어로졸의 금속 및 황 성분은 EPA Method 3051A의 방법에 따라 마이크로파 분해장치(CEM microwave digestion system, Model MARS-5)를 사용하여 산 용액으로 용출시켰다. 시료가 채취된 필터를 테플론 용기에 넣고 진한 질산 9 mL와 진한 염산 3 mL를 가한 후 마이크로파를 조사하여 10분 동안 온도를 175  $^{\circ}\text{C}$ 로 올리고, 다시 이 온도에서 5분간 유지시켜 총 15분간 시료를 분해하였다. 마이크로파 분해를 거친 용액은 불용 물질을 거른(Whatman, 0.45  $\mu$ m PVDF syringe filter) 후 최종적으로 50 mL가 되도록 초순수로 표충하고, 이 용액을 분석용 시료로 사용하였다. 각종 금속 및 황(S) 성분들은 ICP-AES (Thermo Jarrell Ash, Model IRIS-DUO)법으로 분석하였다. ICP-AES의 분석은 분석 성분들을 농도가 비교적 높은 고농도 성분들(Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, S)과 농도가 낮은 저농도 성분들(Ti, Mn, Ba, Sr, Zn, V, Cr, Pb, Cu, Ni, Co, Mo, Cd)로 분리하여 고농도 성분들은 Radial

Table 1. Instrumental conditions and detection limits ( $3\sigma$ ) of ICP-AES for metals and sulfur analyses.

Instrument		Thermo Jarrel Ash, Model IRIS-DUO			
Operation Mode	Simultaneous mode	RF Power	1150 W		
Plasma Type	Radial, Axial	Ar Flow Rate	Outer = 16.0 L/min Inner = 0.5 L/min Nebulizer = 28, 35 psi		
RF Frequency	40.68 MHz	Pump Rate	130 rpm		
Element	Detection Wavelength (nm)	Detection Limit (ppm)	Element	Detection Wavelength (nm)	Detection Limit (ppm)
Al	396.152	0.044	Fe	259.837	0.009
Ca	317.933	0.021	Na	588.995	0.028
K	766.490	0.068	Mg	202.582	0.012
Ti	334.941	0.001	Mn	257.610	0.0002
Ba	233.527	0.002	Sr	346.446	0.003
Zn	213.856	0.001	V	309.311	0.001
Cr	267.716	0.003	Pb	220.353	0.021
Cu	324.754	0.003	Ni	221.647	0.002
Co	228.616	0.001	Mo	202.030	0.002
Cd	214.438	0.001	S	182.034	0.031

Plasma Torch법, 저농도 성분들은 Axial Plasma Torch법으로 분석하였고, Simultaneous Mode를 이용하였다. 그리고 분석시 ICP의 기기조건 및 각 성분들의 검출한계는 Table 1에 수록하였다. 표준용액은 Accu Standard사의 ICP용 1000 ppm 용액을 초순수와 혼산용액으로 희석하여 조제하였다. 이때 희석용액은 매트릭스 효과를 최소화시키기 위하여 시료의 전처리 과정과 동일한 비율로 HNO<sub>3</sub>과 HCl을 혼합한 용액을 사용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 TSP 에어로졸 분석 결과

##### 3.1.1 수용성 성분 분석 결과

에어로졸의 수용성 성분 분석 데이터는 이온수지(ion balance)를 비교하면 대체적인 신뢰도를 평가할 수 있다. 즉, 에어로졸의 수용성 성분 분석 결과로부터 음이온 당량농도의 합과

양이온 당량농도의 합간의 상관계수를 구했을 때 그 값이 1에 가까울수록 분석 신뢰도가 높다고 볼 수 있다(심상규 등, 1994; 강창희 등, 1999). 2000년과 2001년 봄기간에 고산 측정소에서 채취한 총 61개 시료의 분석 결과들에 대해 이와 같은 방법으로 두 양간의 상관계수를 구하고, % imbalance를 구하여 Table 2에 수록하였다. 두 양간의 상관계수(r)는 0.986으로 비교적 높은 상관관계를 보였다. 또 모든 시료의 분석 결과들에 대해 양이온 당량농도 합과 음이온 당량농도 합간의 불균형(imbalance)도 (Ayers and Manton, 1991)를 조사해 본 결과 전체 61개의 시료 중에 95 %의 데이터가 20 % imbalance 이하의 값을 보였으며 나머지 5 %가 그 이상의 불균형도를 나타내고 있음을 알 수 있었다.

또한 고산 측정소 에어로졸의 수용성 성분 분석한 결과(Table 3) 연구기간의 수용성 성분 평균농도는  $nss-SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^- > Na^+$

Table 2. Data quality control parameters and % Imbalance.

Regression results		% Imbalance*	
Number of point	61	< 10 % Imbalance	39
Slope	0.872	10~20 % Imbalance	19
Intercept	0.018	20~50 % Imbalance	3
Correl. coefficient(r)	0.986	> 50 % Imbalance	0

$$\% \text{ Imbalance} = (T_{\text{Cation}} - T_{\text{Anion}}) \times 100 / 0.5 \times (T_{\text{Cation}} + T_{\text{Anion}})$$

nss-Ca<sup>2+</sup> > NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > K<sup>+</sup> > Mg<sup>2+</sup> 순으로 nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, nss-Ca<sup>2+</sup> 등이 상대적으로 높은 농도를 나타내었다. 이들 중 nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 비해양 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 농도로 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 총 농도에서 해양의 유입에 기인한 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 농도를 뺀 값이며, [nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] = [SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>] - [Na<sup>+</sup>] × 0.251의 식에 의해 계산된 농도이다. 이러한 nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 농도는 대체적으로 해양 영향을 배제한 인위적 요인의 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 농도로 볼 수 있으며, nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 평균농도는 7.72 μg/m<sup>3</sup>로 가장 높은 농도를 나타내었다. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 주로 대기 중으로 배출된 SO<sub>2</sub>가 화학적인 변환을 거쳐 생성된 2차 오염물질로 알려지고 있다. 그리고 부분적으로 해양의 영향을 많이 받고 있고, 에어로졸 분석결과를 기초로 대략 3~10% 정도가 해양에서 발생하는 생물학적 기원이라고 보고되고 있다(Arimoto *et al.*, 1996). 제주지역의 SO<sub>2</sub> 배출은 난방이 22.9%, 산업활동 13.2%, 수송 8.0%, 화력발전이 55.9%로 기여하고 있는 것으로 조사되고 있지만 자체오염원이 적어 절대량에서는 비교적 낮은 농도를 보이고 있다. 본 연구가 수행된 고산 측정소의 경우 해안가에 위치하고 있어서 해양의 유입이 비교적 큰 편이다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 마찬가지로 대부분 인위적 요인의 발생기원을 나타내고, 1차 오염물질인 NO<sub>x</sub>가 산화과정을 거쳐 생성되는 2차 오염물질이 주류를 이룬다. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 발생은 대부분 화석연료의 사용과 관련이 크며 난방, 자동차, 산업활동 등의 영향으로 발생하는 것으로 알려져 있다(박경윤 등, 1994). 본 연구

