

PA32) 청정지역 봄철 TSP 에어로졸의 조성 및 특성 : 1998-2001년 측정 Compositions and Characteristics of TSP Aerosols at Background Site of Korea in Spring Seasons during 1998 - 2001

고희철 · 강창희 · 김원형 · 고선영 · 김용표¹⁾ · 김영성²⁾

제주대학교 화학과, ¹⁾이화여자대학교 환경학과, ²⁾KIST 지구환경연구센터

1. 서 론

최근 대기오염물질의 장거리 이동 현상을 규명하고 대기 에어로졸이 기후변화에 미치는 영향을 집중적으로 조사하기 위한 국제공동연구로 ACE (Aerosol Characterization Experiment)-Asia 연구가 진행 중에 있다. 이 연구는 최근에 대기오염이 급진전되고 있는 동아시아와 북서태평양 지역에서 에어로졸의 집중 관측과 연구에 목적이 있으며, 동아시아에서 태평양까지의 사막면지와 인위적인 에어로졸 유출에 초점을 맞추고 있다. 특히 동아시아와 북서 태평양에서의 인위적 대기 에어로졸의 특성과 복사 강제력에 대한 관련성을 추정하기 위하여 동아시아와 북서태평양 지역에서 에어로졸의 물리적, 화학적, 복사적 특성 및 구름 핵 응결 특성을 결정하고 이들의 관련성을 연구하게 된다. 제주도는 청정지역이고, 중국과 일본의 중앙에 위치하여 ACE-Asia 연구를 수행하기 위한 국내 지상 관측소로 적합한 위치에 있다. 본 연구는 제주도 서쪽 끝에 위치한 고산측정소에서 TSP 에어로졸을 채취, 분석하여 계절별로 각종 성분들의 조성 및 특성을 비교한 결과이다.

2. 연구 방법

제주도 고산측정소에서 high volume tape sampler (Kimoto Electric, Model 195A)와 roll type의 PTFE 필터를 사용하여 3일 간격, 매회 24시간 단위로 에어로졸 시료를 채취(대략 170 L/min 유속)하였다. 시료는 1998년 1월부터 2001년 12월까지 총 488개를 채취하였고, 2등분 후 수용성 성분을 분석하였으며, 이중 358개 시료에 대해 중금속 성분을 분석하였다. 수용성 양이온은 1998년 ~ 2000년 시료의 경우 원자흡광광도법과 indophenol 법으로, 음이온은 IC법(Dionex DX-500, IonPac AS4A-SC column, 2.4 mM Na₂CO₃ / 2.25 mM NaHCO₃ eluent)으로 분석하였다. 그리고 2001년 시료는 양이온 및 음이온 성분들을 동시에 IC법(Metrohm Modula IC, Metrohm Metrosep Cation 1-2-6 cation column & Metrohm Metrosep A-SUPP-4 anion column, 4.0 mM tartaric acid / 1.0 mM pyridine-2,6-dicarboxylic acid & 1.8 mM NaHCO₃ / 1.7 mM Na₂CO₃ eluent)으로 분석하였다. 또한 금속 및 황 성분은 EPA Method 3051A의 방법으로 마이크로파 분해장치(CEM microwave digestion system, Model MARS-5)를 사용하여 혼산 용액으로 용출하고, 여과 후 50 mL로 표증하여 ICP로 분석하였다. ICP-AES (Thermo Jarrell Ash, Model IRIS-DUO) 분석은 농도가 비교적 높은 성분들과 낮은 성분들로 분리하여 Radial Plasma Torch 법, Axial Plasma Torch법으로 simultaneous mode를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

