
碩士學位 論文

한라산 1100고지에서 채취한 대기
에어로졸의 분석에 관한 연구:
1996~1998년의 계절별 변동 및 특성

指導教授 姜 昌 禧



濟州大學校 教育大學院

化學教育專攻

金 永 喆

1998年 8月

한라산 1100고지에서 채취한 대기
에어로졸의 분석에 관한 연구:
1996~1998년의 계절별 변동 및 특성

指導教授 姜 昌 禧

이 論文을 教育學 碩士學位 論文으로 提出함

1998년 8월 일

 제주대학교 중앙도서관
濟州大學校 教育大學院 化學教育專攻

金 永 喆

金永喆의 教育學 碩士學位 論文을 認准함

1998년 8월 일

審査委員長 印

審査委員 印

審査委員 印

한라산 1100고지에서 채취한 대기 에어로졸의 분석에 관한 연구

: 1996~1998년의 계절별 변동 및 특성

김 영 철

제주대학교 교육대학원 화학교육전공

지도교수 강창희

한라산 1100고지에 Aerosol Sampler를 설치하여 1996년 8월부터 1998년 5월까지 대기부유분진을 채취하고 에어로졸의 수용성 성분을 분석하여 계절별 조성변화 및 에어로졸의 화학적 특성을 조사하였다. 총 317개의 에어로졸 시료에 대해 수용성 성분을 분석하고 양이온 당량농도합과 음이온 당량농도합간의 상관계수(r)를 구한 결과 0.945로 분석 데이터들의 분석정밀도는 비교적 양호한 것으로 확인되었다. 이 기간 중 총부유분진(TSP)은 $16.0\sim 37.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위를 보였고 총부유분진의 양은 황사의 영향이 큰 봄철에 가장 높은 농도를 보였으며, 분진의 입도분포는 $3.3\mu\text{m}$ 이하의 미세입자 함량이 60% 이상을 차지했다.

에어로졸의 수용성 양이온 농도는 여름, 가을, 겨울에 $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 의 순서를 보였으나 봄철에는 $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 순으로 봄철에 Ca^{2+} 의 농도가 현저히 증가하였다. 이 중 NH_4^+ 의 농도는 봄, 여름에 각각 $1.21\mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가을, 겨울의 $0.86\mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.06\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 약간 높은 농도를 보였으며, 토양입자의 지표 성분인 Ca^{2+} 은 황사시기인 봄에 $0.63\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높은 농도 증가를 보였다. 수용성 음이온 농도는 봄, 가을, 겨울에 모두 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ 순이었고 여름철에는 $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ 순서를 보였다. 이 중 SO_4^{2-} 는 봄과 겨울에 각각 $4.92\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 $4.70\mu\text{g}/\text{m}^3$, NO_3^- 는 봄과 겨울에 각각 $1.25\mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.88\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 주 풍향이 북서계열인 봄과 겨울에 다른 계절보다 높은 농도를 나타내었다.

농축계수를 구하여 해염 영향을 조사한 결과 SO_4^{2-} , Ca^{2+} , K^+ 성분은 해염 영향보다는 다른 요인에 의해 대기중 유입되고 있으며, 토양 영향을 조사한 결과 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ 의 성분들은 토양외의 다른 경로로 대기중 유입되고 있음을 알 수 있었다.

목 차

국문초록	i
List of Tables	iii
List of Figures	iv
I. 서 론	1
II. 실 험	4
1. 측정소 및 기기	4
1) 측정소 설비	4
2) 사용기기	4
2. 에어로졸 시료 채취 및 분석	7
1) 시료의 채취	7
2) 시료의 전처리	7
3) 양이온 분석	8
4) 음이온 분석	9
III. 결과 및 고찰	10
1. 수용성 양이온 및 음이온 분석 결과	10
2. 분석 정밀도 조사	13
3. 계절별 농도 변화	15
4. 성분들간의 상관관계 비교	31
5. 해염입자의 영향	37
6. 토양입자의 영향	40
7. 요인 분석	42
IV. 결 론	46
참 고 문 헌	48
부록	53
Abstract	77

List of Tables

Table 1. Seasonal comparison of cation and anion average concentrations.	12
Table 2. Data qualify control prameters and % imbalance.	14
Table 3. Particle size distributions of aerosols and total suspended particulates.	19
Table 4. Linear correlation coefficients for all components in summer, 1996. .	33
Table 5. Linear correlation coefficients for all components in fall, 1996.	33
Table 6. Linear correlation coefficients for all components in winter, 1996.	34
Table 7. Linear correlation coefficients for all components in spring, 1997.	34
Table 8. Linear correlation coefficients for all components in summer, 1997. .	35
Table 9. Linear correlation coefficients for all components in fall, 1997.	35
Table 10. Linear correlation coefficients for all components in winter, 1997. .	36
Table 11. Linear correlation coefficients for all components in spring, 1998. .	36
Table 12. Seawater enrichment factors(E.F.) calculated from analytical data of aerosols.	39
Table 13. Soil enrichment factors(E.F.) calculated from analytical data of aerosols.	41
Table 14. Results of varimax facter matrix for spring..	44
Table 15. Results of varimax facter matrix for summer.	44
Table 16. Results of varimax facter matrix for fall.	45
Table 17. Results of varimax facter matrix for winter.	45

List of Figures

Figure 1. Location of the 1100m site at Halla Mountain.	5
Figure 2. Schematic diagram of High Volume Tape Sampler.	6
Figure 3. Scattergrams of T_{Cation} vs T_{Anion} for the analytical data.	15
Figure 4. Variations of cation and anion concentrations in summer, 1996.	20
Figure 5. Variations of cation and anion concentrations in fall, 1996.	21
Figure 6. Variations of cation and anion concentrations in winter, 1996.	22
Figure 7. Variations of cation and anion concentrations in spring, 1997.	23
Figure 8. Variations of cation and anion concentrations in summer, 1997.	24
Figure 9. Variations of cation and anion concentrations in fall, 1997.	25
Figure 10. Variations of cation and anion concentrations in winter, 1997.	26
Figure 11. Variations of cation and anion concentrations in Spring, 1998.	27
Figure 12. Seasonal comparison of cation concentrations.	28
Figure 13. Seasonal comparison of anion concentrations.	29
Figure 14. Seasonal comparison of cation and anion concentrations.	30
Scheme 1. Analytical procedure for atmospheric aerosol analysis.	9

I. 서론

우리나라와 중국, 일본을 포함하는 동북아시아 지역은 최근의 급속한 산업발달과 더불어 많은 양의 대기오염물질을 배출하고 있으며, SO_x 와 NO_x의 대부분이 중국에서 배출되는 것으로 추정되고 있다. 또 편서풍의 영향을 많이 받는 우리나라와 일본에서는 중국에서 발생된 오염물질에 의한 산성 대기오염물질의 강하량이 크게 증가하고 있는 것으로 평가되고 있다(Arndt *et al.*, 1998). 특히 한반도는 중국에서도 공업화가 가장 빠른 북동부 해안 공업지대와 거리가 가깝고 편서풍 지역에 위치하고 있어서 중국 공업화 영향을 가장 직접적으로 받고 있는 것으로 알려져 있다(김용표 등, 1996; Chen *et al.*, 1997). 이러한 동북아 지역의 오염 영향은 태평양 연안 여러 국가들의 대기오염에도 영향을 미칠 것으로 예상되고 있고, 이의 영향을 조사하기 위하여 대기오염물질의 장거리 이동에 대한 연구가 선진국들을 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 이와 관련된 대표적 연구로는 International Global Atmospheric Chemistry Program (IGAC)이 주관한 East Asia/North Pacific Regional Experiment (APARE), NASA가 주관한 Pacific Exploratory Mission-West (PEM-WEST), 그리고 Perturbation of East Asian Continental Air Mass to Pacific Oceanic Troposphere (PEACAMPOT) 등이 있다(Hoell *et al.*, 1996; Hatakeyama *et al.*, 1995). 대기오염물질의 장거리 이동에 관한 연구를 수행하기 위해서는 자체 오염원이 없는 청정지역에서 오염물질의 양을 지속적으로 측정해야 하며, 동아시아 지역의 대기오염물질 이동 현상을 규명하기 위한 지상 측정소로는 대만의 Kenting, 홍콩의 Kato-Crooked Island, 중국의 Waliguang Mountain, 일본의 Okinawa, 그리고 우리나라에서는 제주도가 가장 적합한 지역으로 꼽히고 있다(Carmichael *et al.*, 1997; 문길주의 1997.)

중국은 연평균 약 10%의 급속한 경제성장과 더불어 에너지 수요가 급증하고 있으니 아직 에너지의 석탄의존도가 76%로 세계 평균 석탄 의존도인 28%를 훨씬 웃돌고 있다. 특히 중국 석탄의 황 함유량은 1.35%로 동북아 주변국가인 한국(0.75%) 일본(0.67%)보다 약 2배나 높은 저질 석탄을 사용하고 있다. 중국의 오염물질은 아황산가스와 함께 황산염 형태로 영향을 주는 것으로 분석됐으며 중국에

서 생기는 아황산가스의 23%, 먼지의 18%가 한반도로 날아오는 것으로 나타났고 그 양은 매년 5~10%의 증가율을 보이고 있다. 반면 한국의 아황산가스 발생량은 석탄산업의 사양화와 정유사의 탈황시설 및 가정 연료의 천연가스 사용으로 오히려 매년 2%정도 감소하고 있어 한국의 산성비 피해에 대한 중국의 기여도는 시간이 갈수록 높아질 것으로 예측된다(김신도외, 1997; Richard *et. al.*, 1998). 이처럼 공해물질 배출량의 급속한 증가에 대비하기 위하여 정부에서도 1993년 10월에 체결된 「한·중환경협력협정」을 비롯해 「동북아환경협력고위실무회의」, 「북서태평양지역해양보전계획」, 「아태경제협력환경장관회의」 등을 통해 중국측과의 협조를 모색하고 있고, 산성비에 대한 공동조사를 요구하고 있다. 그러나 중국측에서는 아직 소극적인 태도를 취하고 있으며, 일본을 포함한 주변지역 국가들간의 공동대처를 통해 공동실태 조사, 기술협력, 인적교류 확대 등의 방법으로 끈기있게 풀어야 할 과제라 할 수 있다

우리에게 중국공해 피해는 아주 큰 당면 문제로 부각되고 있고 이를 해결하기 위하여 아황산가스 발생 저감과 산성비 대책 등을 요구하고 감시하기 위한 기초 자료를 축적해 나가야 할 것으로 보인다. 이러한 중국의 오염 영향을 평가하기 위해서는 자체 오염원이 없는 청정지역에서 대기오염물질의 농도 변화를 측정해야 하며 지속적으로 기초자료를 축적해 나가야 한다. 제주도는 산업시설이 거의 없고 인구밀도가 낮아 국내에서는 가장 청정지역이며 중국과 일본의 중앙에 위치하여 주변국가들의 오염 영향을 측정하기에 아주 적합한 지역이다. 따라서 제주지역의 대기오염 측정 자료는 제주지역의 자체 대기질 관리는 물론 주변 국가들의 오염 영향을 평가하기 위한 중요한 자료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다(홍민선외 1992; 박경윤외 1993; 박경윤외 1994; 서명석외 1995; 장광미외 1995).

대기부유분진은 기체상 오염물질과 함께 오염 정도를 확인하는데 아주 중요한 요소이며 에어로졸은 대기중에서 기류를 타고 이동할 수 있기 때문에 오염농도 변화는 지역적인 영향을 많이 받는 대도시 지역 보다는 오염원으로부터 격리된 청정지역에서의 측정이 필요하다(Akimoto and Narita, 1994). 청정 지역에서 수행된 에어로졸에 대한 연구는 선진국 중에서도 미국에서 가장 활발히 진행되고 있고, 특히 미국해양기상청(NOAA)에서는 1972년부터 장기적으로 대기오염 물질을 연구하고 있다. 그러나 지금까지 국내에서는 청정지역 보다는 주로 대도시를 중심

으로 대기질 관리를 위한 목적으로 이루어져 왔다(이호근외, 1995).

본 연구는 청정지역인 한라산 1100고지에서 에어로졸을 연속적으로 채취하고 에어로졸 중의 주요 수용성 양이온 및 음이온 성분의 농도를 분석하여 에어로졸 조성의 계절별 변화와 그 특성을 조사한 결과이다. 이러한 연구는 제주도 대기 환경의 장기적 변화는 물론 장거리 이동에 의해 주변국가로부터 유입된 오염물질의 영향을 평가하고 한반도에 영향을 미칠 수 있는 대기오염원과 그 이동경로를 규명하기 위한 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다(Carmichael *et al.*, 1997)



II. 실험

1. 측정소 및 기기

1) 측정소 및 설비

본 연구에서 에어로졸 시료를 채취한 측정소는 인가와 멀리 떨어진 한라산 중턱의 해발고도 1100m 지점(33° 21' 23" N, 126° 27' 46" E)에 위치해 있으며 국내에서 가장 청정지역에 속한다. 측정 지점은 제2횡단도로에서 서쪽으로 약 500m 떨어져 있으며 측정소 주변에는 한국통신 망운영소가 있고 이 곳에는 상주 인원이 3~5명 정도이기 때문에 이동오염원이나 점오염원에 의한 영향을 비교적 적게 받고 있으며 제주도내에서도 가장 청정한 지역에 속하는 곳이다. 측정소 설비는 실내 면적이 3평 정도인 소형 컨테이너를 사용하였고 5kw의 전원 설비를 갖추고 있다. 2년간 지속적으로 에어로졸 시료를 채취하기 위하여 aerosol sampler는 이 컨테이너 내부에 탑재하였고, 컨테이너 내부는 에어컨 및 제습기를 사용하여 항온, 항습 조건을 유지하였으며, AVR을 사용하여 안정된 전원을 공급하였다.

2) 사용기기

(1) Aerosol Sampler

에어로졸을 포집하기 위한 aerosol sampler는 High Volume Tape Sampler로 일본 KIMOTO ELECTRIC사에서 제작한 Model 195A를 사용하였다(Fig.2). 이 aerosol sampler는 roll type의 teflon filter(PTFE)를 사용하여 연속적으로 시료를 채취할 수 있는 자동시스템이며, 시료의 채취시간을 임의로 조절할 수 있다. High Volume Tape Sampler는 측정소의 컨테이너 내부에 탑재하고 흡입관 (길이

6m, 내경 38mm인 flexible hose)을 지상 약 5m 높이로 고정시켜 지상 약 5m 이
의 에어로졸이 포집될 수 있도록 설치하였다.

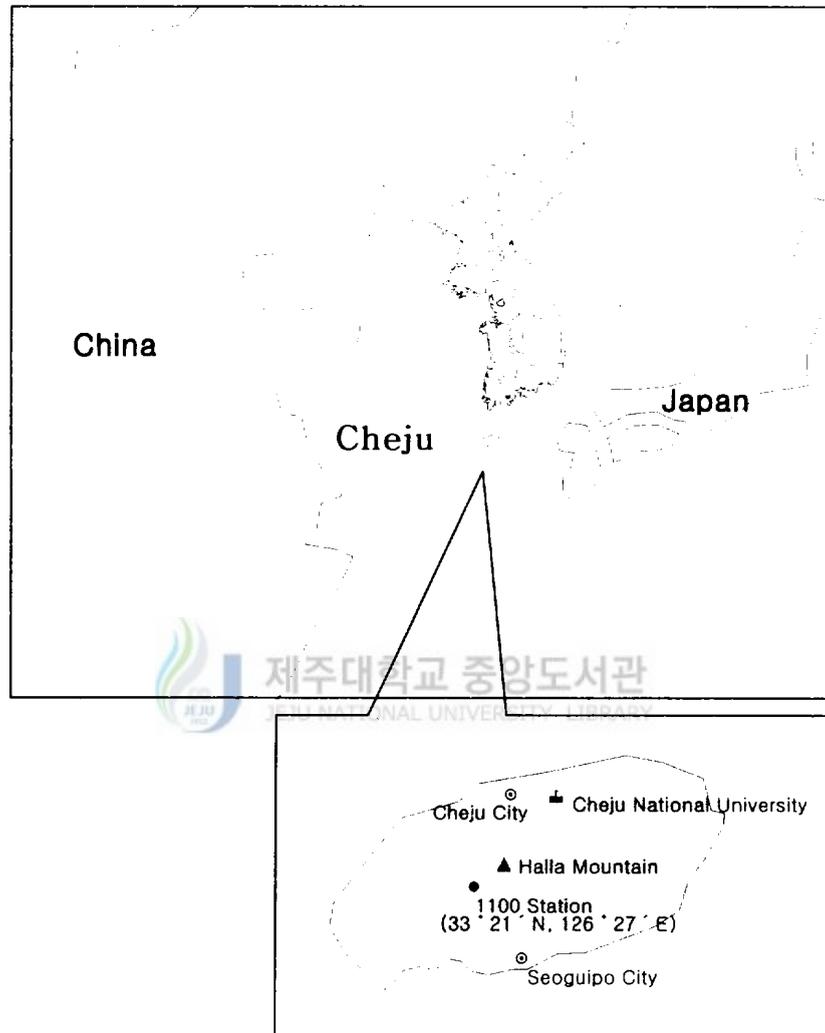


Figure 1. Location of the 1100m site at Halla Mountain
(33° 21' 23" N, 126° 27' 46" E).

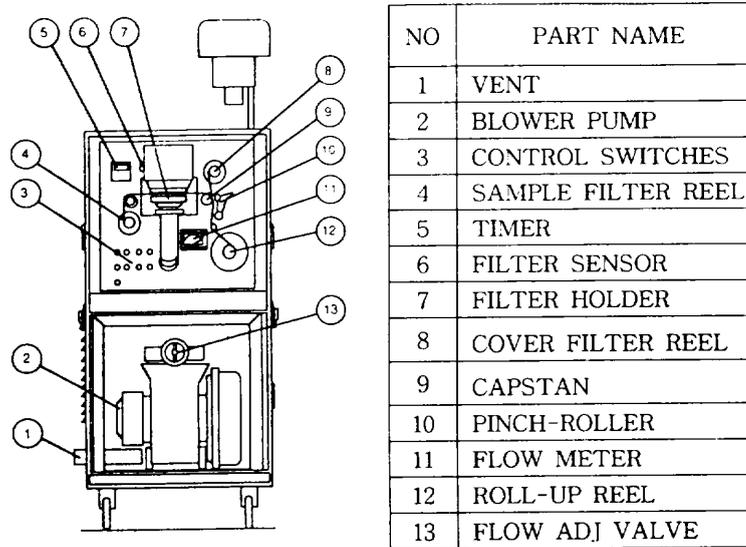


Figure 2. Schematic diagram of High Volume Tape Sampler

(2) Atomic Absorption Spectrophotometer

에어로졸의 수용성 양이온 성분 분석에는 GBC사의 Model Avanta-P를 사용하였고, atomizer는 10 cm와 5 cm slot length의 burner head를 사용하였으며, Na, K, Ca, Mg 용 single hollow cathode lamp를 사용하였다.

(3) Ion Chromatograph

에어로졸의 주요 수용성 음이온 성분 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 은 미국, DIONEX사의 Model DX-500 Ion Chromatograph를 사용하여 분석하였다. 이 때 음이온 분리용 칼럼은 IonPac AG4A-SC / IonPac AS4A-SC를 사용하였으며, 검출기는 conductivity detector를 사용하였다.

(4) UV-Visible Spectrophotometer

수용성 양이온 성분중에서 NH_4^+ 이온은 Indophenol 법에 의해 비색법으로 분석하였으며, 이 때 사용한 분광광도계는 스위스 KONTRON사의 Model UVIKON 860 UV-Visible Spectrophotometer이다.

2. 에어로졸 시료의 채취 및 분석

1) 시료의 채취

에어로졸 시료는 High Volume Tape Sampler 와 PTFE (polytetrafluoroethylene) filter를 사용하여 1996년 8월 15일부터 1998년 5월 8일까지 총 317개를 채취하였다. 1996년 8월부터 1997년 2월까지의 계절별로 약 3주간씩 채취하였고, 1997년 3월부터 1998년 5월까지의 3일에 한번씩 주기적으로 채취하였으며, 특히 황사의 영향이 큰 봄철에는 황사일과 비황사일의 조성 변화를 비교하기 위하여 3월부터 5월초까지 매일 연속적으로 채취하였다. 이렇게 채취한 시료의 수는 1996년 여름에 17개, 가을에 26개, 겨울에 18개이고, 1997년에는 봄, 여름, 가을, 겨울에 각각 85개, 30개, 35개, 38개, 1998년 봄에는 68개를 채취하여 총 317개 시료를 채취, 분석하였다.

시료 채취시 공기의 유속은 대략 150~170L/min이 되도록 조절하였으며, 채취 시간은 24시간 단위로 매일 주야간 연속적으로 채취하였다. PTFE 필터는 100 mm × 10 m 크기의 롤테이프형으로 테프론 재질이며, 한 개의 롤테이프가 완전히 감길 때 마다 sampler로부터 filter를 분리하여 수용성 성분을 분석하였다. 총 공기의 유량은 recording chart에 기록된 유속과 비교하여 계산하였으며, 연구기간 동안 채취한 각 시료들에 대해 채취시간 및 유속을 부록 1~8에 수록하였다.

2) 시료의 전처리

PTFE filter는 에어로졸 시료가 포집된 부분을 원형으로 잘라낸 뒤 수용성 이온 분석에 사용하였으며, 3~5월 봄철에 채취한 필터들은 2등분하여 이 중 한 개는 수용성 성분 분석에, 나머지 부분은 중금속 분석에 이용하였다. 수용성 이온 분석용 필터는 에탄올 0.5mL에 침적시킨 후 초순수 (17.8-18 M Ω) 50mL를 가하여 초음파 세척기에서 30분간 초음파 분쇄 후 다시 shaker에서 1시간 진탕시켜 수용성 성분들을 용출시켰다. 이 때 용기는 125 mL 용량의 PE 또는 PP병 (Nalgene)을

사용하였으며, 세척후 1차 증류수로 1회, 다시 초순수로 2회 반복 세척하여 오염에 의한 분석오차를 최대한 방지하였다. 용출액은 0.45 μm membrane filter 와 주사기를 사용, 불용성 입자를 거른 후 여액을 양이온 (NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) 및 음이온 (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) 분석용 시료로 이용하였다.

3) 양이온 분석

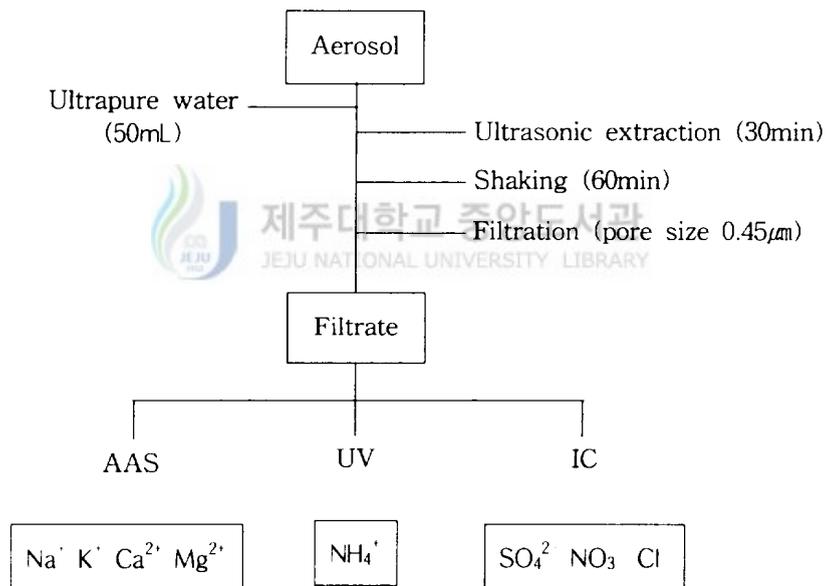
NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 등의 수용성 양이온 분석에는 앞에서 전처리를 거친 시료용액을 사용하였으며, 이 용액은 항상 4°C 냉장실에 보관한 상태로 사용하였다. 이 중 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 양이온은 원자흡광광도법으로 분석하였으며, 원자흡광광도법에서 검량선 작성시 사용한 표준용액의 농도는 Na^+ = 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, K^+ = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, Ca^{2+} = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$, Mg^{2+} = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 이고, 표준용액은 MERCK 사의 1000 ppm 용액을 초순수를 사용하여 필요한 농도로 희석시켜 조제하였다. 이 때 원자흡광광도계의 분석조건은 다음과 같다.