기간에 측정된 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도는 3.32 μg/m<sup>3</sup>로 제주도 고산지역의 연간 평균값에 비해 훨씬 높은 경향을 보였다. 제주지역의 경우 도시지역에 비해 산업 시설이 거의 없고, 인구밀도도 훨씬 낮은 점을 감안하면 다른 요인보다는 자동차의 영향이 상대적으로 크게 작용할 가능성이 있다. 그러나 고산 측정소 현장이 자동차의 통행이 비교적 많은 국도와 약 2 km 정도 떨어져 있고, 측정소로부터 가장 가까운 마을이 약 1 km 정도 떨어져 있어서 이동오염원과 면오염원의 영향이 많지 않은 곳에 위치하고 있기 때문에 이러한 인위적 오염 성분의 유입 경로를 다각도로 조사해 볼 필요가 있다. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 다음으로 높은 농도를 보이는 성분은 Cl<sup>-</sup>와 Na<sup>+</sup>로 평균 농도가 각각 2.39 μg/m<sup>3</sup>, 2.31 μg/m<sup>3</sup>의 수준을 보였고, 내륙지방에 비해 상대적으로 높은 경향을 나타내고 있다. 또한 nss-Ca<sup>2+</sup>은 Ca<sup>2+</sup>의 총 농도에서 해양에 기인한 Ca<sup>2+</sup>의 농도를 뺀 값으로, [nss-Ca<sup>2+</sup>] = [Ca<sup>2+</sup>] - [Na<sup>+</sup>] × 0.04의 식에 의해 계산된 농도이다. Ca<sup>2+</sup>은 대표적인 토양의 지표성분으로 주로 토양입자의 유입에 의해 대기 에어로졸에 존재하기 때문에 황사의 영향을 가장 크게 받는 성분이다. 연구 기간의 nss-Ca<sup>2+</sup> 농도는 1.47 μg/m<sup>3</sup>로 이 지역의 연평균 농도보다 훨씬 더 높은 농도를 나타내었다.

### 3.1.2 금속성분 분석 결과

대기 에어로졸 입자들은 조성이나 입자 크기에 따라 인간의 건강이나 식물의 생육에도

크게 영향을 미치고, 다양한 종류의 대기오염 물질을 흡착한 상태로 부유된다. 또 에어로졸은 발생기원에 따라 입자의 크기, 밀도, 흡습성 등이 물리적 특성이 다르고, 중금속, 수용성 성분의 함량 등 화학적 조성이 다른 특성을 보인다. 일반적으로 입자상 대기오염물질 중의 중금속 성분들은 이온성분, 탄소 성분과 함께 주요한 구성성분이다. 특히, 주로 인위적 오염물질에서 배출되는 미세입자 중 금속성분들은 체류시간이 길고, 인체 내에 흡입되어 큰 피해를 주는 것으로 알려져 있다. 또 입자상 물질 중 금속성분은 입자상 물질의 발생원을 추정하고 각 발생원별 기여율을 산정하는데 있어서 중요한 정보를 제공하게 된다. 대기 중의 부유분진

은 토양의 먼지 및 해염 등에 의해 발생하는 자연적인 것과 연료의 연소, 자동차 배출가스 등에 의해 방출되는 인위적, 그리고 대기 중의 광화학 반응에 의해 생성되는 2차 생성입자 등으로 구성된다. 일반적으로 각 성분별 발생기원을 보면 Al, Ca, Fe, Zn, Mn, Mg 등은 토양 혹은 먼지의 비산에 의해, Ni, V 등은 연료의 연소 과정에서, Pb는 자동차의 배출가스에서, Cu, Cd, Zn, Cr, Pb 등은 소각 과정에서, Na, K, Mg 등은 해염에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다(Huang *et al.*, 1994). 본 연구에서는 에어로졸에 포함된 여러 금속성분들의 함량을 비교하기 위해 모두 19종의 금속 성분들과 황 성분들을 분석하였고, 그 결과를

Table 3. Comparison of TSP aerosol compositions between Yellow Sand and Non-Yellow Sand periods in 2000-2001 spring seasons.

Component	Whole		Yelllow Sand		Non-Yellow Sand		Y/NY Ratio	
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.		
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.17	1.25	1.14	0.77	1.89	1.33	0.60
	Na <sup>+</sup>	2.31	1.72	4.18	1.79	1.65	1.11	2.54
	K <sup>+</sup>	0.52	0.44	0.75	0.36	0.44	0.44	1.68
	nss-Ca <sup>2+</sup>	1.47	2.01	3.65	2.82	0.70	0.66	5.22
	Mg <sup>2+</sup>	0.37	0.29	0.71	0.30	0.25	0.16	2.89
	nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7.72	4.30	8.38	3.94	7.48	4.44	1.12
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3.32	2.67	5.82	3.06	2.43	1.85	2.39
	Cl	2.39	3.11	5.18	3.82	1.11	1.37	4.65
	Al	1.74	2.38	4.14	3.29	0.86	1.01	4.81
	Fe	1.64	2.26	3.89	3.30	0.83	0.81	4.70
	Ca	1.63	2.23	3.76	3.23	0.86	0.92	4.39
	Na	1.94	1.85	3.29	2.03	1.45	1.53	2.26
	K	0.87	1.04	1.80	1.41	0.53	0.59	3.40
	Mg	0.87	0.99	1.84	1.36	0.52	0.47	3.53
	S	2.62	2.04	2.99	2.02	2.48	2.06	1.20
	$\text{ng}/\text{m}^3$	Ba	14.8	16.4	30.2	22.1	9.2	8.9
Cd		1.5	1.1	2.1	1.3	1.3	0.9	1.65
Co		1.2	1.3	2.2	1.9	0.8	0.6	2.76
Cr		6.2	6.9	9.9	5.3	4.8	7.0	2.07
Cu		6.2	5.5	9.3	7.3	5.1	4.2	1.84
Mn		46.0	45.5	92.0	53.7	29.3	27.6	3.14
Mo		1.3	1.0	1.6	1.3	1.2	0.9	1.29
Ni		9.0	5.3	13.4	4.5	7.4	4.7	1.81
Pb		58.2	59.9	78.5	64.6	50.9	57.2	1.54
Sr		10.3	10.2	20.1	13.7	6.8	5.4	2.96
Ti		85.7	83.8	151.9	87.3	61.6	68.9	2.45
V		17.9	16.3	32.5	21.6	12.5	9.7	2.61
Zn		63.5	67.2	97.2	89.1	51.2	53.4	1.90

