
碩士學位論文

황사시 대기부유분진의 조성변화에 관한 연구
Variation of Atmospheric Aerosol Compositions
during Asian Dust-Storm Events

濟州大學校 大學院

化學科



康 洙 英

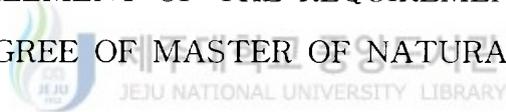
1997年 2月

Variation of Atmospheric Aerosol Compositions
during Asian Dust-Storm Events

Soo-Young Kang

(Supervised by professor Chang-Hee Kang)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF NATURAL SCIENCE



DEPARTMENT OF CHEMISTRY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1997. 2.

황사시 대기부유분진의 조성변화에 관한 연구
Variation of Atmospheric Aerosol Compositions
during Asian Dust-Storm Events

指導教授 姜昌禧

康洙英

이 論文을 理學 碩士學位 論文으로 提出함

1997年 2月

康洙英의 理學 碩士學位 論文을 認准함



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

審査委員長

金德洙

委 員

鄭真高

委 員

姜昌禧

濟州大學校 大學院

1997年 2月

목 차

SUMMARY

List of Tables

List of Figures

I. 서	론	1	
II. 실	험	4	
1.	측정설비 및 기기	4	
1)	측정소 설비	4	
2)	사용기기	4	
2.	에어로졸 시료 채취 및 분석	5	
1)	시료의 채취	5	
2)	시료의 전처리	5	
3)	양이온 분석	6	
4)	음이온 분석	7	
5)	금속 성분 분석	7	
III.	결과 및 고찰	10	
1.	황사의 발생 및 영향	10	
2.	에어로졸 시료 채취	12	
3.	수용성 양이온 및 음이온 분석 결과	14	
4.	금속 성분 분석 결과	29	
5.	성분들간의 상관관계 비교	47	
IV.	결	론	54
V.	참 고 문 헌	56	

SUMMARY

The atmospheric aerosols were collected with aerosol sampler installed at Soo-wol bong, the cleanest area in Korea, located at Kosan-ri, Hankyung-myun, Cheju-do, and their compositions were analyzed to investigate the effect of sand particulates transferred from China on the atmospheric aerosols of Korean peninsula due to the yellow-sand phenomenon (Asian Dust-storm Events). The daily aerosol collection was performed about 40 days between the early April and the early May in each year, continuously for 4 years of 1993 to 1996. The compositions of water-soluble ions and metals were analyzed, and the concentration changes were compared in yellow-sand days and non-yellow-sand days.

The analysis for NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , and Mg^{2+} cations showed mostly the low concentrations which were $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ or less. During yellow-sand days, the concentration of Ca^{2+} cation was increased about 4-5 times and that of Mg^{2+} cation about twice, compared with those in non-yellow-sand days. The analysis of concentrations for SO_4^{2-} , NO_3^- , and Cl^- anions showed almost no changes in their concentrations between two days. The average concentrations of SO_4^{2-} , NO_3^- , and Cl^- anions were $7\mu\text{g}/\text{m}^3$, $2\mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively.

The analysis was also performed for 11 metals of Cr, Zn, Cd, Ni, Fe, Al, Cu, Ti, Mn, Pb and V. The concentrations of Cr, Zn, Cd, Ni, and Cu showed almost no changes between two periods while those of Fe, Al, Mn, Pb, and V increased during yellow-sand periods. Among them, the concentration of Al was increased about 5-11 times, that of Fe was about 3-5 times compared with those in non-yellow-sand periods, so it was confirmed that these composites were found the characteristic compositions of yellow-sand particulates. And it was also shown that there were 3 times increase of the concentration of Ti, 5 times for that of V, twice for that of Mn, and 3 times for that of Pb during yellow-sand periods.

List of Tables

- Table 1. Collection time for aerosol samplings during the period of 1993~1996.
- Table 2. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1993.
- Table 3. Water-soluble cation and anion concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1994.
- Table 4. Water-soluble cation and anion concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1995.
- Table 5. Water-soluble cation and anion concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1996.
- Table 6. Metal concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1993.
- Table 7. Metal concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1994.
- Table 8. Metal concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1995.
- Table 9. Metal concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1996.
- Table 10. Linear correlation coefficients for aerosol samples in 1993.
- Table 11. Linear correlation coefficients for aerosol samples in 1994.
- Table 12. Linear correlation coefficients for aerosol samples in 1995.
- Table 13. Linear correlation coefficients for aerosol samples in 1996.

List of Figures

- Fig. 1. Location of Kosan site at Cheju.
- Fig. 2. Water-soluble cation concentrations in 1993.
- Fig. 3. Water-soluble cation concentrations in 1994.
- Fig. 4. Water-soluble cation concentrations in 1995.
- Fig. 5. Water-soluble cation concentrations in 1996.
- Fig. 6. Water-soluble anion concentrations in 1993.
- Fig. 7. Water-soluble anion concentrations in 1994.
- Fig. 8. Water-soluble anion concentrations in 1995.
- Fig. 9. Water-soluble anion concentrations in 1996.
- Fig. 10. Metal(Fe, Al, Pb) concentrations in 1993.
- Fig. 11. Metal(Fe, Al, Pb) concentrations in 1994.
- Fig. 12. Metal(Fe, Al, Pb) concentrations in 1995.
- Fig. 13. Metal(Fe, Al, Pb) concentrations in 1996.
- Fig. 14. Metal(Ti, Mn, V) concentrations in 1993.
- Fig. 15. Metal(Ti, Mn, V) concentrations in 1994.
- Fig. 16. Metal(Ti, Mn, V) concentrations in 1995.
- Fig. 17. Metal(Ti, Mn, V) concentrations in 1996.
- Fig. 18. Metal(Cr, Zn, Cd, Ni, Cu) concentrations in 1993.
- Fig. 19. Metal(Cr, Zn, Cd, Ni, Cu) concentrations in 1994.
- Fig. 20. Metal(Cr, Zn, Cd, Ni, Cu) concentrations in 1995.
- Fig. 21. Metal(Cr, Zn, Cd, Ni, Cu) concentrations in 1996.

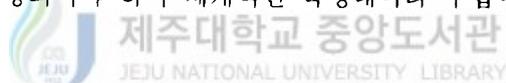
Scheme 1. Analytical procedure for atmospheric aerosol analysis.

I. 서론

좁은 면적에 비해 높은 인구밀도, 환경보호를 외면한 급속한 산업화 정책, 그리고 1970년대 이후의 경이적인 경제성장의 여파로 대기오염 현상은 우리의 큰 당면 문제로 부각되고 있다. 이미 일부 대도시나 공단지역에서는 심한 대기오염 현상으로 몸살을 앓고 있으며, 환경 문제에 대한 관심도 크게 고조되고 있다. 그러나 공해문제에 대한 관리는 단기적이고 일관성 없이 처리되어 그 기술적 후진성을 면치 못하고 있는 것이 우리의 현실이다. 국내에서는 주로 대기오염이 심한 오염지역 위주의 국지적인 대기오염도 조사, 분석 등 단기적인 대기질 변화에만 관심을 집중시켜 왔고, 장기적인 변화를 예측하거나 관리하기 위한 연구는 아주 미진한 상태이다. 대기오염은 용이한 확산 및 장거리 이동 특성 때문에 국지적인 오염이 결국은 전 영역으로 그리고 한 국가의 지역적인 오염이 결국은 주변 모든 국가로 확대된다. 보다 장기적인 대기환경 변화를 평가, 예측하고 관리하기 위해서는 관련 국가들간에 유기적인 협조는 물론 더 장기적이고 광범위한 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다. 미국 등 선진국에서는 이미 대기오염물질의 장거리 이동 현상을 규명하기 위해 세계 전지역을 대상으로 폭넓은 연구를 하고 있고, 보다 장기적인 환경보전을 위해 온갖 노력을 경주하고 있다. 특히 NASA에서 수행중인 PEM-West (Pacific Exploratory Mission-West)와 같은 프로그램에서는 태평양 상공으로 이동하는 대기오염물질의 장거리 이동 및 대류권에서의 화학변화를 장기적이고 체계적으로 연구하고 있다. 이 연구에는 미국을 비롯 태평양에 접해있는 일본, 중국, 대만, 싱가포르 등 주요 아시아 국가들이 동참하여 협조하고 있고, 국내에서도 1992년부터 제주도에 측정소를 마련하여 이 연구에 협조해 왔다(B.J. Huebert, 1996; J.M. Hoell, 1996; R.W. Talbot, 1996; J.E. Dibb, 1996; R. Arimoto, 1996; F.S. Rowland, 1996).

우리와 인접한 중국은 최근 급속한 산업화 정책으로 이미 2,500만톤으로 추산되는 아황산가스를 비롯 다량의 대기오염물질을 배출하고 있고, 이러한 오염물질들이 편서풍을 타고 한반도로 이동하여 우리나라가 심각한 피해를 보고 있음은 이

미 잘 알려진 사실이다. 그러나 우리는 그 피해정도를 정량적으로 평가하기 위한 기초자료를 거의 축적하지 못한 상태인 반면 우리보다 피해가 적은 일본은 오래 전부터 이와 관련된 연구를 수행해 왔고, 경제적, 기술적 투자를 해오고 있다. 중국의 경우 아직 연료의 70% 이상을 석탄에 의존하고 있으나 좀더 장기적으로 보면 석유, 천연가스의 소비량도 크게 증가할 것으로 보인다(Hitoshi Mukai, 1990). 이로 인한 각종 오염물질의 배출량 또한 현재보다 훨씬 증가할 것으로 예상되며 이들 대기오염물질 역시 한반도의 대기오염에 크게 영향을 줄 것으로 보인다. 이러한 대기 오염물질의 장거리 이동은 자체오염원이 없는 청정지역에서만 그 양을 정량적으로 측정할 수 있고, 미량의 오염물질을 측정해야 하기 때문에 보다 정밀한 측정 기술이 요구된다(최만식, 1995). 이러한 연구의 일환으로 최근 몇몇 연구기관 및 대학에서는 황사현상을 모델로 대기오염물질의 이동경로와 국내 대기오염에 미치는 중국의 영향에 대해 연구를 수행중이며, 정부에서도 아-태경제각료회의 등을 통해 중국측과의 협조를 모색하고 있다. 이와 같은 대기오염물질의 장거리 이동에 관한 연구는 한반도의 대기오염 상태를 자체적으로 평가하고, 인접한 중국이나 일본으로부터 유입되는 대기오염물질의 양을 정량적으로 파악하기 위하여 지속적으로 수행되어야 하며 체계적인 측정데이터 수집이 이루어져야 할 것으로 보인다.



제주도는 자체오염원이 거의 없는 국내에서 가장 청정지역일 뿐만아니라 지리적으로도 인접한 일본과 중국의 중앙에 위치하여 이들 인접국들에 의한 오염영향을 평가하는데 입지적으로 아주 중요한 지역이다. 따라서 제주도의 대기오염성분 분석 자료들은 대기환경의 장기적 변화에 대한 연구나 인접 국가들의 영향을 평가하기 위하여 중요한 기초자료로 활용될 수 있으며 지속적인 측정과 자료수집이 이루어져야 할 것으로 보인다.

본 연구는 봄철 황사시에 대기 부유분진을 포집하여 황사일과 비황사일에 채취된 에어로졸의 성분, 조성을 비교하고, 황사 입자의 특성을 파악하며, 중국의 황사가 한반도의 대기오염에 미치는 영향을 집중적으로 검토하기 위한 연구이다. 본 연구에서는 국내에서 가장 청정지역인 제주도 북제주군 한경면 고산리 소재 수월

봉(북위 33° 17', 동경 126° 10')에 측정소를 마련하여 High Volume Tape Sampler 를 설치하고 황사현상이 집중적으로 발생하는 4월과 5월에 대기부유분진을 포집하여 각종 분진 성분들을 분석하였다. 이러한 연구 결과는 자체 오염원이 없는 청정지역에서 에어로졸을 포집했기 때문에 주변 오염원에 의한 영향을 최소화시키면서 순수하게 중국으로부터 장거리 이동에 의해 유입된 황사에 의한 오염 영향을 효과적으로 평가할 수 있을 뿐만아니라 한반도에 영향을 미칠 수 있는 대기오염원과 그 이동 경로 등을 규명하기 위한 중요한 기초자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.



II. 실험

1. 측정 설비 및 기기

1) 측정소 설비

청정지역에서 Aerosol Sampler를 연속적으로 가동시키기 위한 측정소 설비는 실내 면적이 5평 정도인 컨테이너와 10kw의 전원을 사용하였다. 제주도의 서쪽끝 지점에 위치한 제주도 북제주군 한경면 고산리 수월봉(북위 33° 17', 동경 126° 10')의 해발고도 약 70m의 언덕에 컨테이너를 설치하고, Aerosol Sampler는 이 컨테이너 내부에 탑재하였다. 컨테이너 내부는 에어컨 및 제습기를 사용하여 항온, 항습 조건을 유지하였으며, AVR을 사용하여 안정한 전원을 공급하였다.

2) 사용기기

(1) Aerosol Sampler

대기 부유분진을 포집하기위한 Aerosol Sampler는 High Volume Tape Sampler로 일본 KIMOTO ELECTRIC사에서 제작한 Model 195A를 사용하였다(Fig. 2). 이 Aerosol Sampler는 roll type의 tefron filter를 사용하여 연속적으로 시료를 채취할 수 있는 자동 system이며, 분진 채취시간을 임의로 조절할 수 있다. High Volume Tape Sampler는 컨테이너 내부에 탑재하고 흡입관(길이 9m, 내경 38mm인 flexible hose)을 지상 약 6m높이로 고정시켜 지상 약 6m높이의 부유분진을 포집할수 있도록 설치하였다(박경윤, 1991-1993).

(2) Atomic Absorption Spectrophotometer

수용성 양이온 성분 분석에는 Philips사의 Model PYEUNICAM SP 9를 사용하였다. Atomizer는 10cm와 5cm slot length의 burner head를 사용하였고, Na, K, Ca, Mg 용 single hollow cathode lamp를 사용하였다.

(3) Ion Chromatograph

수용성 음이온은 미국, DIONEX 사의 Model DX-100 Ion Chromatograph 를 사용하여 분석하였으며, 이 때 분리관은 양이온 분석에 IonPac CG10/IonPac CS10, 음이온 분석에 IonPac AG4A-SC / IonPac AS4A-SC 를 사용하였다.

(4) Inductively Coupled Plasma Spectrophotometer

금속성분(Cr, Zn, Cd, Ni, Fe, Al, Cu, Ti, Mn, Pb, V) 분석에는 JOBIN YVON Emission Instruments 사의 JY 38S (ISA division) 를 사용하였으며, polychromator 검출기를 사용하여 동시에 분석하였다.

(5) UV-Visible Spectrophotometer

수용성 양이온 성분중에서 NH_4^+ 이온은 Indophenol 법에 의해 비색법으로 분석했으며, 이 때 사용한 분광광도계는 스위스 KONTRON 사의 Model UVIKON860 UV-Visible Spectrophotometer 이다.

2. 에어로졸 시료 채취 및 분석

1) 시료의 채취

에어로졸 시료는 High Volume Tape Sampler 와 PTFE (polytetrafluoro-ethylene) filter 를 사용하여 채취하였다. 이 때 대기의 유속은 대략 170 L/min 이 되도록 조절하였으며, 채취 시간은 24시간 단위로 매일 주야간 연속적으로 채취하였다. 사용된 PTFE filter 는 100 mm × 10 m 크기의 롤테이프형으로 한 개의 롤테이프가 완전히 감길 때 마다 sampler 로부터 filter 를 분리하여 수용성 이온 및 금속 성분을 분석하였다.

2) 시료의 전처리

PTFE filter 는 에어로졸 시료가 포집된 부분을 원형으로 잘라낸 뒤 다시 반씩 2개로 절단하여 한 개는 수용성 이온, 다른 한개는 금속 성분 분석에 사용하였다. 수용성 이온 분석용 필터는 초순수 (17.5-18 M Ω) 50 mL에 침적시켜 초음파 세척

기에서 30분간 초음파 분쇄 후 다시 shaker 에서 1시간 진탕시켜 수용성 성분들을 완전히 용출시켰다. 이 때 용기는 125 mL 용량의 PE 또는 PP병 (Nalgene) 을 사용하였으며, 세척후 1 차 증류수로 1 회, 다시 초순수로 2 회 반복 세척하여 오염을 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. 또한 금속 성분 분석용 필터는 ethyl alcohol 0.25 mL, 혼산용액(1:1HCl 70 mL / c-HNO₃ 15mL)에 침적시키고, 이것을 98°C water bath 에서 1 시간동안 환류시켜 금속 성분들을 용출시켰다. 이 용출액은 여과하여 불용성 입자를 거르고 초순수를 사용, 50 mL로 표충하여 금속성분 분석에 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, 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 Hayashi Pure Chemical 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, 여기

에 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 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (순도 : 99.999 %)과 초순수를 사용하여 조제하였다.