AAS	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Fuel Gas	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{Air}$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{Air}$	$\text{N}_2\text{O}/\text{C}_2\text{H}_2$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{Air}$
Slot Length(cm)	10	10	5	10
Detection Wavelength(nm)	589.0	766.5	422.7	585.2

NH_4^+ 는 indophenol 법으로 분석하였다. 시료용액 5 mL를 정확히 취하고 여기에 phenol nitroprusside 용액 2.5 mL, sodium hypochlorite 용액 2.5 mL를 가하여 발색시킨 후 자외-가시선분광광도계를 사용하여 640 nm 파장에서 정량분석하였다. 이 때 검량선 작성시 사용한 표준용액은 Aldrich 사의 1차 표준급 시약 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (99.999%)과 초순수를 사용하여 조제하였다.

4) 음이온 분석

SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻ 음이온은 앞의 방법으로 전처리를 거친 시료용액을 4℃ 냉장실에 보관한 채로 소량 분취하여 사용하였으며, Ion Chromatography 법으로 동시에 분석하였다. 이 때 검량선 작성시 사용한 표준용액의 농도는 대부분 Cl⁻ = 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 μg/mL, NO₃⁻ = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 μg/mL, SO₄²⁻ = 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 μg/mL 이며, 표준용액은 Aldrich 사의 1차 표준급시약 (NH₄)₂SO₄ (99.999%), KNO₃ (99.99%), NaCl (99.99%)과 초순수를 사용하여 실험실에서 조제하였다. IC는 Dionex 사의 DX-500 Ion Chromatograph 를 사용하였고, 이들 음이온의 분리조건은 Sample Volume = 25 μL, Eluent = 2.4 mM Na₂CO₃ / 2.25 mM NaHCO₃, IonPac AG4A-SC Guard Column, IonPac AS4A-SC Separator Column 이다.



Scheme 1. Analytical procedure for atmospheric aerosol analysis.

III. 결과 및 고찰

1. 수용성 양이온 및 음이온 분석 결과

1996년 8월부터 1998년 5월까지 계절별로 채취한 317개의 에어로졸 시료들에 대해 NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 의 수용성 양이온과 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 수용성 음이온을 분석하고 각 계절별 평균농도를 Table 1에 요약하였고 전체 농도는 부록 9~16에 수록하였다. 수용성 양이온의 함량을 비교해 보면 여름, 가을, 겨울의 경우 $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 의 순이고, 봄철 시료들의 경우 $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 의 순으로 4계절 모두 NH_4^+ 의 농도가 가장 높게 나타났다. NH_4^+ 성분은 동물의 배설물, 비료, 식물의 부식 등에 의해 주로 배출되며 이중 약 80%정도가 동물의 배설물에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다(Howells, 1995). NH_4^+ 이온의 농도는 시료 채취 2년 기간 동안 계절별 평균에서 $0.79 \sim 1.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 양이온들에 비해 훨씬 높게 나타나고 있으며, 다른 성분들에 비해 비교적 계절별로 큰 차이를 나타내지 않았다. 봄, 여름에는 각각 $1.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 서로 비슷한 농도를 보였고 가을, 겨울에는 $0.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 약간 낮은 값을 보였으며 봄과 여름철에 농도가 증가하는 이유는 계절적 요인으로 비료의 사용량 증가 및 높은 기온과 관련이 있는 것으로 보인다. NH_3 의 발생량을 결정하는 가장 중요한 인자는 생물학적 활성(biological activity)과 온도이다(Pio, *et al.*, 1996). 일반적으로 NH_3 는 비료의 사용량 증가에 따른 인위적 영향으로 봄철에 가장 높은 농도를 나타낸다(Carmichael *et al.*, 1996). 반면에 여름의 경우 동물의 배설물이나 식물의 부패가 높은 기온의 영향으로 활발히 이루어지면서 NH_3 의 발생량이 증가하는 것으로 판단된다. 겨울의 경우 봄철과 여름에 비해 NH_4^+ 의 농도가 낮게 나타나는 경향을 보이는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 1996년 겨울에 이상적으로 NH_4^+ 의 농도가 높게 나타나고 있는데 L. Zhung과 B. J. Huebert의 연구 결과에 의하면 상당량의 NH_3 가 해양에서 발생하고 있고 대기 암모니아 중 상당량이 바닷물

에서 유래된다고 주장하고 있다. 이는 암모늄 에어로졸과 암모니아가 해양의 질소 고정(nitrogen fixing) 사이클에 중요한 역할을 하고 있고, 이러한 질소는 해양의 광플라크톤(photoplankton) 생성에 결정적인 영양소가 되는 것으로 알려져 있기 때문이다(Zhung and Huebert, 1996). 이러한 점을 감안하면 4 계절 중 해양의 영향을 가장 많이 받고 있는 겨울철에 NH_4^+ 의 농도가 증가하는 이유를 어느정도 설명할 수 있으나 이를 보다 정확히 규명하기 위해서는 더 장기적인 연구가 필요한 것으로 판단된다. Na^+ 의 경우 $0.20\sim 0.38\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 4 계절 모두 비슷한 농도를 보였다. 반면에 Ca^{2+} 의 농도를 보면 봄, 겨울, 여름, 가을에 각각 $0.63\mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.22\mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.12\mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 봄과 겨울에 그 농도가 크게 증가하고 있다. 제주지역의 계절별 주 풍향을 보면 대체적으로 봄에는 북서 계열의 풍향이 주류를 이루고 있고, 여름에는 남동 계열, 가을에는 북동 계열, 그리고 겨울에는 북풍이 주류를 이루고 있다(Carmichael *et al.*, 1997). 주로 북서 계열이 우세한 봄과 겨울에 Ca^{2+} 농도가 이처럼 크게 증가하는 것은 이러한 풍향과 상관성이 큰 것으로 보인다. 특히 황사 영향을 크게 받는 봄철에 이와 같이 Ca^{2+} 농도가 증가하는 것은 제주지역의 대기질이 중국의 영향을 많이 받고 있음을 의미하며, 봄철에 중국의 황사가 다량으로 제주지역 대기부유분진에 유입되고 있음을 잘 뒷받침해 주고 있다(Kotamarthi and Carmichael, 1993; Iwasaka *et al.*, 1988; Okada *et al.*, 1987; Okada *et al.*, 1990).

SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl의 수용성 음이온 분석 결과 대체로 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}$ 의 농도 순으로 나타났으며, SO_4^{2-} 는 $3.49\sim 4.92\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 성분들에 비해 가장 높은 농도를 보였다. NO_3^- 의 농도 범위는 $0.11\sim 1.25\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 특히 봄과 겨울에 각각 $1.25\mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.88\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 크게 농도가 증가함을 알 수 있었다. 이 역시 Ca^{2+} 와 마찬가지로 북서 계열의 풍향이 우세한 봄과 겨울에 농도가 크게 증가하는 것으로 보아 중국의 영향에 의한 것으로 판단된다. Cl은 $0.14\sim 0.26\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 4 계절 모두 비슷한 농도 분포를 보였고 전체적으로 아주 낮은 농도를 보였다. 또 해양입자의 주요 성분인 Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl이 도내 다른 지역에서 채취한 에어로졸에 비해 대체적으로 낮게 나타났으며, High Volume Tape Sampler의 설치 위치가 고지대

인 해발 1100m에 위치하고 있어서 해염입자의 영향을 적게 받고 있는 것으로 보인다.

Table 1. Seasonal comparison of cation and anion average concentrations

	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃	Cl
96 Summer	1.16	0.23	0.13	0.05	0.13	4.07	0.07	0.21
97 Summer	1.14	0.17	0.22	0.19	0.04	4.41	0.16	0.09
96 Fall	0.84	0.39	0.13	0.08	0.22	3.24	0.32	0.24
97 Fall	0.88	0.15	0.25	0.13	0.04	3.74	0.16	0.05
96 Winter	1.32	0.53	0.32	0.30	0.36	5.86	1.37	0.45
97 Winter	0.79	0.22	0.16	0.15	0.05	3.55	0.39	0.08
97 Spring	1.47	0.23	0.32	0.41	0.09	5.17	1.21	0.30
98 Spring	0.95	0.29	0.27	0.86	0.10	4.67	1.29	0.10
Spring	1.21	0.26	0.29	0.63	0.09	4.92	1.25	0.20
Summer	1.15	0.20	0.17	0.12	0.08	4.24	0.11	0.15
Fall	0.86	0.27	0.19	0.10	0.13	3.49	0.24	0.14
Winter	1.06	0.38	0.24	0.22	0.20	4.70	0.88	0.26

2. 분석 정밀도 조사

일반적으로 모든 용액은 전기적으로 중성을 나타내기 때문에 에어로졸의 수용성 음이온과 양이온의 당량농도 합 즉, T_{Anion} 과 T_{Cation} 은 정확히 일치해야 한다. 그러나 모든 음이온과 양이온 성분을 모두 분석할 수 없기 때문에 두 양간에는 약간의 차가 생기게 되며 그 차이가 모든 시료의 분석결과에서 일관성을 보일 경우 즉, T_{Anion} 과 T_{Cation} 과의 상관계수가 클수록 분석 정밀도가 높고, 상관계수가 작을수록 분석 정밀도는 낮다고 볼 수 있다. 에어로졸의 수용성 양이온 및 음이온 분석 결과들에 대해서도 음이온 당량농도와 양이온 당량농도의 합을 다음식에 의해 계산하고 양이온 당량농도와 음이온 당량 농도의 합 간의 상관계수(r)가 1에 가까울수록 분석 정밀도가 높다고 볼 수 있다. 식에서 C_i 는 이온 i 의 농도($\mu\text{g}/\text{ml}$), Z_i 는 이온 i 의 당량수, W_i 는 이온 i 의 질량이며, m 은 음이온의 수, n 은 음이온과 양이온의 수이다(심상규외, 1994; Khwaja and Husain, 1990).

$$T_{\text{Anion}} = \sum_{i=1}^m C_i Z_i / W_i$$
$$T_{\text{Cation}} = \sum_{i=m+1}^n C_i Z_i / W_i$$

본 연구에서 수행한 에어로졸 분석 결과들에 대해 이와 같은 방법으로 두 양간의 상관계수를 구하여 분석 정밀도를 조사한 결과를 Table 2 및 Fig 3 에 수록하였다. 계절별 분석 데이터들에 대해 상관계수를 구해 본 결과 96여름부터 98년 봄까지 계절별로 각각 0.976, 0.967, 0.976, 0.944, 0.933, 0.978, 0.968, 0.968을 나타냈으며, 이들 분석 결과들은 대체적으로 정밀도가 높은 것으로 확인되었다. 또한 모든 시료의 분석 결과들에 대해 양이온 당량농도 합과 음이온 당량농도 합간의 불균형(imbalance) 정도를 조사해 본 결과 전체 317개의 시료중에 95.3%의 데이터가 50%-imbalance 이하의 값을 보였으며 나머지 4.7%가 50%-imbalance 이상의 값을 나타내었다(Ayers and Manton, 1991).

Table 2. Data quality control parameters and % imbalance

Regression results	96summer	96fall	96winter	97spring
Number of point	17	26	18	85
Slope	0.9563	1.2413	1.149	1.3208
Intercept	0.0053	-0.0305	-0.0143	-0.0326
Correlation coefficient(r)	0.976	0.967	0.976	0.944
% imbalance				
<10% imbalance	12	7	7	21
10%~20% imbalance	3	5	8	17
20%~50% imbalance	1	14	3	42
>50% imbalance	1	0	0	5

Regression results	97summer	97fall	97winter	98spring
Number of point	30	35	38	68
Slope	1.2054	0.9556	1.1653	0.8607
Intercept	-0.0102	0.0128	0.0019	0.0154
Correlation coefficient(r)	0.933	0.978	0.968	0.968
% imbalance				
<10% imbalance	4	9	11	21
10%~20% imbalance	10	14	10	22
20%~50% imbalance	12	12	15	22
>50% imbalance	4	0	2	3

$$\% \text{ imbalance} = (T_{\text{cation}} - T_{\text{anion}}) \times 100 / 0.5 \times (T_{\text{cation}} + T_{\text{anion}})$$

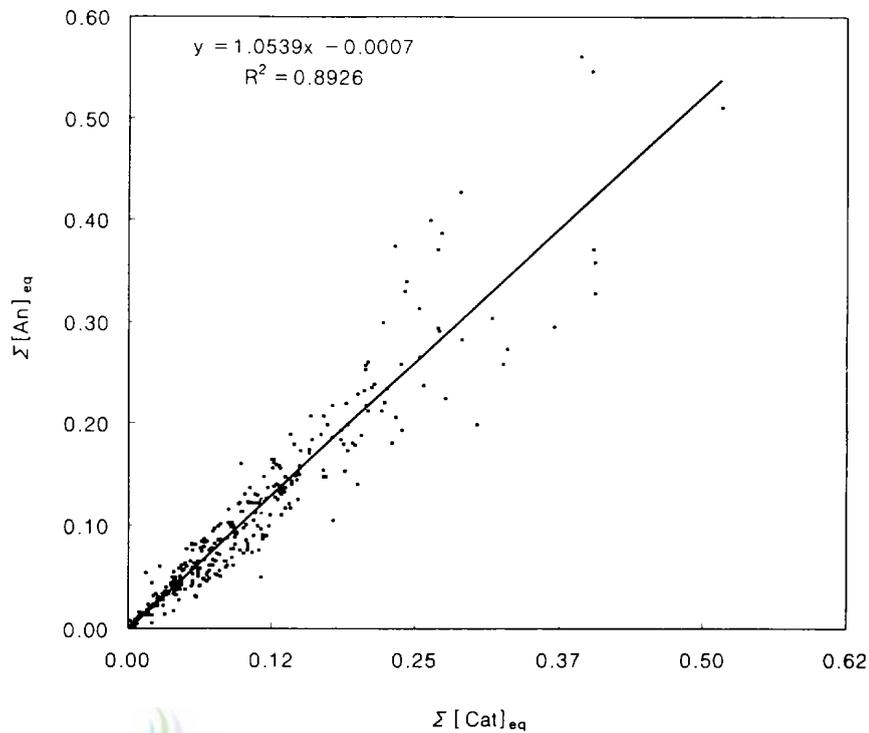


Figure 3. Scattergram of T_{cation} versus T_{anion} for analytical data

3. 계절별 농도 변화

연구 기간 동안 계절별로 대기부유분진의 총량(TSP)을 Andersen Sampler를 사용하여 측정하고 그 결과를 Table 3에 수록하였다. 또한 High Volume Tape Sampler를 사용하여 채취한 에어로졸 시료에 대해 주요 수용성 성분을 분석하고 이들의 농도 변화를 계절별로 도시하여 Fig.4~14에 나타내었다.

연구기간 중 총부유분진의 양은 $16.0 \sim 37.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위를 나타냈으며, 황사의 영향이 큰 97, 98년 봄철에 각각 $25.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $37.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 높은 농도를 보였

고, 96, 97년 겨울철에 각각 $23.0\mu\text{g}/\text{m}^3$, $16.0\mu\text{g}/\text{m}^3$, 그리고 96, 97년 여름과 가을에 각각 $20.1\mu\text{g}/\text{m}^3$, $19.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 과 $17.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, $22.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 보여 주 풍향이 북서계열일 때 높은 값을 나타내었다. 또 입경분포를 보면 2년 전체적으로 $3.3\mu\text{m}$ 이하 미세입자의 함량이 전체 평균 60% 이상을 차지했으며, 계절별 $3.3\mu\text{m}$ 이하 미세입자의 함량은 여름 71.4%, 가을 60.7%, 겨울 63.2%, 봄 60.6%의 분포를 보였다.

수용성 양이온 분석 결과를 보면 NH_4^+ 가 가장 높은 농도를 보이고 있으며 봄, 여름, 겨울철에 각각 $1.21\mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.15\mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.06\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가을철의 $0.86\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 높은 경향을 보였다. 또 96년 겨울과 97년 봄에는 각각 $1.32\mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.47\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높은 농도를 보였으나 97년 겨울과 98년 봄에는 각각 $0.79\mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.95\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 전년도에 비하여 크게 감소하였다. 이는 이 시기에 이상기온으로 예년에 비해 훨씬 더 많은 비가 내렸고 이러한 원인에 기인한 것으로 보이며 기상 자료와 비교, 분석해 보면 좀 더 타당한 이유를 찾을 수 있을 것으로 판단된다. Ca^{2+} , K^+ 은 북서풍 계열의 풍향이 우세한 봄과 겨울에 농도가 높고 남동풍 계열의 풍향이 주류를 이루는 여름과 가을에 낮은 농도를 보이고 있다. Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ 는 토양의 주요 성분으로 봄과 겨울에 중국의 토양입자가 한반도로 이동하여 대기질에 영향을 주고 있음을 의미하며, 특히 황사의 영향을 크게 받고 있는 봄철에 Ca^{2+} 의 농도가 크게 증가하는 것은 이러한 중국의 영향을 잘 반영하고 있다(Kotamarthi and Carmichael, 1993; Iwasaka *et al.*, 1988; Okada *et al.*, 1987; Okada *et al.*, 1990). 반면에 Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- 의 경우 대체적으로 풍속이 강한 겨울철에 해염영향을 받아 모두 높은 농도를 나타내었다. 수용성 양이온의 경우 전체적으로 봄철에 대부분 성분이 높은 농도를 보이고 있으며 96년 겨울철에 모든 이온 농도가 대체적으로 높게 나타나고 있고 97년 겨울철에는 농도가 감소하고 있는데 이는 이 시기의 많은 비가 내렸고 강수량과 상관이 큰 것으로 판단된다.

에어로졸에서 해염입자와 토양입자의 양을 뺀 나머지 성분은 주로 인위적 요인에 의해 발생되며, 인위적 요인에 의해 발생하는 대표적인 대기오염 성분으로는 SO_4^{2-} , NO_3^- 를 들 수 있다. NO_3^- 는 낙뢰, 녹색식물의 연소(biomass burning) 등의

자연발생적 요인에 의해서, 또 SO_4^{2-} (non-sea salt)는 화산 폭발 등의 자연발생적 요인에 의해 대기중에 존재하기도 하지만 대체적으로 이들 두 성분은 대부분 자동차와 난방 연료의 연소에 의해 인위적으로 발생하게 된다. SO_4^{2-} , NO_3^- 는 대부분 기체상이 입자로 전환되는 과정에서 생성되는 2차 입자이며, 미세 에어로졸 중에 많이 함유되는 것으로 알려져 있다. 도시지역 에어로졸의 경우 미세입자 중 황산염, 질산염 등과 같은 2차 입자의 비율이 전체 입자의 40~50%를 점유하고 있는 것으로 보고되고 있다(최금찬외, 1994). 특히 이들 성분들은 0.1~1.0 μm 의 미세 에어로졸에 많이 함유되어 있고 이러한 미세입자들은 시계감소에 직접적인 영향을 줌은 물론 호흡 기관을 통과할 수 있기 때문에 관리가 필요한 것으로 지적되고 있다. 이러한 성분들은 계절적인 농도 변동 폭이 크며, 봄철의 황사현상, 여름철의 광화학 반응, 겨울철의 고농도 배출 등 기상이나 지역적 특성에 따라 대기중의 전환과정에 영향을 많이 받게 된다.

우선 SO_4^{2-} 의 농도를 보면 봄, 겨울, 여름에 각각 4.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4.70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 가을에는 3.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 나타내었다. 특히 96년 겨울과 97년 봄에 각각 5.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높은 농도를 보인 반면 97년 겨울과 98년 봄에는 각각 3.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 전년도 보다 감소하였다. 이 역시 수용성 양이온의 경우와 마찬가지로 이 시기의 많은 강수량과 상관이 있을 것으로 판단되며 기상자료와 비교해 보면 좀 더 타당한 이유를 확인할 수 있을 것으로 보인다.

오염 지역의 경우 화석연료 사용에 의해 겨울철에 SO_4^{2-} 의 농도가 가장 증가하는 것이 일반적인 경향이다. 그러나 청정지역인 1100고지의 에어로졸의 경우 봄, 겨울, 여름철에 거의 비슷한 경향을 보이고 있는데 봄철의 농도 증가는 주로 중국의 영향에 의한 것으로 보이며, 여름철의 농도 증가는 해양의 DMS(dimethyl sulfide) 영향으로 추정된다. 여름철 제주지역의 풍향은 남동풍 계열이 주류를 이루고 있고 이를 감안하면 SO_4^{2-} 는 낮은 농도를 보일 것으로 예상되나 이처럼 SO_4^{2-} 의 농도가 증가하는 것은 해양 영향과 빠른 2차입자로의 전환과 관계가 있는 것으로 보인다. 해수중에는 DMS가 상당량 함유되어 있으며 자연적 발생원에 의해 방출되는 전체 황의 90~95% 이상을 차지하고 있고 이렇게 해수면에서 방출되는 DMS는 광화학 반응에 의한 산화반응으로 SO_4^{2-} 를 생성하며 특히 자외선 양이

많은 여름철에 농도가 크게 증가한다(김기현외, 1997; Berresheim *et al.*, 1991; Pio *et al.*, 1996). 본 연구 결과 SO_4^{2-} 의 농도가 여름철에 높게 나타나는 것은 이러한 이유에 기인하는 것으로 보인다.

NO_3 성분의 농도는 연구 기간에 모두 겨울과 봄철에 농도가 높게 증가하는 경향을 보였다. 겨울철의 NO_3 농도 증가는 난방 연료 등의 화석연료의 소모량과 관계가 있으며, 봄철의 농도 증가는 봄철에 주로 북서풍 계열의 풍향에 의해 중국의 오염 영향을 직접적으로 받기 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로 에어로졸 중의 NO_3 농도는 SO_4^{2-} 에 비해 2~5배 정도 낮은 경향을 나타낸다. 그러나 중국의 경우 그 원인은 알 수 없으나 두 성분의 비율이 거의 동일한 수준($\text{NO}_3/\text{SO}_4^{2-}$; Beijing = 8.84/13.00, Jinan = 12.66/10.83, Nanjing = 20.57/24.85)을 보이고 있다 (Carmichael *et al.*, 1997). 다른 계절에 비해 봄철에 NO_3 농도가 증가하는 이유는 이러한 중국의 영향을 받기 때문인 것으로 추정되나 이를 정확히 규명하기 위해서는 좀더 지속적인 데이터 수집 및 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

Figure 12와 Figure 13은 각 성분의 계절별 평균농도를 막대그래프 및 방사형 그래프로 비교한 결과이다. 이 중 주요 양이온 성분들의 계절별 농도 변화를 보면 NH_4^+ 의 경우 1997년 봄에 가장 높은 농도를 보였고 다음으로 1996년 겨울, 1997년 여름의 순으로 높게 나타났다. Ca^{2+} 은 1998년 봄에 가장 높고 다음으로 1997년 봄, 1996년 겨울의 순으로 대체적으로 봄과 겨울에 농도가 크게 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 1997년 겨울에 의외로 낮은 농도를 보이고 있는데 이것은 예년에 비해 이 시기에 강수일이 훨씬 많았던 원인으로 추정된다. 음이온 성분중에서 SO_4^{2-} NO_3 역시 SO_4^{2-} 1997년 봄에 가장 높은 농도를 보이고 다음으로 1996년 겨울, 1997년 여름의 순이며, NO_3 은 1998년 봄에 가장 높고 다음으로 1997년 봄, 1996년 겨울의 순으로 양이온 NH_4^+ 과 Ca^{2+} 의 농도 변화와 아주 동일한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 4 계절의 계절별 농도를 비교하기 위하여 2년간의 결과를 평균하여 Figure 14에 방사형 그래프로 비교하였다. 결과에서 보면 NH_4^+ 은 봄과 여름에 가장 높은 농도를 나타냈으며, Ca^{2+} 은 봄에 그리고 Na^+ 와 Mg^{2+} 은 겨울에 그 농도가 증가하는 경향을 보였다. 반면에 음이온은 SO_4^{2-} 가 겨울과 봄에 가장 높고, NO_3 은 봄과 겨울에 Cl^- 은 겨울에 그 농도가 증가하고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 타 지역의 에어로졸 농도 변화와 아주 유사한

경향을 보이고 있으며 단지 NO₃ 농도가 봄에 증가하는 경향만이 예외적이다. 이는 앞에서 논의한 것 처럼 중국의 에어로졸에서 NO₃ 농도가 아주 높게 나타나는 데 기인하는 것으로 대륙으로부터 배출된 NO₃ 가 제주지역 에어로졸에 상당량 유입되고 있음을 암시해 주는 결과이다.

