

## 2A3) 황사 유입 경로별 입자 조성 비교

### Comparison of Asian Dust Particle Compositions Corresponding to It's Inflow Pathways

고희정 · 강창희 · 김원형 · 이동은 · 조은경 · 신승희 · 장효정 · 김수영  
제주대학교 화학과

#### 1. 서 론

급속한 산업화와 산림개발로 사막화가 급속히 진행되면서 황사의 발생빈도가 점진적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 중국의 사막화 속도는 60년대 이전에 매년 1,560 km<sup>2</sup>이었으나 21세기 들어 2,460 km<sup>2</sup>로 가속화되고 있다. 타클라마칸, 고비사막, 황토고원을 포함하는 지역에서 연간 발생하는 PM<sub>10</sub> 양은 1년에 각각 0.38, 0.24, 0.05 t/ha에 달하고 있다(Jie et al., 2002). 황사의 발생은 발원지의 주변국가인 한국이나 일본에만 영향을 미치는 것이 아니라 최근에는 강한 서풍 기류를 타고 북태평양을 지나 북미지역까지 이동하고 있어서 심각한 환경오염현상으로 인식되고 있다(McKendry et al., 2001). 그리고 황사의 발생과 그 피해에 대한 관심이 높아지면서 황사의 장거리 이동 및 피해를 규명하기 위한 연구들이 여러 국가에서 이루어지고 있다. 한반도는 아시아 대륙의 동쪽 끝 지점의 편서풍 풍하 측에 위치하고 있어서 중국 대륙으로부터 장거리 이동하는 대기오염물질의 영향을 많이 받고 있다(강창희 등, 2007). 제주도는 한반도와 100 km 이상, 중국과는 500 km 이상, 일본과는 250 km 이상 떨어져 있고, 자체적인 오염원이 거의 없는 청정지역으로, 주변국에서 유입되는 오염물질의 특성을 관찰하기에 적합한 지역이다. 본 연구에서는 배경지역인 제주도 고산에서 TSP 에어로졸을 채취하여 각종 이온 및 원소성분들을 분석하고, 그 결과로부터 황사 시 주요 이온 및 원소성분들의 유입경로별 화학적 조성을 비교하였다.

#### 2. 연구 방법

제주도 고산측정소(33°28'N, 127°17'E)에 high volume tape sampler (KIMOTO, Model 195A)를 설치하여, 2001년 1월부터 2006년 12월까지 총 802개의 TSP 에어로졸 시료를 채취하였다. 그리고 에어로졸의 이온성분은 Metrohm사의 Modula IC와 Metrohm Metrosep Cation 1-2-6 column 및 Metrohm Metrosep A-SUPP-4 column을 사용하여 분석하였다. 또 에어로졸의 금속 및 황 성분은 ICP/AES (Thermo Jarrell Ash, Model IRIS-DUO)로 분석하였다(강창희 등, 2007).

#### 3. 결과 및 고찰

##### 3.1 비황사 대기 에어로졸의 조성

연구기간동안 채취한 총 802개의 시료 중에서 강수일(3 mm 이상), 황사일을 제외한 비황사 612개 에어로졸을 분석한 결과, 성분들의 농도는  $nss-SO_4^{2-} > Na^+ > NO_3^- > NH_4^+ > Cl^- > K^+ > nss-Ca^{2+} > Mg^{2+}$ 의 순으로 나타났다. 이 중 인위적 기원의  $nss-SO_4^{2-}$  성분이 6.40  $\mu g/m^3$ 로 가장 높은 농도를 보였고,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$  성분 역시 각각 1.97, 1.80  $\mu g/m^3$ 로 다른 성분들에 비해 비교적 높은 농도를 나타내었다. 발생원별로는 인위적 기원이 성분( $nss-SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ )들이 68.0%, 해양기원의 성분( $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Mg^{2+}$ )들이 27.6%, 토양기원 성분( $nss-Ca^{2+}$ )이 2.0%의 함량을 보였다. 또 황과 금속원소 성분들을 분석한 결과, 각 성분들의 농도는  $S > Na > Al > Ca > K > Fe > Mg > Zn > Pb > Ti > Mn > V > Ba > Cu > Ni > Sr > Cr > Mo > Cd > Co$ 의 순으로, 이 중 인위적 기원의 S 성분이 가장 높은 농도(1.83  $\mu g/m^3$ )를 나타내었다. 발생원별로는 인위적 기원의 S, Pb, Zn이 39.2%, 대표적 토양기원 성분인 Al, Fe, Ca이 30.4%, 해양 기원인 Na, Mg이 22.4% 이었다.