Table 3에 나타내었다. 이들 각 성분들의 평균 농도를 비교해 본 결과 주로 인위적 발생기원을 나타내는 S 농도가 2.62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높고, 다음으로 Na, Al, Ca, Fe, K, Mg 등의 해염 및 토양 성분들이 대체적으로 높은 농도를 보였으며, 이들 성분들은 각각 1.94, 1.74, 1.64, 1.63, 0.87, 0.87  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 나타내는 것으로 조사되었다.

### 3.2 황사와 비황사시의 농도 비교

황사의 성분인 황토는 마란황토, 이석황토, 우성황토로 구성된다. 마란황토는 황토지역의 표면을 구성하는 것으로 누런 색을 띠고 두께는 약 100 ~ 200 m를 차지한다. 이석황토는 황토지대가 침식되었을 때 나타나는 붉은 흙(loam)으로 황토층의 두꺼운 층을 이루고 있으며, 우성황토 역시 붉은 색으로 황토지대의 가장 아랫부분에 존재한다. 또 황토는 퇴스(loss)로도 불리고 있으며, 이는 바람에 의해 침적한 모래와 진흙이 섞인 점토를 의미한다. 퇴스는 전세계 지표면의 10 % 정도를 차지하며 그중 가장 두껍고 넓은 지역이 황토고원으로 신생대 제4기 경(약 180만년전)에 형성되었다. 우리 나라에서 관측되는 황사는 보통 1

~ 10  $\mu\text{m}$  크기의 입자로, 기상조건에 따라 차이가 있지만 1  $\mu\text{m}$  크기의 흙먼지는 수년 동안, 10  $\mu\text{m}$  크기의 흙먼지는 수시간 ~ 수일 동안 공중에 부유할 수 있는 것으로 조사되고 있다. 이러한 황토의 주성분은 장석, 석영, 운모 등으로 성분은  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , FeO, MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCO}_3$  등을 포함하고 있다. 이 중 가장 많이 분포되어 있는 원소는 Si, Ca, Al, Fe의 순인 것으로 알려져 있다. 일반적으로 비황사시의 대기 에어로졸은 연소입자를 다량으로 함유하고 미세 입자의 비율이 높으나 황사시에는 토양입자 및 조대입자의 함유율이 높은 것으로 조사되어 있다(김양균 등, 1990; Chung and Park, 1995; Chun, 2000; Chun *et al.*, 2001). 서울 지역에서 조사한 바에 따르면 황사입자의 크기는 2.1  $\mu\text{m}$  이상의 조대입자가 50 % 이상을 차지하는 것으로 조사되고 있다. 본 연구가 수행된 2000년과 2001년 봄철에 서울, 군산, 목포, 제주에서 발생한 황사일을 Table 4에 수록하였다. 이 지역에서의 황사 발생은 횡수에 약간씩 차이가 있으나 발생 시기는 거의 동일한 것으로 조사되었다. 또한 본 연구에서 모두 61회에 걸쳐 채취한 에어로졸 시료의 수용성 성분과 금속 성분 분석 결과를 황사시와 비황사로 구분하여

Table 4. List of Yellow Sand event days in Cheju, Mokpo, Kunsan and Seoul in 2000-2001.

City	2000	2001
Jeju	March 23, 24, 26, 27, 28, 29	March 3, 4, 6, 7, 10, 11, 20, 21, 22, 23, 24
	April 7, 8, 10, 21, 26, 27	April 10, 11, 12, 13, 14, 25, 26,
		May 16, 17, 18
Mokpo	March 23, 24, 26, 27, 28, 29	March 3, 6, 7, 20, 21, 22, 23, 24
	April 7, 8, 10, 23, 26, 27	April 10, 11, 12, 24, 25
		May 16, 17
Kunsan	March 7, 23, 24, 26, 27, 28, 29	March 3, 4, 5, 6, 7, 20, 22, 23, 24, 25
	April 7, 8, 10, 12, 23, 26	April 9, 10, 11, 12, 13, 14, 24, 25
	May 4	May 3, 16, 17, 18
Seoul	March 7, 23, 24, 27, 28	March 3, 4, 5, 6, 7, 20, 22, 23, 24, 25
	April 7, 8, 23, 26, 27	April 7, 8, 9, 10, 11, 12, 24, 25, 26
		May 16, 17, 18, 19

각 성분들의 농도를 Table 3과 Figure 1~4에 비교하였다.