Table 3. Particle size distributions of aerosols and total suspended particles.

Size	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
	96summer	96fall	96winter	97spring
11um, Above	0.2	0.7	0.2	1.4
7.0-11um	0.2	2.0	1.0	1.6
4.7-7.0um	2.2	1.7	4.2	2.8
3.3-4.7um	2.7	1.9	2.4	3.7
2.1-3.3um	2.5	2.1	3.7	3.1
1.1-2.1um	4.4	1.6	3.2	4.3
0.65-1.1um	4.2	3.7	6.0	6.1
0.43-0.65um	3.7	4.0	2.2	2.4
TSP	20.1	17.9	23.0	25.4

Size	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
	97summer	97fall	97winter	98spring
11um, Above	0.8	1.2	1.2	1.8
7.0-11um	1.4	2.2	0.9	2.3
4.7-7.0um	2.1	3.3	1.9	4.6
3.3-4.7um	1.6	3.0	2.3	6.6
2.1-3.3um	1.9	2.6	2.0	8.8
1.1-2.1um	2.9	3.2	1.8	5.5
0.65-1.1um	6.7	4.8	3.7	5.9
0.43-0.65um	1.9	2.6	2.2	1.5
TSP	19.4	22.9	16.0	37.0

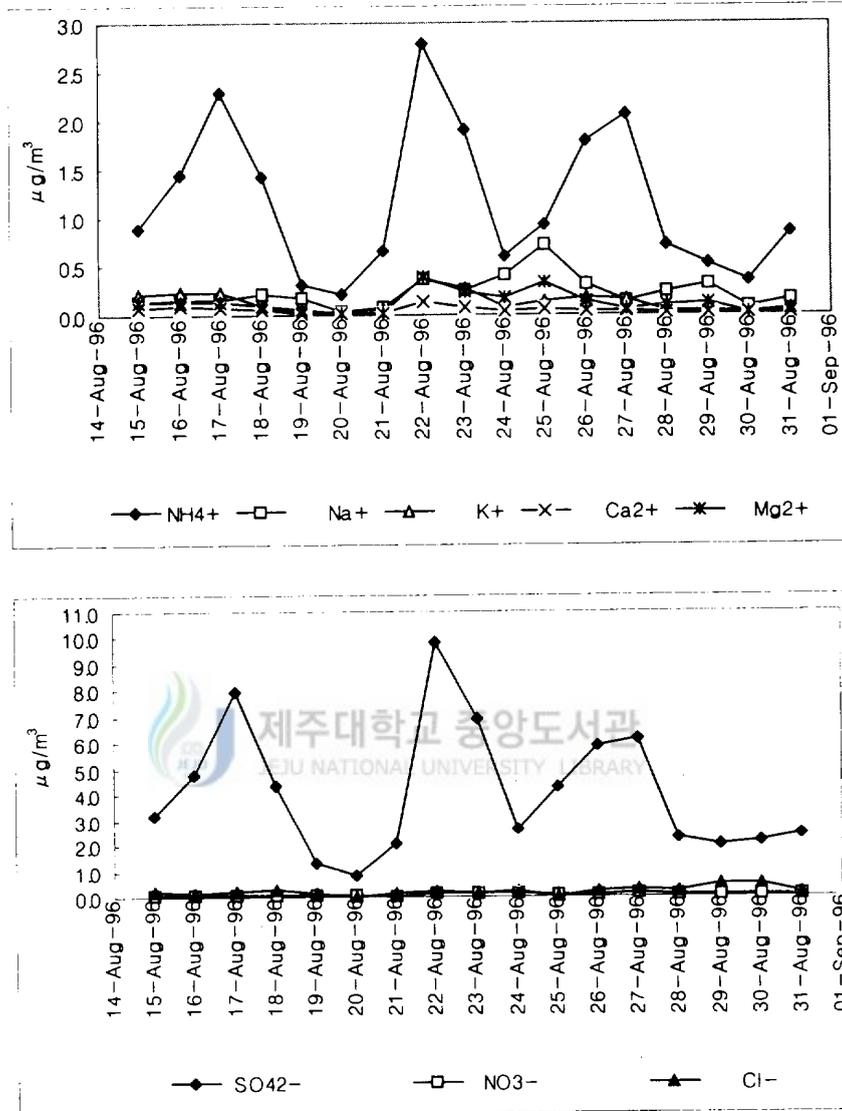


Figure 4. Variations of cation and anion concentrations in summer, 1996.

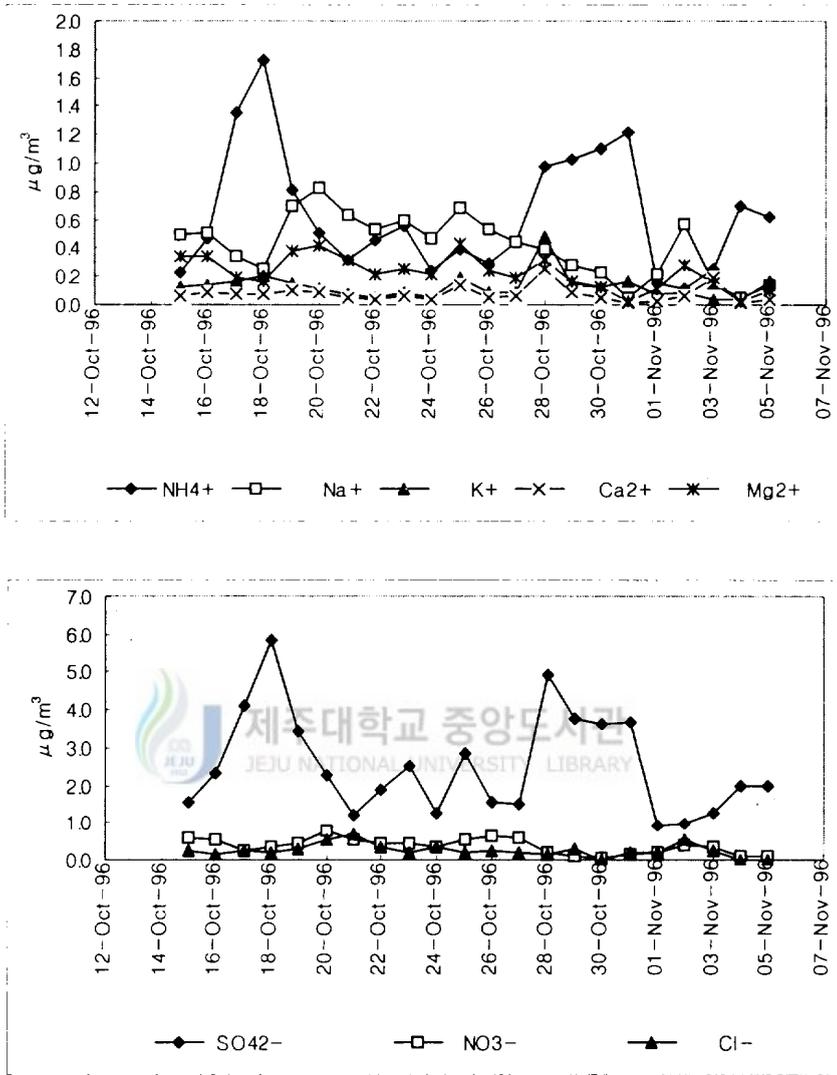


Figure 5. Variations of cation and anion concentrations in fall, 1996.

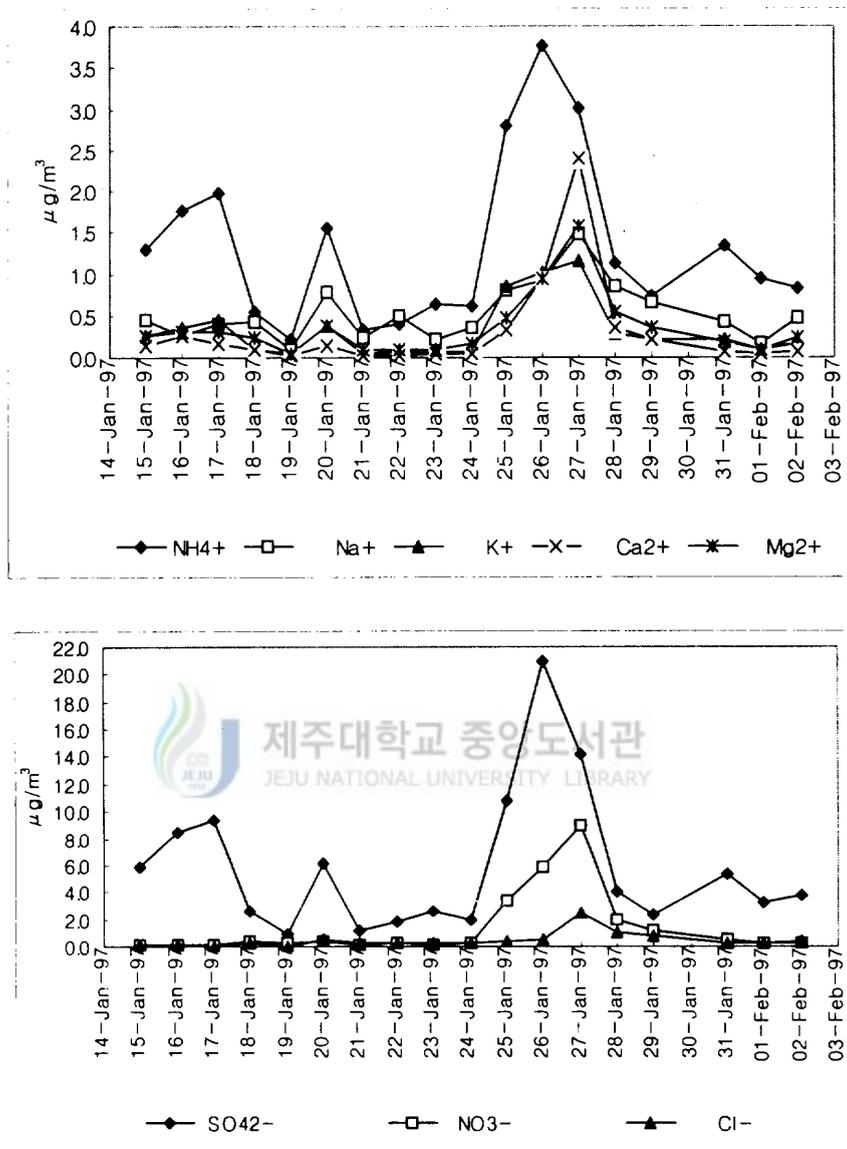


Figure 6. Variations of cation and anion concentrations in winter, 1996.

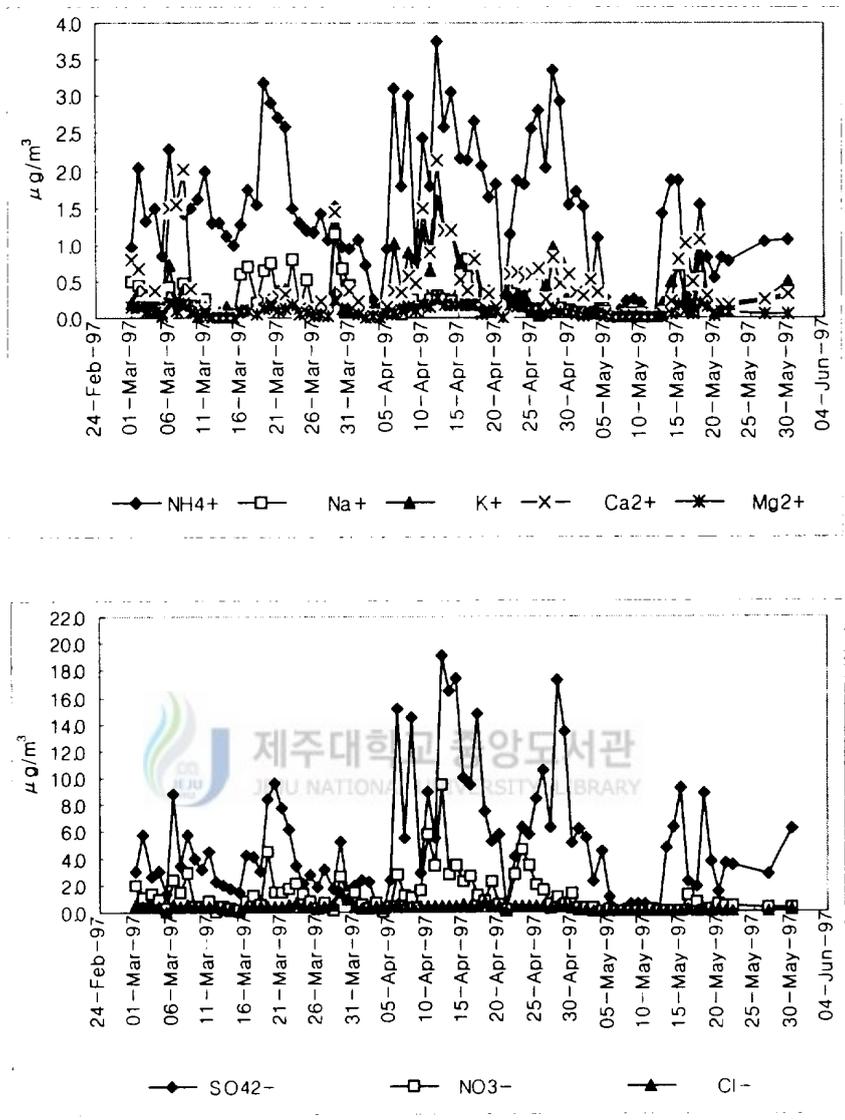


Figure 7. Variations of cation and anion concentrations in spring, 1997.

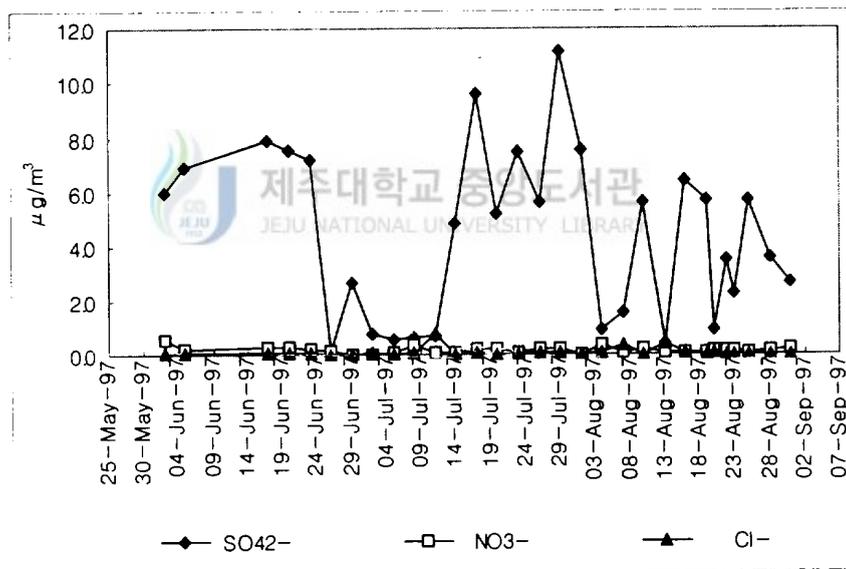
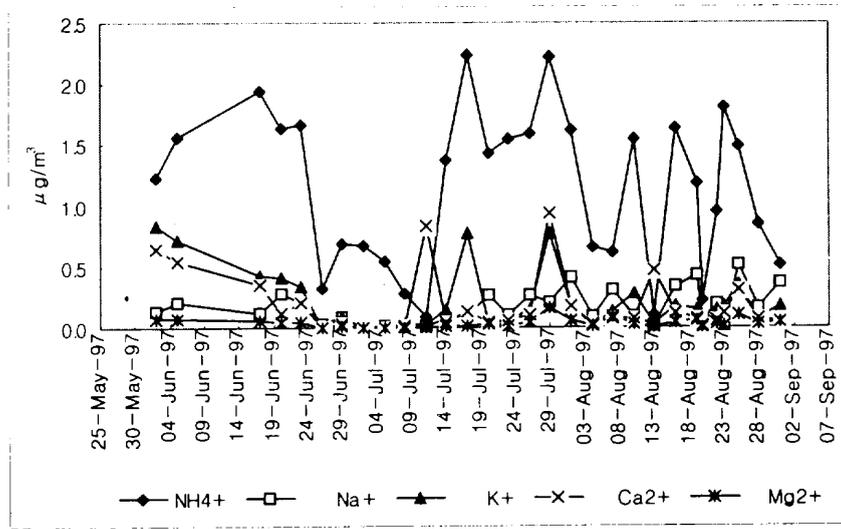


Figure 8. Variations of cation and anion concentrations in summer, 1997.

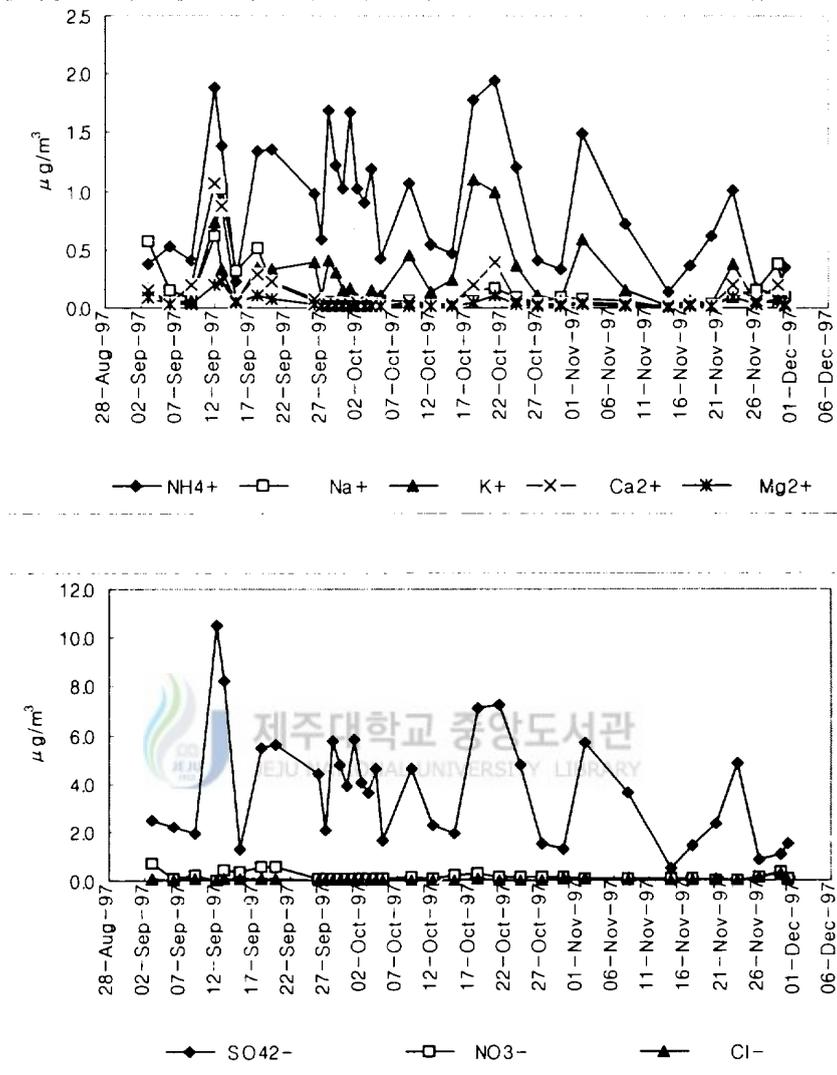


Figure 9. Variations of cation and anion concentrations in fall, 1997.

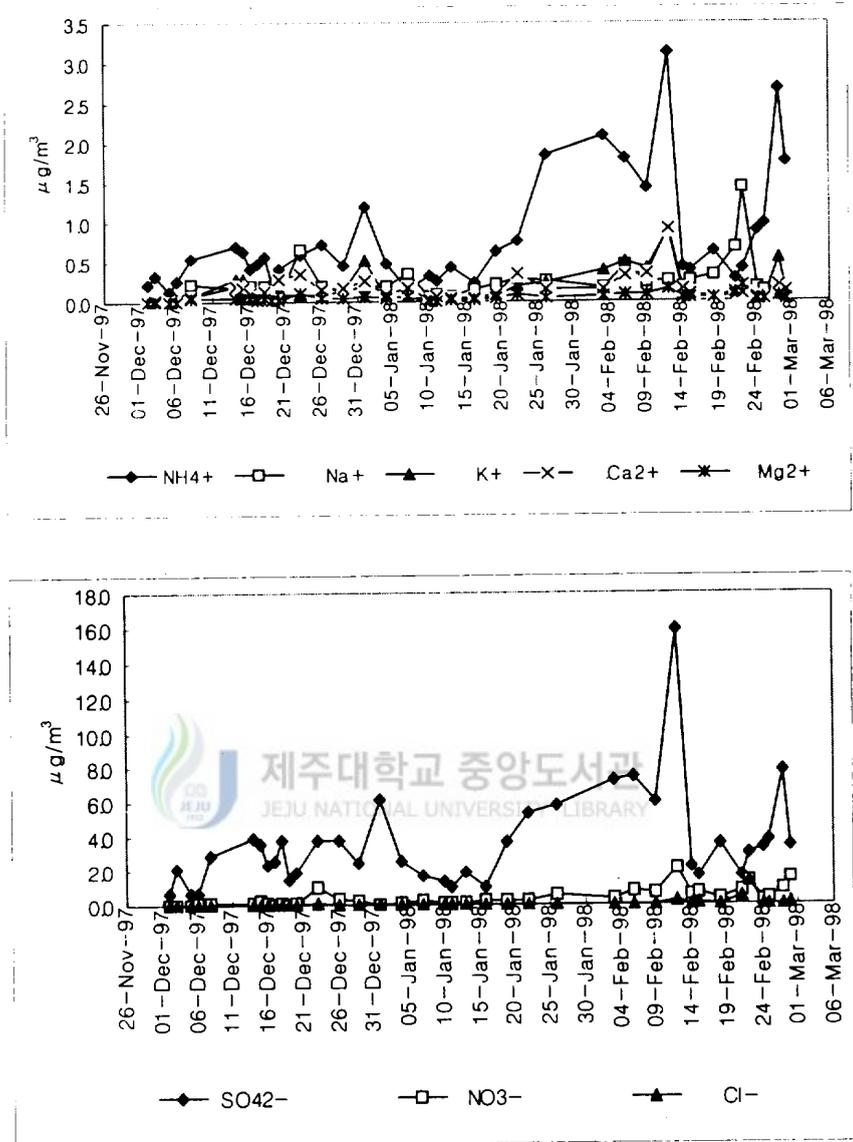


Figure 10. Variations of cation and anion concentrations in winter, 1997.