4) 음이온 분석

SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 음이온은 앞의 방법으로 전처리를 거친 시료용액을 4°C 냉장실에 보관한 채로 소량 분취하여 사용하였으며, Ion Chromatography 법으로 동시에 분석하였다(D. Sopauskiene & D. Budvytyte, 1994). 이 때 검량선 작성시 사용한 표준용액의 농도는 $\text{Cl}^- = 1.0, 3.0, 5.0, 7.0 \mu\text{g/mL}$, $\text{NO}_3^- = 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 \mu\text{g/mL}$, $\text{SO}_4^{2-} = 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 \mu\text{g/mL}$ 이며, 표준용액은 Aldrich 사의 1차 표준급시약 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (99.999%), KNO_3 (99.99%), NaCl (99.99%)과 초순수를 사용하여 실험실에서 조제하였다. IC는 Dionex 사의 DX-100 Ion Chromatograph를 사용하였고, 이들 음이온의 분리조건은 Sample Volume = 25 μL , Eluent = 2.4 mM Na_2CO_3 / 2.25 mM NaHCO_3 , Suppressor Solution = 25 mM H_2SO_4 , Guard Column = IonPac AG4A-SC, Separator Column = IonPac AS4A-SC 이다.



5) 금속 성분 분석

Cr, Zn, Cd, Ni, Fe, Al, Cu, Ti, Mn, Pb, V 등의 금속성분 분석에는 혼산용액으로 전처리한 용액(4°C 냉장실에 보관)을 사용하였으며, ICP 법으로 분석하였다(Masataka Nishikawa, 1991). 검량선 작성시 사용한 표준용액의 농도는 0.1, 1.0, 10.0 $\mu\text{g/mL}$ 이며, 모든 금속성분에 대해 동일한 농도의 표준용액을 사용하였다. 표준용액 조제시 용매는 시료의 전처리 과정에서 사용한 혼산용액을 사용하여 matrix effect를 최소화하였다. ICP 분석에서는 polychromator 검출기를 사용하여 Cr, Zn, Cd, Ni, Fe, Al, Cu, Ti의 8개 성분을 동시에 또 Mn, Pb, V의 3개 성분을 함께 분석하였으며, 분석 조건은 다음과 같다.

Plasma gas flow	12L/min					
Sheath gas flow	0.2L/min					
Sample flow	1mL/min					
Nebulizer gas flow	0.3L/min					
Frequency	40.68MHz					
Detection wavelength (nm)	Cr	205.552	Fe	238.204	Mn	257.610
	Zn	213.856	Al	309.271	Pb	261.418
	Cd	214.438	Cu	324.754	V	292.402
	Ni	221.647	Ti	334.941		

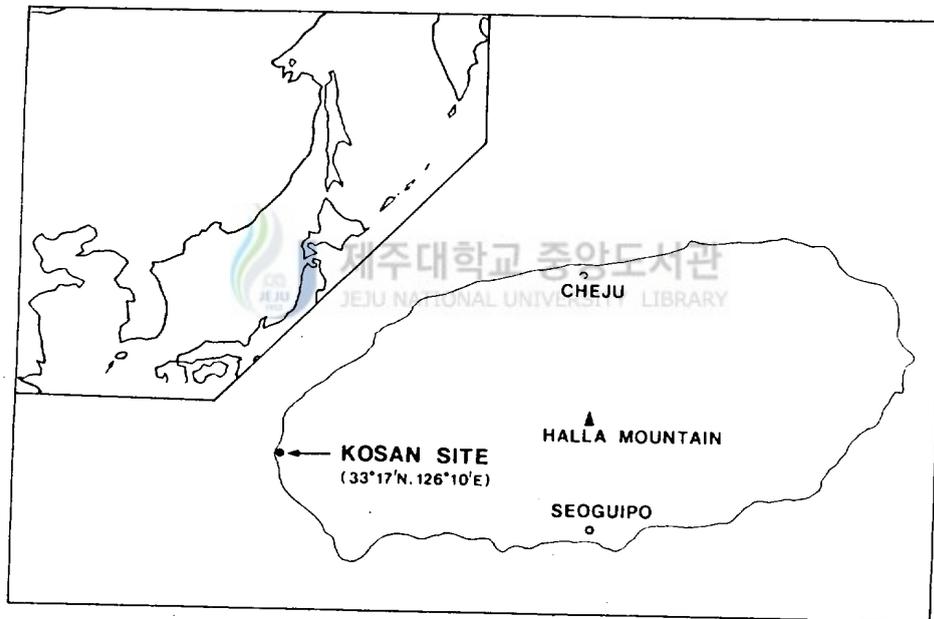
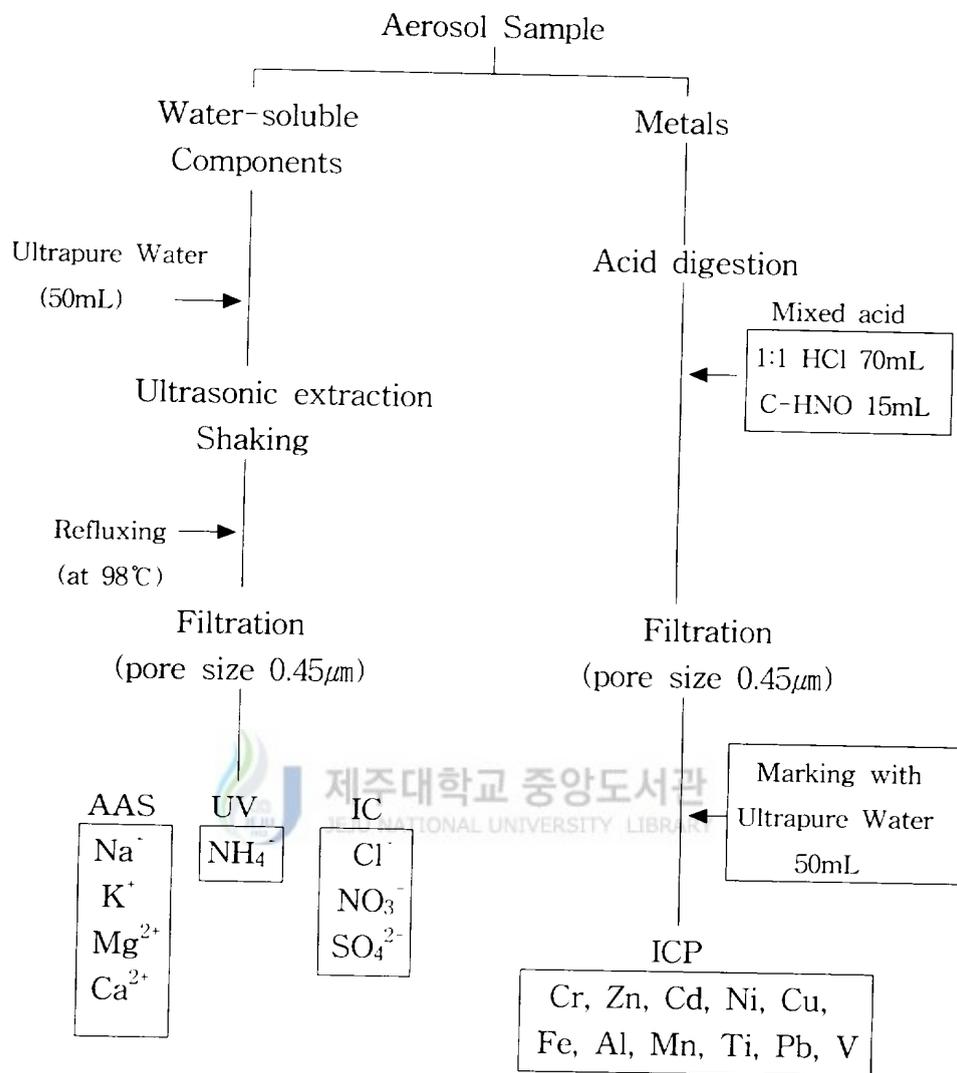


Fig. 1. Location of Kosan site at Cheju.



Scheme 1. Analytical procedure for atmospheric aerosol analysis.

III. 결과 및 고찰

1. 황사의 발생 및 영향

봄철에 대륙에서 불어오는 먼지 폭풍을 황사라 하며, 황사의 발생원은 우리나라에서 수천 km 떨어진 중국북부의 Taklamakan, Gobi, Alashan 사막과 황하유역의 광활한 황토 지대이다. 중국대륙의 북부 지역에서 봄철 해빙기가 되면 건조해진 토양이 비산이 일어나게 되며, 특히 이러한 현상은 겨울철의 강수량이 적을수록 두드러지게 된다. 이러한 현상은 대개 몽고 동북부에 강한 저기압이 형성되고, 중국 내륙에 고기압이 형성되면서 한랭건조한 저기압이 돌풍을 동반한 바람을 일으킨다. 이 때 생긴 돌풍에 의해 황토가 5 km 이상 공중으로 올라가 편서풍을 타고 한반도, 일본을 거쳐 멀리 하와이까지 이동하며, 이를 황사현상이라 한다 (Yasunobu Iwasaka, 1983; Y. Takayama & T. Takashima, 1986; Veerabhadra R. Kotamarth, 1993; Y. Iwasaka, 1988; Eiji HIRA, 1991; Kikuo Okada, 1987; Masataka Nishikawa, 1991). 황사현상은 중국을 포함한 아시아대륙에서 주로 3월과 5월 사이에 일어나며 4월중에 1/3~1/2의 빈도로 발생한다. 이 때 지표면에서의 풍속은 대략 12~20 m/s 정도이고, 40~50 m/s의 제트기류도 황사를 운반하는데 크게 기여하고 있는 것으로 알려져 있다. 황사현상은 대개 1~3일 정도 지속된 후 양쯔강 부근에서 생긴 이동성 고기압이나 북태평양에서 확장된 고기압에 밀려 소멸되며, 심한 경우 일주일 이상 지속되기도 한다(김양균, 1989-1990). 황사입자는 북태평양의 바다밑에 대량으로 퇴적되어 대규모 토사 이동 현상을 일으키며 (Chung, 1980), 또한 대기 부유분진의 주요 성분이 된다. 황토의 주성분은 장석, 석영 등으로 황토 성분은 SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MgO , Na_2O , CaCO_3 등을 포함하고 있고, 이 중 가장 많이 분포되어 있는 원소는 $\text{Si} > \text{Ca} > \text{Al} > \text{Fe}$ 의 순인 것으로 알려져 있다. 일반적으로 비황사시의 부유분진은 연소입자를 다량으로 함유하고 미세입자의 비율이 높으나 황사시에는 토양입자 및 조대입자의 함유율이 높은 것으로 조사되어 있다(김양균, 1989-1990). 서울 지역에서 조사한 바에 따르면 황사입

자의 크기는 $2.1 \mu\text{m}$ 이상의 조대입자가 50% 이상을 차지하는 것으로 조사되고 있다. 황사입자는 대기중에서 응결핵과 빙정핵으로 작용하여 구름물리에 영향을 주며, 태양 복사선을 흡수, 산란시켜 일사량을 감소시킴으로써 식물의 광합성을 방해한다(Arao & Ishizaka, 1986). 또 기관지염, 천식, 안질, 알러지 등의 질병을 유발하며, 다양한 염분질이나 중금속 등을 흡착할 수 있고, 대기중에서 아황산 가스를 황산으로 산화시키는 촉매의 역할을 할 수도 있다.

중국으로부터 장거리 이동에 의해 유입된 대기오염물질은 우리나라의 대기질에 크게 영향을 주고 있으며, 황사입자가 한반도의 대기 부유분진에 미치는 영향을 역시 아주 심각한 것으로 알려져 있다(김우규, 1995; 정용승, 1994; 김희강, 1991). 특히 최근 중국은 급속한 공업화 정책에 따른 황해 연안의 개발과 에너지 수요의 증가로 대기오염물질의 발생이 크게 증가하고 있고, 이로 인한 피해 정도도 더욱 증가할 것으로 예상되고 있다. 중국의 오염 확대에 따른 국내 대기오염의 영향을 평가하기 위해 황사현상에 대한 연구는 지속적으로 수행되어야 하고 기초 자료를 축적해나가야 할 것으로 보인다. 본 연구에서는 국내에서 가장 청정지역에 속하는 제주도 북제주군 한경면 고산리에서 1993년부터 1996년까지 4년간 매해 4월초부터 5월초까지 에어로졸 시료를 채취하였고, 이렇게 채취한 시료에 대해 수용성이온과 금속성분을 분석하여, 황사일과 비황사일의 농도변화를 비교하였다. 이 연구기간 동안 제주도 고산 레이다 기상대에서 관측한 황사일자 및 시간은 다음과 같다.

Year	Day
1993	4 / 1, 08:40 ~ 4 / 2, 21:17
	4 / 7, 16:21 ~ 4 / 7, 20:33
	4 / 8, 10:53 ~ 4 / 8, 15:55
	4 / 23, 04:18 ~ 4 / 23, 14:28
1994	4 / 13, 15:15 ~ 4 / 13, 19:56
1995	3 / 12, 16:20 ~ 3 / 13, 06:31
	4 / 7, 08:16 ~ 4 / 7, 12:30
	4 / 8, 06:39 ~ 4 / 8, 22:15
1996	4 / 17, 16:40 ~ 4 / 17, 19:48
	5 / 2, 15:30 ~ 5 / 2, 21:45
	5 / 8, 13:45 ~ 5 / 9, 01:20

2. 에어로졸 시료 채취

1993년부터 1996년까지 4년간 채취한 에어로졸 시료에 대해 채취시간을 Table 2에 수록하였다. 시료는 PTFE filter를 사용하여 매해 4월초부터 5월초까지 약 40일간 매일 채취하였고, 채취시간은 24시간 단위로, 유속은 1주일 간격으로 항상 초기 유속이 대략 170 L/min 정도가 되도록 조절하였다. 채취된 시료들의 평균유속은 일반적으로 155~180 L/min 정도를 유지하였고, 채취시간이 24시간이 아니거나 채취가 안된 경우는 기기의 오작동 또는 고장을 일으킨 경우이다.

Table 1. Collection time for aerosol samplings during the period of 1993~1996

Days	Year			
	'93	'94	'95	'96
(April)				
1			1/05:02~2/05:02	1/01:10~2/01:10
2			2/05:02~3/05:02	2/01:10~3/01:10
3	3/10:57~4/10:57	3/12:45~4/12:45	3/05:02~4/05:02	3/01:10~4/01:10
4	4/10:57~5/10:57	4/12:45~5/12:45	4/05:02~5/05:02	4/01:10~5/01:10
5	5/10:57~6/10:57	5/12:45~6/12:45	5/05:02~6/05:02	5/01:10~5/13:10 5/13:20~6/01:20

6	6/10:57~7/10:57	6/12:45~7/12:45	6/05:02~7/05:02	6/01:20~7/01:20
7	7/10:57~8/10:57	7/12:45~8/12:45	7/05:02~7/16:20 7/16:53~8/04:53	7/01:20~8/01:20
8	8/10:57~9/10:57	8/12:45~9/12:45	8/16:53~9/04:53	8/01:20~9/01:20
9	9/12:55~10/12:55	9/13:20~10/01:20	9/04:53~9/07:00	9/01:20~10/01:20
10	10/12:55~11/12:55	10/01:20~11/01:20		10/01:20~11/01:20
11		11/01:20~12/01:20		11/01:20~12/01:20
12	12/20:30~13/20:30			12/01:20~12/10:40 12/11:10~12/23:10
13	13/20:30~14/20:30	13/01:20~14/01:20		12/23:10~13/23:10
14	14/20:30~15/20:30	14/01:20~15/01:20	14/19:15~15/07:15	13/23:10~14/23:10
15	15/20:30~16/20:30	15/01:20~16/01:20	15/07:15~16/07:15	14/23:10~15/23:10
16	16/20:30~17/12:20	16/01:20~16/13:20 16/15:10~17/03:10	16/07:15~17/07:15	15/23:10~16/23:10
17	17/14:50~18/14:50	17/03:10~18/03:10	17/07:15~18/07:15	16/23:10~17/23:10
18	18/14:50~19/14:50	18/03:10~19/03:10	18/07:15~19/07:15	17/23:10~18/23:10
19	19/14:50~20/14:50	19/03:10~20/03:10	19/07:15~20/07:15	18/23:10~19/08:30 19/10:55~20/19:20
20	20/14:50~21/14:50	20/03:10~21/03:10	20/07:15~21/07:15	20/19:20~21/19:20
21	21/14:50~22/14:50	21/03:10~22/03:10	21/07:15~21/15:30 21/17:10~22/05:10	20/19:20~21/19:20
22	22/14:50~24/14:50	22/03:10~23/03:10	22/05:10~23/05:10	22/19:20~23/19:20
23		23/03:10~23/11:19	23/05:10~24/05:10	23/19:20~24/19:20
24		23/22:50~24/22:50	24/05:10~25/05:10	24/19:20~25/19:20
25		24/22:50~25/22:50	25/05:10~26/05:10	25/19:20~26/11:20
26		25/22:50~26/22:50	26/05:10~27/05:10	26/11:40~27/11:40
27		27/22:50~28/22:50	27/05:10~28/05:10	27/11:40~28/11:40
28		28/22:50~29/22:50	28/05:10~28/17:10 28/17:30~29/05:30	28/11:40~29/11:40
29		29/22:50~30/11:11	29/05:30~30/05:30	29/11:40~30/11:40
30		30/11:50~1/11:50	30/05:30~1/05:30	30/11:40~01/11:40
(May)				
1		1/11:50~2/11:50	1/05:30~2/05:30	1/11:40~2/11:40
2	2/13:46~3/13:46	2/11:50~3/05:04	2/05:30~3/05:30	2/11:40~3/11:40
3	3/13:46~4/13:46	3/06:56~4/06:56	3/05:30~4/05:30	3/11:55~4/11:55
4	4/13:46~5/13:46	4/06:56~5/06:56	4/05:30~5/05:30	4/11:55~5/11:55
5	5/13:46~6/13:46	5/06:56~6/06:56	5/05:30~6/05:30	5/11:55~6/11:55
6	6/13:46~9/01:49	6/06:56~7/06:56	6/05:30~7/05:30	6/11:55~7/11:55
7		7/10:46~8/10:46	7/05:30~8/05:30	7/11:55~8/11:55
8		8/10:46~9/10:46	8/05:30~9/05:30	8/11:55~9/11:55
9	9/01:49~11/15:38	9/10:46~10/10:46	9/05:30~10/05:30	9/11:55~10/11:55
10		10/10:46~11/10:46	10/05:30~11/05:30	
11	11/17:52~12/17:52	11/10:46~12/10:46	11/05:30~12/05:30	
12			12/05:30~12/10:25 12/10:32~13/10:32	