수용성 양이온은 SO₄²⁻, Na⁺, Cl⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ 등이 비교적 높은 농도를 보였고, 계절별로 비교해 본 결과 SO₄²⁻는 봄, 여름, 가을, 겨울철에 각각 7.66 μg/m³, 5.74 μg/m³, 6.11 μg/m³, 6.76 μg/m³로 봄철에 농도가 가장 높게 나타났다. NO₃⁻의 농도 역시 봄, 여름, 가을, 겨울철에 각각 2.79 μg/m³, 1.22 μg/m³, 1.59 μg/m³, 1.90 μg/m³로 봄철에 가장 높게 증가하는 경향을 보였고, Ca²⁺ 농도 역시 1.08 μg/m³, 0.17 μg/m³, 0.43 μg/m³, 0.60 μg/m³로 봄철에 가장 큰 농도 증가를 나타내었다. 북서 계절이 우세한 봄에 이들 성분들의 농도가 크게 증가하는 것은 대륙에서 유입된 오염물질의 영향으로 추정된다. 반면에 NH₄⁺의 농도는 비교적 계절별 차이를 보이지 않았고, Na⁺, Cl⁻, Mg²⁺ 등은 오히려 겨울철에 농도가 증가하는 경향을 나타

내었다. 또한 19종의 주요 금속 성분들과 황 성분들의 분석 결과에서는 S와 Na, Al, Ca, Fe, K, Mg 성분이 가장 높은 농도를 나타내었다. 대체적으로 황과 토양의 지표 성분인 Al, Ca, Fe, K 성분은 봄철이 가장 높고 여름에 가장 낮은 농도를 보였다. 특히 Al, Ca, Fe 경우 여름에 비해 봄철의 농도가 4.0 ~ 8.3 배 더 높은 것으로 나타나 계절별 편차가 가장 큰 것으로 조사되었다. 나머지 Ti, Pb, Zn, V 성분들 역시 정도의 차이는 있으나 봄철 농도가 가장 높고 여름철에 가장 낮은 경향을 보였다. 그러나 Na는 겨울에 가장 높고, 여름에 가장 낮은 값을 보였다.

Table 1. Compositions of TSP aerosols collected at Gosan site during 1998-2001

Season	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	nss- Ca^{2+}	nss- SO_4^{2-}
Spring	1.58	1.93	0.48	1.08	0.32	7.66	2.79	2.02	1.00	7.17
Summer	1.25	1.80	0.23	0.17	0.20	5.74	1.22	1.16	0.10	5.29
Fall	1.34	2.22	0.40	0.43	0.27	6.11	1.59	1.87	0.34	5.55
Winter	1.36	2.22	0.39	0.60	0.32	6.76	1.90	2.38	0.51	6.20
Annual	1.24	2.63	0.32	0.83	0.33	6.21	1.96	2.38	0.72	5.55

Season	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
	Al	Fe	Ca	Na	K	Mg	S	Ti	Zn	Pb
Spring	1.23	1.08	1.17	1.61	0.65	0.62	2.23	0.06	0.05	0.05
Summer	0.31	0.13	0.16	1.03	0.15	0.21	1.59	0.01	0.02	0.02
Fall	0.38	0.28	0.35	1.22	0.31	0.32	1.46	0.02	0.04	0.03
Winter	0.44	0.43	0.60	1.52	0.58	0.43	1.98	0.03	0.04	0.05
Annual	0.87	0.75	0.76	1.39	0.58	0.46	1.64	0.04	0.04	0.03

Season	Concentration (ng/m^3)									
	Mn	V	Ba	Sr	Cu	Ni	Cr	Mo	Cd	Co
Spring	32.01	12.62	9.97	7.41	4.68	5.60	4.21	1.19	1.04	0.87
Summer	6.21	4.49	1.86	1.92	3.27	2.69	1.39	0.57	0.78	0.26
Fall	13.15	4.61	3.39	3.30	4.00	2.71	1.85	0.97	0.66	0.55
Winter	17.82	6.41	5.51	5.09	3.25	3.30	2.23	0.85	1.22	0.51
Annual	22.76	8.97	6.73	5.40	3.73	4.21	2.78	0.79	0.89	0.58

참 고 문 헌

- 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 Y. P. et al. (1998) Monitoring of air pollutants at Kosan, Cheju Island, Korea during March-April, 1994, *J. Applied Meteorology*, 37(10), 1117-1126.
- Kim Y. P. et al. (2000) Carbonaceous species in fine particles at the background sites in Korea between 1994 and 1999, *Atmospheric Environment*, 34(29), 5053-5060.
- Chul-Un Ro et al. (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.