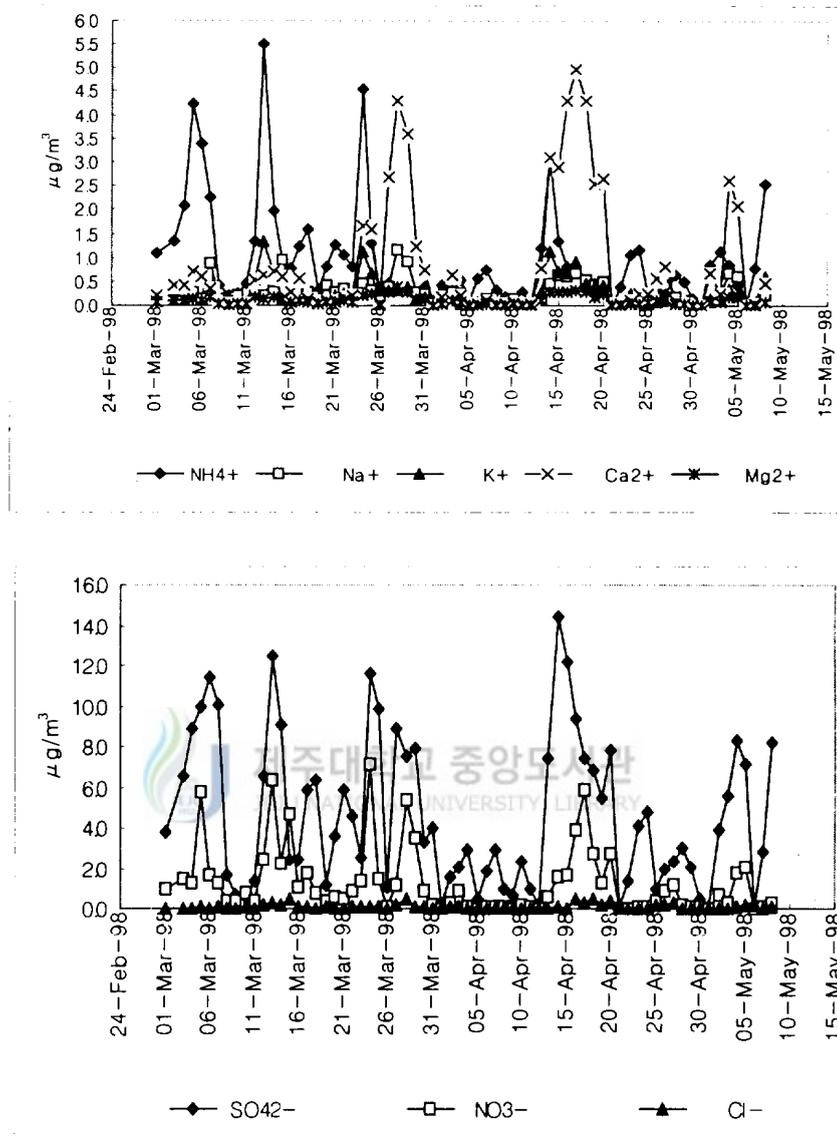


Figure 11. Variations of cation and anion concentrations in spring, 1998.

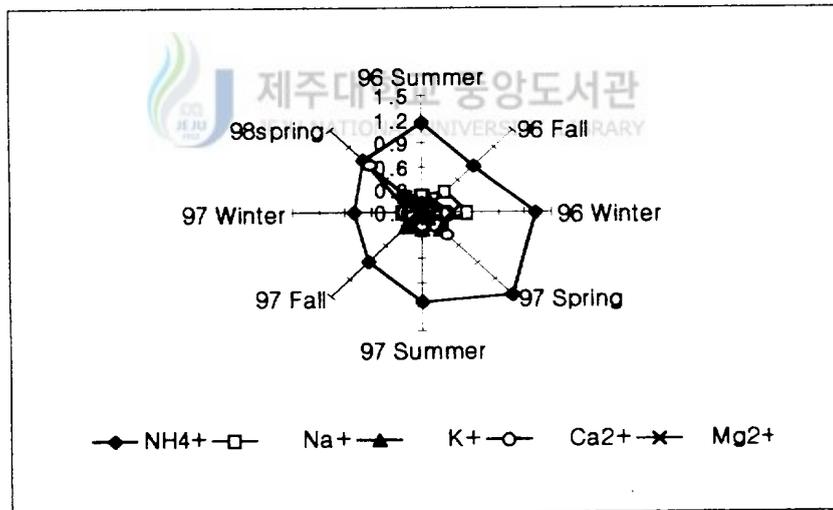
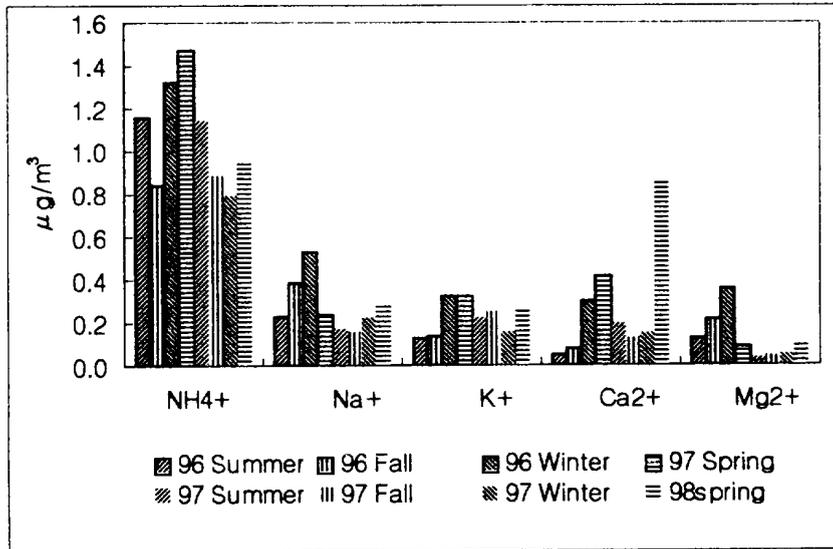


Figure 12. Seasonal comparison of cation concentrations

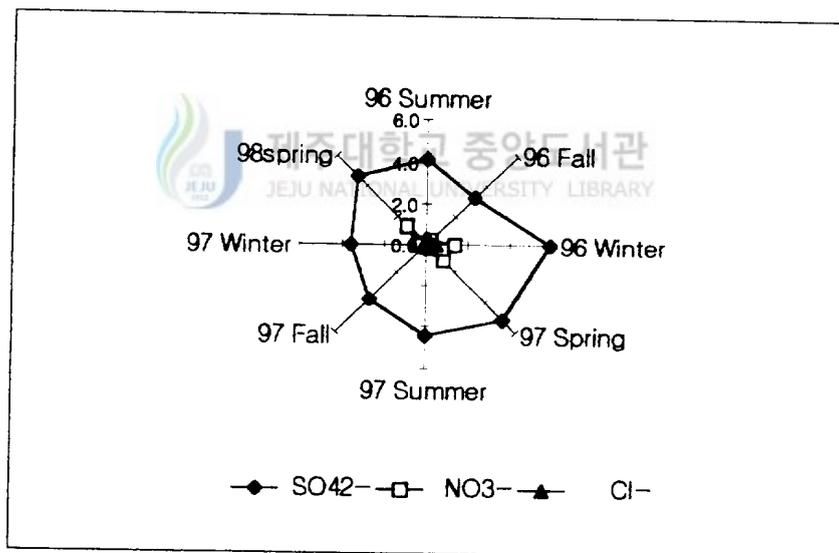
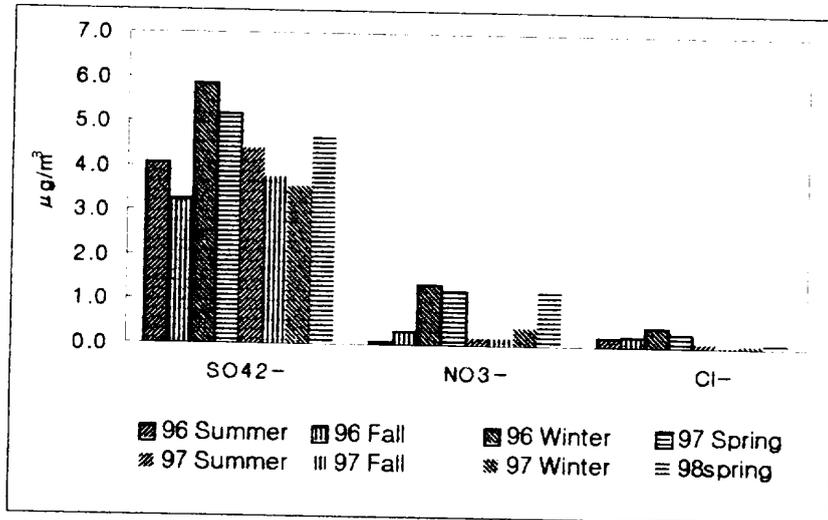


Figure 13. Seasonal comparison of anion concentrations

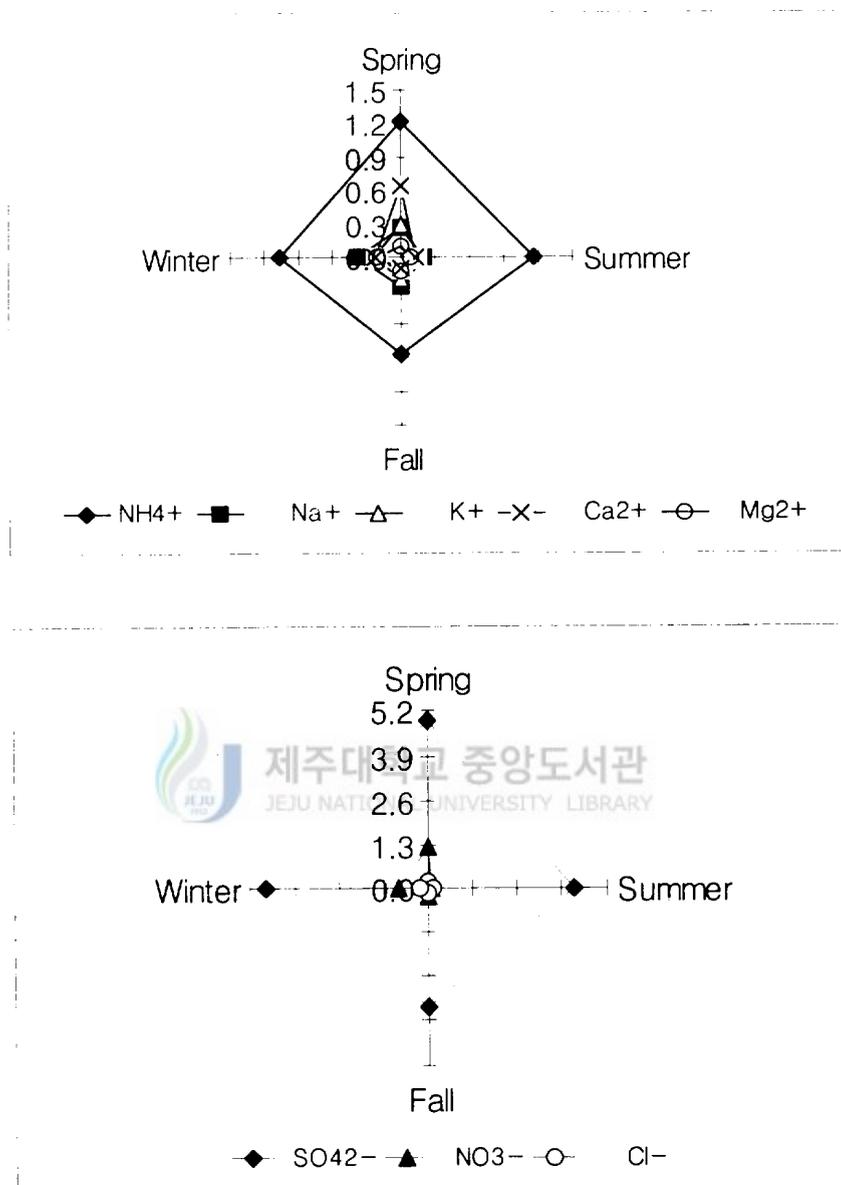


Figure 14. Seasonal comparison of cation and anion concentrations

4. 성분들간의 상관관계 비교

에어로졸 성분들 즉 수용성 양이온 성분 및 음이온 성분들의 발생기원을 확인하고 에어로졸 특성을 조사하기 위하여 각 성분들간의 상관계수를 구하고 그 결과를 Table 4~11에 수록하였다.

에어로졸 성분 중 주요 오염물질인 SO_4^{2-} 성분과 양이온들 즉 NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 과의 상관관계를 조사한 결과 이 중 NH_4^+ 가 전체적으로 0.748~0.981로 가장 큰 상관성을 보였다. 이는 SO_4^{2-} 의 상당량이 에어로졸 중에 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 상태로 존재하고 있음을 의미한다. NH_4^+ 는 대기중에서 H_2SO_4 와의 반응성이 아주 커서 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 의 이성분 시스템에 빠른 속도로 염을 생성하여 기후에 영향을 줄뿐만 아니라 구름의 알베도(albedo)에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Zhuang and Huebert, 1996). 본 연구에서 채취한 제주지역 에어로졸 역시 이러한 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 가 에어로졸의 주요 성분으로 존재하고 있음을 알 수 있다(Sutton *et al.*, 1998; Querol *et al.*, 1998). 다음으로 SO_4^{2-} 와의 상관성이 큰 성분은 K^+ 과 Ca^{2+} 으로 각각 0.699~0.927, 0.336~0.849의 비교적 높은 관계를 보였다. 반면에 Mg^{2+} 은 96년 가을철에 0.098로 아주 낮고 나머지는 0.557~0.783으로 대부분 높게 나타나고 있으나 Na^+ 은 0.142~0.574로 대부분 낮은 상관성을 보였다.

NO_3 는 주로 화석연료의 연소에 의하여 생성된 NO_2 가 대기중에서 2차입자로 전환되어 에어로졸로 존재하며, 이러한 NO_3 의 생성량은 화석연료의 연소에 의해 생성된 NO_x 가 복잡한 여러 반응을 거쳐 가스상 질산(HNO_3)과 입자상 질산(NO_3)으로 전환되며, 질산의 생성은 일사량, 기온, 습도, HNO_3 와 NH_3 의 대기중 농도, 부유분진의 성분 등에 따라 달라진다(천만영·김희강, 1995). 질산은 에어로졸 또는 습식, 건식 강하물로 지면으로 이동하여 인체와 동식물에 피해를 줄 뿐만 아니라 토양과 수계의 산성화를 촉진시키고 각종 구조물을 부식시키며 시정을 감소시키는 등 다양한 형태로 피해를 주고 있다(Zhuang *et al.*, 1996). NO_3 성분과 양이온들과의 상관관계를 조사한 결과 이 중 Na^+ , Mg^{2+} 과의 상관성이 여름을 제외하면 0.434~0.959로 상관성이 높았으며 NH_4^+ 는 겨울과 봄철에 상관계수가 0.583~

0.778로 대체로 높게 나타났다. 이러한 결과로부터 NO_3^- 성분은 대기중에 주로 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, NaNO_3 , NH_4NO_3 등으로 존재하고 있음을 알 수 있었다. 또한 K^+ , Ca^{2+} 과는 봄, 겨울에 0.466~0.945로 대체로 높고 가을철에는 상관성이 작은 것으로 조사되었다. 이는 북서계열 풍향이 주류를 이루는 겨울과 봄에 이들 두 성분의 양이 충분히 증가하면서 상관계수가 크게 나타났고, 여름과 가을에는 두 성분의 양이 아주 미량이기 때문에 상관계수가 상대적으로 감소한 것으로 판단된다. 또 겨울과 봄철의 에어로졸 중에는 상당량의 KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 의 염이 내포되어 있음을 알 수 있었다.

Cl⁻는 봄, 겨울철에는 대부분 양이온과 상관성이 크고 가을철에는 Na^+ 과 Mg^{2+} 와의 상관성이 높으며 여름철에는 대체적으로 상관성이 작아지는 것으로 나타났다. 이는 4 계절 중 겨울, 봄철에 해염 영향을 가장 많이 받고 있으며 해염성분은 NaCl , MgCl_2 의 형태로 에어로졸에 유입되고 있음을 보여준다.



Table 4. Linear correlation coefficients for all components in summer, 1996.

	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃	Cl	n-SO ₄ ²⁻
NH ₄ ⁺	1								
Na ⁺	0.152	1							
K ⁺	0.865	0.213	1						
Ca ²⁺	0.747	0.221	0.937	1					
Mg ²⁺	0.583	0.780	0.732	0.721	1				
SO ₄ ²⁻	0.981	0.258	0.900	0.791	0.689	1			
NO ₃	0.446	0.332	0.466	0.334	0.519	0.501	1		
Cl	-0.070	-0.188	-0.194	-0.165	-0.242	-0.060	-0.087	1	
n-SO ₄ ²⁻	0.983	0.243	0.900	0.790	0.679	1.000	0.498	-0.057	1

n-SO₄²⁻ : non-sea salt SO₄²⁻ (n-SO₄²⁻ = SO₄²⁻ - 0.251Na⁺)

Table 5. Linear correlation coefficients for all components in fall, 1996.

	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃	Cl	n-SO ₄ ²⁻
NH ₄ ⁺	1								
Na ⁺	-0.364	1							
K ⁺	0.564	-0.037	1						
Ca ²⁺	0.253	0.157	0.728	1					
Mg ²⁺	-0.104	0.865	0.363	0.518	1				
SO ₄ ²⁻	0.963	-0.227	0.699	0.423	0.098	1			
NO ₃	-0.516	0.820	-0.145	0.080	0.703	-0.400	1		
Cl	-0.307	0.649	-0.228	-0.019	0.475	-0.256	0.543	1	
n-SO ₄ ²⁻	0.966	-0.245	0.696	0.418	0.081	1.000	-0.413	-0.267	1

Table 6. Linear correlation coefficients for all components in winter, 1996.

	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	n-SO ₄ ²⁻
NH ₄ ⁺	1								
Na ⁺	0.702	1							
K ⁺	0.956	0.831	1						
Ca ²⁺	0.682	0.840	0.830	1					
Mg ²⁺	0.787	0.920	0.902	0.966	1				
SO ₄ ²⁻	0.980	0.654	0.927	0.680	0.777	1			
NO ₃	0.778	0.873	0.903	0.945	0.959	0.769	1		
Cl ⁻	0.459	0.868	0.647	0.903	0.887	0.419	0.841	1	
n-SO ₄ ²⁻	0.979	0.645	0.924	0.673	0.770	1.000	0.763	0.409	1

Table 7. Linear correlation coefficients for all components in spring, 1997.

	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	n-SO ₄ ²⁻
NH ₄ ⁺	1								
Na ⁺	0.319	1							
K ⁺	0.718	0.208	1						
Ca ²⁺	0.473	0.361	0.681	1					
Mg ²⁺	0.463	0.740	0.660	0.787	1				
SO ₄ ²⁻	0.894	0.252	0.887	0.585	0.661	1			
NO ₃	0.586	0.450	0.621	0.686	0.727	0.564	1		
Cl ⁻	0.459	0.638	0.240	0.370	0.565	0.302	0.465	1	
n-SO ₄ ²⁻	0.893	0.239	0.887	0.582	0.653	1.000	0.560	0.295	1

Table 8. Linear correlation coefficients for all components in summer, 1997.

	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃	Cl	n-SO ₄ ²⁻
NH ₄ ⁺	1								
Na ⁺	0.361	1							
K ⁺	0.664	0.200	1						
Ca ²⁺	0.183	-0.003	0.581	1					
Mg ²⁺	0.547	0.660	0.651	0.535	1				
SO ₄ ²⁻	0.909	0.456	0.741	0.336	0.646	1			
NO ₃	0.151	-0.140	0.478	0.196	0.110	0.181	1		
Cl	-0.431	-0.208	-0.162	0.510	-0.127	-0.313	-0.180	1	
n-SO ₄ ²⁻	0.909	0.447	0.742	0.338	0.641	1.000	0.184	-0.312	1

Table 9. Linear correlation coefficients for all components in fall, 1997.

	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃	Cl	n-SO ₄ ²⁻
NH ₄ ⁺	1								
Na ⁺	0.194	1							
K ⁺	0.793	0.216	1						
Ca ²⁺	0.465	0.812	0.478	1					
Mg ²⁺	0.408	0.911	0.441	0.952	1				
SO ₄ ²⁻	0.946	0.435	0.784	0.697	0.641	1			
NO ₃	-0.036	0.626	0.071	0.240	0.434	0.047	1		
Cl	-0.255	0.379	-0.082	0.160	0.235	-0.166	0.464	1	
n-SO ₄ ²⁻	0.951	0.415	0.787	0.685	0.626	1.000	0.032	-0.177	1

Table 10. Linear correlation coefficients for all components in winter, 1997.

	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl	n-SO ₄ ²⁻
NH ₄ ⁺	1								
Na ⁺	0.020	1							
K ⁺	0.853	0.090	1						
Ca ²⁺	0.690	0.164	0.817	1					
Mg ²⁺	0.357	0.853	0.526	0.612	1				
SO ₄ ²⁻	0.907	0.142	0.923	0.849	0.557	1			
NO ₃ ⁻	0.649	0.510	0.539	0.641	0.690	0.640	1		
Cl	-0.045	0.881	0.003	0.028	0.728	0.031	0.476	1	
n-SO ₄ ²⁻	0.909	0.120	0.924	0.848	0.539	1.000	0.630	0.011	1

Table 11. Linear correlation coefficients for all components in spring, 1998

	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl	n-SO ₄ ²⁻
NH ₄ ⁺	1								
Na ⁺	0.201	1							
K ⁺	0.806	0.480	1						
Ca ²⁺	0.071	0.702	0.565	1					
Mg ²⁺	0.311	0.837	0.715	0.909	1				
SO ₄ ²⁻	0.748	0.574	0.896	0.593	0.783	1			
NO ₃ ⁻	0.583	0.674	0.745	0.618	0.722	0.627	1		
Cl	0.066	0.695	0.374	0.667	0.656	0.326	0.648	1	
n-SO ₄ ²⁻	0.752	0.562	0.897	0.586	0.776	1.000	0.621	0.317	1

5. 해염입자의 영향

에어로졸 입자에는 일반적으로 해염성분이 상당량 함유되어 있으며, 특히 제주 지역 에어로졸의 경우 그 영향이 아주 큰 편이다. 그러나 본 연구의 경우 1100m 고지대에서 에어로졸 시료를 채취하였기 때문에 저지대 보다는 상대적으로 그 영향이 적을 것으로 예측된다. 이를 정량적으로 확인하기 위하여 Na'을 지표성분으로 농축계수(enrichment factor, EF)를 다음의 식에 의해 계산하였다(Davis, 1972; Chesselet *et al.*, 1972; Nishikawa *et al.*, 1986; 이호근외, 1995).

$$EF = (C_X / C_{Na'})_{Aerosol} / (C_X / C_{Na'})_{Seawater}$$

Na', K', Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Cl 등의 해염 성분들 중 Na'을 지표 성분으로 각 성분들에 대해 농축계수를 계산하여 에어로졸에 유입된 해염입자의 양을 확인하고 그 결과를 Table 12에 요약하였다. 일반적으로 각 성분들에 대해 구한 EF 값이 1에 가까울수록 해염의 영향이 크고, 1보다 커질수록 인위적 요인이나 다른 요인에 의해 에어로졸에 유입되고 있음을 의미한다. SO₄²⁻의 경우 SO₄²⁻/Na'의 EF 값이 33.58~104.86로 해염 영향 보다는 다른 요인에 의해 대기중으로 유입되고 있음을 알 수 있다. 이 중 여름철에 SO₄²⁻/Na'의 EF 값이 큰 이유는 앞에서 서술한 바와 같이 높은 기온과 상관성이 있을 것으로 보인다. 대기중에 존재하는 전체 황화합물 중 자연적인 발생원에 의한 양은 인위적 오염원에 의한 양의 약 40% 정도이며 주로 해양 및 토양 미생물의 성장대사 과정에서 발생하는 높은 휘발성 물질인 것으로 알려져 있다. 이러한 황화합물 중 가장 대표적인 물질이 DMS이며 대부분 해수면에서 발생된다. DMS는 광화학반응에 의한 산화로 SO₄²⁻를 생성하며 특히 자외선 양이 많은 여름철에 농도가 크게 증가한다(Leck and Persson, 1996).

