

PS15(MA) 1996-1998년 한라산 1100 고지 대기 에어로졸의 분석 : 풍향 및 입자크기에 따른 에어로졸의 조성 변화 Analysis of Atmospheric Aerosols Collected at 1100 Site in Mt. Halla during 1997-1998 : Variation of Aerosol Compositions According to Wind Direction and Particle Sizes

강 창 희 · 김 원 형 · 홍 상 범 · 고 은 옥 · 양 석 원 · 홍 민 선¹⁾

제주대학교 화학과, ¹⁾아주대학교 환경공학과

1. 서 론

아시아 지역 SO₂ 총 배출량은 2020년에 약 1억1천만톤 정도로 증가할 것으로 예상되고 있다. 이 경우 중국, 한국 등의 지역에서는 연간 평방미터 당 10g 정도의 황이 대지에 축적되고, 중국의 일부 공업지역에서는 연간 평방미터 당 27g 정도의 황이 낙하할 것으로 예측된다. 이처럼 SO₂ 배출량이 크게 증가하는 것은 연료의 대부분을 석탄에 의존하기 때문이며 특히 우리나라와 인접한 중국은 현재 연료의 76%를 석탄에 의존하고 있고 대부분 황함량이 높은 저질 석탄을 사용하기 때문에 이미 많은 양의 SO₂를 방출하고 있고 앞으로도 그 양이 더욱 증가될 것으로 보인다. 중국의 동부 공업지대에서 다량으로 발생된 아황산 가스는 장거리 이동 현상에 의해 중국 연안과 한반도 등에 집중적으로 낙하되고 우리나라의 대기질에 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다. 제주도는 국내에서 청정도가 가장 높은 지역으로 배경농도 측정은 물론 중국, 일본 등 주변국가들의 오염 영향을 측정하기 위하여 지리적으로 가장 적합한 지역이다. 따라서 제주지역에서의 대기 에어로졸 분석 결과는 대기질 배경농도 측정과 중국의 오염 영향을 파악하기 위한 기초자료로서 활용 가치가 높다. 본 연구는 국내에서 가장 청정지역에 속하는 한라산 1100m 고지대에서 대기 에어로졸을 연속적으로 채취하여 주요 수용성 성분들을 분석하고 그 결과로부터 중국의 오염 영향을 파악하기 위하여 풍향별로 농도 변화를 비교하고, 입자크기별 농도 변화 및 에어로졸의 특성을 조사한 결과이다.

2. 실험

2.1 에어로졸 시료의 채취

에어로졸 시료는 한라산 1100 고지 측정소(33° 21' N, 126° 27' E)에 High Volume Tape Sampler를 설치하고 PTFE(polytetrafluoroethylene) filter를 사용하여 1996년 8월 부터 1998년 11월까지 1100 고지에서 총 380개를 채취하였다. 시료 채취시 공기의 유속은 대략 150~170L/min이 되도록 조절하였으며, 채취 시간은 24시간 단위로 봄철에는 매일, 나머지 기간에는 3일 간격으로 채취하였다. PTFE 필터는 100 mm × 10 m 크기의 볼테이프형으로 테프론 재질이며, 한 개의 볼테이프가 완전히 감길 때 마다 sampler로부터 filter를 분리하여 수용성 성분을 분석하였다. 총 공기의 유량은 recording chart에 기록된 유속과 비교하여 계산하였다.

2.2 시료의 분석

PTFE filter는 에어로졸 시료가 포집된 부분을 원형으로 잘라낸 뒤 에탄올 0.5mL에 침적시킨 후 초순수 50mL를 가하여 초음파 세척기에서 30분간 초음파 분쇄 후 다시 shaker에서 1시간 간탕시켜 수용성 성분들을 용출시켰다. 이 용액은 4°C 냉장실에 보관한 상태로 사용하였다. Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ 양이온은 GBC사의 모델 Avanta-P 원자흡광분광광도계를 사용하여 분석하였으며 NH₄⁺는 KONTRON사 모델 UVIKON 860 UV-Visible Spectrophotometer를 이용하여 indophenol 법으로 분석하였다. SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻ 음이온은 Ion Chromatography 법으로 동시에 분석하였다. 이 때 IC는 Dionex사의 모델 DX-500을 사용하였고, 분리조건은 sample volume = 25 μL, eluant = 2.4 mM Na₂CO₃ / 2.25 mM NaHCO₃이며 IonPac AG4A-SC guard column, IonPac AS4A-SC separator column 및 전도도검출기를 사용하

었다. 극미량 성분인 MSA(methanesulfonate)는 IonPac AS11 column 및 NaOH 용리액을 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