황사와 비황사시에 주요 수용성 성분들의 농도 변화를 보면  $\text{NH}_4^+$ 를 제외한 모든 성분들이 대체적으로 농도가 증가하는 경향을 보였다. 특히 토양 기원의 지표물질인  $\text{nss-Ca}^{2+}$ 의 경우  $3.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 황사시에 약 5.22배 정도 농도가 크게 증가하였고, 황사현상이 아주 심했던 2001년 3월 22일과 4월 10~13일의 경우  $\text{nss-Ca}^{2+}$ 의 농도가 각각 13.4배, 9.1배까지 증가하는 것으로 나타났다. 또 대표적 인위 오염 물질인  $\text{SO}_4^{2-}$ 와  $\text{NO}_3^-$ 의 농도 변화를 보면 황사시에 두 성분의 농도가 동시에 증가하나  $\text{SO}_4^{2-}$ 보다는  $\text{NO}_3^-$ 의 농도가 더 크게 증가하는 경향을 보였다. 전체적으로  $\text{SO}_4^{2-}$  농도 증가에 1.12인데 비해  $\text{NO}_3^-$ 의 농도 증가가 약 2.4배 정도로 상대적으로 더 컸고, 황사가 심했던 2001년 3월 22일과 4월 10~13일의 경우  $\text{SO}_4^{2-}$  농도가 각각 1.5배, 1.7배 증가하였고,  $\text{NO}_3^-$ 의 농도는 각각 3.6배, 3.4배까지 증가하였다. 이상과 같은 수용성 성분 결과를 종합해 보면 대체적으로  $\text{NH}_4^+$ 의 농도는 황사의 영향을 크게 받고 있지 않으나 나머지 성분들은 황사기간에 농도가 증가하는 경향을 보였고, 이들 중에서도  $\text{nss-Ca}^{2+}$ 와  $\text{NO}_3^-$ 의 농도 증가가 두드러진 것으로 조사되었다.

또한 에어로졸의 금속과 황 성분의 분석 결과를 보면 이들 대부분의 성분들이 대체적으로 황사시에 더 높은 농도를 나타내고 있다. 이들 중 특히 토양의 지표 성분인 Al, Fe, Ca 성분의 경우 농도가 황사시에 각각 4.14, 3.89,  $3.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 비황사시에 각각 0.86, 0.83,  $0.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 황사시에 4.39~4.81배정도 더 증가하였다. 다음으로 Mg, K, Ba, Mn, Sr, Co, V, Ti 등이 2.45~3.53배까지 증가하는 경향을 보였다. 이들 성분들 역시 토양과 부분적으로 해염이나 생물질 연소(biomass burning) 등의 과정에서 발생되고 있는 성분으로 황사시 대기에어로졸

은 대부분 토양입자들로 구성되고 있음을 확인할 수 있다. 반면에 Cd, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn 성분들은 위의 다른 성분들에 비해 상대적으로 작은 농도변화를 나타내었고, 대략 1.29~1.90배의 증가 범위를 보였다. 이들 성분들은 주로 연료의 연소, 소각, 자동차 배출가스와 같은 인위적 요인에 의해 발생되고 있는 것으로 알려져 있다. 이들 성분들의 농도 증가는 그 증가율이 작기는 하나 황사시에 인위적 오염 성분들이 토양 성분들과 함께 장거리 이동될 수 있음을 의미한다. 한편 인위적 오염 기원의 S 농도는 황사와 비황사 시에 각각  $2.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $2.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 비황사시에 비해 황사시에 1.2배 정도 더 높은 것으로 조사되었다. S는 토양에는 거의 존재하지 않는 성분으로 주로 황사 입자 표면에 흡착된 황산염의 성분으로 판단된다. 따라서 이러한 농도 증가는 황사가 중국으로부터 이동되는 과정에서 황화합물을 흡수 또는 반응한 상태로 제주 지역 대기에 유입되고 있음을 보여주는 결과이다. 제주지역의 계절별 주 풍향을 보면 대체적으로 봄에는 북서 계절의 풍향이 주류를 이루고 있고, 여름에는 남동 계절, 가을에는 북동 계절, 그리고 겨울에는 북풍이 주류를 이루고 있다(Carmichael *et al.*, 1997). 본 연구가 주로 북서 계절이 우세하고 중국의 영향을 많이 받고 있는 봄철에 이루어졌고, 이 시기의 데이터만을 비교했음을 감안하면 연간 평균농도와 황사시와의 농도차는 훨씬 더 클 것으로 추정된다.

### 3.3 에어로졸 성분의 발생기원

에어로졸 성분의 특성을 조사하기 위하여 통계 프로그램(SPSS)을 이용하여 요인분석(factor analysis)을 실시하였다(Crawley and Sieveering, 1986; 황인조와 김동술, 1998; Olsen *et al.*, 1990; Seto *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2000).



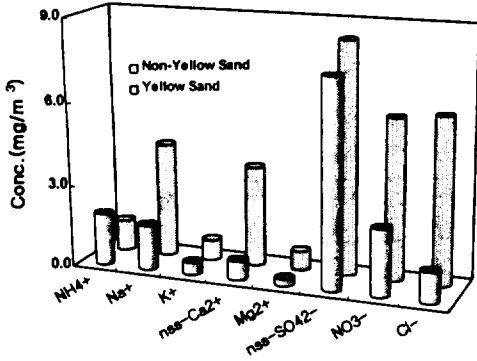


Figure 1. Comparison of water-soluble component concentrations at Gosan between Yellow Sand and Non-Yellow Sand periods in 2000-2001 spring seasons.

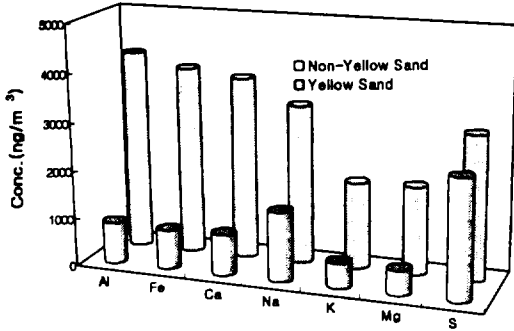


Figure 2. Comparison of Al, Fe, Ca, Na, K, Mg and S concentrations at Gosan between Yellow Sand and Non-Yellow Sand periods in 2000-2001 spring seasons.

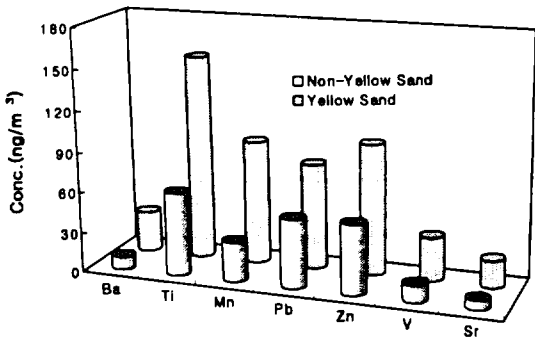


Figure 3. Comparison of Ba, Ti, Mn, Pb, Zn, V and Sr concentrations at Gosan between Yellow Sand and Non-Yellow Sand periods in 2000-2001 spring seasons.