또 Ca²⁺/Na'의 EF 값을 보면 5.0~74.8으로 해염보다는 주로 다른 요인에 의해 대기중으로 유입되고 있음을 알 수 있다. 특히 봄철의 에어로졸 시료에서

Ca^{2+}/Na^+ 의 EF 값이 42.6와 74.8으로 가장 큰 값을 보이고 있는데 이는 봄철의 황사현상에 의해 중국에서 장거리 이동된 미세 토양입자가 제주지역 대기부유분진에 다량으로 유입되고 있음을 잘 반증해 주는 결과이다. K^+ 성분 역시 Ca^{2+} 와 마찬가지로 봄철 EF 값이 23.3와 33.2로 비교적 큰 경향을 보였다.

Table 12. Seawater enrichment factors(EF) calculated from analytical data of aerosols.

Ratio	$(C_x/C_{Na^+})_{\text{seawater}}$	$(C_x/C_{Na^+})_{\text{Aerosol}}/(C_x/C_{Na^+})_{\text{seawater}}$			
	Seawater	96Summer	96Fall	96Winter	97Spring
$\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$	0.25	71.7	33.6	44.5	85.4
Cl^-/Na^+	1.80	0.5	0.4	0.5	0.7
$\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$	0.12	4.7	4.7	5.6	3.0
$\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$	0.04	5.6	4.9	14.2	42.6
K^+/Na^+	0.04	14.0	8.7	15.3	33.2

Ratio	$(C_x/C_{Na^+})_{\text{seawater}}$	$(C_x/C_{Na^+})_{\text{Aerosol}}/(C_x/C_{Na^+})_{\text{seawater}}$			
	Seawater	97Summer	97Fall	97Winter	98Spring
$\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$	0.25	104.9	97.0	63.5	65.4
Cl^-/Na^+	1.80	0.3	0.2	0.2	0.2
$\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$	0.12	1.8	2.3	1.8	3.0
$\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$	0.04	28.2	21.3	16.4	74.8
K^+/Na^+	0.04	33.1	40.6	18.0	23.3

6. 토양입자의 영향

오염지역의 대기부유분진의 주요 성분으로는 크게 해염, 비산회, 검댕 등을 들 수 있고 이외에 토양입자가 상당량 포함되는 것으로 알려져 있다. 그러나 청정지역 에어로졸의 경우 다른 성분들에 비해 상대적으로 토양입자의 비율이 높을 것으로 예측된다. 에어로졸의 성분 중 Ca^{2+} , Al, Fe는 토양의 주요 성분으로 알려져 있으며 이들 세 성분은 동일한 발생기원을 갖는다. 본 연구에서는 Ca^{2+} 을 지표성분으로 토양성분으로부터 유래된 입자들이 에어로졸에 어느 정도 함유되어 있는지를 확인하기 위하여 각 이온들과 Ca^{2+} 의 농도비를 측정하여 토양입자의 유입정도를 정량적으로 확인하였다. Ca^{2+} 을 지표 성분으로 다음의 식에 의해 농축계수(EF)를 계산하였으며, 식에서 $(C_X/C_{Ca^{2+}})_{Crust}$ 는 토양성분의 성분비이고, C_X 에서 X는 SO_4^{2-} , Cl, NO_3^- , NH_4^+ , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ 의 평균농도이다(Carmichael *et al.*, 1997; Nishikawa *et al.*, 1986).

$$EF = (C_X / C_{Ca^{2+}})_{Aerosol} / (C_X / C_{Ca^{2+}})_{Crust}$$

이 식에 의해 토양으로부터 유입되었을 가능성이 있는 SO_4^{2-} , Cl, NO_3^- , NH_4^+ , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ 성분들에 대해 EF 값을 계산하고 그 결과를 Table 13에 수록하였다. 해염입자 영향에서와 마찬가지로 EF 값이 1에 가까울수록 토양입자의 유입이 많은 것으로 볼 수 있으며, 이 값이 클수록 이들 성분들은 다른 요인에 의해 대기 중에 유입되었음을 의미한다. 결과에서 보듯이 SO_4^{2-} , Cl, NO_3^- , NH_4^+ 성분들의 EF 값은 31.8~21047.8의 범위를 보였고 이들 성분들은 토양 영향 보다는 다른 요인에 의해 대기 중에 부유되고 있음을 알 수 있다. 또한 Na^+ 와 K^+ 성분은 각각 0.4~6.7, 0.5~4.0의 EF 값을 보여 아주 일부가 토양으로부터 유래되고 있고, 나머지 대부분은 다른 요인에 의해 대기 중에 유입되고 있음을 알 수 있다. 반면에 Mg^{2+} 성분은 0.4~8.7로 일부는 토양입자로부터 유래되고 있으며 나머지는 대부분 다른 요인에 의해 대기 중에 유입되고 있음을 알 수 있다.

Table 13. Soil enrichment factors(EF) calculated from analytical data of aerosols.

Rario	$(C_x/C_{Ca^{2+}})_{Crust}$	$(C_x/C_{Ca^{2+}})_{Aerosol}/(C_x/C_{Ca^{2+}})_{Crust}$			
	Soil	96summer	96fall	96winter	97spring
SO_4^{2-}/Ca^{2+}	0.004	21047.8	10309.4	4771.0	3097.0
Cl/Ca^{2+}	0.004	1096.7	793.2	371.2	185.9
NO_3/Ca^{2+}	0.004	358.3	1054.5	1139.8	740.2
NH_4^+/Ca^{2+}	0.004	6080.1	2760.1	1102.1	877.6
Na^+/Ca^{2+}	0.76	6.3	6.7	2.3	0.8
Mg^{2+}/Ca^{2+}	0.33	8.2	8.7	3.6	0.6
K^+/Ca^{2+}	0.66	4.0	2.7	1.6	1.2

Rario	$(C_x/C_{Ca^{2+}})_{Crust}$	$(C_x/C_{Ca^{2+}})_{Aerosol}/(C_x/C_{Ca^{2+}})_{Crust}$			
	Soil	97summer	97fall	97winter	98spring
SO_4^{2-}/Ca^{2+}	0.004	5754.1	7033.6	5974.9	1344.6
Cl/Ca^{2+}	0.004	116.3	87.6	131.7	31.8
NO_3/Ca^{2+}	0.004	210.9	303.9	670.3	377.8
NH_4^+/Ca^{2+}	0.004	1505.0	1676.1	1341.7	277.1
Na^+/Ca^{2+}	0.76	1.2	1.5	2.0	0.4
Mg^{2+}/Ca^{2+}	0.33	0.6	1.0	1.0	0.4
K^+/Ca^{2+}	0.66	1.8	2.9	1.7	0.5

7. 요인 분석

에어로졸 성분의 특성 및 발생기원을 확인하기 위하여 통계 프로그램(SPSS)을 이용하여 요인 분석(factor analysis)을 실시하고 그 결과를 Table 14 ~ 17 에 수록하였다(Craley *et al.*, 1986; Olsen *et al.*, 1990).

에어로졸의 성분 중 Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} 은 해염입자의 주요 성분으로 서로의 상관성이 높고, 반면에 Ca^{2+} , K^+ 은 주로 토양입자의 유입에 의해 에어로졸에 혼입되고 있다. 또한 SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ 등은 일반적으로 인위적 요인에 의한 발생기원을 갖고 있으며 이 중 특히 NH_4^+ 와 NO_3^- 는 동물의 배설물이나 비료 성분의 지표 물질이기도 하다.

본 연구에서는 한라산 1100고지에서 채취한 에어로졸에 대해 계절별로 이러한 성분들의 발생기원이 동일한지를 조사하기 위하여 요인분석을 실시하였다. 이 때 요인분석을 위한 인자는 고유값(eigenvalue)을 고려하여 3개의 인자를 선택하였고, 이 경우 요인은 전체 변이 중 79.3~95.7%의 설명력을 보였다.

우선 4 계절 중 봄철 에어로졸 성분에 대한 요인분석 결과(Table 14)를 보면 첫 번째 요인(factor 1)은 55.8%의 설명력을 가지며, NH_4^+ , SO_4^{2-} , K^+ 등이 포함된 것으로 보아 주로 인위적 요인에 의한 영향으로 볼 수 있다. 전체 변이의 17.45%를 설명할 수 있는 두 번째 요인(factor 2)은 Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} 가 포함된 것으로 보아 토양 및 해염의 영향으로 해석할 수 있다. 반면에 세 번째 요인(factor 3)은 11.4%의 설명력을 가지나 Cl^- 성분만이 포함되고 있어서 정확한 요인 규명이 어려웠다. 그러나 이는 한라산 1100고지의 경우 고지대이기 때문에 저지대에 비해 상대적으로 해염량이 적고 특히 Cl^- 의 경우 산성물질이 함유된 상태에서는 HCl 로 기화되는 특성이 있어서 해염 성분인 Na^+ , Mg^{2+} 와의 상관성이 크게 감소되기 때문에 나타나는 오차로 추정된다.

Table 15의 여름철 에어로졸 성분에 대한 요인분석 결과에서는 첫 번째 요인은 40.9%의 설명력을 보였고, K^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ 등이 포함된 것으로 보아 토양 및 인위적 영향이 동시에 나타났으며, 두 번째 요인은 전체변이의 22.2%

로 Na^+ , Mg^{2+} 가 포함된 것으로 보아 해염의 영향으로 해석할 수 있다. 세 번째 요인은 16.2%의 설명력을 가지나 Cl 성분만이 포함되고 있어서 봄철의 경우와 마찬가지로 정확한 규명이 어려웠다.

다음으로 Table 16의 가을철 에어로졸 성분에 대한 요인분석 결과를 보면 첫 번째 요인은 40.6%의 설명력을 보였고 Mg^{2+} , Na^+ , Cl, NO_3^- 등이 포함된 것으로 보아 해염영향이 가장 큰 것으로 나타났으며, 두 번째 요인은 변이의 36.42%로 NH_4^+ , SO_4^{2-} 가 포함되 있어서 인위적 오염원에 기인한 것으로 볼 수 있다. 세 번째 요인은 Ca^{2+} 이 포함되어 있는 것으로 보아 토양영향이 9.5% 정도인 것으로 확인되었다.

끝으로 겨울철 요인분석 결과(Table 17)에서는 첫 번째 요인이 74.9%의 설명력을 보였고, NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl 이 모두 포함되고 있어서 뚜렷한 발생요인 확인이 어려웠다. 그러나 두 번째 요인은 전체 변이의 16.0%로 Na^+ , Cl 가 포함된 것으로 보아 해염의 영향으로 해석할 수 있다.



Table 14. Results of varimax factor matrix for spring

factor	1	2	3
NH ₄ ⁺	0.92	-0.05	0.28
Na ⁺	0.06	0.74	0.51
K ⁺	0.88	0.37	0.02
Ca ²⁺	0.17	0.93	-0.04
Mg ²⁺	0.39	0.87	0.23
SO ₄ ²⁻	0.88	0.35	0.06
NO ₃	0.54	0.57	0.31
Cl	0.18	0.16	0.92
Variance %	55.8	17.4	11.4
Cumulative %	55.8	76.2	87.7

Table 15. Results of varimax factor matrix for summer

factor	1	2	3
NH ₄ ⁺	0.60	0.58	-0.28
Na ⁺	-0.05	0.82	-0.07
K ⁺	0.92	0.20	-0.06
Ca ²⁺	0.74	-0.08	0.55
Mg ²⁺	0.09	0.87	0.13
SO ₄ ²⁻	0.71	0.59	-0.20
NO ₃	0.66	-0.35	-0.28
Cl	-0.16	0.00	0.92
Variance %	40.9	22.2	16.2
Cumulative %	40.9	63.0	79.3

Table 16. Results of varimax factor matrix for fall

facter	1	2	3
NH ₄ ⁺	-0.09	0.98	0.03
Na ⁺	0.90	-0.03	0.37
K ⁺	-0.10	0.68	0.48
Ca ²⁺	0.18	0.33	0.87
Mg ²⁺	0.93	0.13	0.05
SO ₄ ²⁻	-0.02	0.92	0.26
NO ₃	0.81	-0.26	0.18
Cl	0.86	-0.11	-0.29
Variance %	40.6	36.4	9.5
Cumulative %	40.6	77.0	86.5

Table 17. Results of varimax factor matrix for winter

facter	1	2	3
NH ₄ ⁺	0.81	-0.54	0.15
Na ⁺	0.77	0.46	0.41
K ⁺	0.90	-0.37	0.02
Ca ²⁺	0.91	0.05	-0.37
Mg ²⁺	0.94	0.23	-0.06
SO ₄ ²⁻	0.85	-0.49	0.11
NO ₃	0.94	0.12	-0.19
Cl	0.79	0.58	0.01
Variance %	74.9	16.0	4.8
Cumulative %	74.9	90.9	95.7

V. 결 론

한라산 1100고지(북위 33° 21', 동경 126° 27')에 aerosol sampler를 설치하여 1996년 8월부터 1998년 5월까지 에어로졸 시료를 채취하고 에어로졸의 수용성 성분을 분석하였다. 분석 결과로부터 분석 데이터의 정밀도를 측정하고, 에어로졸의 계절별 변동 및 화학적 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 1996년 8월15일 부터 1998년 5월 8일 까지 채취한 총 317개 시료의 분석 결과로부터 양이온 당량농도합과 음이온 당량농도합간의 상관계수(r)를 구해 본 결과 0.945로 분석 데이터들의 분석정밀도는 비교적 양호한 것으로 확인되었다.
2. 총부유분진의 양은 $16.0\sim 37.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위로 황사의 영향이 큰 봄철에 가장 높은 농도를 보였고, 입도분포는 $3.3\mu\text{m}$ 이하 미세입자의 함량이 60% 이상을 차지했다.
3. 수용성 양이온의 계절별 평균농도는 여름, 가을, 겨울에 $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 이고 봄철에는 $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 순서였으며, 수용성 음이온의 농도는 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ 순으로 나타났다. 또한 인위적 발생요인을 갖는 NH_4^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- 성분은 북서계열 바람의 영향이 큰 겨울과 봄에 높은 농도를 보였으며, 토양입자의 지표 성분인 Ca^{2+} 은 봄에 가장 높은 농도를 나타내었다.
4. 각 성분들간의 상관성을 비교한 결과 SO_4^{2-} 은 주로 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 로 존재하고 있으며, NO_3^- 는 주로 KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 의 염으로, Cl^- 는 NaCl , MgCl_2 등의 염으로 존재하고 있음을 알 수 있었다.
5. 해염 영향을 농축계수를 구해 조사한 결과 SO_4^{2-} , Ca^{2+} , K^+ 의 EF 값은 각각 33.6~104.9, 4.9~74.8, 86.5~33.2로 이들 성분들은 해염 보다는 다른 요인에 의해 대기 중으로 유입되고 있음을 알 수 있었으며, 특히 봄철에 큰 값을 나타내었다.
6. 토양입자의 영향을 농축계수를 구하여 조사한 결과 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ 의 EF 값은 29.5~21047.8의 범위로 이들 성분들은 토양보다는 다른 영향에 의해

대기 중으로 유입되고 있으며, Na⁺, Mg²⁺, K⁺의 EF 값은 0.4~8.7로 토양으로부터 유입되고 있음을 알 수 있었다.

7. 에어로졸 성분의 발생 기원을 확인하기 위하여 요인분석을 실시한 결과 봄철에는 인위적 요인이 55.8%, 토양 및 해염 영향이 17.4%로 나타났고, 여름철에는 인위적 및 토양 요인이 40.9%, 해염 영향이 22.2%를 보였다. 또한 가을철에는 해염 40.6%, 인위적 요인 36.4%, 토양 9.5%의 영향을 보였고, 겨울철에는 토양, 해염, 인위적 요인이 동시에 74.9%로 나타나 정확한 해석이 어려웠다.

참 고 문 헌

- 1) 김기현 · 이강웅 · 허철구 · 강창희(1997), 제주도 연안해역을 중심으로 한 DMS 농도의 관측, 「한국대기보전학회지」, 13(2), 161-170.
- 2) 김신도외(1997), 2000년대 서울시의 대기 오염물질 배출량 예측 및 관리방안 연구, 서울시립대 수도권 개발연구소
- 4) 김양균외(1990), 대기오염물질의 장거리 이동과 산성비 강하에 관한 연구(I), (II), 과학기술처 연구보고서.
- 5) 김용표, 김성주, 진현철, 백남준, 이종훈, 김진영, 심상규 · 강창희, 허철구(1996), 제주도 고산에서의 1994년 여름 측정: (I) 입자 이온 조성, 「한국 대기보전학회지」, 12(3), 297-306.
- 6) 문길주외(1997), 동북아 대기오염 장거리이동과 환경보전협력방안에 관한 조사(II), 국립환경연구원보고서.
- 7) 박경윤 · 이호근 · 서명석 · 장광미 · 강창희 · 허철구(1994), 제주도 고산 측정소에서 대기오염 배경농도 측정 및 분석, 「한국대기보전학회지」, 10(4), 252-259.
- 8) 박경윤외(1993), 지구대기환경 조사 및 장기변화 예측 : 한반도 인근지역 중심으로 (I), (II), (III), 과학기술처 연구보고서.
- 9) 서명석 · 박경윤 · 이호근 · 장광미 · 강창희 · 허철구 · 김영준(1995), 청정지역과 도시지역의 오존농도 특성 연구, 「한국대기보전학회지」, 11(3), 253-262.
- 10) 심상규 · 강창희 · 김용표(1994), 제주도에서의 빗물 이온 농도 분석, 「한국 대기보전학회지」, 10(2), 98-104.
- 11) 이호근 · 박경윤 · 서명석 · 장광미 · 강창희 · 허철구(1995), 제주도 고산에서 수용성 에어로졸의 화학적 성분 분석, 「한국대기보전학회지」, 11(3), 245-252.
- 12) 장광미 · 이호근 · 서명석 · 박경윤 · 강창희 · 허철구 · 심상규(1996), 1994년 자료에 나타난 제주도 고산에서의 SO₂ 농도 변화 특성, 「한국대기보전학회지」, 12(5), 541-554.
- 13) 천만영 · 김희강(1995), 생성메카니즘에 따른 부유분진중 입자상 nitrate 농도, 한국대기보전학회지」, 11(1), 37~44.

- 14) 최금찬 · 박정호 · 임경택 (1994), 대기에어로졸중 음이온성분에 대한 입경분포의 변화특성, 「한국대기보전학회지」, 10(2), 124-129.
- 15) 홍민선 · 이상훈 · 이동섭 · 강창희 · 박경윤(1992), 제주도 고산에서의 대기오염물질 측정 및 분석에 관한 연구, 「한국대기보전학회지」, 8(4), 257-261.
- 16) Akimoto H., and H. Narita(1994), Distribution of SO₂, NO_x, and CO₂ emissions from fuel combustion and industrial activities in Asia with 1° × 1° resolution, *Atmos. Environ.*, 28, 213-225.
- 17) Arimoto R., R. A. Duce, D. L. Savoie, J. M. Prospero, R. Talbot, J. D. Cullen, U. TomZa, N. F. Lewis, and 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.
- 18) Arndt R. L., G. R. Carmichael, and J. M. Roorda(1998), Seasonal source-receptor relationships in asia, *Atmos. Environ.*, 32(8) 1397-1406.17
Ayers G. P., and M. J. Manton(1991), Rainwater composition at two BAPMoN regional stations in SE Australia, *Tellus*, 43B, 379-389.
- 19) Berresheim H., M. O. Andreae, R. L. Iverson, and S. M. Li(1991), Seasonal variations of dimethylsulfide emissions and atmospheric sulfid and nitrogen species over the Western North Atlantic Ocean, *Tellus*, 43B, 353-372.
- 20) Brook J. R., A. H. Wiebe, S. A. Wooshouse, C. V. Audette, T. F. Dann, S. Callaghan, M. Piechowski, E. Dabek-zlotorzynska, J. F. Dlouhy(1998), Temporal and spatal relationships in fine particle strong acidity, sulphate, pm₁₀, and pm_{2.5} across multiple canadian locations, *Atmos. Environ.*, 31(24) 4223-4236.
- 21) 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.
- 22) Carmichael G. R., Y. Zhang, L. L. Chen, M. S. Hong, and H. Ueda(1996), Seasonal variation of aerosol composition at Cheju Island, Korea, *Atmospheric Environment*, 30(13), 2407-2416.

- 23) Chen Li-Ling., Gregory R. Carmichael, Min-Sun Hong, Hiromasa Ueda, Sang Shim, Chul H. Song, Y. P. Kim, Richard Arimoto, Joseph Prospero, Dennis Savoie, Kentaro Murano, John K. Park, Ho-Geun 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.
- 24) Chesselet R., J. Morelli, and P. Buat-Menard(1972), Variations in Ionic Ratios between Reference Sea Water and Marine Aerosols, 77(27), 5116-5131.
- 25) Crawley J. and H. Sieveering(1986), Factor analysis of the MAP3S/RAINE precipitation chemistry network : 1976-1980, *Atmos. Environ.*, 20, 1001 ~ 1013.
- 26) Davis R. A.(1972), Principles of oceanography; Part III, Chemical oceanography, *Addison - Wesley*, p134~145.
- 27) Hatakeyama S., *et al.*(1995), The 1991 PEACAMPOT aircraft observation of ozone, NO_x, and SO₂ over the East China Sea, the Yellow Sea, and the Sea of Japan, *J. Geophys. Res.*, 100,23,143-23,151,1995.
- 28) Hayami H, and G. R. Carmichael(1998), Factors influencing the seasonal variation in particulate nitrate at cheju island, south korea.
- 29) Hoell J. D., D. Davis, S. Liu, R. Newell, M. Shipman, H. Akimoto, R. McNeal, R. Bndura, and W. Drewry(1996), Pacific exploratory mission A: September-October 1991, *J. Geophys. Res.*, 101, 1641 ~ 1654.
- 30) Howells G. (1995), *Acid rain and acid waters(2nd Ed.)*, Ellis Horwood, p110.
- 31) 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.
- 32) Khwaja H. A., and L. Husain(1990), Chemical characterization of acid precipitation in Albany, NewYork. *Atmospheric Environment*, 24(7), 1869 ~ 1990.

-
- 33) Kotamarthi V. R., and Gregory R. Carmichael(1993), A modeling study of the long-range transport of Kosa using particle trajectory methods, *Tellus, Ser. B*, 45B, 426-441.
- 34) Leck Caroline and Cecilia Persson(1996), Seasonal and short-term variability in dimethyl sulfide, sulfur dioxide and biogenic sulfur and sea salt aerosol particles in the arctic marine boundary layer during summer and autumn, *Tellus*, 4B, 272-299.
- 35) Nishikawa M., Y. Ambe and S. Chubachi(1986), Concentrations of trace elements in surface snow in the area near Syowa Station, Antarctica, *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 47~55
- 36) 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.
- 37) Okada Kikuo., Hiroshi Naruse, Toyooki Tanaka, Osamu Nemoto, Yasunobu Iwasaka, Pei-Ming Wu, Akira Ono, Robert A. Duce, Mitsuo Uematsu, and John T. Merrill(1990), X-ray Spectrometry of Individual Asian Dust-storm Particles over the Japanese Islands and the North Pacific Ocean, *Atmospheric Environment*, 24A(6), 1369~1378.
- 38) Olsen A. R., E. C. Voldner., D. S. Bigelow., W. H. Chan., T. L. Clark, M. A. Lysis, P. K. Misra and R. J. Vet(1990), Unified wet deposition data summaries for North America : data summary procedures and results for 1980-1986, *Atmos. Environ.*, 24A, 661~672.
- 39) Pio C. A., M. A. Cerqueira, L. M. Castro, and M. L. Salgueiro(1996), Sulphur and nitrogen compounds variable marine/continental air masses at the southwest European coast, *Atmospheric Environment*, 30(18), 3115~3127.
- 40) Querol X., A. Alastuey, J. A. Puigercus, E. Mantilla, C. R. Ruiz, A. Lopez-soler, F. Plana, and R. Juan(1998), Seasonal evolution of suspended particles around a large coal-fired power station : chemical characterization, *Atmos. Environ.*, 32(4) 719-731.