3. 수용성 양이온 및 음이온 분석 결과

1993년부터 1996년까지 채취한 에어로졸 시료들에 대해 NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 의 수용성 양이온과 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 수용성 음이온을 분석한 결과를 Table 3~Table 5에 수록하였다. 또한 이들의 농도 변화를 그래프로 도시하여 Fig. 2 ~ Fig. 9에 나타내었다. 수용성 양이온의 함량을 비교해 보면 대체적으로 $\text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 의 순으로 일반적으로 내륙지방에서는 Na^+ 보다 NH_4^+ 의 농도가 높게 나타나는 것이 일반적이지만 본 연구에서는 NH_4^+ 보다 Na^+ 농도가 더 높게 나타나는 특징을 보였다. 대체적으로 Na^+ 이온의 농도는 시료 채취기간 동안 연평균 $1.53 \sim 1.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 양이온들에 비해 훨씬 높게 나타나고 있다. 그러나 Na^+ 농도의 증가는 Cl^- 농도의 증가와 아주 일치하는 경향을 보이고 있고, 해염입자의 주요 성분인 Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 등 이온들의 농도도 대체적으로 동시에 상승하는 것으로 보아 해염입자의 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다(C. M. Gordan, 1997). 특히 이러한 해염입자의 유입 원인은 High Volume Tape Sampler가 설치된 위치가 바다와 아주 인접한 해안지역의 언덕 위이고, 또한 바람이 많은 곳이어서 해수의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 추정된다. NH_4^+ 이온의 연도별 평균 농도는 $0.53 \sim 1.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 이온들에 비해서는 비교적 높은 농도를 보이고 있으나 Na^+ 와 NH_4^+ 이온 모두 황사시와 비황사시에 특별한 경향성은 보이지 않았다. K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 이온의 농도는 대체적으로 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 낮은 농도를 보이고 있다. 그러나 황사현상이 나타났던 시기에는 Ca^{2+} 의 농도가 비황사일에 비해 현저하게 증가하는 것을 볼 수 있다. Ca^{2+} 의 경우 연평균 농도가 $0.55 \sim 1.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 계절에 비해 전체적으로 농도가 크게 증가했으며, 1993년의 경우 최고 11배 정도, 1994, 1995년에 약 3배, 1996년에 약 8배 정도 증가하는 것으로 조사되었다. 대기 부유분진 중 칼슘 성분은 주로 비인위적 요인에 의해 특히 토양입자에 의해 대기중으로 유입되는 것으로 알려져 있다(Hitoshi Mukai, 1990; D. A. Braaten & T. A. Cahill, 1986). 1993년부터 1996년까지의 모든 데이터에서 황사시에 칼슘 농도가 크게 증가하는 경향을 보이고 있으며, 이는 황사의 토양입자

가 다량으로 한반도의 대기로 유입되고 있음을 확인시켜 주고 있다.

대기중에 부유하는 에어로졸 입자는 해양입자, 토양입자 등의 자연 발생원에 의해 직접 대기중에 배출되는 1차 입자(primary particle)와 주로 연소, 소각등에 의해 인위적으로 발생된 기체상 물질이 물리, 화학적 입자화 전환과정을 거쳐 생성되는 2차 입자(secondary particle)로 구별할 수 있다. SO_4^{2-} , NO_3 등은 대부분이 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(Seinfeld, 1986). 특히 0.1~1.0 μm 의 미세 에어로졸에 많이 함유되어 있고 이러한 미세입자들은 시계감소에 직접적인 영향을 줌은 물론 호흡기관을 통과할 수 있기 때문에 관리가 필요한 것으로 지적되고 있다(Appel, 1978). 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. 본 연구기간 동안 SO_4^{2-} , NO_3 , Cl 수용성 음이온 분석 결과 농도 크기는 $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3 > \text{Cl}$ 순이었으며, SO_4^{2-} 의 농도가 5.41~9.54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 성분들에 비해 훨씬 높게 나타났고 외국의 청정지역에 비해서도 비교적 높은 농도를 보였다(Hitoshi Mukai, 1990). 대기중에 존재하는 전체 황화합물중 자연적인 발생원에 의한 양은 인위적 오염원에 의한 양의 약 40% 정도이고 주로 해양 및 토양 미생물의 성장대사 과정에서 발생하는 높은 휘발성 물질인 것으로 알려져 있다. 이러한 황화합물들의 예로는 DMS(dimethylsulfide), H_2S , CS_2 , COS(carbonyl sulfide), CH_3SH 등을 들 수 있다. 이 중 DMS는 자연적 발생원에 의해 방출되는 전체 황의 90~95% 이상을 차지하고 있고 이렇게 방출되는 DMS의 절대량이 해양, 특히 해수면에서 대기중으로 방출되는 것으로 조사되어 있다(김기현, 1996; A. R. Bandy, 1996). 해수면에서 발생하는 DMS는 광화학 반응에 의한 산화반응으로 SO_4^{2-} 를 생성하며 특히 자외선 양이 많은 여름철에 농도가 크게 증가한다. 본 연구 결과 SO_4^{2-} 의 농도가 예상보다 아주 높게 나타났는데 이는 제주도가 바다로 둘러싸여 있고 측정소의 위치가 바다와 아주 근접해 있어서

DMS의 영향을 많이 받을 것으로 판단되며 실제로 DMS가 SO_4^{2-} 의 농도에 어느 정도 영향을 미치고 있는지를 규명하기 위한 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다. 반면에 NO_3^- 이온의 농도는 $1.11 \sim 3.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Cl은 $0.92 \sim 1.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며 황사일과 비황사일간의 뚜렷한 차이점은 관찰되지 않았다.

Table 2. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1993.

Date	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl
4-03	0.83	1.44	0.29	3.28	0.46	7.23	4.04	1.53
4-04	0.43	4.20	0.37	1.48	0.68	6.57	1.65	4.45
4-05	0.67	1.42	0.12	0.50	0.24	4.67	1.01	0.76
4-06	0.59	3.05	0.41	1.57	0.49	5.31	1.57	4.20
4-07	0.48	6.63	0.50	5.68	0.98	4.07	2.99	11.63
4-08	0.21	6.53	0.50	5.40	0.99	3.50	2.93	11.57
4-09	0.68	1.33	0.17	1.35	0.24	2.99	1.71	2.53
4-10	0.89	2.22	0.35	1.10	0.36	7.65	1.98	0.90
4-12	1.98	0.82	0.27	0.54	0.24	8.56	0.69	0.37
4-13	2.45	0.48	0.32	1.20	0.18	8.30	0.76	0.33
4-14	2.54	0.39	0.60	2.03	0.20	13.23	0.81	0.25
4-15	2.23	0.89	0.31	0.72	0.20	10.24	0.73	0.26
4-16	1.90	1.33	0.14	0.44	0.23	8.44	1.95	0.72
4-17	3.15	2.23	0.55	0.56	0.32	20.02	0.76	0.33
4-18	1.96	1.90	0.30	0.73	0.30	13.30	1.16	0.50
4-19	2.07	0.54	0.17	0.55	0.15	9.52	0.73	0.36
4-20	2.61	0.32	0.20	0.48	0.10	10.26	0.39	0.39
4-21	2.93	0.35	0.13	0.08	0.04	11.08	0.39	0.30
4-22	1.84	1.65	0.32	0.38	0.23	9.73	0.62	0.25
5-02	0.84	1.25	0.10	0.27	0.18	5.10	1.22	0.51
5-03	1.85	0.75	0.22	0.66	0.19	8.74	0.71	0.34
5-04	0.90	1.52	0.12	0.37	0.23	5.93	1.09	0.43
5-05	0.89	1.19	0.06	0.16	0.18	3.19	1.95	0.87
5-06	0.85	1.57	0.28	3.22	0.38	7.36	2.65	2.02
5-09	0.53	1.65	0.31	3.31	0.40	7.67	2.77	2.36
5-11	1.45	1.25	0.17	1.34	0.31	4.96	2.50	1.39
Avg.	1.45	1.80	0.28	1.44	0.33	8.44	1.53	1.91
S.D.	0.87	1.65	0.15	1.52	0.23	3.64	0.96	3.08

Table 3. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1994.

Date	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-
4-03	1.94	0.65	1.33	0.76	0.19	26.27	0.06	0.32
4-04	0.70	1.70	0.78	0.75	0.30	12.36	0.33	0.11
4-05	1.16	0.20	0.17	0.07	0.04	5.80	0.41	0.32
4-06	0.15	0.25	0.06	0.03	0.04	2.54	0.27	0.25
4-07	1.57	3.68	0.52	0.51	0.53	11.31	3.68	1.66
4-08	0.41	4.48	0.36	0.38	0.06	5.23	1.25	6.32
4-09	0.10	2.00	0.19	0.21	0.31	3.24	0.49	3.63
4-10	0.60	1.42	0.22	0.15	0.22	4.02	0.78	2.03
4-11	0.26	0.22	0.09	0.05	0.03	2.66	0.03	0.86
4-12	0.25	4.92	0.46	0.36	0.68	4.67	0.44	8.68
4-13	0.49	5.41	1.03	1.41	0.82	9.06	0.83	8.99
4-14	0.39	1.96	0.90	2.36	0.46	8.10	0.00	4.08
4-15	2.05	0.37	1.03	1.08	0.19	19.92	0.60	0.70
4-16	1.10	0.35	0.75	1.08	0.20	13.51	0.11	0.38
4-17	0.23	0.51	0.39	0.89	0.22	7.90	0.35	0.22
4-18	0.62	0.49	0.16	0.12	0.09	3.32	0.54	0.18
4-19	1.11	1.46	0.27	0.28	0.26	7.82	2.12	0.85
4-20	0.22	0.62	0.09	0.08	0.11	2.20	0.24	0.87
4-21	0.32	1.44	0.17	0.15	0.23	3.22	1.08	1.57
4-22	0.73	0.46	0.52	0.09	0.08	10.48	0.39	0.29
4-23	0.83	0.48	0.21	0.24	0.11	6.66	0.28	0.17
4-24	0.42	0.55	0.29	0.52	0.15	10.42	0.76	0.26
4-25	1.06	0.46	0.63	1.01	0.21	14.94	0.00	0.21
4-26	2.19	0.93	0.88	1.13	0.29	17.35	0.00	0.28
4-28	1.52	0.48	1.08	0.82	0.19	21.22	0.00	0.32
4-29	0.69	0.59	0.90	0.60	0.18	17.30	0.00	0.49
4-30	2.14	0.73	0.29	0.22	0.08	9.84	0.00	0.22
5-01	1.64	0.78	0.18	0.25	0.09	7.08	0.46	0.55
5-02	1.37	3.33	0.54	0.83	0.36	14.02	2.80	2.53
5-03	0.59	1.98	0.25	0.23	0.20	5.05	1.16	1.19
5-04	0.57	2.83	0.59	0.81	0.36	4.43	2.09	4.32
5-05	0.31	3.45	0.48	0.67	0.40	2.43	2.12	6.62
5-06	0.88	3.01	1.68	1.90	0.52	8.42	7.14	2.81
5-07	1.16	1.98	0.49	0.53	0.25	6.44	3.29	0.90
5-08	1.20	1.30	0.64	0.81	0.19	8.61	1.98	0.92
5-09	2.99	0.38	0.63	0.26	0.04	15.27	1.21	0.47
5-10	1.71	0.68	0.27	0.09	0.05	7.45	0.62	0.16
5-11	1.14	2.83	0.30	0.22	0.37	6.92	3.88	2.70
Avg.	0.97	1.56	0.52	0.58	0.24	9.54	1.11	1.77
S.D.	0.69	1.42	0.37	0.52	0.18	5.73	1.46	2.37

Table 4. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1995

Date	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-
4-01	0.36	3.01	0.20	0.34	0.30	3.55	1.29	4.17
4-02	0.15	3.40	0.14	0.33	0.31	3.45	1.06	5.12
4-03	0.26	1.56	0.15	0.28	0.10	3.88	1.08	2.12
4-04	0.40	0.59	0.20	0.38	0.00	4.59	1.39	0.81
4-05	0.34	0.64	0.04	0.16	0.00	4.41	1.49	0.35
4-06	0.82	1.34	0.60	0.43	0.07	9.46	1.72	0.96
4-07	0.19	0.96	0.11	0.86	0.06	4.15	1.91	1.41
4-08	1.83	1.81	1.43	1.25	0.21	21.85	2.39	0.42
4-09	1.02	0.09	0.00	0.01	0.00	12.87	1.30	0.75
4-14	0.66	2.18	0.03	0.26	0.13	7.38	1.95	1.31
4-15	1.04	2.93	0.26	0.59	0.29	10.87	2.88	1.33
4-16	1.56	1.99	0.29	0.50	1.75	16.93	2.50	0.50
4-17	1.75	1.59	0.25	0.50	0.11	16.05	4.15	0.29
4-18	1.08	1.78	0.20	0.34	0.12	11.21	1.30	0.97
4-19	0.01	3.19	0.17	0.30	0.31	3.62	1.48	4.91
4-20	0.17	1.16	0.06	0.15	0.00	4.55	1.34	0.77
4-21	0.00	1.31	0.00	0.07	0.02	3.03	0.98	1.34
4-22	0.22	1.15	0.02	0.35	0.07	4.40	0.77	1.41
4-23	0.16	5.25	1.12	2.52	0.75	6.00	4.51	8.30
4-24	0.15	2.20	0.57	1.41	0.21	4.56	2.82	3.50
4-25	0.25	1.86	0.56	0.71	0.12	5.19	2.02	1.93
4-26	0.22	1.97	0.25	0.67	0.16	4.20	1.73	2.38
4-27	0.40	0.34	0.16	0.23	0.00	5.501	1.62	0.78
4-28	0.54	0.55	0.25	0.39	0.00	7.25	1.51	0.22
4-29	0.69	0.40	0.12	0.27	0.00	6.53	0.96	0.29
4-30	1.09	0.26	0.12	0.31	0.00	8.95	1.17	0.53
5-01	1.12	1.03	0.15	0.37	0.02	0.00	11.03	0.22
5-02	1.61	0.63	0.14	0.58	0.00	0.00	16.26	0.18
5-03	0.32	2.05	0.51	0.86	0.21	0.00	7.31	1.77
5-04	0.05	1.20	0.19	1.14	0.07	0.00	3.37	1.84
5-05	0.31	1.90	0.45	1.09	0.16	0.00	6.11	1.64
5-06	0.39	1.05	0.28	0.79	0.04	0.00	6.39	1.20
5-07	0.34	0.60	0.10	0.52	0.00	0.00	5.62	0.54
5-08	0.33	0.49	0.06	0.36	0.00	0.00	5.66	0.32
5-09	0.26	1.38	0.05	0.28	0.06	0.00	5.81	1.31
5-10	0.00	3.02	0.23	0.57	0.26	0.00	4.35	3.86
5-11	0.07	1.08	0.18	0.43	0.04	0.00	3.53	1.48
5-12	0.00	0.23	0.00	0.28	0.00	0.00	5.22	0.26
Avg.	0.53	1.53	0.25	0.55	0.16	5.41	3.37	1.62
S.D.	0.52	1.08	0.29	0.46	0.30	5.44	3.13	1.71

Table 5. Water-soluble cation and anion concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1996.