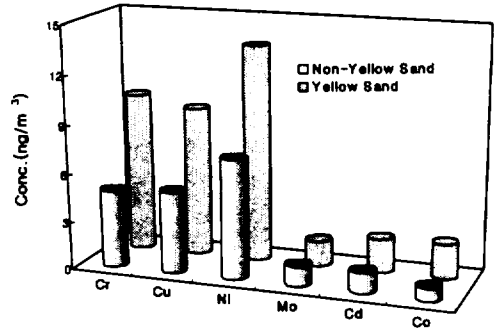


Figure 4. Comparison of Cr, Cu, Ni, Mo, Cd and Co concentrations at Gosan between Yellow Sand and Non-Yellow Sand periods in 2000-2001 spring seasons.

요인분석은 변수들 간의 상관관계를 이용하여 서로 유사한 변수들끼리 묶어주는 방법으로 대개 여러 변수들간의 상관 matrix에서 인자 적재치가 클수록 변수들간의 특성이 유사하다고 추정할 수 있다(원태현과 정성원, 1999). 본 연구의 경우 분석 결과를 황사시와 비황사시의 데이터로 분류하고, 고유값 1 이상의 최적인자수로 정하여 인자를 추출한 결과 각각 5개의 인자를 추출할 수 있었고, 이 경우 전체 인자 중 92.8 %와 87.1 %의 설명력을 보였다. 이처럼 최적인자의 수를 결정하고 varimax 회전법을 이용하여 산출한 요인분석 결과를 Table 5와 Table 6에 수록하였다. 우선 Table 5에서 황사시의 인자분석 결과를 보면 첫 번째 인자는 53.4 %의 설명력을 보였고, Al, Fe, Ca를 중심으로 대부분의 금속 성분들이 높은 적재값을 나타내었다. 이들 성분들은 대체적으로 토양입자의 주요 성분들로 황사의 영향에 의해 대기 에어로졸에 유입된 것으로 판단된다. 두 번째 인자는 Zn, Pb, Cd 등이 적재된 것으로 보아 자동차나 소각과정에서 발생한 오염물질의 영향으로 보이며, 세 번째 인자는  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ 만이 큰 적재값을 보였고, 이들 성분들은 전형적인 해염의 지표 성분들이다. 네 번째 인자로는  $\text{K}^+$ ,  $\text{nss-Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  성분이 높은

Table 5. Varimax factor analysis results for the aerosol components at Gosan site during Yellow Sand period in 2000-2001 spring seasons.

Component	Yellow Sand				
	factor 1	factor 2	factor 3	factor 4	factor 5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0.155	-0.222	-0.332	0.124	<b>0.800</b>
Na <sup>+</sup>	0.085	0.082	<b>0.972</b>	-0.006	-0.046
K <sup>+</sup>	-0.041	0.143	0.244	<b>0.691</b>	0.580
nss-Ca <sup>2+</sup>	0.149	0.357	0.436	<b>0.750</b>	0.132
Mg <sup>2+</sup>	0.212	0.197	<b>0.846</b>	0.317	0.245
nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.031	0.241	0.147	0.464	<b>0.804</b>
NO <sub>3</sub>	0.115	-0.019	0.043	<b>0.919</b>	0.182
Cl	0.014	0.249	<b>0.859</b>	0.234	-0.276
Al	<b>0.974</b>	0.065	-0.060	0.027	-0.136
Fe	<b>0.959</b>	0.157	0.065	0.050	0.078
Ca	<b>0.930</b>	0.239	0.050	-0.017	0.025
Na	<b>0.817</b>	0.248	0.366	-0.279	0.102
K	<b>0.921</b>	0.267	0.150	0.113	0.045
Mg	<b>0.968</b>	0.147	0.145	-0.042	0.024
Ti	<b>0.860</b>	-0.089	0.357	-0.111	-0.049
Mn	<b>0.923</b>	0.103	0.099	0.242	-0.169
Ba	<b>0.966</b>	0.130	-0.073	0.110	-0.149
Sr	<b>0.933</b>	0.241	0.106	0.032	0.052
Zn	0.109	<b>0.860</b>	0.249	0.369	-0.003
V	<b>0.973</b>	0.171	0.048	0.028	-0.009
Cr	<b>0.956</b>	0.186	-0.008	0.141	-0.023
Pb	0.134	<b>0.840</b>	0.278	0.337	0.073
Cu	0.389	0.875	0.100	0.134	0.023
Ni	<b>0.793</b>	0.459	0.144	0.115	-0.130
Co	<b>0.865</b>	0.220	-0.133	-0.124	-0.115
Mo	0.399	<b>0.756</b>	-0.183	-0.347	-0.076
Cd	0.400	<b>0.700</b>	0.293	-0.383	-0.098
S	<b>0.664</b>	0.578	0.153	-0.025	0.179
Eigenvalue	14.9	4.9	2.8	2.2	1.1
Variance(%)	53.4	17.6	10.1	7.8	3.9
Accum.(%)	53.4	71.0	81.1	88.9	92.8

적재값을 나타내었다. 그러나 nss-Ca<sup>2+</sup>의 대표적인 토양 기원의 성분인 반면 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>은 인위적 기원의 성분으로 두 성분은 전혀 다른 발생기원을 갖고 있다. 이처럼 서로 다른 발생기원의 두 성분이 동일한 인자로 나타나는 것은 이들이 동일한 유입 경로에 의해 대기로 유입되고

있음을 의미한다. 즉, 고산지역이 청정지역임을 감안하면 이들 성분들은 측정소 주변에서 국지적으로 발생되기보다는 타 지역에서 발생하여 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 성분과 토양입자가 흡착 또는 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 형태로 동시에 제주지역 대기 에어로졸에 유입되었을 가능성이 큰 것으로 추정된다(Zhang

et al., 2000; Ro et al., 2001). 또 금속성분 중 Al, Fe, Ca 등과 수용성 성분의 nss-Ca<sup>2+</sup> 은 모두 토양 기원의 성분들로 동일한 인자로 나타나는 것이 일반적인 경향이다. 그러나 본 결과에서는 두 종류의 성분들이 서로 다른 인

자를 나타내고 있어서 결과를 해석하는데 약간의 어려움이 있었다. 마지막으로 다섯 번째 인자는 인위적 요인의 발생기원을 갖고 있는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 높은 적재값을 나타내었다. 이러한 결과를 종합해 보면 대체적으로 황사시

Table 6. Varimax factor analysis results for the aerosol components at Gosan during Non-Yellow Sand period in 2000-2001 spring seasons.