-
- 41) Sutton M. A., D. S. Lee, G. J. Dollard and D. Fowler(1998), Introduction
atmospheric ammonia : emission, deposition and environmental impacts,
Atmos. Environ., 32(3) 269-271.
- 42) Zhuang L., and B. J. Huebert(1996), Lagrangian analysis of the total
ammonia budget during Atlantic Stratocumulus Transition Experiment/
Marine Aerosol and Gas Exchange, *J. Geophys. Res.*, 101(D2), 4341 ~4350.



부 록

Appendix 1. Collection time for aerosol samplings during the period of
Aug. 15 ~ Aug. 31, 1996.

Sample	Sampling Period	Sampling Time (min)	Flow Rate (L/Min)
AH8-15	96/8/15 16 : 21 ~ '96/8/16 16 : 21	1440	154
AH8-16	96/8/16 16 : 21 ~ '96/8/17 16 : 21	1440	158
AH8-17	96/8/17 16 : 21 ~ '96/8/18 16 : 21	1440	158
AH8-18	96/8/18 16 : 21 ~ '96/8/19 16 : 21	1440	160
AH8-19	96/8/19 16 : 21 ~ '96/8/20 16 : 21	1440	160
AH8-20	96/8/20 16 : 21 ~ '96/8/21 16 : 21	1440	161
AH8-21	96/8/21 16 : 21 ~ '96/8/22 16 : 21	1440	158
AH8-22	96/8/22 16 : 21 ~ '96/8/23 16 : 21	1440	153
AH8-23	96/8/23 16 : 21 ~ '96/8/24 16 : 21	1440	153
AH8-24	96/8/24 16 : 21 ~ '96/8/25 16 : 21	1440	156
AH8-25	96/8/25 16 : 21 ~ '96/8/26 16 : 21	1440	150
AH8-26	96/8/26 16 : 21 ~ '96/8/27 16 : 21	1440	150
AH8-27	96/8/27 16 : 21 ~ '96/8/28 16 : 21	1440	154
AH8-28	96/8/28 16 : 21 ~ '96/8/29 16 : 21	1440	154
AH8-29	96/8/29 16 : 21 ~ '96/8/30 16 : 21	1440	153
AH8-30	96/8/30 16 : 21 ~ '96/8/31 16 : 21	1440	154
AH8-31	96/8/31 16 : 21 ~ '96/9/01 16 : 21	1440	156

Appendix 2. Collection time for aerosol samplings during the period of
Sep. 1 ~ Nov. 5, 1996.

Sample	Sampling Period		Sampling Flow Rate	
			Time (min)	(L/Min)
AH9-1	96/09/01	16 : 21 ~ '96/09/02	16 : 21	1440 160
AH9-2	96/09/02	16 : 21 ~ '96/09/03	16 : 21	1440 156
AH9-3	96/09/03	16 : 21 ~ '96/09/04	16 : 21	1440 154
AH9-4	96/09/04	16 : 21 ~ '96/09/05	16 : 21	1440 158
AH10-15	96/10/15	17 : 50 ~ '96/10/16	17 : 50	1440 158
AH10-16	96/10/16	17 : 50 ~ '96/10/17	17 : 50	1440 161
AH10-17	96/10/17	17 : 50 ~ '96/10/18	17 : 50	1440 161
AH10-18	96/10/18	17 : 50 ~ '96/10/19	17 : 50	1440 170
AH10-19	96/10/19	17 : 50 ~ '96/10/20	17 : 50	1440 167
AH10-20	96/10/20	17 : 50 ~ '96/10/21	17 : 50	1440 165
AH10-21	96/10/21	17 : 50 ~ '96/10/22	17 : 50	1440 167
AH10-22	96/10/22	17 : 50 ~ '96/10/23	17 : 50	1440 167
AH10-23	96/10/23	17 : 50 ~ '96/10/24	17 : 50	1440 170
AH10-24	96/10/24	17 : 50 ~ '96/10/25	17 : 50	1440 167
AH10-25	96/10/25	17 : 50 ~ '96/10/26	17 : 50	1440 164
AH10-26	96/10/26	17 : 50 ~ '96/10/27	17 : 50	1440 156
AH10-27	96/10/27	17 : 50 ~ '96/10/28	17 : 50	1440 161
AH10-28	96/10/28	17 : 50 ~ '96/10/29	17 : 50	1440 165
AH10-29	96/10/29	17 : 50 ~ '96/10/30	17 : 50	1440 160
AH10-30	96/10/30	17 : 50 ~ '96/10/31	17 : 50	1440 161
AH10-31	96/10/31	17 : 50 ~ '96/11/01	17 : 50	1440 161
AH11-1	96/11/01	17 : 50 ~ '96/11/02	17 : 50	1440 161
AH11-2	96/11/2	17 : 50 ~ '96/11/3	17 : 50	1440 160
AH11-3	96/11/3	17 : 50 ~ '96/11/4	17 : 50	1440 156
AH11-4	96/11/4	17 : 50 ~ '96/11/5	17 : 50	1440 158
AH11-5	96/11/5	17 : 50 ~ '96/11/6	14 : 30	1440 156

Appendix 3. Collection time for aerosol samplings during the period of Jan. 15 ~ Feb. 2, 1997.

Sample		Sampling Period		Sampling	Flow Rate	
				Time (min)	(L/Min)	
AH1-15	97/1/15	16 : 47 ~	'97/1/16	16 : 47	1440	147
AH1-15	97/1/16	16 : 47 ~	'97/1/17	16 : 47	1440	149
AH1-17	97/1/17	16 : 47 ~	'97/1/18	16 : 47	1440	149
AH1-18	97/1/18	16 : 47 ~	'97/1/19	16 : 47	1440	154
AH1-19	97/1/19	16 : 47 ~	'97/1/20	16 : 47	1440	156
AH1-20	97/1/20	16 : 47 ~	'97/1/21	16 : 47	1440	131
AH1-21	97/1/21	16 : 47 ~	'97/1/22	16 : 47	1440	160
AH1-22	97/1/22	16 : 47 ~	'97/1/23	16 : 47	1440	160
AH1-23	97/1/23	16 : 47 ~	'97/1 24	16 : 47	1440	158
AH1-24	97/1/24	16 : 47 ~	'97/1/25	16 : 47	1440	160
AH1-25	97/1/25	16 : 47 ~	'97/1/26	16 : 47	1440	128
AH1-26	97/1/26	16 : 47 ~	'97/1/27	16 : 47	1440	113
AH1-27	97/1/27	16 : 47 ~	'97/1/28	16 : 47	1440	107
AH1-28	97/1/28	16 : 47 ~	'97/1/29	16 : 47	1440	161
AH1-29	97/1/29	16 : 47 ~	'97/1/30	16 : 47	1440	150
AH1-31	97/1/31	16 : 47 ~	'97/2/1	16 : 47	1440	160
AH2-1	97/2/1	16 : 47 ~	'97/2/2	16 : 47	1440	164
AH2-2	97/2/2	16 : 47 ~	'97/2/3	15 : 50	1383	153

Appendix 4. Collection time for aerosol samplings during the period of Mar. 1 ~ May. 30, 1997.

Sample	Sampling Period	Sampling Flow Rate	
		Time (min)	(L/Min)
AH3-1	97/3/1 11 : 00 ~ '97/3/2 11 : 00	1440	153
AH3-2	97/3/2 11 : 00 ~ '97/3/3 11 : 00	1440	150
AH3-3	97/3/3 11 : 00 ~ '97/3/4 11 : 00	1440	152
AH3-4	97/3/4 11 : 00 ~ '97/3/5 11 : 00	1440	153
AH3-5	97/3/5 11 : 00 ~ '97/3/6 11 : 00	1440	162
AH3-6	97/3/6 11 : 00 ~ '97/3/7 11 : 00	1440	153
AH3-7	97/3/7 11 : 00 ~ '97/3/8 11 : 00	1440	152
AH3-8	97/3/8 11 : 00 ~ '97/3/9 11 : 00	1440	148
AH3-9	97/3/9 11 : 00 ~ '97/3/10 11 : 00	1440	162
AH3-10	97/3/10 11 : 00 ~ '97/3/11 11 : 00	1440	160
AH3-11	97/3/11 11 : 00 ~ '97/3/12 11 : 00	1440	159
AH3-12	97/3/12 11 : 00 ~ '97/3/13 11 : 00	1440	160
AH3-13	97/3/13 11 : 00 ~ '97/3/14 11 : 00	1440	164
AH3-14	97/3/14 13 : 20 ~ '97/3/15 13 : 20	1440	162
AH3-15	97/3/15 13 : 20 ~ '97/3/16 13 : 20	1440	159
AH3-16	97/3/16 13 : 20 ~ '97/3/17 13 : 20	1440	158
AH3-17	97/3/17 13 : 20 ~ '97/3/18 13 : 20	1440	157
AH3-18	97/3/18 13 : 20 ~ '97/3/19 13 : 20	1440	157
AH3-19	97/3/19 13 : 20 ~ '97/3/20 13 : 20	1440	157
AH3-20	97/3/20 13 : 20 ~ '97/3/21 13 : 20	1440	158
AH3-21	97/3/21 13 : 20 ~ '97/3/22 13 : 20	1440	155
AH3-22	97/3/22 13 : 20 ~ '97/3/23 13 : 20	1440	148
AH3-23	97/3/23 13 : 20 ~ '97/3/24 13 : 20	1440	154
AH3-24	97/3/24 13 : 20 ~ '97/3/25 13 : 20	1440	158
AH3-25	97/3/25 13 : 20 ~ '97/3/26 13 : 20	1440	159
AH3-26	97/3/26 13 : 20 ~ '97/3/27 13 : 20	1440	162
AH3-27	97/3/27 13 : 20 ~ '97/3/28 12 : 36	1396	160
AH3-28	97/3/28 16 : 23 ~ '97/3/29 16 : 23	1440	151
AH3-29	97/3/29 16 : 23 ~ '97/3/30 16 : 23	1440	152
AH3-30	97/3/30 16 : 23 ~ '97/3/31 11 : 30	1147	154
AH3-31	97/3/31 11 : 30 ~ '97/4/1 11 : 30	1440	152
AH4-1	97/4/1 11 : 30 ~ '97/4/2 11 : 30	1440	160
AH4-2	97/4/2 11 : 30 ~ '97/4/3 11 : 30	1440	165
AH4-3	97/4/3 11 : 30 ~ '97/4/4 11 : 30	1440	163
AH4-4	97/4/4 11 : 30 ~ '97/4/5 11 : 30	1440	161

AH4-5	97/4/5	11 : 30	~	'97/4/6	11 : 30	1440	161
AH4-6	97/4/6	11 : 30	~	'97/4/7	11 : 30	1440	156
AH4-7	97/4/7	11 : 30	~	'97/4/8	11 : 30	1440	153
AH4-8	97/4/8	11 : 30	~	'97/4/9	11 : 30	1440	153
AH4-9	97/4/9	11 : 30	~	'97/4/10	11 : 30	1440	156
AH4-10	97/4/10	11 : 30	~	'97/4/11	11 : 30	1440	155
AH4-11	97/4/11	11 : 30	~	'97/4/12	11 : 30	1440	150
AH4-12	97/4/12	11 : 30	~	'97/4/13	11 : 30	1440	144
AH4-13	97/4/13	11 : 30	~	'97/4/14	11 : 30	1440	148
AH4-14	97/4/14	11 : 30	~	'97/4/15	11 : 30	1440	150
AH4-15	97/4/15	11 : 30	~	'97/4/16	11 : 30	1440	150
AH4-16	97/4/16	11 : 30	~	'97/4/17	11 : 30	1440	152
AH4-17	97/4/17	11 : 30	~	'97/4/18	11 : 30	1440	148
AH4-18	97/4/18	11 : 30	~	'97/4/19	11 : 30	1440	158
AH4-19	97/4/19	11 : 30	~	'97/4/20	11 : 30	1440	148
AH4-20	97/4/20	11 : 30	~	'97/4/21	11 : 30	1440	160
AH4-21	97/4/21	11 : 30	~	'97/4/22	11 : 30	1440	168
AH4-22	97/4/22	11 : 30	~	'97/4/23	11 : 30	1440	152
AH4-23	97/4/23	11 : 30	~	'97/4/24	11 : 30	1440	141
AH4-24	97/4/24	11 : 30	~	'97/4/25	11 : 30	1440	141
AH4-25	97/4/25	11 : 30	~	'97/4/26	11 : 30	1440	144
AH4-26	97/4/26	11 : 30	~	'97/4/27	11 : 30	1440	138
AH4-27	97/4/27	11 : 30	~	'97/4/28	11 : 30	1440	148
AH4-28	97/4/28	11 : 30	~	'97/4/29	11 : 30	1440	143
AH4-29	97/4/29	11 : 30	~	'97/4/30	11 : 30	1440	138
AH4-30	97/4/30	11 : 30	~	'97/5/1	11 : 30	1440	141
AH5-1	97/5/1	11 : 30	~	'97/4/2	11 : 30	1440	144
AH5-2	97/5/2	11 : 30	~	'97/5/3	13 : 52	142	151
AH 5-3	97/5/3	14 : 27	~	'97/5/4	14 : 27	1440	157
AH 5-4	97/5/4	14 : 27	~	'97/5/5	14 : 27	1440	155
AH 5-5	97/5/5	14 : 27	~	'97/5/6	14 : 27	1440	167
AH 5-6	97/5/6	14 : 27	~	'97/5/7	14 : 27	1440	165
AH 5-7	97/5/7	14 : 27	~	'97/5/8	14 : 27	1440	163
AH 5-8	97/5/8	14 : 27	~	'97/5/9	14 : 27	1440	158
AH 5-9	97/5/9	14 : 27	~	'97/5/10	14 : 27	1440	155
AH 5-10	97/5/10	14 : 27	~	'97/5/11	14 : 27	1440	162
AH 5-11	97/5/11	14 : 27	~	'97/5/12	14 : 27	1440	163
AH 5-12	97/5/12	14 : 27	~	'97/5/13	14 : 27	1440	163

AH 5-13	97/5/13 14 : 27 ~ '97/5/14 14 : 27	1440	160
AH 5-14	97/5/14 14 : 27 ~ '97/5/15 14 : 27	1440	162
AH 5-15	97/5/15 14 : 27 ~ '97/5/16 14 : 27	1440	158
AH 5-16	97/5/16 14 : 27 ~ '97/5/17 14 : 27	1440	162
AH 5-17	97/5/17 14 : 27 ~ '97/5/18 14 : 27	1440	155
AH 5-18	97/5/18 14 : 27 ~ '97/5/19 14 : 27	1440	160
AH 5-19	97/5/19 14 : 27 ~ '97/5/20 14 : 27	1440	162
AH 5-20	97/5/20 14 : 27 ~ '97/5/21 02 : 27	720	165
AH 5-21	97/5/21 02 : 27 ~ '97/5/22 02 : 27	1440	158
AH 5-22	97/5/22 02 : 27 ~ '97/5/23 02 : 27	1440	157
AH5-27	97/5/27 00 : 00 ~ '97/5/27 24 : 00	1440	146
AH5-30	97/5/30 00 : 00 ~ '97/5/30 24 : 00	1440	153



Appendix 5. Collection time for aerosol samplings during the period
of Jun. 2 ~ Aug. 31, 1997.

Sample	Sampling Period	Sampling Flow Rate	
		Time (min)	(L/Min)
AH6-2	97/6/2 00 : 00 ~ '97/6/2 24 : 00	1440	155
AH6-5	97/6/5 00 : 00 ~ '97/6/5 24 : 00	1440	151
AH6-17	97/6/17 00 : 00 ~ '97/6/17 24 : 00	1440	151
AH6-20	97/6/20 00 : 00 ~ '97/6/20 24 : 00	1440	150
AH6-23	97/6/23 00 : 00 ~ '97/6/23 24 : 00	1440	150
AH6-26	97/6/26 00 : 00 ~ '97/6/26 24 : 00	1440	153
AH6-29	97/6/29 00 : 00 ~ '97/6/29 24 : 00	1440	153
AH7-2	97/7/2 00 : 00 ~ '97/7/2 24 : 00	1440	151
AH7-5	97/7/5 00 : 00 ~ '97/7/5 24 : 00	1440	151
AH7-8	97/7/8 00 : 00 ~ '97/7/8 24 : 00	1440	150
AH7-11	97/7/11 00 : 00 ~ '97/7/11 24 : 00	1440	150
AH7-14	97/7/14 00 : 00 ~ '97/7/14 24 : 00	1440	151
AH7-17	97/7/17 00 : 00 ~ '97/7/17 24 : 00	1440	153
AH7-20	97/7/20 00 : 00 ~ '97/7/20 24 : 00	1440	153
AH7-23	97/7/23 00 : 00 ~ '97/7/23 24 : 00	1440	153
AH7-26	97/7/26 00 : 00 ~ '97/7/26 24 : 00	1440	153
AH7-29	97/7/29 00 : 00 ~ '97/7/29 24 : 00	1440	148
AH8-1	97/8/1 00 : 00 ~ '97/8/1 24 : 00	1440	153
AH8-4	97/8/4 00 : 00 ~ '97/8/4 24 : 00	1440	151
AH8-7	97/8/7 00 : 00 ~ '97/8/7 24 : 00	1440	155
AH8-10	97/8/10 00 : 00 ~ '97/8/10 24 : 00	1440	150
AH8-13	97/8/13 00 : 00 ~ '97/8/13 24 : 00	1440	153
AH8-16	97/8/16 00 : 00 ~ '97/8/16 24 : 00	1440	151
AH8-19	97/8/19 00 : 00 ~ '97/8/19 24 : 00	1440	153
AH8-20	97/8/20 00 : 00 ~ '97/8/20 24 : 00	1396	150
AH8-22	97/8/22 00 : 00 ~ '97/8/22 24 : 00	1440	153
AH8-23	97/8/23 00 : 00 ~ '97/8/23 10 : 40	640	153
AH8-25	97/8/25 00 : 00 ~ '97/8/25 24 : 00	1440	163
AH8-28	97/8/25 00 : 00 ~ '97/8/25 24 : 00	1440	169
AH8-31	97/8/25 00 : 00 ~ '97/8/25 24 : 00	1440	169

Appendix 6. Collection time for aerosol samplings during the period of
Sep. 3, ~ Nov. 30, 1997.

Sample	Sampling Period				Sampling	Flow Rate
					Time (min)	(L/Min)
AH 9-3	97/9/3	00 : 00 ~	'97/9/3	24: 00	1440	163
AH 9-6	97/9/6	00 : 00 ~	'97/9/6	24: 00	1440	167
AH 9-9	97/9/9	00 : 00 ~	'97/9/9	24: 00	1440	163
AH 9-12	97/9/12	00 : 00 ~	'97/9/12	24: 00	1440	162
AH 9-13	97/9/13	00 : 00 ~	'97/9/13	24: 00	1440	167
AH 9-15	97/9/15	00 : 00 ~	'97/9/15	24: 00	1440	163
AH 9-18	97/9/18	00 : 00 ~	'97/9/18	24: 00	1440	163
AH 9-20	97/9/20	00 : 00 ~	'97/9/20	10: 35	635	155
AH 9-26	97/9/26	09 : 30 ~	'97/9/27	09: 00	1410	157
AH 9-27	97/9/27	09 : 30 ~	'97/9/28	09: 30	1440	160
AH 9-28	97/9/28	09 : 30 ~	'97/9/29	09: 30	1440	162
AH 9-29	97/9/29	09 : 30 ~	'97/9/30	09:30	1440	158
AH 9-30	97/9/30	09 : 30 ~	'97/10/1	09:30	1440	163
AH 10-1	97/10/1	09 : 30 ~	'97/10/2	09:30	1440	160
AH 10-2	97/10/2	09 : 30 ~	'97/10/3	09:30	1440	160
AH 10-3	97/10/3	09 : 30 ~	'97/10/4	09:30	1440	163
AH 10-4	97/10/4	09 : 30 ~	'97/10/5	09:30	1440	162
AH 10-5	97/10/5	09 : 30 ~	'97/10/6	09:30	1440	162
AH 10-9	97/10/9	09 : 00 ~	'97/10/10	09:00	1440	162
AH 10-12	97/10/12	09 : 00 ~	'97/10/13	09:00	1440	153
AH 10-15	97/10/15	09 : 00 ~	'97/10/16	09:00	1440	145
AH 10-18	97/10/18	09 : 00 ~	'97/10/19	09:00	1440	145
AH 10-21	97/10/21	09 : 00 ~	'97/10/22	09:00	1440	147
AH 10-24	97/10/24	09 : 00 ~	'97/10/25	09:00	1440	157
AH 10-27	97/10/27	09 : 00 ~	'97/10/28	09:00	1440	157
AH 10-30	97/10/30	09 : 00 ~	'97/10/31	09:00	1440	145
AH 11-2	97/11/2	09 : 00 ~	'97/11/3	09:00	1440	171
AH 11-8	97/11/8	09 : 00 ~	'97/11/9	09:00	1440	167
AH 11-14	97/11/14	09 : 00 ~	'97/11/15	09:00	1440	169
AH 11-17	97/11/17	09 : 00 ~	'97/11/18	09:00	1440	143
AH 11-20	97/11/20	09 : 00 ~	'97/11/21	09:00	1440	167
AH 11-23	97/11/23	09 : 00 ~	'97/11/24	09:00	1440	165
AH 11-26	97/11/26	09 : 00 ~	'97/11/27	09:00	1440	165
AH 11-29	97/11/29	09 : 00 ~	'97/11/30	09:00	1440	
AH 11-30	97/11/30	09 : 00 ~	'97/11/31	09:00	1440	169

Appendix 7. Collection time for aerosol samplings during the period of Dec.
2 ~ Jan. 1, 1997.