Date	NH_4^+	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-
4-19	0.31	0.62	0.32	0.62	0.11	3.13	1.28	0.40
4-20	0.22	0.78	0.13	0.09	0.10	1.41	0.06	0.68
4-21	0.73	1.74	0.59	0.66	0.34	7.36	2.01	1.08
4-22	0.98	0.50	0.48	0.41	0.16	9.40	1.06	0.38
4-23	0.95	0.52	0.40	0.27	0.14	8.31	0.96	0.40
4-24	0.98	0.68	0.21	0.16	0.11	8.53	0.88	0.51
4-25	1.17	1.62	0.24	0.22	0.21	9.18	1.96	1.02
4-26	0.80	0.99	0.14	0.08	0.12	5.30	1.35	0.70
4-27	0.61	1.28	0.14	0.09	0.15	4.21	1.96	1.00
4-28	0.00	0.82	0.13	0.07	0.10	5.28	0.89	0.41
4-29	0.99	0.53	0.21	0.02	0.06	6.53	0.73	0.59
4-30	1.15	1.32	0.67	0.15	0.15	12.32	1.00	1.00
5-01	0.97	0.69	0.19	0.05	0.08	7.01	0.54	0.52
5-02	0.63	0.53	0.32	1.05	0.16	6.03	1.40	0.30
5-03	0.71	1.17	0.27	1.04	0.24	6.69	1.93	1.01
5-04	0.01	0.85	0.11	0.09	0.10	2.24	1.21	0.69
5-05	0.63	1.30	0.24	1.55	0.20	6.44	1.02	1.09
5-06	0.80	0.99	0.16	0.48	0.13	6.20	1.01	0.99
5-07	0.79	0.44	0.10	0.28	0.07	4.75	0.66	0.41
5-08	0.53	1.67	1.12	4.16	0.40	10.72	5.43	0.28
5-09	0.76	1.85	1.60	2.71	0.39	13.58	4.34	1.02
5-10	0.04	2.56	0.63	1.66	0.78	1.87	0.55	1.97
5-11	2.49	1.99	1.01	1.11	0.63	4.51	3.90	1.04
5-12	2.45	0.53	0.54	0.27	0.19	8.01	11.43	0.42
Avg.	0.82	1.08	0.41	0.72	0.21	6.63	1.98	0.76
S.D.	0.61	0.57	0.37	0.99	0.18	3.09	2.38	1.84

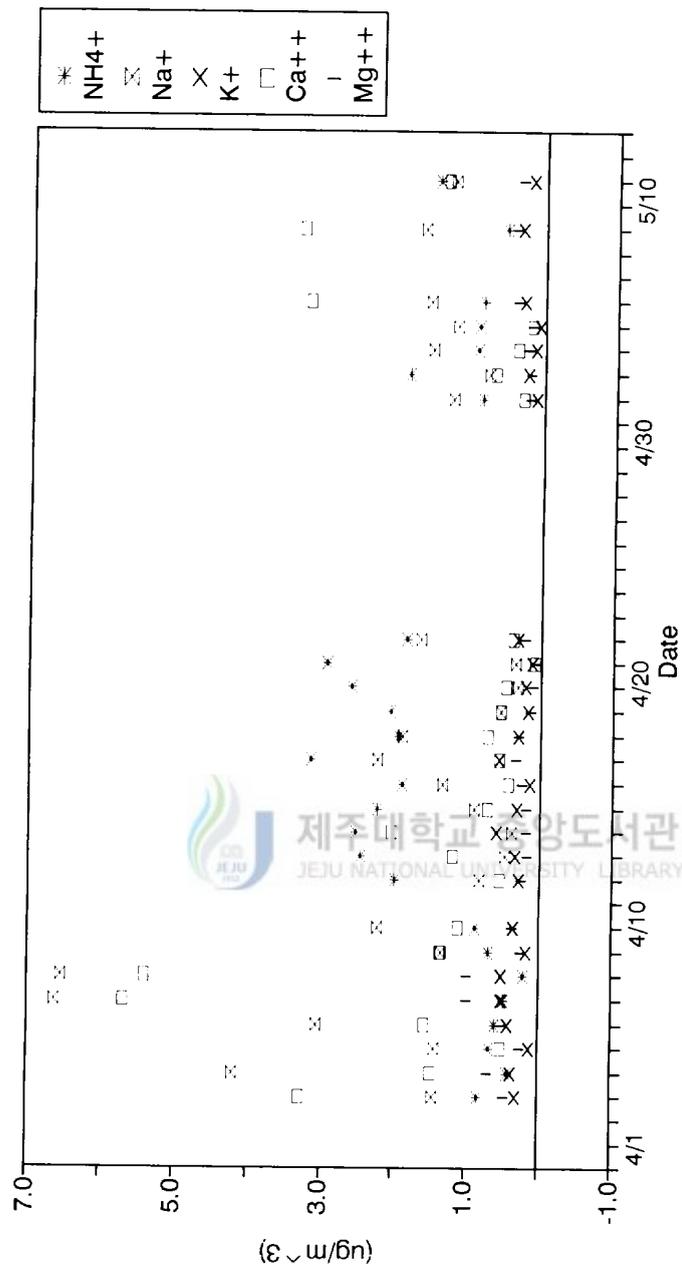


Fig. 2. Water-soluble cation concentrations in 1993.

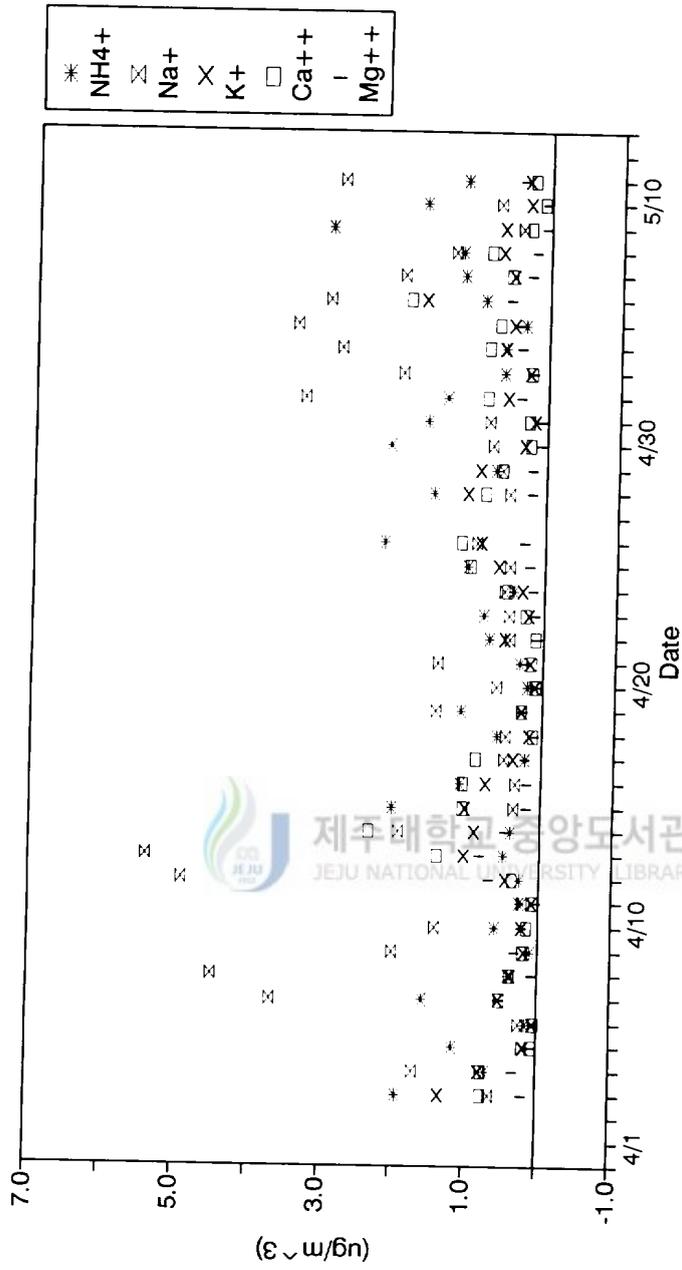


Fig. 3. Water-soluble cation concentrations in 1994.

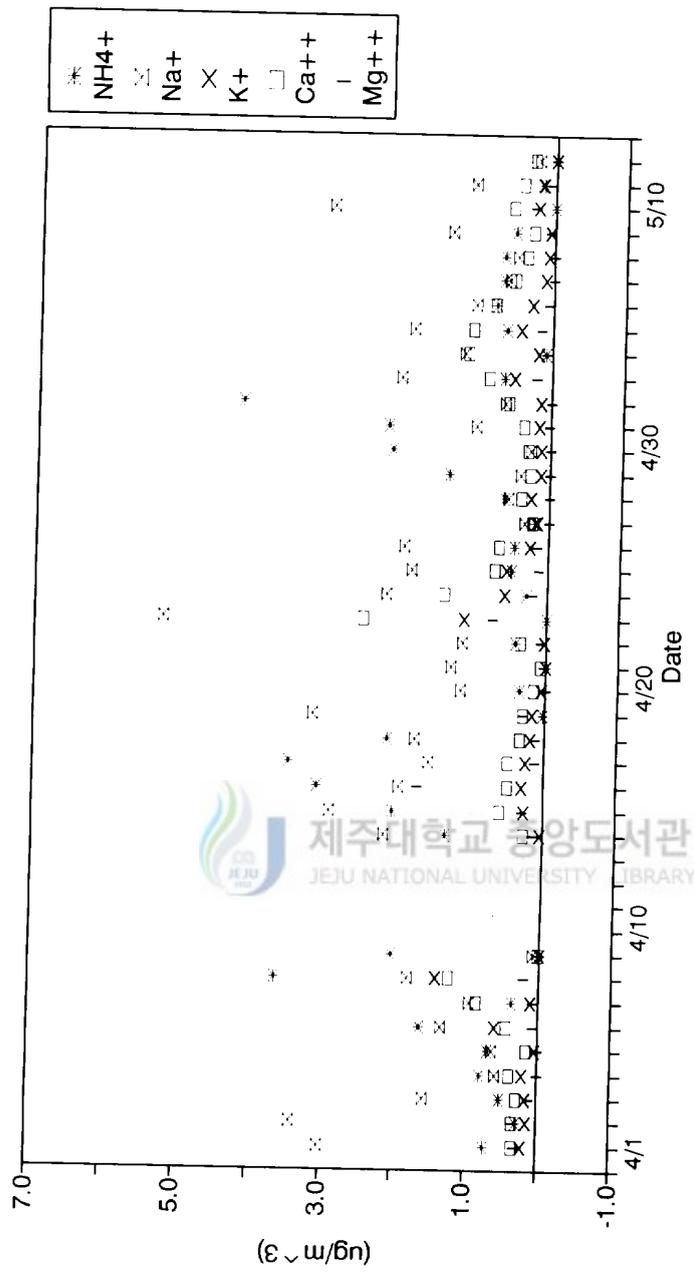
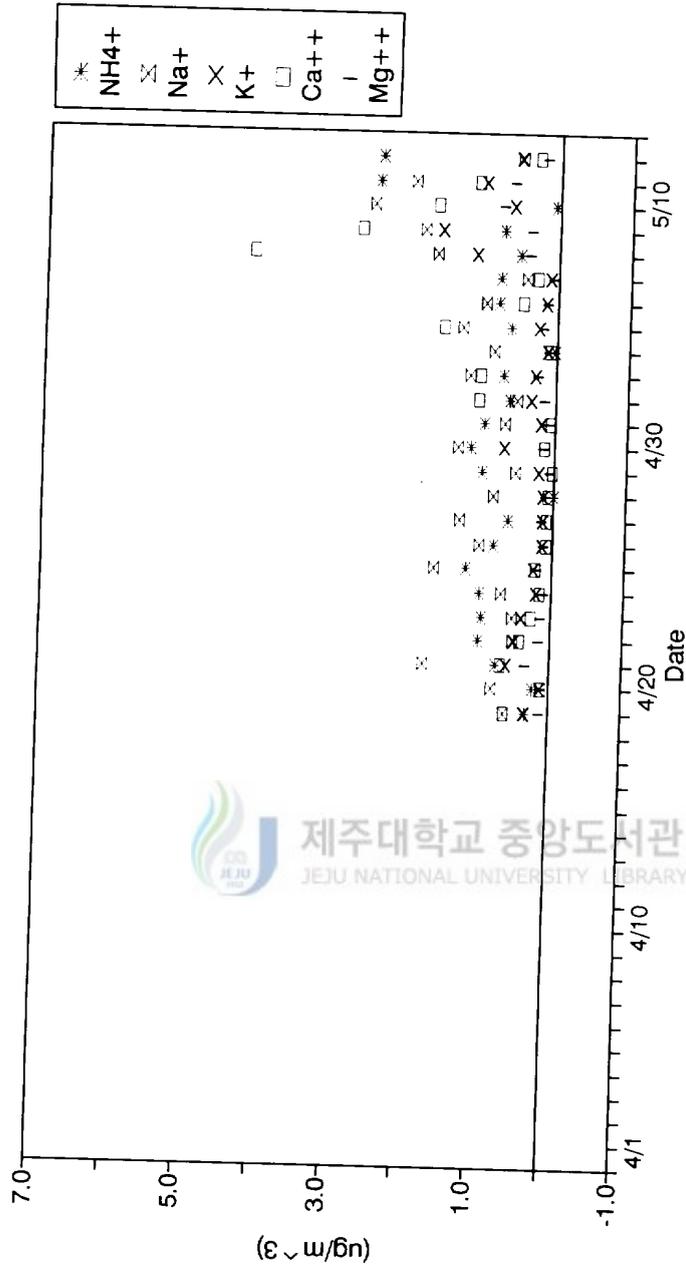


Fig. 4. Water-soluble cation concentrations in 1995.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 5. Water-soluble cation concentrations in 1996.

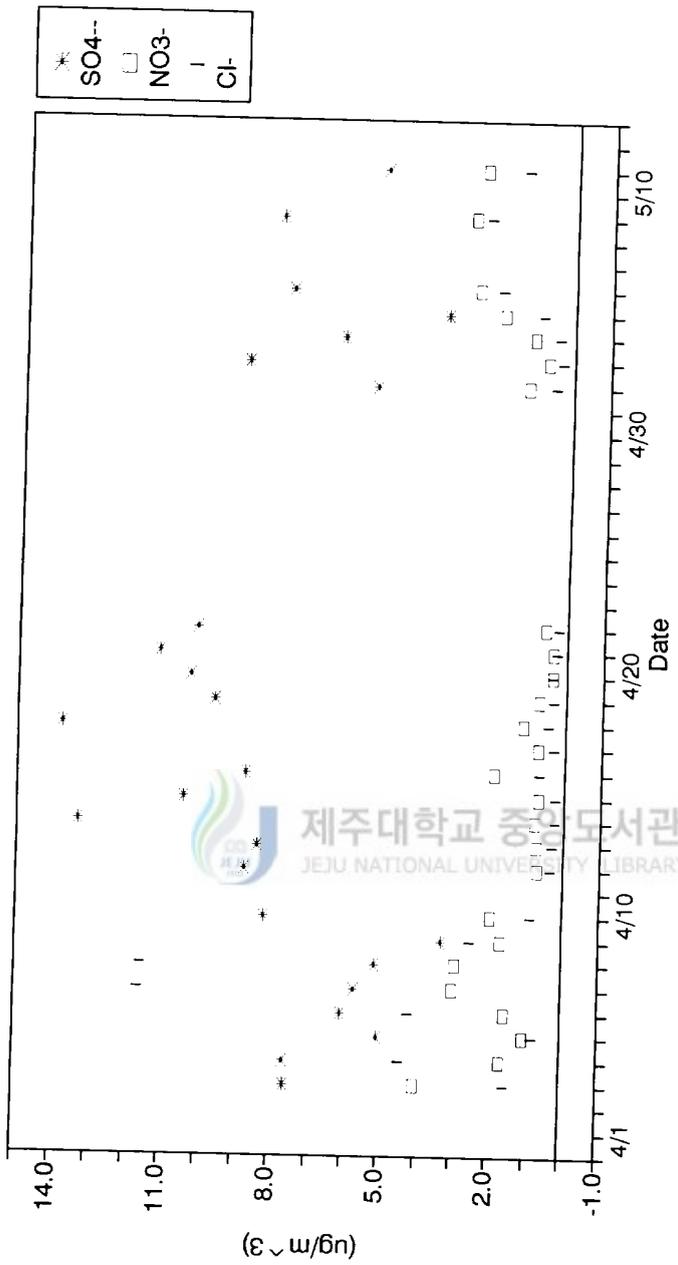


Fig. 6. Water-soluble anion concentrations in 1993.