Component	Non-Yellow Sand				
	factor 1	factor 2	factor 3	factor 4	factor 5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0.100	<b>0.827</b>	0.005	-0.106	-0.018
Na <sup>+</sup>	0.115	0.052	0.007	<b>0.939</b>	0.091
K <sup>+</sup>	0.142	<b>0.925</b>	0.031	0.237	0.007
nss-Ca <sup>2+</sup>	0.111	0.364	-0.006	0.178	<b>0.847</b>
Mg <sup>2+</sup>	0.129	0.196	-0.029	<b>0.679</b>	<b>0.607</b>
nss-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.068	<b>0.868</b>	-0.055	0.022	0.286
NO <sub>3</sub>	0.099	<b>0.632</b>	0.036	0.545	0.127
Cl	0.091	-0.102	0.076	<b>0.884</b>	0.005
Al	<b>0.967</b>	-0.085	0.161	0.017	-0.006
Fe	<b>0.958</b>	-0.003	0.181	0.086	0.016
Ca	<b>0.962</b>	0.150	0.122	0.060	-0.038
Na	0.582	-0.116	<b>0.638</b>	0.316	-0.211
K	<b>0.849</b>	0.431	0.225	-0.005	-0.122
Mg	<b>0.870</b>	0.229	0.237	0.215	-0.130
Ti	0.564	-0.238	0.413	0.327	0.299
Mn	<b>0.817</b>	0.085	0.245	0.092	0.474
Ba	<b>0.855</b>	0.342	0.116	0.070	0.314
Sr	<b>0.728</b>	0.315	0.358	0.172	0.361
Zn	0.343	<b>0.699</b>	0.530	-0.051	0.139
V	<b>0.673</b>	-0.086	0.320	-0.011	0.481
Cr	0.287	-0.155	<b>0.834</b>	0.025	0.058
Pb	0.301	<b>0.679</b>	0.470	-0.017	0.111
Cu	0.309	<b>0.640</b>	0.397	-0.136	0.179
Ni	<b>0.648</b>	-0.058	0.505	0.054	0.381
Co	<b>0.693</b>	0.078	0.572	0.080	0.315
Mo	0.144	0.464	<b>0.776</b>	-0.047	-0.037
Cd	0.300	0.281	<b>0.843</b>	0.103	0.104
S	0.237	0.578	<b>0.708</b>	-0.061	-0.085
Eigenvalue	13.3	4.6	3.0	2.0	1.5
Variance(%)	47.5	16.4	10.7	7.0	5.5
Accum.(%)	47.5	63.9	74.6	81.6	87.1

대기 에어로졸은 상대적으로 토양의 영향이 가장 크고, 다음으로 해양 영향, 마지막으로 인위적 오염 영향이 큰 것으로 추정된다. 한편 Table 6에서 보는 바와 같이 비황사시의 인자 분석 결과에서는 첫 번째 인자는 Al, Fe, Ca를 비롯한 몇몇 금속 성분들이 높은 적재값을 나타내었고, 47.5%의 설명력을 보였다. 이들 성분들 역시 토양입자의 주요 성분들로 비황사시에도 봄철에는 토양의 영향에 가장 크게 나타나고 있는 것으로 판단된다. 두 번째 인자는  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{nss-SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ 과 Zn, Pb, Cu가 높은 적재값을 보였다. 이들 성분들은 대부분 인간의 활동에 기인해서 발생하는 인위적 기원의 오염물질들이다. 세 번째 인자 역시 Cr, Cd, S 등 인위적 기원의 성분들이 큰 적재값을 갖고 있는 것으로 보아 인위적 영향으로 판단된다. 네 번째 인자에는  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ 만이 큰 적재값을 보였고, 이들 성분들은 전형적인 해염의 지표 성분들이다. 마지막 다섯 번째 인자에는  $\text{nss-Ca}^{2+}$ 과  $\text{Mg}^{2+}$ 만이 높은 적재값을 나타내었다. 이들 성분들 역시 대표적인 토양 기원의 성분들로 첫 번째 인자의 Al, Fe, Ca 등과 동일한 인자를 나타내는 것이 일반적이다. 그러나 본 결과에서는 두 종류의 성분들이 서로 다른 인자를 나타내어 서로 다른 유입 특성을 나타내고 있는데 이에 대한 원인은 좀 더 다각적으로 검토가 이루어져야 할 것으로 보인다. 이러한 인자분석 결과를 기초로 대체적인 경향을 보면 비황사시 대기 에어로졸 역시 봄철의 경우 토양의 영향이 가장 크고, 다음으로 인위적 오염 영향, 마지막으로 해양 영향이 큰 것으로 판단된다. 이처럼 황사시와 비황사시로 분류하여 실시한 두 가지 인자분석 결과를 종합적으로 비교해 보면 고산지역 에어로졸은 황사시 토양의 영향이 가장 크고, 다음으로 해양 영향, 인위적 오염 영향이 큰 반면, 비황사시에는 토양의 영향이 가장 크고, 다음으로 인위적 오염 영향, 마지막으로 해양 영향이 큰 것으로 추정된다.