Sample	Sampling Period	Sampling	Flow Rate
		Time (min)	(L/Min)
AH 12-2	97/12/02 09 : 00 ~ '97/12/03 09 : 00	1440	162
AH 12-3	97/12/03 09 : 00 ~ '97/12/04 09 : 00	1440	165
AH 12-5	97/12/05 09 : 00 ~ '97/12/06 09 : 00	1440	177
AH 12-6	97/12/06 17 : 00 ~ '97/12/07 14 : 35	1295	100
AH 12-8	97/12/08 09 : 00 ~ '97/12/09 09 : 00	1440	162
AH 12-14	97/12/14 09 : 00 ~ '97/12/15 09 : 00	1440	167
AH 12-15	97/12/15 09 : 07 ~ '97/12/16 09 : 07	1440	157
AH 12-16	97/12/16 09 : 07 ~ '97/12/17 09 : 07	1440	162
AH 12-17	97/12/17 09 : 07 ~ '97/12/18 09 : 07	1440	162
AH 12-18	97/12/18 09 : 07 ~ '97/12/19 09 : 07	1440	162
AH 12-19	97/12/19 09 : 07 ~ '97/12/20 09 : 07	1440	158
AH 12-20	97/12/20 09 : 07 ~ '97/12/21 09 : 07	1440	157
AH 12-23	97/12/23 09 : 00 ~ '97/12/24 09 : 00	1440	157
AH 12-26	97/12/26 09 : 00 ~ '97/12/27 09 : 00	1440	157
AH 12-29	97/12/29 09 : 00 ~ '97/12/30 09 : 00	1440	162
AH 1-1	98/01/01 09 : 00 ~ '98/01/02 09 : 00	1440	162
AH 1-4	98/01/04 09 : 00 ~ '98/01/05 09 : 00	1440	158
AH 1-7	98/01/07 09 : 00 ~ '98/01/08 09 : 00	1440	161
AH 1-10	98/01/10 09 : 00 ~ '98/01/11 09 : 00	1440	161
AH 1-11	98/01/11 09 : 00 ~ '98/01/11 12 : 18	198	162
AH 1-13	98/01/13 09 : 00 ~ '98/01/14 09 : 00	1440	162
AH 1-16	98/01/16 09 : 00 ~ '98/01/17 09 : 00	1440	162
AH 1-19	98/01/19 09 : 00 ~ '98/01/20 09 : 00	1440	160
AH 1-22	98/01/22 09 : 00 ~ '98/01/23 09 : 00	1440	158
AH 1-26	98/01/26 09 : 00 ~ '98/01/26 11 : 55	175	162
AH 2-3	98/02/03 09 : 00 ~ '98/02/04 09 : 00	1440	157
AH 2-6	98/02/06 09 : 00 ~ '98/02/07 09 : 00	1440	157
AH 2-9	98/02/09 09 : 00 ~ '98/02/10 09 : 00	1440	155
AH 2-12	98/02/12 09 : 00 ~ '98/02/13 09 : 00	1440	152
AH 2-14	98/02/14 09 : 00 ~ '98/02/15 09 : 00	1440	157

AH 2-15	98/02/15 09 : 00 ~	98/02/16 09 : 00	1440	163
AH 2-18	98/02/18 09 : 00 ~	98/02/19 09 : 00	1440	160
AH 2-21	98/02/21 09 : 00 ~	98/02/22 09 : 00	1440	159
AH 2-22	98/02/22 09 : 00 ~	98/02/23 09 : 00	1440	160
AH 2-24	98/02/24 09 : 00 ~	98/02/25 09 : 00	1440	157
AH 2-25	98/02/25 09 : 00 ~	98/02/26 09 : 00	1440	162
AH 2-27	98/02/27 09 : 00 ~	98/02/28 09 : 00	1440	152
AH 2-28	98/02/28 09 : 00 ~	98/02/28 10 : 23	83	162



Appendix 8. Collection time for aerosol samplings during the period of
Mar. 1 ~ May. 8. 1998.

Sample	Sampling Period	Sampling	Flow Rate
		Time (min)	(L/Min)
AH 3-1	98/03/01 09 : 00 ~ 98/03/02 09 : 00	1440	153
AH 3-3	98/03/03 09 : 00 ~ 98/03/04 09 : 00	1440	155
AH 3-4	98/03/04 09 : 00 ~ 98/03/05 09 : 00	1440	155
AH 3-5	98/03/05 09 : 00 ~ 98/03/06 09 : 00	1440	156
AH 3-6	98/03/06 09 : 00 ~ 98/03/07 08 : 53	1433	158
AH 3-7	98/03/07 09 : 04 ~ 98/03/08 09 : 04	1440	159
AH 3-8	98/03/08 09 : 04 ~ 98/03/09 09 : 04	1440	163
AH 3-9	98/03/09 09 : 04 ~ 98/03/10 09 : 04	1440	163
AH 3-10	98/03/10 09 : 04 ~ 98/03/11 09 : 04	1440	165
AH 3-11	98/03/11 09 : 04 ~ 98/03/12 09 : 04	1440	163
AH 3-12	98/03/12 09 : 04 ~ 98/03/13 09 : 04	1440	159
AH 3-13	98/03/13 09 : 04 ~ 98/03/14 09 : 04	1440	144
AH 3-14	98/03/14 09 : 04 ~ 98/03/15 09 : 04	1440	150
AH 3-15	98/03/15 09 : 04 ~ 98/03/16 09 : 04	1440	160
AH 3-16	98/03/16 09 : 04 ~ 98/03/17 09 : 04	1440	160
AH 3-17	98/03/17 09 : 04 ~ 98/03/18 09 : 04	1440	159
AH 3-18	98/03/18 09 : 04 ~ 98/03/19 09 : 04	1440	163
AH 3-19	98/03/19 16 : 40 ~ 98/03/20 11 : 40	1440	163
AH 3-20	98/03/20 12 : 00 ~ 98/03/21 12 : 00	1440	157
AH 3-21	98/03/21 12 : 00 ~ 98/03/22 12 : 00	1440	162
AH 3-22	98/03/22 12 : 00 ~ 98/03/23 12 : 00	1440	159
AH 3-23	98/03/23 12 : 00 ~ 98/03/24 08 : 59	1244	160
AH 3-24	98/03/24 09 : 00 ~ 98/03/25 08 : 59	1439	152
AH 3-25	98/03/25 09 : 00 ~ 98/03/26 08 : 59	1439	153
AH 3-26	98/03/26 09 : 00 ~ 98/03/27 08 : 59	1439	159
AH 3-27	98/03/27 09 : 00 ~ 98/03/28 08 : 59	1439	159
AH 3-28	98/03/28 09 : 00 ~ 98/03/29 09 : 00	1440	158
AH 3-29	98/03/29 09 : 00 ~ 98/03/30 09 : 00	1440	159
AH 3-30	98/03/30 09 : 00 ~ 98/03/31 09 : 00	1440	162
AH 3-31	98/03/31 09 : 00 ~ 98/04/01 09 : 00	1440	169
AH 4-1	98/04/01 09 : 00 ~ 98/04/02 09 : 00	1440	166
AH 4-2	98/04/02 09 : 00 ~ 98/04/03 09 : 00	1440	163

AH 4-3	98/04/03 09 : 00 ~	98/04/04 09 : 00	1440	166
AH 4-4	98/04/04 09 : 00 ~	98/04/05 09 : 00	1440	167
AH 4-5	98/04/05 09 : 00 ~	98/04/06 09 : 00	1440	169
AH 4-6	98/04/06 09 : 00 ~	98/04/07 05 : 00	1200	166
AH 4-7	98/04/07 05 : 00 ~	98/04/08 05 : 00	1440	165
AH 4-8	98/04/08 05 : 00 ~	98/04/09 05 : 00	1440	168
AH 4-9	98/04/09 05 : 00 ~	98/04/10 05 : 00	1440	166
AH 4-10	98/04/10 05 : 00 ~	98/04/11 05 : 00	1440	163
AH 4-11	98/04/11 05 : 00 ~	98/04/12 14 : 04	1921	169
AH 4-12	98/04/12 14 : 04 ~	98/04/13 14 : 04	1440	169
AH 4-13	98/04/13 14 : 04 ~	98/04/14 14 : 04	1440	166
AH 4-14	98/04/14 14 : 04 ~	98/04/15 14 : 04	1440	150
AH 4-15	98/04/15 14 : 04 ~	98/04/16 14 : 04	1440	140
AH 4-16	98/04/16 14 : 04 ~	98/04/17 14 : 04	1440	149
AH 4-17	98/04/17 14 : 04 ~	98/04/18 14 : 04	1440	147
AH 4-18	98/04/18 14 : 04 ~	98/04/19 08 : 59	1179	153
AH 4-19	98/04/19 09 : 00 ~	98/04/20 08 : 59	1439	162
AH 4-20	98/04/20 09 : 00 ~	98/04/21 09 : 00	1440	160
AH 4-21	98/04/21 09 : 00 ~	98/04/22 09 : 00	1440	173
AH 4-22	98/04/22 09 : 00 ~	98/04/23 09 : 00	1440	171
AH 4-23	98/04/23 09 : 00 ~	98/04/24 09 : 00	1440	160
AH 4-24	98/04/24 09 : 00 ~	98/04/25 09 : 00	1440	161
AH 4-25	98/04/25 09 : 00 ~	98/04/26 09 : 00	1440	163
AH 4-26	98/04/26 09 : 00 ~	98/04/27 09 : 00	1440	173
AH 4-27	98/04/27 09 : 00 ~	98/04/28 08 : 29	1409	163
AH 4-28	98/04/28 09 : 00 ~	98/04/29 09 : 00	1409	171
AH 4-29	98/04/29 09 : 00 ~	98/04/30 09 : 00	1440	173
AH 4-30	98/04/30 09 : 00 ~	98/05/01 09 : 00	1440	171
AH 5-1	98/05/01 09 : 00 ~	98/05/02 09 : 00	1440	170
AH 5-2	98/05/02 09 : 00 ~	98/05/03 09 : 00	1440	160
AH 5-3	98/05/03 09 : 00 ~	98/05/04 09 : 00	1440	163
AH 5-4	98/05/04 09 : 00 ~	98/05/05 09 : 00	1440	165
AH 5-5	98/05/05 09 : 00 ~	98/05/06 09 : 00	1440	166
AH 5-6	98/05/06 09 : 00 ~	98/05/07 09 : 00	1440	170
AH 5-7	98/05/07 09 : 00 ~	98/05/08 09 : 00	1440	168
AH 5-8	98/05/08 09 : 00 ~	98/05/09 09 : 00	1440	164

Appendix 9. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols collected in summer, 1996.

Sample	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	n-SO_4^{2-}
AH8-15	0.89	0.13	0.21	0.09	0.13	3.19	0.06	0.19	3.16
AH8-16	1.43	0.15	0.23	0.09	0.13	4.77	0.05	0.17	4.73
AH8-17	2.28	0.16	0.23	0.08	0.14	7.97	0.08	0.21	7.93
AH8-18	1.41	0.20	0.09	0.05	0.10	4.38	0.06	0.28	4.33
AH8-19	0.30	0.17	0.03	0.03	0.06	1.32	0.05	0.17	1.28
AH8-20	0.21	0.03	0.03	0.02	0.01	0.81	0.07	0.02	0.80
AH8-21	0.66	0.08	0.05	0.02	0.02	2.05	0.00	0.15	2.03
AH8-22	2.79	0.36	0.37	0.13	0.38	9.82	0.11	0.17	9.73
AH8-23	1.91	0.25	0.27	0.07	0.23	6.95	0.12	0.17	6.89
AH8-24	0.60	0.40	0.08	0.03	0.17	2.61	0.14	0.18	2.51
AH8-25	0.92	0.71	0.13	0.05	0.32	4.28	0.07	0.02	4.10
AH8-26	1.80	0.31	0.17	0.04	0.14	5.85	0.05	0.24	5.78
AH8-27	2.05	0.13	0.15	0.03	0.07	6.16	0.11	0.24	6.13
AH8-28	0.71	0.23	0.03	0.02	0.09	2.30	0.05	0.18	2.24
AH8-29	0.52	0.31	0.03	0.02	0.11	2.04	0.05	0.50	1.96
AH8-30	0.35	0.08	0.02	0.01	0.03	2.16	0.06	0.51	2.14
AH8-31	0.84	0.15	0.04	0.02	0.05	2.44	0.05	0.14	2.40
Mean	1.16	0.23	0.13	0.05	0.13	4.07	0.07	0.21	4.01
Max	2.79	0.71	0.37	0.13	0.38	9.82	0.14	0.51	9.73
Min	0.21	0.03	0.02	0.01	0.01	0.81	0.00	0.02	0.80
SD	0.77	0.16	0.10	0.03	0.10	2.54	0.03	0.13	2.53

Appendix 10. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols collected in fall, 1996.

Sample	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl	n-SO_4^{2-}
AH9-1	0.81	0.19	0.04	0.02	0.07	2.53	0.07	0.15	2.48
AH9-2	1.96	0.40	0.05	0.05	0.17	6.47	0.09	0.27	6.37
AH9-3	1.72	0.14	0.09	0.05	0.09	5.13	0.08	0.15	5.10
AH9-4	3.43	0.25	0.46	0.19	0.34	14.72	0.11	0.15	14.65
AH10-15	0.23	0.50	0.12	0.06	0.34	1.54	0.56	0.26	1.41
AH10-16	0.47	0.50	0.14	0.09	0.34	2.30	0.55	0.17	2.17
AH10-17	1.35	0.34	0.16	0.08	0.20	4.10	0.25	0.23	4.02
AH10-18	1.73	0.26	0.21	0.07	0.16	5.86	0.35	0.19	5.79
AH10-19	0.80	0.69	0.16	0.10	0.38	3.41	0.45	0.30	3.23
AH10-20	0.50	0.83	0.11	0.09	0.42	2.27	0.76	0.52	2.07
AH10-21	0.31	0.63	0.08	0.05	0.31	1.23	0.54	0.66	1.07
AH10-22	0.45	0.53	0.05	0.03	0.21	1.87	0.42	0.36	1.74
AH10-23	0.56	0.59	0.08	0.07	0.26	2.51	0.44	0.21	2.37
AH10-24	0.24	0.47	0.05	0.03	0.21	1.23	0.33	0.34	1.12
AH10-25	0.39	0.68	0.19	0.14	0.43	2.82	0.54	0.20	2.65
AH10-26	0.30	0.53	0.09	0.05	0.24	1.56	0.63	0.22	1.43
AH10-27	0.44	0.44	0.09	0.07	0.19	1.51	0.60	0.22	1.40
AH10-28	0.98	0.39	0.48	0.25	0.31	4.91	0.20	0.14	4.81
AH10-29	1.02	0.27	0.13	0.09	0.17	3.77	0.09	0.30	3.70
AH10-30	1.10	0.23	0.12	0.05	0.13	3.64	0.06	0.01	3.58
AH10-31	1.22	0.04	0.16	0.01	0.02	3.67	0.16	0.21	3.66
AH11-1	0.15	0.21	0.07	0.03	0.11	0.90	0.18	0.21	0.85
AH11-2	0.12	0.57	0.09	0.07	0.28	0.95	0.37	0.53	0.81
AH11-3	0.26	0.15	0.04	0.19	0.15	1.24	0.32	0.26	1.20
AH11-4	0.69	0.05	0.04	0.01	0.03	1.97	0.07	0.01	1.96
AH11-5	0.62	0.13	0.17	0.04	0.10	2.00	0.12	0.01	1.96
Mean	0.840	0.385	0.133	0.076	0.218	3.235	0.321	0.241	3.139
Max	3.430	0.826	0.479	0.253	0.429	14.717	0.761	0.658	14.655
Min	0.117	0.045	0.035	0.012	0.023	0.899	0.056	0.005	0.807
SD	0.738	0.214	0.111	0.058	0.116	2.803	0.211	0.152	2.815

Appendix 11. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
of aerosols collected in winter, 1997

Sample	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl	n-SO_4^{2-}
AH1-15	1.29	0.45	0.27	0.14	0.25	5.91	0.12	0.07	5.79
AH1-16	1.76	0.26	0.35	0.26	0.32	8.50	0.07	0.17	8.44
AH1-17	1.98	0.40	0.44	0.16	0.30	9.31	0.11	0.06	9.21
AH1-18	0.53	0.42	0.10	0.09	0.24	2.60	0.35	0.22	2.49
AH1-19	0.21	0.09	0.05	0.03	0.05	0.88	0.28	0.00	0.86
AH1-20	1.55	0.79	0.39	0.15	0.39	6.11	0.43	0.46	5.91
AH1-21	0.32	0.24	0.05	0.03	0.10	1.21	0.09	0.26	1.15
AH1-22	0.40	0.50	0.07	0.03	0.09	1.76	0.26	0.21	1.64
AH1-23	0.63	0.21	0.06	0.04	0.10	2.66	0.14	0.20	2.61
AH1-24	0.61	0.36	0.08	0.04	0.16	1.99	0.31	0.25	1.90
AH1-25	2.80	0.80	0.84	0.32	0.48	10.82	3.41	0.38	10.62
AH1-26	3.77	0.92	1.01	0.95	0.94	20.90	5.88	0.58	20.67
AH1-27	3.01	1.49	1.16	2.41	1.57	14.14	9.03	2.47	13.76
AH1-28	1.14	0.84	0.27	0.35	0.54	4.06	1.92	1.10	3.85
AH1-29	0.73	0.66	0.21	0.21	0.36	2.37	1.21	0.78	2.21
AH1-31	1.34	0.43	0.21	0.07	0.19	5.34	0.48	0.25	5.23
AH2-1	0.93	0.17	0.09	0.04	0.09	3.21	0.26	0.22	3.16
AH2-2	0.81	0.48	0.16	0.08	0.23	3.73	0.29	0.33	3.61
Mean	1.32	0.53	0.32	0.30	0.36	5.86	1.37	0.45	5.73
Max	3.77	1.49	1.16	2.41	1.57	20.90	9.03	2.47	20.67
Min	0.21	0.09	0.05	0.03	0.05	0.88	0.07	0.00	0.86
SD	1.01	0.34	0.34	0.57	0.37	5.23	2.43	0.57	5.17

Appendix 12. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols collected in spring, 1997.

Sample	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl	n- SO_4^{2-}
AH3-1	0.98	0.52	0.20	0.79	0.14	3.11	1.99	0.54	2.98
AH3-2	2.04	0.45	0.38	0.68	0.14	5.93	1.15	0.46	5.82
AH3-3	1.33	0.32	0.19	0.37	0.09	2.74	1.29	0.49	2.66
AH3-4	1.50	0.14	0.24	0.39	0.07	3.10	0.99	0.41	3.07
AH3-5	0.85	0.09	0.08	0.08	0.02	1.35	0.30	0.06	1.33
AH3-6	2.29	0.45	0.73	1.49	0.19	8.94	2.44	0.49	8.83
AH3-7	1.45	0.19	0.20	1.54	0.09	3.48	1.50	0.38	3.43
AH3-8	1.41	0.49	0.40	2.01	0.21	5.88	2.91	0.47	5.76
AH3-9	1.49	0.19	0.18	0.40	0.08	4.03	0.47	0.36	3.98
AH3-10	1.62	0.05	0.15	0.11	0.03	3.28	0.39	0.38	3.26
AH3-11	2.00	0.27	0.16	0.11	0.05	4.54	0.80	0.41	4.47
AH3-12	1.29	0.05	0.11	0.02	0.01	2.30	0.04	0.37	2.29
AH3-13	1.29	0.05	0.08	0.01	0.01	2.03	0.40	0.21	2.01
AH3-14	1.11	0.04	0.15	0.01	0.01	1.85	0.25	0.19	1.84
AH3-15	0.99	0.05	0.04	0.01	0.01	1.50	0.11	0.01	1.48
AH3-16	1.26	0.61	0.09	0.07	0.09	4.32	0.87	0.36	4.17
AH3-17	1.74	0.71	0.03	0.07	0.11	4.20	1.26	0.40	4.02
AH3-18	1.54	0.22	0.08	0.06	0.04	3.06	0.57	0.38	3.00
AH3-19	3.17	0.67	0.26	0.26	0.14	8.52	4.48	0.39	8.35
AH3-20	2.91	0.76	0.26	0.22	0.15	9.68	1.47	0.36	9.49
AH3-21	2.71	0.17	0.37	0.30	0.09	7.90	1.52	0.41	7.85
AH3-22	2.58	0.21	0.40	0.34	0.13	6.34	1.77	0.50	6.29
AH3-23	1.48	0.81	0.18	0.19	0.19	3.50	2.11	0.70	3.30
AH3-24	1.29	0.15	0.11	0.12	0.06	2.25	1.40	0.37	2.22
AH3-25	1.20	0.55	0.10	0.07	0.09	2.86	0.76	0.37	2.73
AH3-26	1.17	0.09	0.16	0.10	0.03	1.97	0.34	0.24	1.95
AH3-27	1.41	0.18	0.24	0.23	0.06	3.27	0.73	0.46	3.22
AH3-28	1.07	0.08	0.08	0.03	0.02	1.78	0.19	0.51	1.76
AH3-29	1.53	1.17	0.35	1.45	0.25	5.31	2.72	1.45	5.01
AH3-30	0.98	0.70	0.10	0.33	0.12	1.56	1.25	0.93	1.38
AH3-31	0.95	0.47	0.12	0.37	0.11	2.04	1.55	0.39	1.92
AH4-1	1.07	0.09	0.14	0.23	0.06	2.39	0.52	0.34	2.37
AH4-2	0.72	0.05	0.11	0.02	0.01	2.36	0.32	0.33	2.34
AH4-3	0.26	0.08	0.09	0.04	0.02	0.65	0.69	0.40	0.63
AH4-4	0.13	0.03	0.03	0.01	0.01	0.18	0.05	0.32	0.17
AH4-5	0.94	0.14	0.16	0.14	0.06	2.44	0.44	0.41	2.41
AH4-6	3.11	0.18	1.02	0.37	0.08	15.23	2.82	0.52	15.18

Sample	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃	Cl	n-SO ₄ ²⁻
AH4-7	1.78	0.06	0.36	0.36	0.10	5.61	1.29	0.43	5.60
AH4-8	3.00	0.20	0.90	0.57	0.15	14.61	1.09	0.38	14.56
AH4-9	0.80	0.27	0.45	0.48	0.10	3.01	1.67	0.38	2.94
AH4-10	2.44	0.31	1.19	1.50	0.17	9.08	5.89	0.42	9.00
AH4-11	1.80	0.26	0.65	0.89	0.15	5.66	3.45	0.45	5.59
AH4-12	3.75	0.31	1.60	2.15	0.27	19.15	9.49	0.43	19.07
AH4-13	2.59	0.26	1.23	1.19	0.18	16.62	2.82	0.39	16.56
AH4-14	3.05	0.24	1.23	1.21	0.19	17.42	3.46	0.40	17.36
AH4-15	2.17	0.63	0.77	0.52	0.18	10.13	2.28	0.53	9.97
AH4-16	2.13	0.82	0.68	0.38	0.18	9.63	2.66	0.43	9.42
AH4-17	2.66	0.38	0.86	0.80	0.17	14.85	1.29	0.44	14.75
AH4-18	2.07	0.09	0.37	0.17	0.05	7.64	0.82	0.66	7.62
AH4-19	1.65	0.13	0.38	0.33	0.09	5.35	2.34	0.41	5.32
AH4-20	1.82	0.24	0.23	0.15	0.07	5.91	0.52	0.34	5.85
AH4-21	0.07	0.03	0.03	0.02	0.01	0.40	0.10	0.03	0.40
AH4-22	1.16	0.57	0.29	0.60	0.18	4.22	2.84	0.41	4.08
AH4-23	1.85	0.49	0.33	0.63	0.16	6.41	4.65	0.38	6.29
AH4-24	1.81	0.44	0.31	0.55	0.15	5.85	3.46	0.47	5.74
AH4-25	2.55	0.11	0.08	0.61	0.12	8.54	2.02	0.38	8.51
AH4-26	2.81	0.12	0.04	0.67	0.12	10.62	1.68	0.41	10.59
AH4-27	2.05	0.09	0.45	0.24	0.05	6.35	0.53	0.33	6.33
AH4-28	3.36	0.19	0.97	0.83	0.13	17.31	1.11	0.39	17.26
AH4-29	2.93	0.13	0.83	0.49	0.09	13.59	0.59	0.36	13.55
AH4-30	1.54	0.12	0.35	0.61	0.08	5.23	1.30	0.32	5.20
AH5-1	1.70	0.10	0.34	0.35	0.04	6.32	0.36	0.18	6.29
AH5-2	1.53	0.09	0.30	0.31	0.04	5.66	0.32	0.16	5.64
AH 5-3	0.32	0.10	0.11	0.52	0.05	2.35	0.26	0.02	2.32
AH 5-4	1.08	0.07	0.27	0.35	0.06	4.48	0.00	0.03	4.46
AH 5-5	0.28	0.08	0.04	0.05	0.02	1.07	0.08	0.00	1.05
AH 5-6	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.11	0.05	0.00	0.11
AH 5-7	0.09	0.01	0.02	0.01	0.00	0.22	0.02	0.02	0.21
AH 5-8	0.22	0.04	0.04	0.02	0.01	0.63	0.04	0.01	0.62
AH 5-9	0.26	0.04	0.06	0.03	0.01	0.64	0.04	0.01	0.63
AH 5-10	0.19	0.06	0.02	0.02	0.01	0.62	0.04	0.00	0.61
AH 5-11	0.06	0.00	0.01	0.01	0.00	0.06	0.13	0.01	0.06
AH 5-12	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	0.06
AH 5-13	1.41	0.03	0.20	0.05	0.01	4.74	0.01	0.01	4.73

Sample	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	n-SO ₄ ²⁻
AH 5-14	1.86	0.08	0.50	0.22	0.05	6.37	0.00	0.02	6.35
AH 5-15	1.87	0.18	0.72	0.79	0.16	9.22	0.00	0.06	9.17
AH 5-16	0.30	0.17	0.21	1.02	0.10	2.29	1.18	0.10	2.25
AH 5-17	0.42	0.07	0.15	0.49	0.06	1.91	0.65	0.05	1.90
AH 5-18	1.54	0.55	0.87	1.06	0.19	8.92	0.05	0.07	8.79
AH 5-19	0.82	0.28	0.25	0.30	0.15	3.75	0.15	0.06	3.68
AH 5-20	0.54	0.15	0.11	0.07	0.03	1.63	0.53	0.07	1.59
AH 5-21	0.82	0.16	0.22	0.18	0.08	3.67	0.38	0.03	3.63
AH 5-22	0.78	0.16	0.21	0.18	0.08	3.45	0.44	0.02	3.41
AH 5-27	1.05	0.22	0.24	0.24	0.05	2.75	0.21	0.03	2.69
AH 5-30	1.08	0.26	0.50	0.32	0.05	6.21	0.23	0.12	6.15
Mean	1.47	0.25	0.33	0.42	0.09	5.25	1.24	0.31	5.19
Max	3.75	1.17	1.60	2.15	0.27	19.15	9.49	1.45	19.07
Min	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.06	0.00	0.00	0.06
SD	0.89	0.23	0.33	0.46	0.06	4.45	1.51	0.23	4.43

Appendix 13. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols collected in summer, 1997.