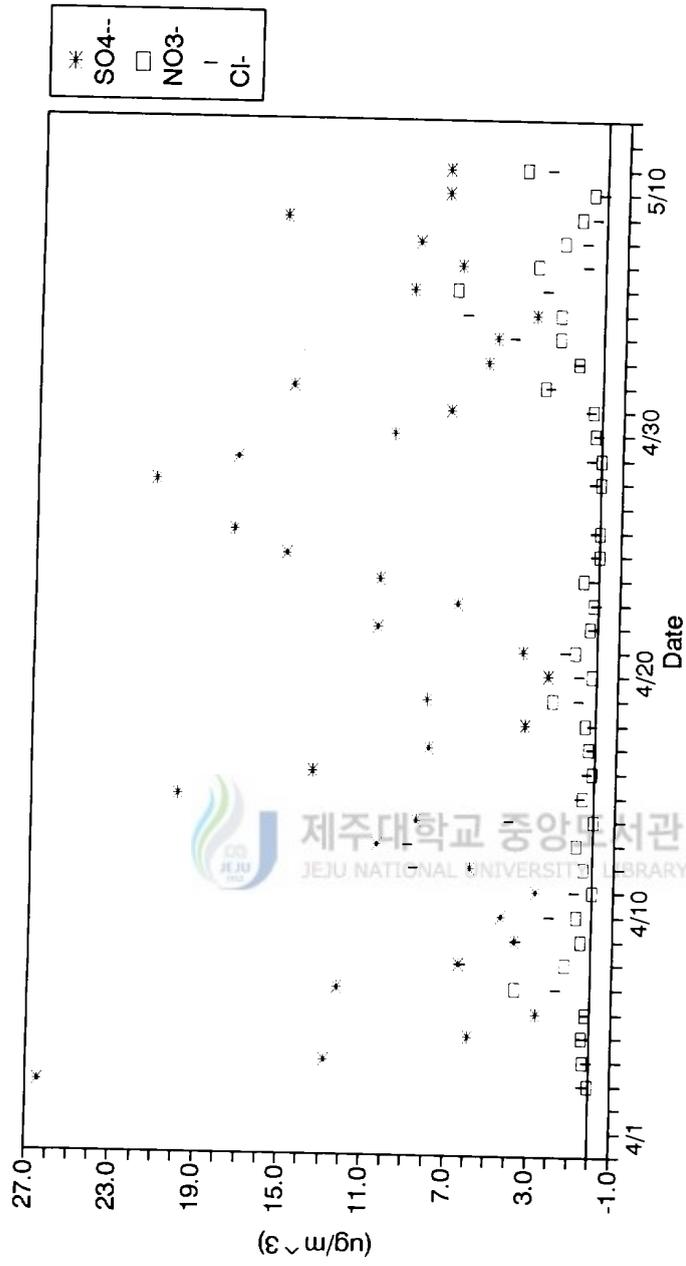


Fig. 7. Water-soluble anion concentrations in 1994.

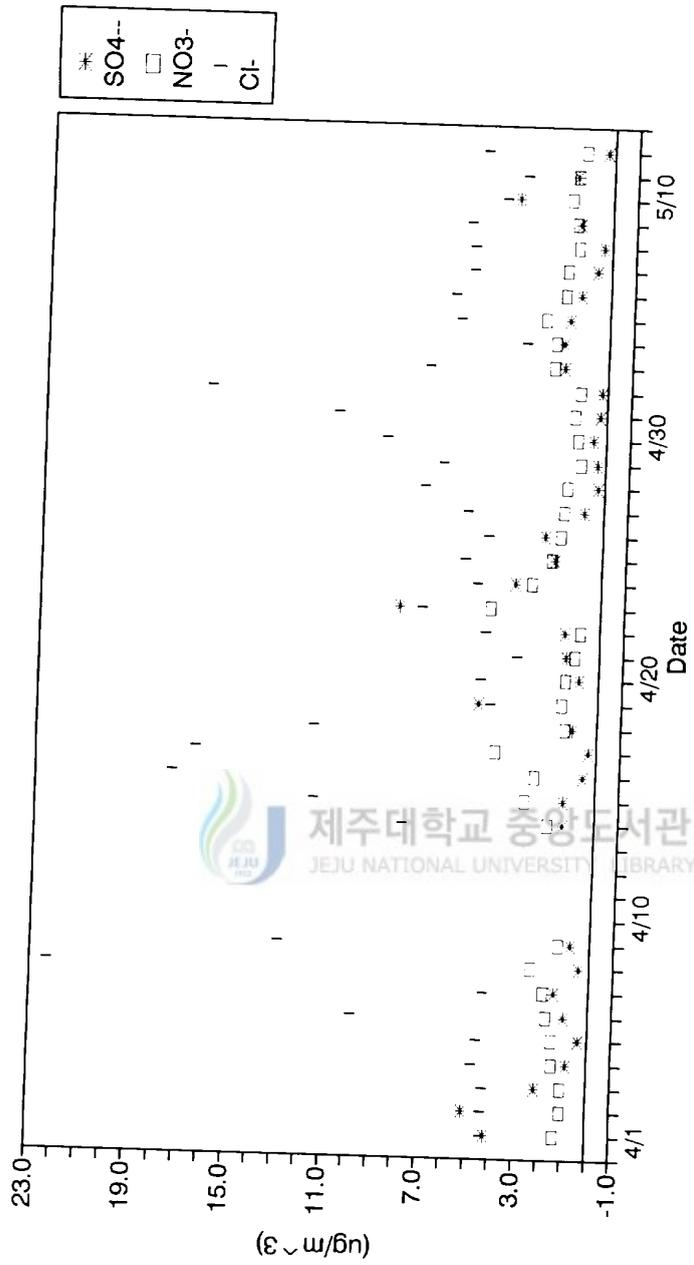


Fig. 8. Water-soluble anion concentrations in 1995.

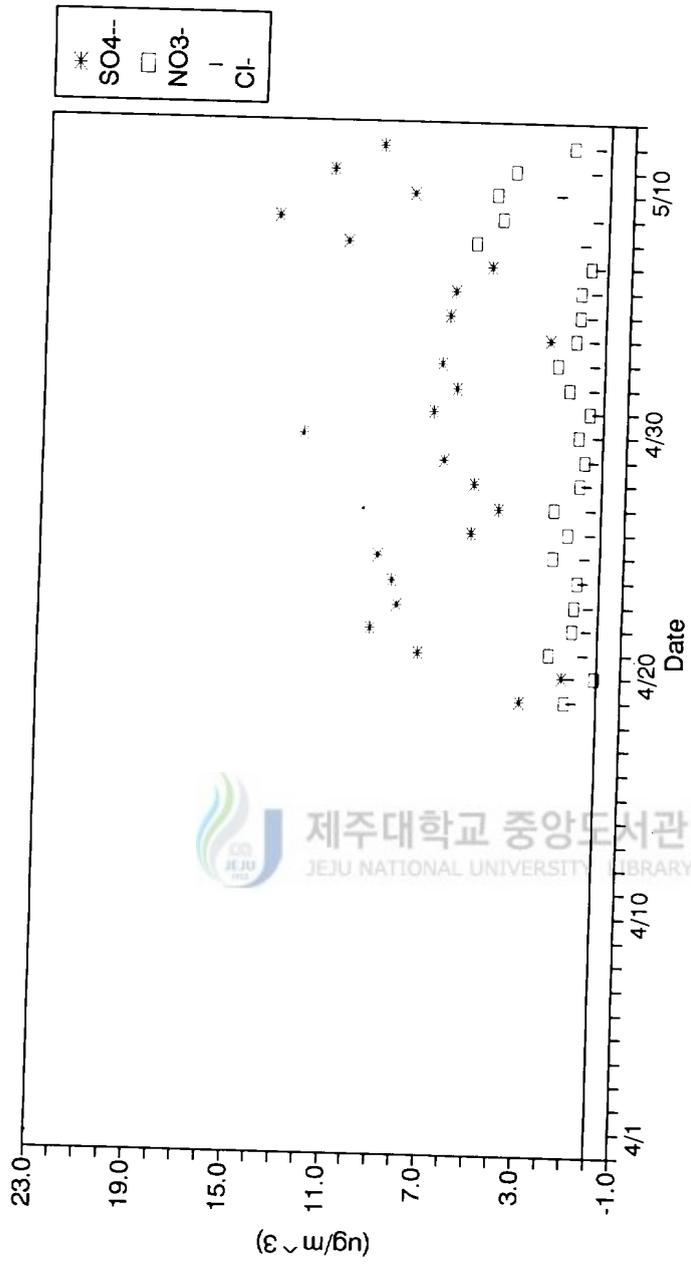


Fig. 9. Water-soluble anion concentrations in 1996.

4. 금속 성분 분석결과

에어로졸의 구성 성분 중에서 Cr, Zn, Cd, Ni, Fe, Al, Cu, Ti, Mn, Pb, V의 11개 금속성분에 대해 농도 분석 결과를 Table 6 ~ Table 9에 수록하였다. 또한 이들 성분들의 농도변화를 그래프로 도시하여 Fig. 10 ~ Fig. 21에 나타내었다. 금속성분중에서 Fe, Al, Ti, Mn, Pb, V 성분이 황사일에 농도가 증가하는 경향을 보이고 있는데, 특히 현저한 농도차를 보인 성분은 Fe, Al, Pb이었다. Al의 경우 본 연구기간 동안 연평균농도가 $0.30 \sim 1.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 비황사일에 비해 황사시에 농도가 6배~11배 정도 증가하였다. Fe의 경우 평균농도가 $0.68 \sim 1.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 범위를 나타내었고 황사시에 3배~6배 정도 농도가 상승하는 경향을 보였다. Al, Fe, Si 등의 산화물들은 토양중에 상당량 함유되어 있으며 이들 성분들은 에어로졸 성분의 토양지표원소로서 이용되기도 한다(Hitoshi Mukai, 1990; D. A. Braaten & T. A. Cahill, 1986). 황사시에 이러한 성분들의 농도가 이처럼 크게 증가하는 것은 황사현상에 의해 토양입자들이 다량으로 대기중으로 유입되어 에어로졸 조성에 크게 영향을 주고 있음을 의미한다.

Pb의 경우 그 발생기원이 인위적인 요인에 의한 것으로 아황산가스, 이산화질소, 오존, 일산화탄소, 비메탄탄화수소(nonmethane hydrocarbon), 부유분진과 함께 7대 대기오염물질로 분류되고 있다. 납은 체내에 축적될 경우 혈중농도가 0.3ppm 이상이 되면 헤모글로빈의 성분인 헴(heme) 합성을 방해하여 헤모글로빈 결핍에 의한 빈혈증을 유발하며 0.8ppm 이상 고농도로 축적될 경우 신장기능 장애, 뇌의 손상 등을 일으킬 수 있기 때문에 엄격한 관리가 필요한 성분이다. 본 연구기간 동안 Pb의 경우 연평균농도가 $0.07 \sim 0.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고 황사시 약 4배 정도 농도가 증가하였다. 4년간의 농도 변화를 보면 1993년에 $0.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1994년에 $0.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1995년에 $0.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높은 농도를 보였다가 1996년의 경우 $0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 비교적 낮은 농도를 나타내었다. 이처럼 4년간의 연별 변화에서는 특별한 경향성을 보이지 않았으나 매년 황사시에 그 농도가 증가하는 경향을 나타내고 있어서 황사시에 각별히 관리가 필요할 것으로 판단된다. 납의 경우 미세입자의 분진에서

많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있으며, 중국의 급격한 산업화로 인해 화석연료의 연소에 의해 발생된 분진들이 상당량 황사입자에 흡착되어 한반도로 장거리 이동되고 있는 것으로 추정되며 석유 소비의 급격한 증가 추세로 보아 앞으로 그 발생량이 더욱 증가할 것으로 예상된다(Hitoshi Mukai, 1990). 이외에도 연평균 $0.06\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 아주 저농도이지만 Mn, Ti, V 성분도 황사일에 농도가 증가하였다. Mn 성분은 황사시에 약 2배 정도 농도가 증가하여 황사에 의한 영향을 받고 있는 것으로 확인되었으나 Pb 처럼 절대량이 아주 큰 차이를 보이지는 않았다. 또 Ti의 경우 약 3배, V의 경우에는 약 5배 정도로 농도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 나머지 Cr, Zn, Cd, Ni, Cu 성분은 특별한 경향성이 없었고 Zn을 제외한 다른 성분들은 농도의 절대량이 아주 낮거나 검출이 되지 않는 경우가 많았다. 본 연구기간 동안 이 성분들의 평균농도는 Zn이 $0.07\sim 0.17\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 상대적으로 높은 농도를 나타냈고 나머지 Cr, Cd, Ni, Cu 성분들은 모두 $0.10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하의 낮은 농도로 함유되어 있음을 확인할 수 있었다.

Table 6. Metal concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1993

Date	Cr	Zn	Cd	Ni	Fe	Al	Cu	Ti	Mn	Pb	V
4-03	0.00	0.48	0.00	0.03	6.50	5.41	0.00	0.12	0.11	3.73	0.03
4-04	0.00	0.13	0.00	0.02	1.81	0.63	0.00	0.04	0.01	1.06	0.03
4-05	0.00	0.00	0.00	0.07	0.69	0.23	0.00	0.01	0.00	0.40	0.02
4-06	0.00	0.11	0.00	0.02	1.82	0.90	0.00	0.12	0.01	1.08	0.03
4-07	0.00	0.17	0.00	0.02	3.54	2.57	0.00	0.18	0.05	2.10	0.03
4-08	0.00	0.02	0.00	0.02	3.17	2.49	0.00	0.15	0.03	1.84	0.03
4-09	0.00	0.29	0.00	0.02	1.26	0.58	0.00	0.03	0.00	0.74	0.02
4-10	0.00	0.11	0.00	0.02	0.74	0.13	0.00	0.01	0.00	0.43	0.02
4-12	0.00	0.08	0.00	0.02	0.74	0.11	0.00	0.02	0.00	0.35	0.02
4-13	0.00	0.23	0.00	0.02	1.47	0.45	0.00	0.03	0.00	0.78	0.02
4-14	0.00	0.41	0.00	0.02	1.43	0.63	0.00	0.03	0.01	0.72	0.02
4-15	0.00	0.22	0.00	0.02	0.96	0.11	0.00	0.01	0.00	0.53	0.02
4-16	0.00	0.63	0.00	0.04	1.61	0.06	0.11	0.00	0.00	0.88	0.03
4-17	0.00	0.04	0.00	0.02	0.45	0.03	0.00	0.01	0.00	0.25	0.02
4-18	0.00	0.45	0.00	0.01	1.27	0.13	0.00	0.01	0.00	0.70	0.02
4-19	0.00	0.00	0.00	0.02	0.39	0.06	0.00	0.01	0.00	0.22	0.02
4-20	0.00	0.42	0.00	0.02	0.85	0.08	0.00	0.01	0.00	0.48	0.02
4-21	0.00	0.14	0.00	0.02	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.02
4-22	0.00	0.12	0.00	0.01	0.56	0.03	0.00	0.01	0.00	0.30	0.01
5-02	0.00	0.11	0.00	0.02	0.65	0.08	0.00	0.00	0.00	0.33	0.02
5-03	0.00	0.09	0.00	0.02	1.15	0.65	0.00	0.02	0.01	0.64	0.02
5-04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.52	0.15	0.00	0.01	0.00	0.29	0.02
5-05	0.00	0.00	0.00	0.05	0.29	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	0.02
5-05	0.00	0.03	0.00	0.01	2.41	2.23	0.00	0.06	0.05	1.35	0.01
5-09	0.00	0.07	0.00	0.01	2.27	2.09	0.00	0.05	0.05	1.30	0.01
5-11	0.00	0.04	0.00	0.02	2.55	1.81	0.00	0.04	0.02	1.28	0.02
Avg.	0.00	0.17	0.00	0.02	1.52	0.83	0.00	0.04	0.01	0.85	0.02
S.D.	0.00	0.17	0.00	0.01	1.34	1.26	0.02	0.05	0.02	0.78	0.00