#### 4. 결 론

청정지역인 제주도 고산지역에 high volume tape sampler를 설치하여 2000년과 2001년 봄철에 대기 에어로졸 시료를 채취하고, 그 성분을 분석하여 에어로졸의 조성과 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 분석 데이터들에 대해 양이온 당량농도의 합과 음이온 당량농도의 합간의 상관계수를 구해 본 결과 0.986으로 높은 상관성을 보였고, 양이온과 음이온 당량농도 합간의 불균형은 95%의 데이터가 20% imbalance 이하의 값을 보였다.
- 2) 수용성 성분의 평균농도는  $\text{nss-SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{nss-Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$  순으로  $\text{nss-SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{nss-Ca}^{2+}$  등이 상대적으로 높은 농도를 나타내었다.
- 3) 금속과 황 성분의 농도를 비교해 본 결과 주로 인위적 발생기원을 나타내는 S 농도가  $2.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높고, 다음으로 Na, Al, Ca, Fe, K, Mg 등의 해염 및 토양 성분들이 대체적으로 높은 농도를 보였으며, 이들 성분들은 각각 1.94, 1.74, 1.64, 1.63, 0.87,  $0.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 나타내는 것으로 조사되었다.
- 4) 황사와 비황사시에 에어로졸 성분의 농도를 비교해 본 결과  $\text{NH}_4^+$ 를 제외한  $\text{nss-Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  성분들이 황사시에 증가하는 경향을 보였고, 이들 중에서도  $\text{nss-Ca}^{2+}$ 와  $\text{NO}_3^-$ 의 농도가 각각 5.22배, 2.4배 정도 크게 증가한 것으로 조사되었다. 또 에어로졸의 금속과 황 성분의 분석 결과에서는 토양의 지표 성분인 Al, Fe, Ca 성분의 경우 농도가 황사시에 4.39 ~ 4.81배정도 더 증가하였고, Mg, K, Ba, Mn, Sr, Co, V, Ti 등은 2.45 ~ 3.53배까지 증가하는 경향을 보였다. 또한 인위적 기원의 S 농도는 1.2배 정도 더 높고, Cd, Cu, Mo,

Ni, Pb, Zn 성분들은 대략 1.29 ~ 1.90배 증가한 것으로 조사되었다.

- 5) 인자분석법에 의해 황사시와 비황사시 에어로졸의 조성 특성을 조사해 본 결과 황사시에는 토양의 영향이 가장 크고, 다음으로 해양 영향, 인위적 오염 영향이 큰 반면, 비황사시에는 토양의 영향이 가장 크고, 다음으로 인위적 오염 영향, 마지막으로 해양 영향이 큰 것으로 추정된다.

### 참 고 문 헌

- 강창희, 김원형, 홍상범, 이기호, 홍민선, 심상규 (1999) 청정지역 강우의 분석 : 1997-1998년 한라산 1100 고지와 제주시 강우의 특성, 한국대기환경학회지, 15(5), 555-566.
- 김기현 · 이강웅 · 허철구 · 강창희 (1997) 제주도 연안해역을 중심으로 한 DMS 농도의 관측, 「한국대기보전학회지」, 13(2), 161-170
- 김양균 등 (1990) 대기오염물질의 장거리 이동과 산성비 강하에 관한 연구 (II). 과학기술처 연구보고서, p121.
- 문길주 등 (1999) 동북아 대기오염 장거리이동과 환경보전협력방안에 관한 조사연구 (IV), 국립환경연구원.
- 박경윤, 이호근, 서명석, 장광미, 강창희, 허철구 (1994) 제주도 고산 측정소에서의 대기오염 배경농도 측정 및 분석, 한국대기보전학회지, 10(4), 252-259.
- 심상규, 강창희, 김용표 (1994) 제주도에서의 빗물 이온 농도 분석, 한국대기보전학회지, 10(2), 98-104.
- 원태연, 정성원 (1999) 통계조사분석, SPSS 아카데미, p373.
- 이호근, 박경윤, 서명석, 장광미, 강창희, 허철구 (1995) 제주도 고산에서 수용성 에어로졸의 화학적 성분분석, 한국대기보전학회지, 11(3), 245-252
- 장광미, 이호근, 서명석, 박경윤, 강창희, 허철구, 심상규 (1996) 1994년 자료에 나타난 제주도 고산에서의 SO<sub>2</sub> 농도 변화특성, 한국대기보전학회지, 12(5), 541-554.
- 홍민선, 이상훈, 이동섭, 강창희, 박경윤 (1992) 제주도 고산에서의 대기오염물질 측정 및 분석에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 8(4), 257-261.
- 황인조, 김동술 (1998) Submicron 부유분진의 화학적 조성 및 분포에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 14(1), 11-23.
- Arimoto R., R. A. Duce, D. L. Savoie, J. M. Prospero, R. Talbot, J. D. Cullen, U. Tomza, N. F. Lewis, B. J. Ray (1996) Relationships among aerosol constituents from Asia and the North Pacific during PEM-West A, J. Geophys. Res., 101(D1), 2011-2023
- Arndt R. L., G. R. Carmichael, and J. M. Roorda (1998) Seasonal source-receptor relationships in asia, Atmospheric Environment, 32(8), 1397-1406.
- Ayers G. P. and M. J. Manton(1991) Rain water compositionas two BAPMoN regional stations in SE Australia, Tellus, 43B, 379-389.
- Carmichael G. R. , M. S. Hong, H. Ueda, L. L. Chen, K. Murano, J. K. Park, H. Lee, Y. Kim, C. Kang, and S. Shim (1997) Aerosol composition at Cheju Island, Korea, J. Geophys. Res., 102(D5), 6047-56061.
- Carmichael G. R., Y. Zhang, L. Chen, M. S. Hong, and H. Ueda (1996) Seasonal