Sample	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3	Cl	n- SO_4^{2-}
AH6-2	1.22	0.13	0.83	0.64	0.07	6.01	0.53	0.04	5.98
AH6-5	1.56	0.20	0.71	0.54	0.07	6.91	0.22	0.06	6.86
AH6-17	1.95	0.12	0.43	0.36	0.06	7.94	0.28	0.07	7.90
AH6-20	1.64	0.28	0.40	0.11	0.04	7.57	0.26	0.08	7.50
AH6-23	1.67	0.20	0.33	0.20	0.04	7.23	0.21	0.05	7.18
AH6-26	0.33	0.02	0.00	0.00	0.00	0.14	0.13	0.02	0.13
AH6-29	0.69	0.09	0.09	0.03	0.01	2.68	0.03	0.02	2.66
AH7-2	0.67	0.00	0.00	0.01	0.00	0.77	0.00	0.04	0.77
AH7-5	0.54	0.01	0.01	0.00	0.00	0.60	0.05	0.01	0.59
AH7-8	0.28	0.01	0.03	0.01	0.00	0.66	0.34	0.06	0.66
AH7-11	0.09	0.02	0.02	0.83	0.00	0.73	0.06	0.76	0.72
AH7-14	1.37	0.08	0.14	0.04	0.01	4.87	0.06	0.02	4.85
AH7-17	2.24	0.10	0.77	0.14	0.02	9.63	0.19	0.08	9.61
AH7-20	1.43	0.27	0.04	0.04	0.03	5.26	0.19	0.02	5.19
AH7-23	1.55	0.10	0.06	0.06	0.02	7.51	0.10	0.03	7.49
AH7-26	1.60	0.26	0.15	0.11	0.04	5.63	0.21	0.05	5.56
AH7-29	2.23	0.20	0.78	0.94	0.15	11.16	0.19	0.07	11.11
AH8-1	1.62	0.41	0.18	0.18	0.07	7.56	0.00	0.03	7.45
AH8-4	0.66	0.09	0.01	0.03	0.01	0.90	0.39	0.07	0.88
AH8-7	0.61	0.31	0.13	0.07	0.09	1.52	0.08	0.32	1.45
AH8-10	1.55	0.09	0.28	0.08	0.02	5.65	0.24	0.02	5.63
AH8-13	0.10	0.01	0.03	0.47	0.00	0.42	0.08	0.45	0.42
AH8-16	1.64	0.34	0.17	0.11	0.05	6.41	0.06	0.08	6.32
AH8-19	1.18	0.42	0.14	0.08	0.06	5.73	0.08	0.03	5.62
AH8-20	0.21	0.05	0.02	0.02	0.01	0.90	0.15	0.08	0.89
AH8-22	0.95	0.20	0.14	0.05	0.03	3.55	0.15	0.03	3.50
AH8-23	1.82	0.02	0.18	0.12	0.02	2.28	0.13	0.00	2.28
AH 8-25	1.50	0.52	0.35	0.31	0.10	5.73	0.07	0.01	5.61
AH 8-28	0.84	0.15	0.07	0.07	0.03	3.61	0.14	0.03	3.57
AH8-31	0.51	0.37	0.18	0.05	0.05	2.68	0.18	0.03	2.59
Mean	1.14	0.17	0.22	0.19	0.04	4.41	0.16	0.09	4.37
Max	2.24	0.52	0.83	0.94	0.15	11.16	0.53	0.76	11.11
Min	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.13
SD	0.64	0.14	0.25	0.25	0.04	3.09	0.12	0.16	3.08

Appendix 14. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols collected in fall, 1997.

Sample	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	n-SO_4^{2-}
AH 9-3	0.38	0.57	0.16	0.15	0.09	2.50	0.74	0.08	2.36
AH 9-6	0.52	0.14	0.04	0.03	0.02	2.20	0.10	0.02	2.16
AH 9-9	0.41	0.07	0.06	0.20	0.03	1.91	0.25	0.04	1.90
AH 9-12	1.88	0.62	0.73	1.06	0.20	10.53	0.00	0.03	10.37
AH 9-13	1.39	1.02	0.34	0.88	0.22	8.20	0.40	0.07	7.95
AH 9-15	0.23	0.31	0.04	0.05	0.05	1.29	0.35	0.05	1.21
AH 9-18	1.33	0.51	0.35	0.29	0.11	5.44	0.60	0.06	5.31
AH 9-20	1.36	0.22	0.33	0.23	0.07	5.63	0.59	0.09	5.57
AH 9-26	0.98	0.06	0.39	0.07	0.02	4.42	0.05	0.03	4.40
AH 9-27	0.59	0.02	0.09	0.02	0.01	2.08	0.04	0.02	2.07
AH 9-28	1.69	0.05	0.41	0.03	0.01	5.76	0.06	0.02	5.75
AH 9-29	1.22	0.03	0.30	0.03	0.01	4.78	0.07	0.03	4.78
AH 9-30	1.03	0.02	0.14	0.03	0.02	3.93	0.05	0.03	3.93
AH 10-1	1.67	0.04	0.17	0.03	0.02	5.80	0.04	0.03	5.79
AH 10-2	1.02	0.04	0.08	0.04	0.02	4.07	0.06	0.02	4.06
AH 10-3	0.90	0.03	0.05	0.02	0.01	3.59	0.04	0.02	3.58
AH 10-4	1.18	0.03	0.15	0.03	0.01	4.61	0.06	0.02	4.60
AH 10-5	0.42	0.06	0.11	0.02	0.02	1.64	0.06	0.02	1.63
AH 10-9	1.07	0.07	0.45	0.04	0.02	4.62	0.12	0.03	4.61
AH 10-12	0.55	0.03	0.14	0.02	0.02	2.28	0.08	0.02	2.27
AH 10-15	0.47	0.03	0.24	0.03	0.01	1.92	0.18	0.04	1.91
AH 10-18	1.77	0.15	1.11	0.19	0.05	7.13	0.29	0.06	7.09
AH 10-21	1.94	0.16	0.99	0.39	0.10	7.22	0.11	0.03	7.18
AH 10-24	1.21	0.09	0.36	0.06	0.03	4.76	0.16	0.02	4.74
AH 10-27	0.41	0.04	0.10	0.02	0.02	1.52	0.11	0.02	1.51
AH 10-30	0.32	0.10	0.06	0.03	0.02	1.26	0.14	0.04	1.23
AH 11-2	1.49	0.08	0.59	0.04	0.02	5.71	0.10	0.04	5.69
AH 11-8	0.73	0.06	0.16	0.03	0.02	3.61	0.06	0.03	3.60
AH 11-14	0.14	0.00	0.01	0.01	0.00	0.51	0.05	0.02	0.51
AH 11-17	0.37	0.03	0.05	0.03	0.01	1.40	0.06	0.03	1.39
AH 11-20	0.62	0.04	0.03	0.02	0.02	2.34	0.00	0.04	2.33
AH 11-23	1.01	0.08	0.38	0.20	0.09	4.84	0.00	0.03	4.82
AH 11-26	0.17	0.16	0.03	0.06	0.03	0.88	0.13	0.12	0.84
AH 11-29	0.10	0.38	0.08	0.20	0.07	1.06	0.36	0.31	0.97
AH 11-30	0.34	0.08	0.07	0.02	0.03	1.51	0.08	0.03	1.48
Mean	0.88	0.15	0.25	0.13	0.04	3.74	0.16	0.05	3.70
Max	1.94	1.02	1.11	1.06	0.22	10.53	0.74	0.31	10.37
Min	0.10	0.00	0.01	0.01	0.00	0.51	0.00	0.02	0.51
SD	0.55	0.22	0.26	0.23	0.05	2.36	0.18	0.05	2.33

Appendix 15. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols collected in winter, 1997.

Sample	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl	n- SO_4^{2-}
AH 12-2	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	0.04	0.00	0.66
AH 12-3	0.32	0.00	0.01	0.01	0.01	2.10	0.01	0.02	2.10
AH 12-5	0.14	0.01	0.01	0.01	0.00	0.68	0.04	0.03	0.68
AH 12-6	0.26	0.00	0.04	0.01	0.00	0.66	0.07	0.00	0.66
AH 12-8	0.54	0.22	0.05	0.07	0.04	2.96	0.09	0.02	2.90
AH 12-14	0.70	0.17	0.27	0.19	0.04	3.95	0.08	0.03	3.90
AH 12-15	0.63	0.21	0.29	0.18	0.05	3.59	0.24	0.03	3.54
AH 12-16	0.42	0.19	0.14	0.10	0.05	2.29	0.16	0.02	2.24
AH 12-17	0.49	0.05	0.12	0.08	0.03	2.56	0.04	0.02	2.55
AH 12-18	0.57	0.19	0.12	0.14	0.05	3.83	0.11	0.04	3.78
AH 12-19	0.25	0.08	0.04	0.02	0.02	1.45	0.04	0.02	1.43
AH 12-20	0.42	0.07	0.08	0.28	0.03	1.95	0.16	0.03	1.93
AH 12-23	0.60	0.66	0.10	0.34	0.11	3.78	1.05	0.12	3.62
AH 12-26	0.73	0.20	0.09	0.15	0.04	3.77	0.30	0.03	3.72
AH 12-29	0.46	0.13	0.12	0.16	0.05	2.50	0.20	0.03	2.47
AH 1-1	1.20	0.19	0.53	0.27	0.08	6.15	0.05	0.03	6.10
AH 1-4	0.48	0.19	0.05	0.08	0.04	2.62	0.14	0.03	2.57
AH 1-7	0.16	0.35	0.07	0.18	0.06	1.70	0.22	0.04	1.61
AH 1-10	0.33	0.06	0.03	0.03	0.01	1.35	0.06	0.00	1.33
AH 1-11	0.25	0.08	0.01	0.06	0.01	1.00	0.07	0.04	0.98
AH 1-13	0.45	0.07	0.03	0.03	0.01	1.89	0.07	0.00	1.87
AH 1-16	0.23	0.15	0.02	0.04	0.02	0.99	0.26	0.01	0.95
AH 1-19	0.63	0.21	0.07	0.09	0.04	3.71	0.20	0.02	3.65
AH 1-22	0.77	0.28	0.20	0.36	0.09	5.34	0.24	0.01	5.27
AH 1-26	1.85	0.25	0.23	0.16	0.03	5.81	0.59	0.00	5.75
AH 2-3	2.09	0.18	0.39	0.16	0.06	7.21	0.39	0.02	7.17
AH 2-6	1.80	0.45	0.50	0.32	0.10	7.50	0.79	0.04	7.39
AH 2-9	1.43	0.25	0.41	0.35	0.08	6.08	0.64	0.03	6.02
AH 2-12	3.14	0.26	0.89	0.91	0.15	15.92	2.10	0.18	15.85
AH 2-14	0.43	0.18	0.08	0.16	0.05	2.23	0.54	0.05	2.19
AH 2-15	0.39	0.26	0.07	0.10	0.05	1.73	0.65	0.09	1.67
AH 2-18	0.63	0.33	0.05	0.03	0.05	3.56	0.34	0.05	3.47
AH 2-21	0.27	0.67	0.07	0.07	0.10	1.70	0.76	0.40	1.53

Sample	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	n-SO ₄ ²⁻
AH 2-22	0.41	1.43	0.10	0.08	0.20	3.05	1.33	1.29	2.69
AH 2-24	0.89	0.18	0.05	0.04	0.03	3.39	0.22	0.03	3.34
AH 2-25	0.99	0.13	0.04	0.03	0.02	3.79	0.31	0.02	3.76
AH 2-27	2.68	0.17	0.55	0.19	0.06	7.83	0.85	0.06	7.79
AH 2-28	1.76	0.05	0.12	0.13	0.02	3.50	1.52	0.07	3.49
Mean	0.79	0.22	0.16	0.15	0.05	3.55	0.39	0.08	3.49
Max	3.14	1.43	0.89	0.91	0.20	15.92	2.10	1.29	15.85
Min	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	0.01	0.00	0.66
SD	0.71	0.25	0.19	0.16	0.04	2.82	0.47	0.21	2.81

Appendix 16. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols collected in spring, 1998.

Sample	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃	Cl	n-SO ₄ ²⁻
AH 3-1	1.10	0.23	0.19	0.20	0.07	3.82	1.01	0.01	3.76
AH 3-3	1.33	0.28	0.30	0.43	0.12	6.58	1.42	0.02	6.51
AH 3-4	2.08	0.29	0.37	0.41	0.11	8.89	1.25	0.02	8.81
AH 3-5	4.24	0.29	0.69	0.71	0.15	9.97	5.78	0.07	9.90
AH 3-6	3.40	0.15	0.58	0.61	0.12	11.42	1.62	0.04	11.39
AH 3-7	2.27	0.89	0.53	0.34	0.17	10.09	1.25	0.14	9.87
AH 3-8	0.44	0.14	0.05	0.05	0.03	1.62	0.42	0.05	1.58
AH 3-9	0.21	0.08	0.02	0.02	0.01	0.64	0.38	0.03	0.62
AH 3-10	0.24	0.20	0.02	0.02	0.03	0.61	0.76	0.09	0.56
AH 3-11	0.46	0.05	0.09	0.03	0.02	1.40	0.41	0.02	1.39
AH 3-12	1.35	0.33	0.54	0.53	0.16	6.51	2.40	0.16	6.42
AH 3-13	5.49	0.42	1.34	0.62	0.15	12.48	6.31	0.32	12.37
AH 3-14	1.97	0.49	0.68	0.71	0.16	9.03	2.21	0.17	8.91
AH 3-15	0.96	0.95	0.14	0.61	0.14	2.49	4.68	0.44	2.25
AH 3-16	0.79	0.22	0.13	0.30	0.07	2.48	1.09	0.08	2.42
AH 3-17	1.24	0.40	0.27	0.56	0.12	5.89	1.75	0.14	5.79
AH 3-18	1.57	0.27	0.17	0.16	0.06	6.38	0.79	0.05	6.31
AH 3-19	0.32	0.13	0.05	0.08	0.03	1.17	0.42	0.07	1.14
AH 3-20	0.82	0.41	0.13	0.12	0.09	3.66	0.54	0.04	3.56
AH 3-21	1.27	0.28	0.22	0.10	0.07	5.84	0.52	0.02	5.76
AH 3-22	1.04	0.36	0.23	0.19	0.11	4.61	0.92	0.07	4.51
AH 3-23	0.80	0.12	0.13	0.22	0.06	2.51	1.34	0.07	2.48
AH 3-24	4.56	0.44	1.12	1.67	0.22	11.58	7.10	0.10	11.47
AH 3-25	1.30	0.31	0.68	1.60	0.24	9.86	1.50	0.05	9.79
AH 3-26	0.31	0.01	0.04	0.05	0.01	1.04	0.05	0.01	1.04
AH 3-27	0.46	0.39	0.33	2.67	0.27	8.93	1.19	0.23	8.83
AH 3-28	0.32	1.18	0.32	4.30	0.37	7.56	5.41	0.46	7.26
AH 3-29	0.32	0.92	0.40	3.61	0.30	7.94	3.53	0.07	7.71
AH 3-30	0.20	0.28	0.13	1.24	0.14	3.28	0.92	0.07	3.21
AH 3-31	0.39	0.23	0.18	0.74	0.13	4.00	0.24	0.03	3.94
AH 4-1	0.10	0.01	0.00	0.02	0.00	0.18	0.00	0.01	0.18
AH 4-2	0.43	0.10	0.07	0.19	0.04	1.54	0.25	0.06	1.51
AH 4-3	0.31	0.30	0.09	0.64	0.10	2.07	0.90	0.12	2.00
AH 4-4	0.52	0.24	0.05	0.22	0.07	2.93	0.10	0.01	2.87
AH 4-5	0.10	0.01	0.02	0.02	0.00	0.47	0.01	0.01	0.47

Sample	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	n-SO ₄ ²⁻
AH 4-6	0.58	0.02	0.08	0.04	0.00	1.85	0.06	0.02	1.84
AH 4-7	0.76	0.14	0.11	0.11	0.03	2.97	0.14	0.04	2.94
AH 4-8	0.31	0.01	0.06	0.03	0.00	1.00	0.06	0.01	1.00
AH 4-9	0.17	0.01	0.02	0.03	0.00	0.66	0.04	0.01	0.65
AH 4-10	0.00	0.13	0.08	0.09	0.03	2.38	0.24	0.04	2.35
AH 4-11	0.27	0.04	0.05	0.05	0.01	0.93	0.11	0.01	0.92
AH 4-12	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.20	0.04	0.01	0.19
AH 4-13	1.19	0.11	0.28	0.77	0.09	7.38	0.58	0.04	7.36
AH 4-14	3.13	0.45	1.13	3.11	0.30	14.46	1.56	0.06	14.35
AH 4-15	1.34	0.64	0.72	2.90	0.27	12.23	1.61	0.03	12.07
AH 4-16	0.81	0.59	0.69	4.30	0.28	9.38	3.92	0.49	9.23
AH 4-17	0.68	0.67	0.92	4.99	0.33	8.50	5.98	0.77	8.33
AH 4-18	0.53	0.52	0.46	4.30	0.27	6.49	2.92	0.54	6.36
AH 4-19	0.46	0.43	0.38	2.56	0.18	5.51	1.24	0.18	5.40
AH 4-20	0.37	0.49	0.41	2.66	0.24	7.77	2.69	0.41	7.64
AH 4-21	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.06	0.03	0.01	0.05
AH 4-22	0.39	0.03	0.04	0.02	0.00	1.35	0.05	0.01	1.34
AH 4-23	1.08	0.11	0.25	0.10	0.02	4.05	0.14	0.00	4.03
AH 4-24	1.16	0.07	0.22	0.25	0.04	4.79	0.10	0.04	4.77
AH 4-25	0.20	0.25	0.05	0.24	0.06	1.01	0.41	0.18	0.94
AH 4-26	0.34	0.58	0.09	0.57	0.10	1.96	0.83	0.16	1.81
AH 4-27	0.25	0.62	0.11	0.82	0.13	2.36	1.19	0.28	2.21
AH 4-28	0.63	0.17	0.05	0.11	0.04	3.01	0.19	0.01	2.97
AH 4-29	0.50	0.12	0.05	0.05	0.02	2.04	0.10	0.03	2.01
AH 4-30	0.13	0.01	0.03	0.01	0.00	0.47	0.09	0.03	0.47
AH 5-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.02	0.05
AH 5-2	0.83	0.07	0.15	0.66	0.06	3.89	0.66	0.03	3.87
AH 5-3	1.12	0.24	0.16	0.24	0.06	5.54	0.29	0.02	5.48
AH 5-4	0.84	0.67	0.36	2.61	0.19	8.28	1.80	0.14	8.11
AH 5-5	0.42	0.61	0.22	2.09	0.19	7.08	2.01	0.19	6.93
AH 5-6	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.08	0.03	0.17	0.08
AH 5-7	0.78	0.03	0.07	0.03	0.01	2.83	0.08	0.01	2.82
AH 5-8	2.54	0.20	0.59	0.45	0.09	8.17	0.31	0.07	8.12
Mean	0.95	0.29	0.27	0.86	0.10	4.68	1.29	0.11	4.61
Max	5.49	1.18	1.34	4.99	0.37	14.46	7.10	0.77	14.35
Min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.05
SD	1.09	0.26	0.30	1.27	0.10	3.73	1.69	0.15	3.70

[Abstract]
Analytical Study of Atmospheric Aerosols Collected at
1100m Site in Halla Mountain : Seasonal Variation and
Characteristics during 1996~1998

Kim Young-chul
Major in Chemistry Education
Graduate School of Education, Cheju National University
Cheju, Korea.

Supervised by Professor Kang, Chang-Hee

The atmospheric aerosols have been collected in the aerosol sampler installed at 1100m site located at the Halla mountain in Cheju island during the period of August, 1996 to May, 1998, and their compositions have been analyzed to investigate the seasonal variations of the water-soluble aerosol compositions and the chemical characteristics of the aerosols. From the analyses of the water-soluble components in total 317 aerosol samples, the correlation coefficients(r) for the sum of the cation and anion equivalent concentrations showed the value of 0.945 so that the precision of the analytical data has been found in quite good satisfaction.

※A thesis submitted to the Committee of the Graduate School of Education,
Cheju National University in partial fulfillment of the requirements for the degree of
Master of Education in August, 1998.

The amounts of total suspended particles(TSP) were within the range of 16.0 -37.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ with the highest concentrations in the spring season due to the yellow sand effect, and the particulates with the size less than 3.3 μm were more than 60% of all the aerosols.

The average concentrations of water-soluble cations have been found in the order of $\text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ during the summer, fall and winter seasons, but the Ca^{2+} concentration has been noticeably increased for the spring season as shown in $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$. The concentrations of NH_4^+ were 1.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 1.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in spring and summer seasons respectively, showing a little higher than those for fall and winter seasons in which the values were 0.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 1.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively. The concentration of Ca^{2+} cation, the major soil component, has shown the highest increase with the value of 0.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in the yellow-sand spring season. The average concentrations of water-soluble anions have shown in the order of $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ during the spring, fall and winter seasons, while $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ in summer. The concentrations of SO_4^{2-} and NO_3^- were 4.70 - 4.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 0.88 - 1.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in winter and spring seasons respectively, showing higher values than those of other seasons, due to the north-west wind effect.

From the investigation of the sea-salt effect with the enrichment factors, the other factors rather than sea-salt effect have been found to cause the SO_4^{2-} , Ca^{2+} and K^+ to be flown to the air. And the SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- and NH_4^+ compositions were considered to be introduced into the air through the other possible paths, but the soil itself, from the investigation of the soil effect with the enrichment factors.

감사의 글

오늘이 있기까지 지난 2년 6개월 동안 지도해 주신 화학과 모든 교수님께 감사드리며 특히 논문이 완성되기까지 아낌없는 지도와 편달을 하여 주시고 논문 심사 과정에서도 미흡한 논문을 세심하고 자상하게 다듬어 주신 강창희 지도 교수님과 그동안 바쁜 가운데도 시료를 채취하고 분석에 힘써 준 분석실 대학원생 여러분들께 감사드립니다.

또한 어려운 여건 속에서도 아빠의 발전을 위하여 성원하여 준 사랑하는 아내 그리고 민정, 민수, 민섭이와 오늘의 영광을 함께 하고자 합니다.