한라산 1100 고지에서 채취한 380개의 에어로졸에 대해 NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl 등 주요 수용성 성분을 분석한 결과 각 이온들의 농도는 표 1과 같고, NH_4^+ 과 SO_4^{2-} 가 가장 높은 농도를 보였다. 계절별로 농도를 비교해 본 결과 Ca^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- 성분은 중국의 영향을 크게 받는 봄철에 가장 높은 농도를 나타냈으며, NH_4^+ 은 봄과 여름철에 높은 농도를 보였다. 또 중국에서 발생한 오염물질이 장거리 이동해 한반도 대기질에 크게 영향을 미치는 것으로 여러 연구 결과에서 확인되고 있는데 이를 확인하기 위하여 바람 방향에 따른 각 성분 이온들의 농도 변화를 조사하였다. 결과 중국의 영향이 클 것으로 판단되는 서풍 계열($225^\circ - 315^\circ$) 및 북풍 계열($315^\circ - 45^\circ$)의 바람이 불 때 모든 성분의 농도가 대체적으로 증가하였고, 상대적으로 남동풍 계열의 바람($45^\circ - 225^\circ$)이 불 때 이들 성분들의 농도가 감소하는 경향을 보였다(그림 1~그림 3). 또한 MSA(methanesulfonate)와 SO_4^{2-} 의 비를 비교하여 SO_4^{2-} 의 기원을 추적해 본 결과 $\text{MSA}/\text{SO}_4^{2-} = 0.0064$ 로 해안에 근접한 청정지역의 기준(0.065)보다 훨씬 낮은 값을 나타냈으며, 이는 한라산 1100 고지 대기 에어로졸이 해양의 영향보다는 외부로부터 유입되는 오염물질의 영향을 더 크게 받고 있음을 의미한다. 한편 Andersen sampler를 이용하여 입자의 크기별 성분 농도를 조사한 결과 NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- 등은 대부분 $2.1\mu\text{m}$ 이하의 미세입자, Ca^{2+} , K^+ 는 주로 $2.1 \sim 4.7\mu\text{m}$ 의 입자에 분포되어 있으며 나머지 성분들은 특별한 경향성을 나타내지 않았다.

Table 1. Statistics of aerosol compositions at 1100 site in Mt. Halla over the period of August 1996 to November 1998(concentration unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$, total number of samples; 380).

	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl
Mean	1.15	0.30	0.26	0.37	0.10	4.56	0.72	0.18
Maximum	5.81	2.11	1.63	5.24	1.57	18.44	9.03	2.47
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S.D.	0.97	0.30	0.29	0.72	0.13	3.58	1.24	0.27

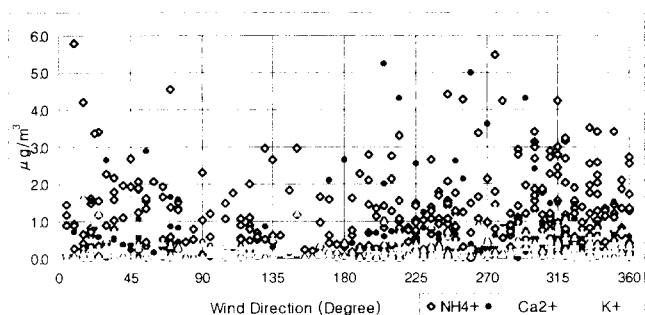


Fig. 1. NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ concentrations as a function of wind direction at 1100 site in Mt. Halla.

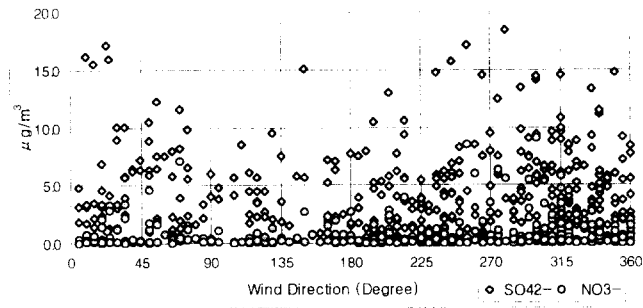


Fig. 2. SO_4^{2-} , NO_3^- concentrations as a function of wind direction at 1100 site in Mt. Halla.

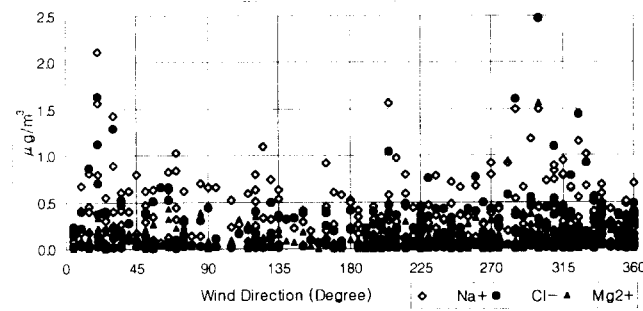


Fig. 3. Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- concentrations as a function of wind direction at 1100 site in Mt. Halla.

참 고 문 헌

- Carmichael G. R. *et al.* (1995), Observed regional distribution of sulfur dioxide in asia, *Water, Air and Soil Pollution*, 85, 2289-2294.
- Carmichael G.R. *et al.* (1997) Aerosol composition at Cheju Island, Korea, *J. Geophys. Res.*, 102(D5), 6047-6061.
- Chen Li-Ling *et al.* (1997) Influence of continental outflow events on the aerosol composition at Cheju Island, South Korea, *J. Geophys. Res.*, 102(D23), 28551-28574.
- Kim Young Pyo, Jong Hoon Lee, Nam Jun Baik, Jin Young Kim, Shang Gyoo Shim, and Chang Hee Kang (1998) Summertime Characteristics of Aerosol composition at Cheju Island, Korea, *Atmospheric Environment*, 32(22), 3905-3915.
- Kim Y. P., S. G. Shim, K. C. Moon, C. G. Hu, C. H. Kang, and K. Y. Park (1998) Monitoring of air pollutants at Kosan, Cheju Island, Korea during March-April, 1994, *J. Applied Meteorology*, 37(10), 1117-1126.