Table 7. Metal concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1994

Date	Cr	Zn	Cd	Ni	Fe	Al	Cu	Ti	Mn	Pb	V
4-03	0.00	2.60	0.00	0.03	0.97	0.19	0.02	0.02	0.05	0.87	0.03
4-04	0.00	0.03	0.00	0.02	0.67	0.19	0.00	0.02	0.01	0.57	0.03
4-05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.22	0.00	0.00	0.01	0.00	0.21	0.02
4-06	0.00	0.06	0.00	0.01	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02
4-07	0.00	0.07	0.00	0.01	0.37	0.03	0.00	0.00	0.00	0.34	0.02
4-08	0.00	0.00	0.00	0.01	0.30	0.00	0.00	0.01	0.00	0.27	0.02
4-09	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.04
4-10	0.00	0.24	0.00	0.02	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.02
4-11	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02
4-12	0.00	0.00	0.00	0.01	0.25	0.06	0.00	0.02	0.00	0.19	0.02
4-13	0.00	0.00	0.00	0.01	1.48	1.05	0.00	0.05	0.02	1.31	0.02
4-14	0.00	0.10	0.00	0.01	4.07	3.48	0.00	0.09	0.09	3.27	0.03
4-15	0.00	0.19	0.00	0.01	1.66	0.84	0.01	0.03	0.04	1.26	0.02
4-16	0.00	0.12	0.00	0.02	1.53	0.95	0.00	0.04	0.04	1.25	0.03
4-17	0.00	0.03	0.00	0.01	1.09	0.53	0.00	0.03	0.01	0.80	0.02
4-18	0.00	0.04	0.00	0.02	0.39	0.03	0.00	0.00	0.00	0.27	0.02
4-19	0.00	0.00	0.00	0.01	0.28	0.03	0.00	0.00	0.00	0.22	0.02
4-20	0.00	0.22	0.00	0.03	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02
4-21	0.00	0.02	0.00	0.02	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02
4-22	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
4-23	0.00	0.00	0.00	0.01	0.38	0.09	0.00	0.01	0.00	0.28	0.02
4-24	0.00	0.00	0.00	0.03	0.70	0.28	0.00	0.02	0.00	0.54	0.03
4-25	0.01	0.00	0.00	0.01	1.37	0.79	0.00	0.03	0.01	1.02	0.03
4-26	0.00	0.10	0.00	0.02	1.22	0.54	0.00	0.03	0.01	0.97	0.03
4-27	0.00	0.00	0.00	0.01	0.80	0.48	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01
4-28	0.00	0.08	0.00	0.03	0.82	0.22	0.00	0.01	0.00	0.64	0.03
4-29	0.00	0.00	0.00	0.03	0.52	0.02	0.00	0.00	0.00	0.42	0.04
4-30	0.01	0.57	0.00	0.04	0.35	0.02	0.00	0.00	0.00	0.27	0.02
5-01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.24	0.01	0.00	0.00	0.00	0.19	0.02
5-02	0.00	0.00	0.01	0.05	0.92	0.02	0.00	0.03	0.00	0.72	0.09
5-03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.02
5-04	0.00	0.00	0.00	0.01	0.70	0.26	0.00	0.05	0.00	0.55	0.02
5-05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.66	0.21	0.00	0.05	0.00	0.47	0.02
5-06	0.00	0.18	0.00	0.01	1.29	0.60	0.00	0.02	0.04	0.85	0.02
5-07	0.05	0.01	0.00	0.01	0.64	0.18	0.00	0.02	0.03	0.58	0.00
5-08	0.06	0.09	0.00	0.00	1.08	0.48	0.00	0.04	0.04	0.95	0.01
5-09	0.05	0.06	0.00	0.00	0.44	0.03	0.00	0.01	0.03	0.40	0.00
5-10	0.06	0.41	0.00	0.01	0.19	0.00	0.00	0.01	0.01	0.19	0.00
5-11	0.13	0.00	0.00	0.03	0.43	0.00	0.00	0.01	0.01	0.39	0.00
Avg.	0.01	0.13	0.00	0.02	0.68	0.30	0.00	0.02	0.01	0.54	0.02
S.D.	0.03	0.42	0.00	0.01	0.73	0.60	0.00	0.02	0.02	0.58	0.01

Table 8. Metal concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1995.

Date	Cr	Zn	Cd	Ni	Fe	Al	Cu	Ti	Mn	Pb	V
4-01	0.00	0.08	0.00	0.00	0.36	0.02	0.02	0.01	0.00	0.33	0.00
4-02	0.00	0.14	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.05	0.00	0.40	0.00
4-03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00	0.02	0.00	0.43	0.00
4-04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.02	0.00	0.35	0.00
4-05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.12	0.00
4-06	0.00	0.16	0.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.03	0.01	0.56	0.00
4-07	0.00	0.09	0.00	0.00	2.10	1.31	0.00	0.07	0.02	1.96	0.00
4-08	0.00	0.23	0.00	0.00	1.92	0.90	0.00	0.06	0.05	1.78	0.01
4-09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.52	0.00	0.03	0.00	1.27	0.01
4-14	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.00
4-15	0.00	0.02	0.00	0.00	0.52	0.00	0.02	0.02	0.02	0.43	0.01
4-16	0.00	0.16	0.00	0.00	1.17	0.80	0.00	0.02	0.03	0.94	0.01
4-17	0.00	0.10	0.00	0.00	0.81	0.37	0.00	0.03	0.03	0.64	0.01
4-18	0.00	0.05	0.00	0.00	0.63	0.00	0.00	0.02	0.02	0.50	0.01
4-19	0.00	0.05	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.04	0.02	0.41	0.00
4-20	0.00	0.16	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.01	0.01	0.14	0.00
4-21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4-22	0.00	0.02	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.01	0.01	0.38	0.00
4-23	0.00	0.10	0.00	0.00	4.13	3.16	0.00	0.09	0.11	3.30	0.01
4-24	0.00	0.03	0.00	0.00	2.63	1.93	0.00	0.07	0.09	2.82	0.01
4-25	0.00	0.18	0.00	0.00	1.55	0.71	0.00	0.05	0.06	1.48	0.01
4-26	0.09	0.09	0.01	0.02	1.40	0.72	0.00	0.04	0.04	1.14	0.01
4-27	0.03	0.18	0.01	0.11	1.07	0.76	0.01	0.04	0.04	0.89	0.01
4-28	0.01	0.25	0.01	0.00	1.02	0.38	0.00	0.04	0.03	0.90	0.01
4-29	0.03	0.17	0.01	0.02	1.20	0.65	0.01	0.04	0.04	1.07	0.01
4-30	0.00	0.96	0.00	0.02	0.37	0.00	0.06	1.14	1.23	0.03	0.05
5-01	0.03	0.22	0.01	0.01	1.16	0.79	0.04	0.05	0.04	1.11	0.01
5-02	0.04	0.26	0.01	0.01	1.27	0.95	0.03	0.05	0.05	1.18	0.01
5-03	0.03	0.18	0.01	0.02	1.08	1.00	0.05	0.05	0.04	1.00	0.01
5-04	0.02	0.11	0.00	0.01	1.24	0.97	0.00	0.05	0.04	0.85	0.01
5-05	0.03	0.06	0.00	0.00	1.18	1.00	0.02	0.03	0.04	1.28	0.01
5-06	0.02	0.14	0.00	0.00	0.81	0.36	0.02	0.02	0.02	0.54	0.00
5-07	0.01	0.04	0.00	0.00	0.66	0.22	0.00	0.02	0.02	0.57	0.00
5-08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.52	0.20	0.02	0.03	0.03	0.68	0.01
5-09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	0.02	0.02	0.51	0.00
5-10	0.01	0.00	0.00	0.03	0.90	0.68	0.00	0.03	0.03	0.78	0.00
5-11	0.00	0.09	0.00	0.00	0.96	0.32	0.00	0.03	0.03	0.83	0.00
5-12	0.08	0.25	0.00	0.00	0.94	0.70	0.47	0.02	0.04	0.88	0.00
Avg.	0.01	0.13	0.00	0.01	0.96	1.67	0.02	0.06	0.06	0.86	0.01
S.D.	0.02	0.16	0.00	0.02	0.77	4.58	0.08	0.18	0.20	0.70	0.01

Table 9. Metal concentrations($\mu\text{g}/\text{m}^3$) of aerosols in 1996.

Date	Cr	Zn	Cd	Ni	Fe	Al	Cu	Ti	Mn	Pb	V
4-01	0.01	0.25	0.00	0.05	1.40	1.06	0.00	0.11	0.00	0.03	0.00
4-02	0.00	0.11	0.00	0.06	1.10	0.95	0.02	0.09	0.00	0.01	0.00
4-03	0.00	0.07	0.00	0.10	1.35	1.32	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00
4-04	0.01	0.19	0.00	0.06	1.15	0.75	0.00	0.04	0.00	0.10	0.00
4-05	0.00	0.19	0.00	0.04	1.65	1.02	0.00	0.05	0.04	0.22	0.01
4-06	0.01	0.18	0.00	0.02	0.34	0.25	0.00	0.02	0.08	0.00	0.00
4-07	0.00	0.23	0.00	0.13	2.06	1.53	0.00	0.05	0.03	0.18	0.00
4-08	0.00	0.09	0.00	0.06	0.96	0.52	0.03	0.03	0.00	0.00	0.01
4-09	0.00	0.08	0.00	0.05	0.66	0.94	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00
4-10	0.00	0.05	0.00	0.04	0.74	0.69	0.00	0.03	0.00	0.11	0.00
4-11	0.00	0.04	0.01	0.06	0.83	0.94	0.00	0.04	0.00	0.09	0.00
4-12	0.00	0.07	0.00	0.10	0.94	0.68	0.00	0.03	0.02	0.17	0.00
4-13	0.00	0.05	0.00	0.03	0.53	0.35	0.00	0.02	0.01	0.14	0.00
4-14	0.00	0.03	0.00	0.04	0.44	0.32	0.00	0.02	0.00	0.08	0.00
4-15	0.00	0.03	0.00	0.04	0.52	0.38	0.00	0.02	0.00	0.09	0.00
4-16	0.01	0.04	0.00	0.03	0.31	0.18	0.00	0.01	0.00	0.11	0.00
4-17	0.01	0.13	0.00	0.07	1.03	0.93	0.00	0.03	0.00	0.16	0.01
4-18	0.00	0.03	0.00	0.08	1.05	0.93	0.00	0.03	0.01	0.06	0.00
4-19	0.00	0.04	0.00	0.22	2.90	2.86	0.00	0.10	0.04	0.11	0.01
4-20	0.00	0.09	0.00	0.02	0.22	0.26	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
4-21	0.00	0.03	0.01	0.06	1.43	1.06	0.00	0.04	0.02	0.13	0.00
4-22	0.00	0.03	0.01	0.06	0.98	0.81	0.00	0.03	0.00	0.17	0.00
4-23	0.00	0.01	0.00	0.03	0.73	0.70	0.00	0.03	0.00	0.09	0.00
4-24	0.00	0.01	0.01	0.01	0.40	0.34	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00
4-25	0.00	0.04	0.01	0.05	0.44	0.34	0.31	0.02	0.00	0.00	0.00
4-26	0.00	0.03	0.00	0.03	0.68	0.22	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01
4-27	0.00	0.00	0.00	0.04	0.45	0.13	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01
4-28	0.00	0.02	0.00	0.04	0.16	0.63	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00
4-29	0.00	0.07	0.00	0.02	0.07	0.15	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
4-30	0.03	0.05	0.00	0.35	0.10	0.18	0.03	0.01	0.00	0.08	0.00
5-01	0.25	0.00	0.00	0.05	1.14	0.17	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00
5-02	0.25	0.03	0.01	0.28	3.57	2.56	0.15	0.07	0.00	0.05	0.01
5-03	0.00	0.01	0.00	0.14	2.12	2.07	0.00	0.07	0.01	0.00	0.01
5-04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.47	0.40	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
5-05	0.00	0.00	0.00	0.36	5.19	5.75	0.00	0.16	0.09	0.05	0.02
5-06	0.00	0.00	0.00	0.10	1.17	1.34	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01
5-07	0.00	0.01	0.00	0.04	0.57	0.54	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
5-08	0.00	0.10	0.00	0.31	9.20	7.73	0.01	0.19	0.21	0.16	0.02
5-09	0.00	0.19	0.00	0.22	4.50	3.70	0.02	0.11	0.12	0.24	0.01
5-10	0.00	0.10	0.00	0.26	3.84	3.52	0.00	0.10	0.06	0.05	0.01
5-11	0.00	0.11	0.01	0.19	2.57	2.11	0.00	0.07	0.03	0.16	0.01
5-12	0.00	0.05	0.01	0.12	0.74	0.74	0.00	0.03	0.00	0.12	0.00
Avg.	0.01	0.07	0.00	0.10	1.45	1.24	0.02	0.05	0.02	0.07	0.00
S.D.	0.05	0.07	0.00	0.10	1.71	1.54	0.05	0.04	0.04	0.07	0.01

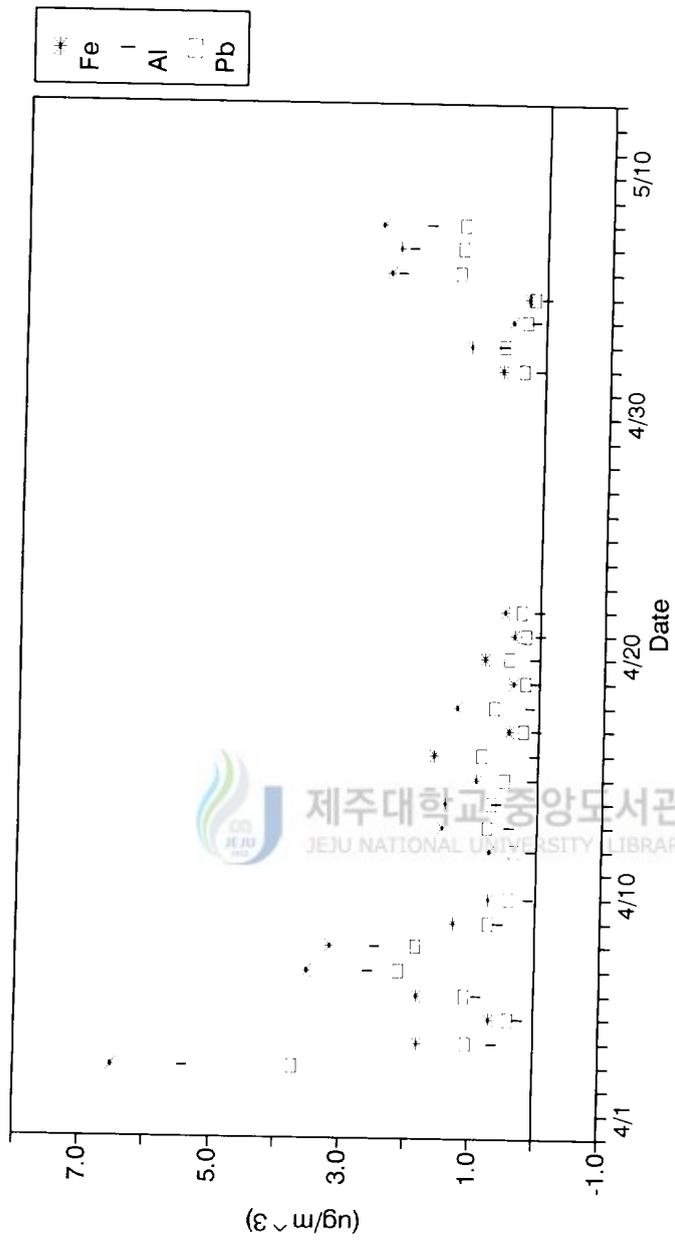


Fig. 10. Metal (Fe, Al, Pb) concentrations in 1993.

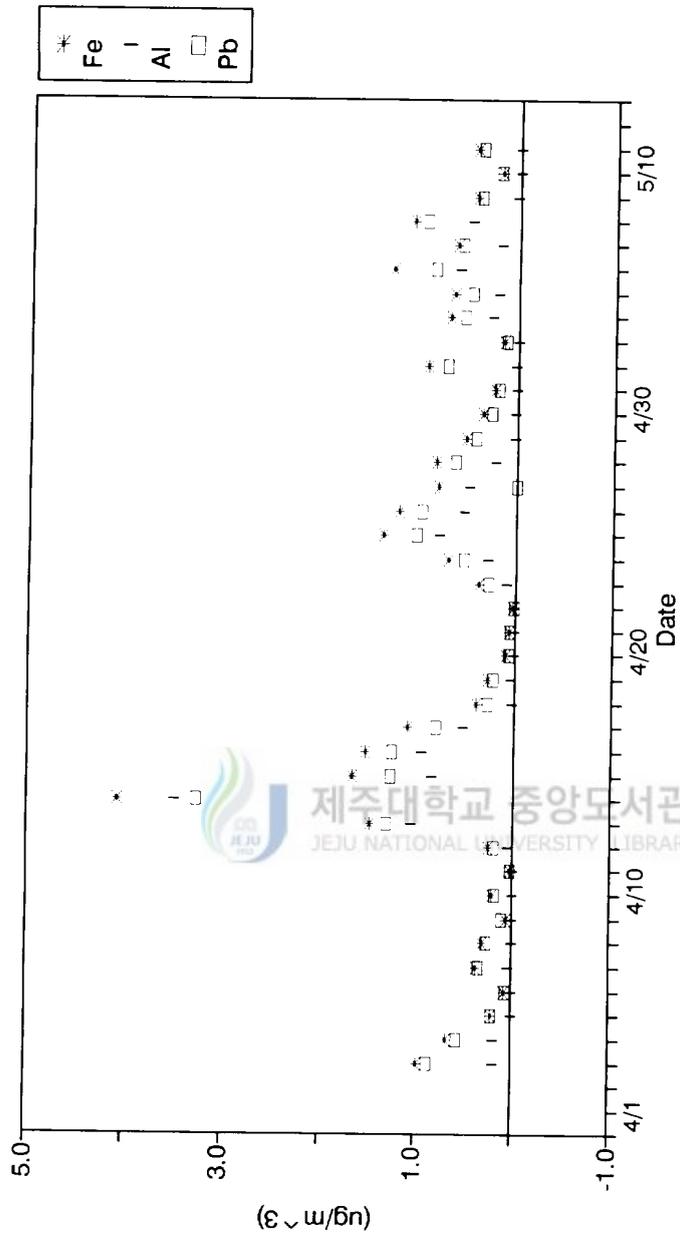


Fig. 11. Metal (Fe, Al, Pb) concentrations in 1994.