- variation of aerosol composition at Cheju Island, Korea, *Atmospheric Environment*, 30(13), 2407-2416.
- Carmichael G. R., Calori G., Hayami H., Uno I., Cho S. Y., Engardt M., Kim S. B., Ichigawa Y., Ikeda Y., Woo J. H., Ueda H., and Amann M. (2002) The MICS-Asia study: model Inter-comparison of long-range transport and sulfur deposition in East Asia, *Atmospheric Environment*, 36, 175-199.
- Chen L. L., G. R. Carmichael, M. S. Hong, H. Ueda, S. Shim, Chul H. Song, Y. P. Kim, R. Arimoto, J. Prospero, Dennis Savoie, K. Murano, J. K. Park, H. Lee, and C. Kang (1997) Influence of continental outflow events on the aerosol composition at Cheju Island, South Korea, *J. Geophys. Res.*, 102(D23), 28551-28574.
- Chun Y. S., Boo K. O., Kim J. Y., Park S. U., and Lee M. H. (2001) Synopsis, transport, and physical characteristics of Asian dust in Korea, 106(D16), 18,461-18,469.
- Crawley J. and H. Sieveering (1986) Factor analysis of the MAP3S/RAINE precipitation chemistry network : 1976-1980, *Atmospheric Environment*, 20, 1001-1013.
- Hira E., Miyazaki M., Chohji T., Lee M. H., Kitamura M., Yamaguchi K. (1991) Emerging Issues in Asia, Proceedings of the 2nd IUAPPA Regional Conference on Air Pollution, Seoul, Korea, II. 27~35.
- Huang, X., I. Olmez, N. K. Aras and G. E. Gorden(1994) Emissions of trace elements from motor vehicles: potential marker elements and source composition profile, *Atmos. Environ.*, 28(8), 1385-1391.
- Huebert B. and T. Bates (1998) ACE-Asia(Asian Pacific Regional Aerosol Characterization Experimental;project propectus, The 2nd ACE-Asia planning meeting, Nov. 10-13, Cheju.
- Husar R. B., D. M. Tratt, B. A. Schichtel, S. R. Falke, F. Li, D. Jaffe, S. Gassó, T. Gill, N. S. Laulainen, F. Lu, M. C. Reheis, Y. Chun, D. Westphal, B. N. Holben, C. Gueymard, I. McKendry, N. Kuring, G. C. Feldman, C. McClain, R. J. Frouin, J. Merrill, D. DuBois, F. Vignola, T. Murayama, S. Nickovic, W. E. Wilson, K. Sassen, N. Sugimoto, and W. C. Malm (2001) Asian dust event of April 1998, 106(D16), 18,317-18,330.
- Iwasaka Y., M. Yamato, R. Imasu, and A. Ono (1988) Transport of Asian dust (KOSA) particles; importance of weak KOSA events on the geochemical cycle of soil particles, *Tellus*, 40B, 494-503.
- Kim Y. P., Shim S. G., Moon K. C., Hu C. G., Kang C. H., and Park K. Y. (1998a) Monitoring of air pollutants at Kosan, Cheju Island, Korea during March-April, 1994, *J. Applied Meteorology*, 37(10), 1117-1126.
- Kim Young Pyo, Lee Jong Hoon, Baik Nam Jun, Kim Jin Young, Shim Shang Gyoo, and Kang Chang Hee (1998b) Summertime Characteristics of Aerosol composition at Cheju

- Island, Korea, Atmospheric Environment, 32(22), 3905-3915.
- Kim Y. P., K.-C. Moon, S.-G. Shim, J.H. Lee, J.Y. Kim, K. Fung, G.R. Carmichael, C.H. Song, C.H. Kang, H.-K. Kim, J.B. Lee (2000) Carbonaceous species at the background sites in Korea between 1994 and 1999, Atmospheric Environment, 34 (29), 5053-5060.
- Kotamarthi V. R. and Gregory R. Carmichael(1993) A modeling study of the long range transport of Kosa using particle trajectory methods, *Tellus*, 45B, 426-441.
- Lee Bo Kyoung, Hong Seung Hee, and Lee Dong Soo (2000) Chemical composition of precipitation and wet deposition of major ions on the Korean peninsula, Atmospheric Environment, 34, 621-628.
- Okada K., A. Kobayashi, Y. Iwasaka, H. Naruse, T. Tanaka, and O. Nemoto (1987) Features of Individual Asian Dust-storm Particles Collected at Nagoya, Japan, *J. Meteor. Soc. Japan*, 65(3). 515-521.
- Okada K., Hiroshi Naruse, Toyoaki Tanaka, Osamu Nemoto, Yasunobu Iwasaka, Pei-Ming Wu, akira Ono, Robert A. Duce, Metsuo Uematsu, and John T. Merrill (1990) X-ray Spectrometry of Individual Asian Dust-storm Particles over the Japanese Islands and the North Pacific Ocean *Atmos. Environ.*, 24A(6), 1369-1378.
- Olsen A. R., E. C. Voldner., D. S. Bigelow., W. H. Chan., T. L. Clark, M. A. Lulis, P. K. Misra and R. J. Vet (1990) Unified wet deposition data summaries for North America : data summary procedures and results for 1980-1986, Atmospheric Environment, 24A, 661-672.
- Ro C. U., K. Y. Oh, H. Kim, Y. P. Kim, C. B. Lee, K. H. Kim, C. H. Kang, J. Osan, J. D. Hoog, A. Worobiec, and R. V. Grieken (2001) Single-Particle Analysis of Aerosols at Cheju Island, Korea, Using Low-Z Electron Probe X-ray Microanalysis: A Direct Proof of Nitrate Formation from Sea Salts, *Environmental Science and Technology*, 35(22), 4487-4494.
- Seto S. M. Oohara, and Y. Ikeda (2000) Analysis of precipitation chemistry at a rural site in Hiroshima Prefecture, Japan, Atmospheric Environment, 34, 621-628.
- Zhang D., G. Y. Shi, Y. Iwasaka, and M. Hu (2000) Mixture of sulfate and nitrate in coastal atmospheric aerosols: individual particles studies in Qingdao(36° 04' N, 120° 21' E), China, Atmospheric Environment, 34, 2669-2679.

# Composition Comparison of Atmospheric Aerosols at Gosan in Jeju Island during Yellow Sand and Non-Yellow Sand Periods in 2000-2001

Won-Hyung Kim, Chang-Hee Kang and Sung-Bin Han

*Department of Chemistry, College of Natural Sciences, Cheju National University*

## Abstract

The atmospheric aerosol compositions and characteristics have been investigated with the samples collected at Gosan site during Yellow Sand and Non-Yellow Sand periods in 2000 and 2001 spring seasons. The average concentrations of aerosol ionic components were in the order of  $\text{nss-SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{nss-Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ , and the concentrations of S, Na, Al, Ca, Fe, K, Mg showed quite high values as 2.62, 1.94, 1.74, 1.64, 1.63, 0.87, 0.87  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectively, during the whole spring season. Among the water soluble ions, the concentrations of  $\text{nss-Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{NO}_3^-$  increased about 2.4 ~ 5.2 times in Yellow Sand period. For the metals, the soil components of Al, Fe and Ca had 4.4 ~ 4.8 times higher concentrations, and Mg, K, Ba, Mn, Sr, Co, V and Ti had about 2.5 ~ 3.5 times higher concentrations during Yellow Sand period. The investigation of aerosol characteristics by factor analysis showed the influencing factors were in the order of soil > oceanic > anthropogenic sources during Yellow Sand period, while in the order of soil > anthropogenic > oceanic sources during Non-Yellow Sand period.

---

**Key words** : Gosan site, atmospheric aerosol, Yellow Sand, Non-Yellow Sand, factor analysis