### 3.2 황사 이동경로에 따른 조성 비교

연구기간 중의 황사 시료 (44개)의 경우,  $nss-SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^- > Na^+ > nss-Ca^{2+} > NH_4^+ > Mg^{2+} > K^+$ 의 순으로 높은 농도를 나타내었다. 이 중 인위적 기원의  $nss-SO_4^{2-}$  성분이  $8.16 \mu g/m^3$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$  성분 역시 각각 4.60,  $1.76 \mu g/m^3$ 로 다른 성분들에 비해 비교적 높은 농도를 나타내었다. 발생원별로는 인위적 기원이 성분( $nss-SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ )들이 55.6%, 해양기원의 성분( $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Mg^{2+}$ )들이 32.5%, 토양기원 성분( $nss-Ca^{2+}$ )이 9.5%의 함량을 보였다. 또한 황사와 비황사 주요 이온성분들의 농도를 비교해 본 결과, 인위적 기원의  $nss-SO_4^{2-}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ 은 황사/비황사 농도비가 각각 1.3, 1.0, 2.3이며, 토양의 지표성분인  $nss-Ca^{2+}$ 은 황사/비황사 농도비가 8.1로 인위적 기원 성분들에 비해 상대적으로 황사/비황사 시 토양지표성분이 큰 차이를 보이는 것으로 확인되었다. 또 원소 성분들은  $Al > Ca > Fe > S > Na > Mg > K > Ti > Zn > Mn > Pb > V > Ba > Sr > Cu > Ni > Cr > Co > Cd > Mo$ 의 순으로, 이 중 토양 기원의 Al 성분이 가장 높은 농도( $4.32 \mu g/m^3$ )를 나타내었다. 발생원별로는 인위적 기원의 S, Pb, Zn이 15.1%, 대표적 토양기원 성분인 Al, Fe, Ca이 54.7%, 해양 기원인 Na, Mg이 20.9% 이었다.

또한 황사의 유입경로별로 화학적 특성을 비교하기 위하여, 역궤적 분석(NOAA HYSPLIT4, 5일)을 실시하였다. 유입 경로를 I구역(중국남부), II구역(중국북부), III구역(한반도 및 시베리아 지역), IV구역(일본지역), V구역(북태평양)으로 구분하여 각 구역(sector)별 TSP 성분의 농도를 비교하였다. 그 결과, 인위적 기원의  $nss-SO_4^{2-}$ 과 S 농도는 I구역에서는 각각  $10.37, 4.54 \mu g/m^3$ , II구역에서  $7.55, 2.70 \mu g/m^3$ 로, I구역에서 가장 높은 농도를 나타내었다. 또  $NO_3^-$ 은 I구역에서  $3.02 \mu g/m^3$ , II영역에서  $4.95 \mu g/m^3$ 로, II구역에서 가장 높고 나타내었다. 또 대표적인 토양기원의  $nss-Ca^{2+}$ 과 Al은 I구역에서 각각  $0.95, 5.49 \mu g/m^3$ , II구역에서  $2.89, 5.62 \mu g/m^3$ 의 농도를 나타내어 이 역시 앞의 성분들과 마찬가지로 II구역에서 가장 높은 경향을 보였다.

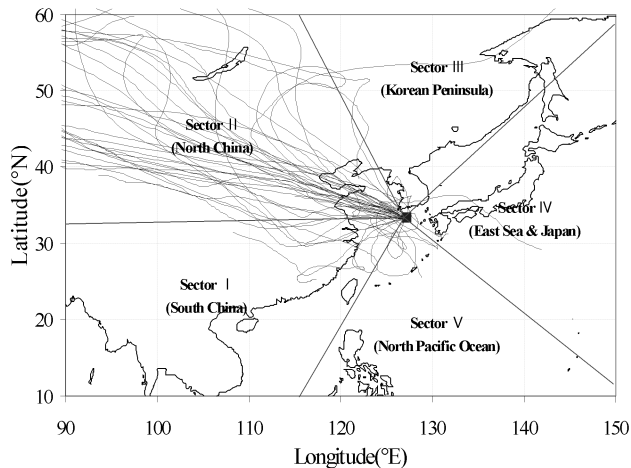


Fig. 1. Five sectional classification of northeast Asia for backward trajectory analysis starting form Gosan area.

### 사 사

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2008-313-C00934).

### 참 고 문 헌

- 강창희, 고희정, Wlodek Zahorowski (2007) 제주도 고산지역의 라돈 및 TSP 에어로졸 농도 특성: 2001-2004년 측정, 한국대기환경학회지, 23(5), 612-624
- Jie, Xuan and Irina N. Sokolik (2002) Characterization of sources and emission rates of mineral dust in Northern China, Atmos. Environ., 36(131), 4863-4876.
- McKendry, I.G., J.P. Hacker, R. Stull, S. Sakiyama, D. Mignacca, and K. Reid (2001) Long-range transport of Asian dust to the Lower Fraser Valley, British Columbia, Canada, Journal of Geophysical Research, 106(D16), 18361-18370.