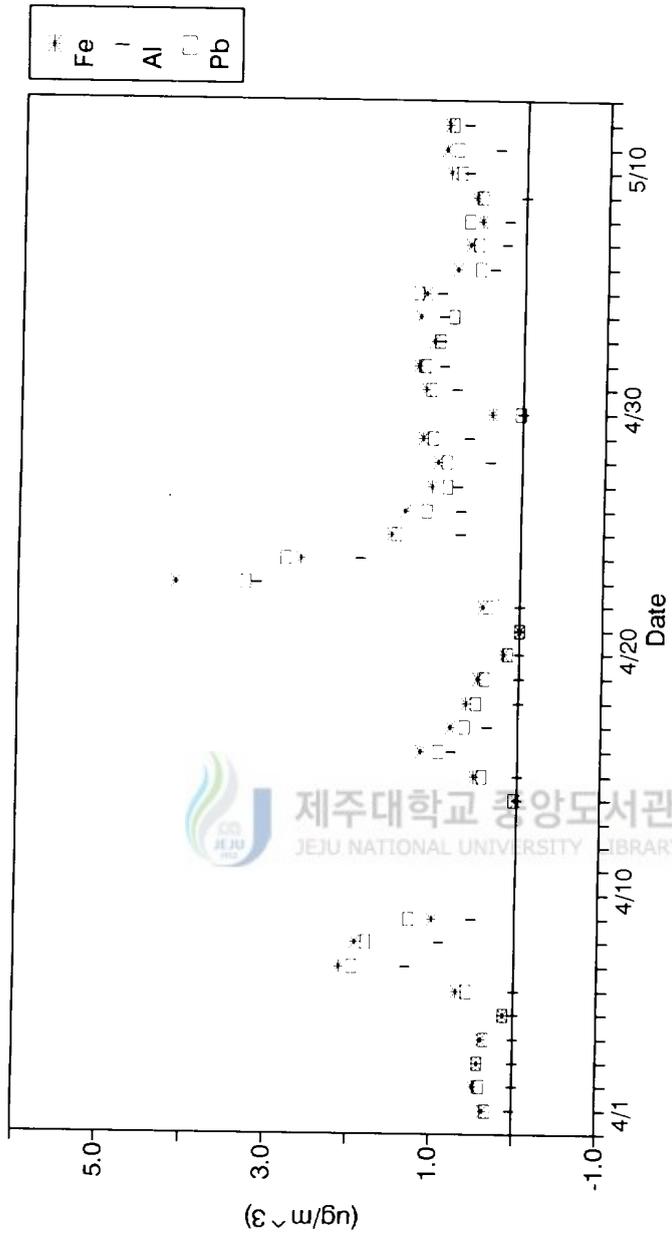


Fig. 12. Metal (Fe, Al, Pb) concentrations in 1995.

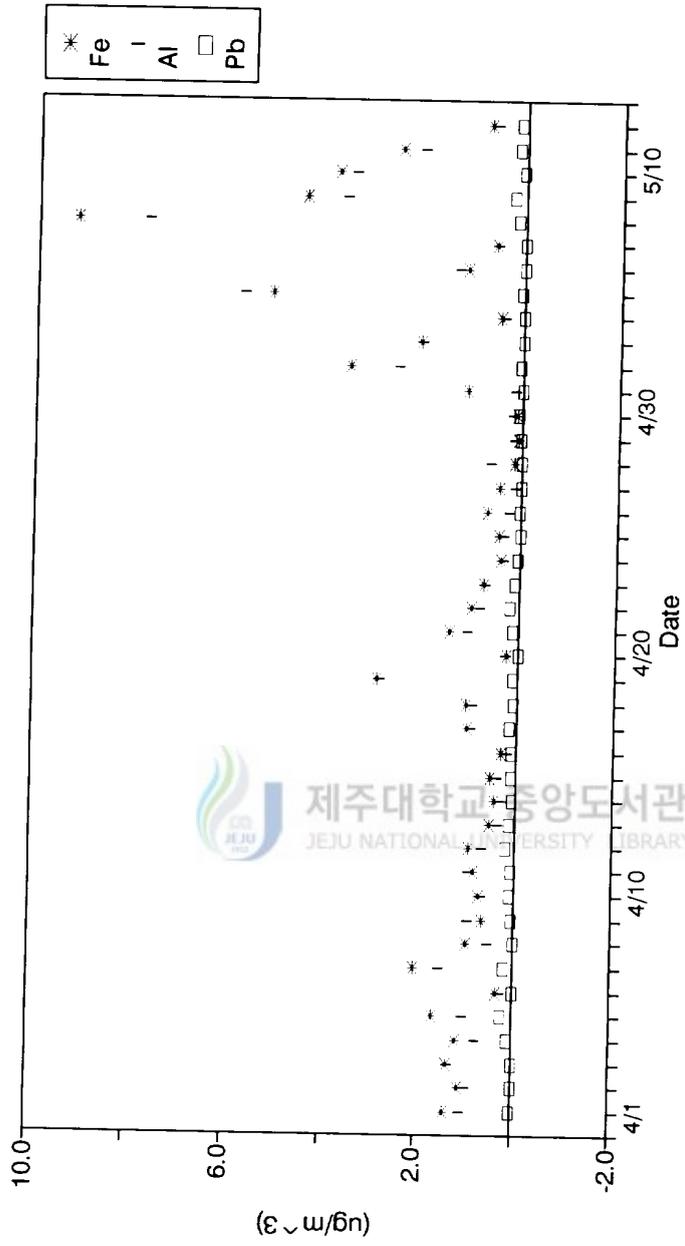


Fig. 13. Metal (Fe, Al, Pb) concentrations in 1996.

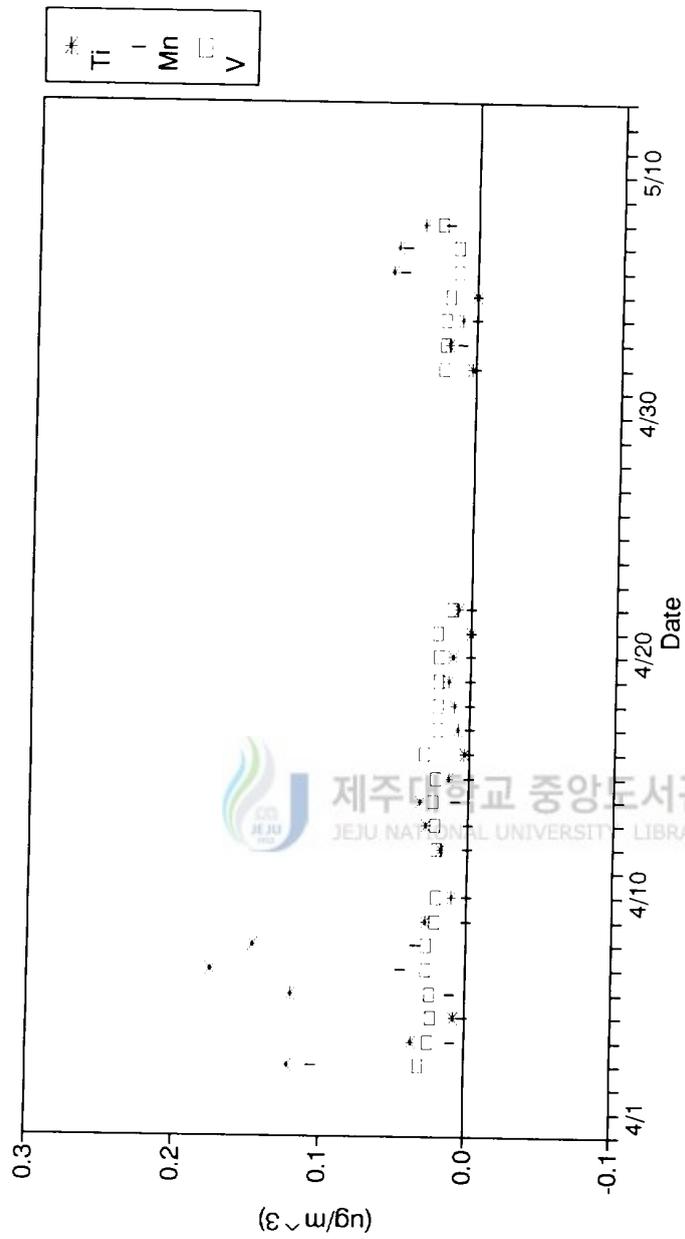


Fig. 14. Metal (Ti, Mn, V) concentrations in 1993.

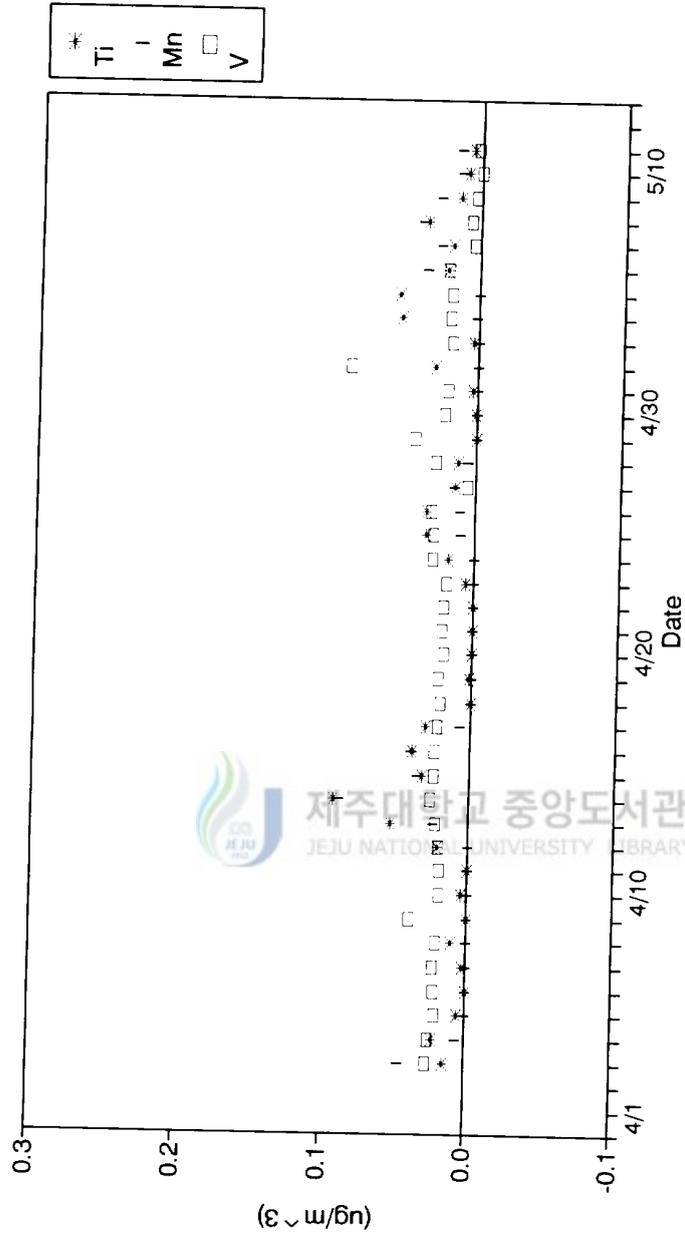


Fig. 15. Metal (Ti, Mn, V) concentrations in 1994.

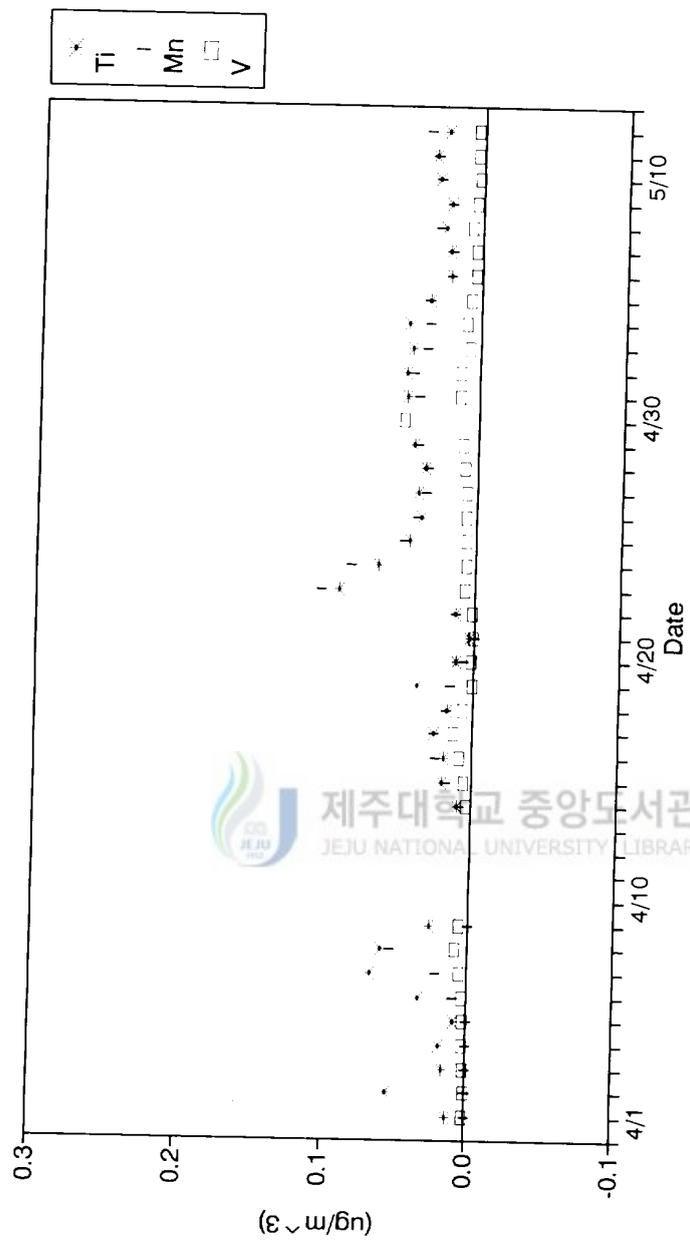


Fig. 16. Metal (Ti, Mn, V) concentrations in 1995.

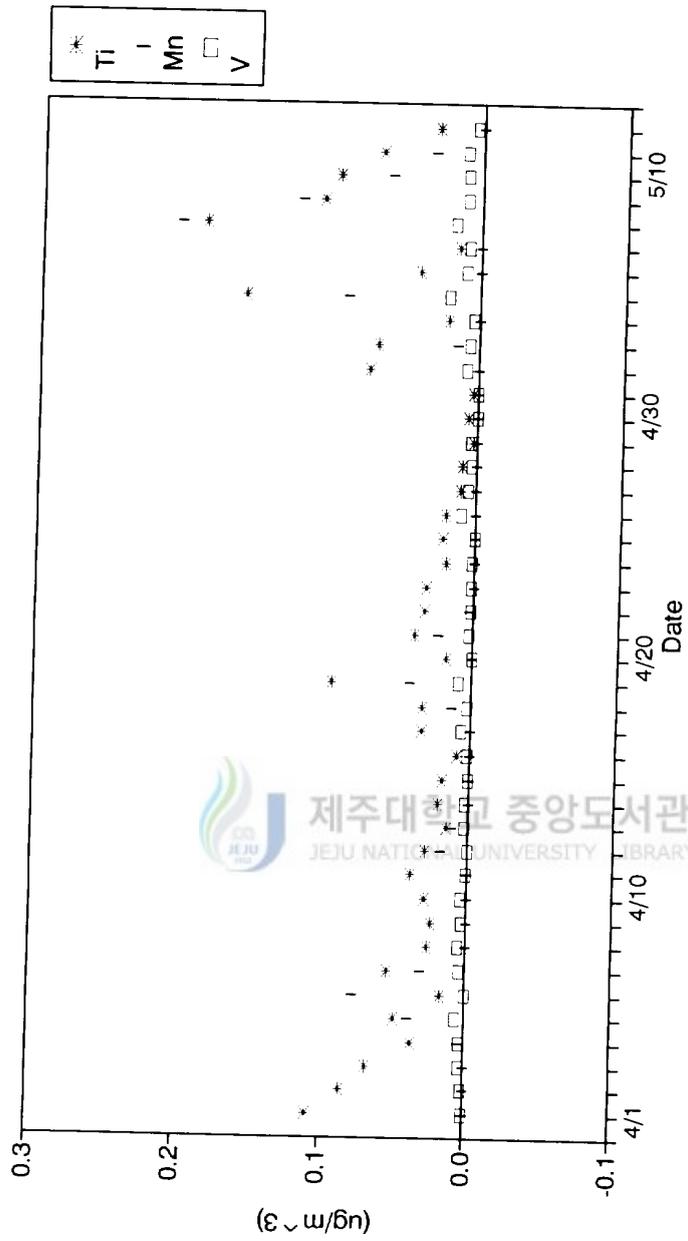


Fig. 17. Metal (Ti, Mn, V) concentrations in 1996.

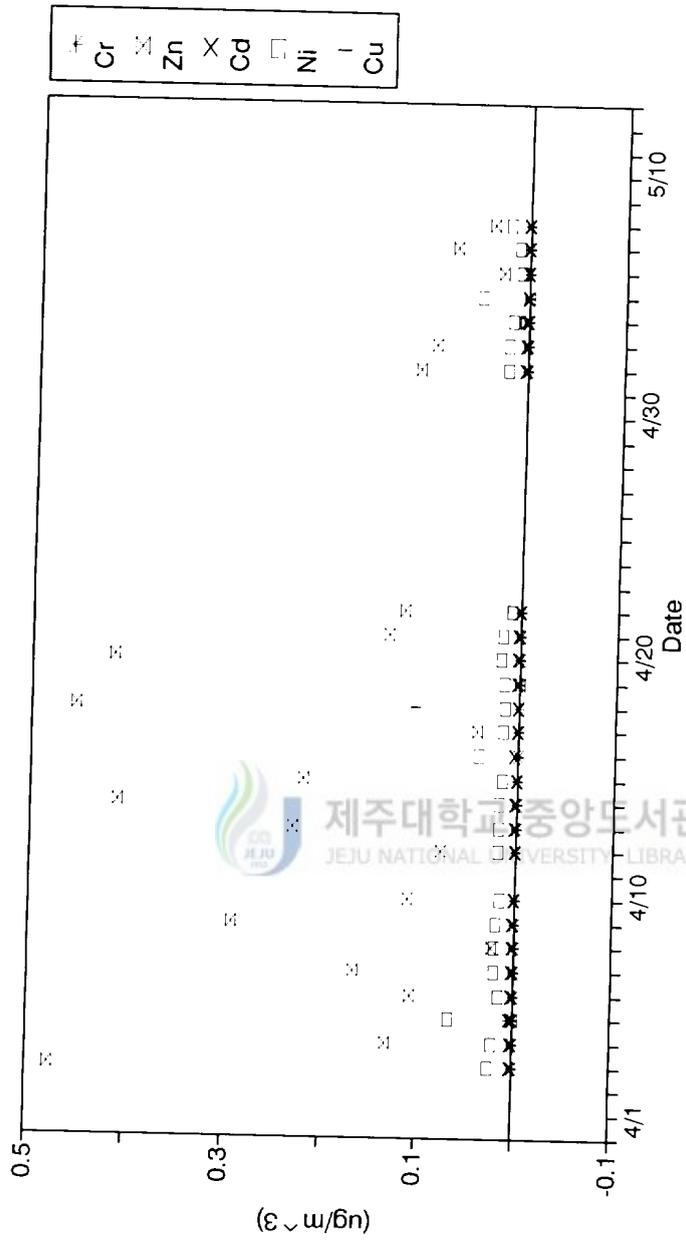


Fig. 18. Metal (Cr, Zn, Cd, Ni, Cu) concentrations in 1993.

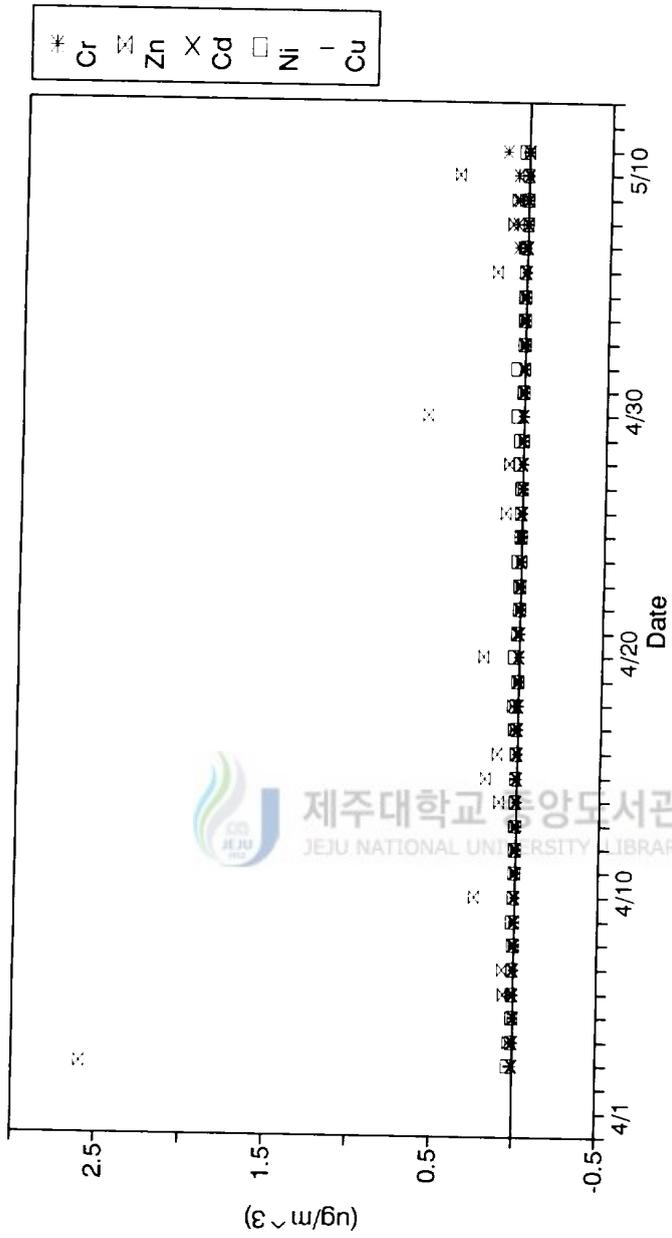


Fig. 19. Metal (Cr, Zn, Cd, Ni, Cu) concentrations in 1994.

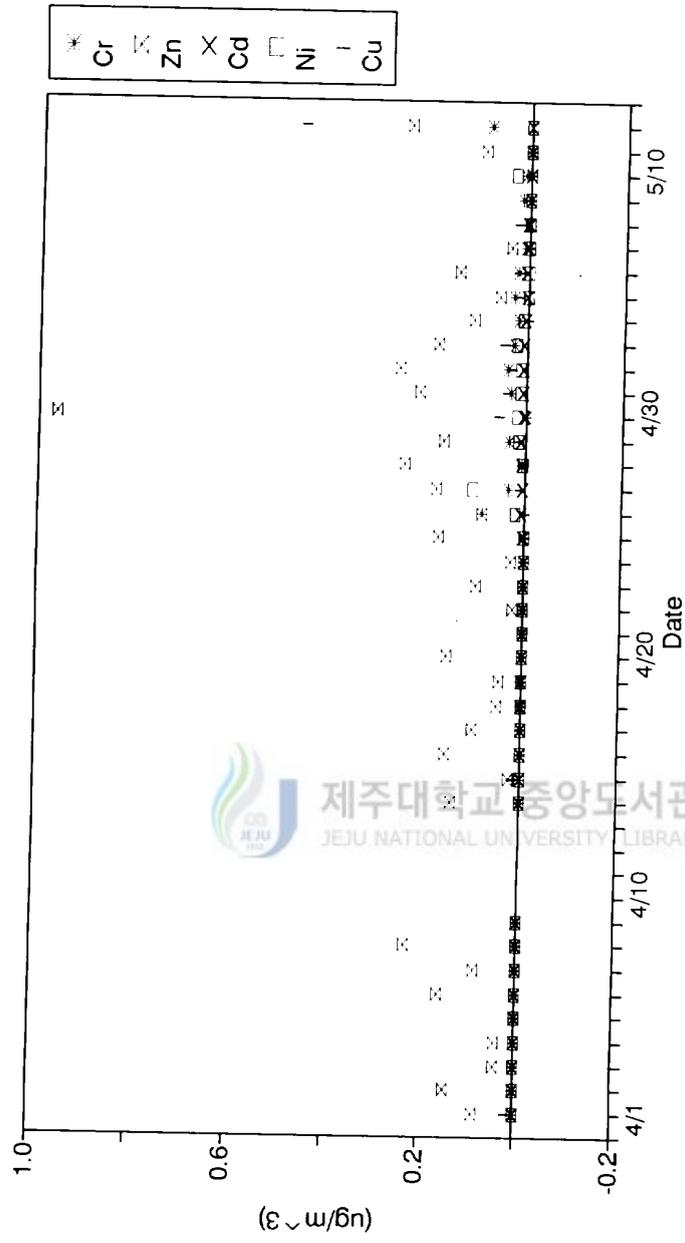


Fig. 20. Metal (Cr, Zn, Cd, Ni, Cu) concentrations in 1995.

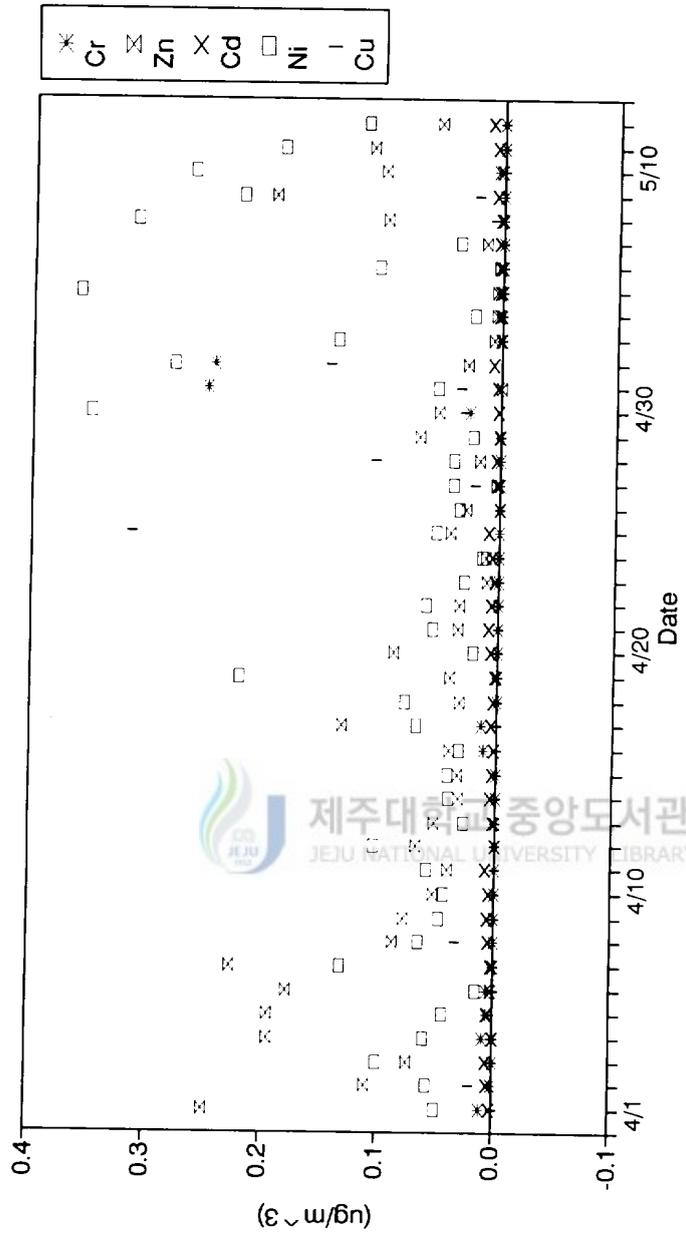


Fig. 21. Metal (Cr, Zn, Cd, Ni, Cu) concentrations in 1996.

5. 성분들간의 상관관계 비교

에어로졸 성분들 즉 수용성 이온 성분 및 금속 성분들의 발생기원을 확인하고 에어로졸 특성을 조사하기 위하여 각 성분들 상호간의 상관성을 비교하였다(김양균, 1989-1990). 각 성분들에 대해 상관계수를 구하고 그 결과를 Table 10~Table 13에 수록하였다.

수용성 이온들의 상관성을 확인해 본 결과 Na^+ 과 Cl^- 의 상관계수가 1993년부터 1996년까지 각각 0.883, 0.791, 0.758, 0.663으로 비교적 양호한 상관관계를 나타내었다. 이는 해수중의 NaCl 이 상당량 대기 부유분진으로 유입되고 있으며 해수의 영향을 많이 받고 있음을 입증하는 결과이다. 에어로졸 성분 중 주요 오염물질인 SO_4^{2-} 의 경우 다른 성분들에 비해 농도가 가장 높게 나타났고 이러한 상승 요인을 상관계수와 농축계수를 구하여 검토하였다. SO_4^{2-} 이온과 양이온들 즉 NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 과의 농도변화에 따른 상관관계를 조사한 결과 이 중 NH_4^+ 과 가장 큰 상관성을 보였으며 SO_4^{2-} 의 상당량이 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 상태로 존재하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 SO_4^{2-} 의 발생기원을 알아보기 위하여 농축계수(enrichment factor, E.F.)를 계산해 보았다. 토양기원을 측정하기 위해서는 Al, Fe, Si를 기준원소로 이용하여 농축계수를 구하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 해양 성분의 영향을 많이 받고 있는 것으로 예상되어 해양입자의 유입 여부를 확인하기 위해 Na^+ 을 기준으로 다음의 식에 의해 농축계수를 계산하였다(이호근, 1995).

$$E.F. = (C_{\text{SO}_4^{2-}} / C_{\text{Na}^+})_{\text{Aerosol}} / (C_{\text{SO}_4^{2-}} / C_{\text{Na}^+})_{\text{Sea water}}$$

이와 같이 계산한 결과에서 SO_4^{2-} 의 E.F. 값은 연구기간 동안 약 13~23의 높은 값을 나타냈고 SO_4^{2-} 의 경우 해양기원외에도 다른 요인에 의해 상당량 대기 중으로 유입되고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 해양기원 이외의 유입 원인으로는 토양입자에 의한 자연발생적인 기원과 인위적 오염원에 의한 기원 두 가지 가능성이 있으며 앞에서 논의된 바와 같이 해수면에서 DMS 산화에 의해 2차 입자가 다량으로 유입되었을 가능성도 배제할 수 없다. 이에 대한 원인은 더 많은 연구와 충분한 검토가 이루어져야 할 것으로 보인다.

분석 성분들 중 가장 양호한 상관관계를 보인 성분들은 Ca^{2+} , Al, Fe로 우선 Al과 Fe 간의 상관계수를 보면 1993년부터 1996까지 매해 각각 0.938, 0.916, 0.916, 0.960으로 아주 양호한 상관성을 나타냈으며, Ca^{2+} 와 Al 간의 상관계수는 각각 0.604, 0.667, 0.747, 0.856의 값을 보였다. 또 Ca^{2+} 와 Fe 간의 상관계수는 각각 0.564, 0.819, 0.765, 0.913의 값을 보여 1993년의 경우 0.564를 제외하고 높은 상관성을 보였다. Ca^{2+} , Al, Fe의 산화물은 토양성분의 주요 구성 성분으로 알려져 있으며 이들 세 성분은 동일한 발생기원을 갖는다는 것을 의미한다. 또한 이 성분들의 농도가 황사현상시 동시에 크게 증가한 것은 황토지역의 토양성분을 함유한 황사가 대기중의 부유분진에 다량으로 유입되고 있음을 의미한다. 또한 토양입자의 유입정도를 정량적으로 확인하기 위하여 다음의 식에 의해 농축계수를 계산하였다(최만식, 1995).

$$E.F. = (C_X / C_{Al})_{Aerosol} / (C_X / C_{Al})_{Crust}$$

여기서 X는 토양입자의 주요 금속 성분으로 Fe, Mn, Ti, Zn의 4가지 성분을 의미하며, 토양에서 C_X 와 C_{Al} 의 비율은 Taylor가 구한 지각 토양의 조성을 이용하여 계산하였다(Brian Mason, 1982). 각 성분들에 대해 1993년부터 1996년까지 E.F. 값을 구해본 결과 Fe의 경우 각각 3.0, 3.7, 0.9, 1.9이었고, Mn은 각각 1.0, 2.9, 3.1, 1.4, Ti은 각각 0.9, 1.2, 0.7, 0.8로 비교적 1에 가까운 E.F. 값을 보였다. 위의 식에서 계산한 E.F. 값이 1에 가까울수록 에어로졸의 성분은 토양으로부터 유래되고, 자연발생적 요인에 생성되었음을 의미한다. 이렇게 구한 E.F. 값으로부터 이들 성분들은 주로 토양입자에서 유래되고 있고 황사시기인 봄철의 제주지역 대기 에어로졸 중에는 토양 성분이 많이 함유되어 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 Zn의 경우 E.F. 값이 각각, 238, 503, 90, 66으로 큰 값을 나타냈으며 토양외의 다른 성분들에 의해 유입되고 있을 가능성이 큰 것으로 추정된다.

한편 성분들 각각의 상관성을 검토해 본 결과 1993년에는 황사일에 Fe, Al, Ti, Mn, Pb, Ca^{2+} 의 농도가 증가했으며, 이들 원소들의 상관관계는 Fe/Al, Fe/Pb의 경우 상관계수가 0.9 이상으로 매우 양호한 상관성을 보였고, Fe/Ti, Fe/Mn,

Fe/Ca^{2+} , Al/Ti , Al/Mn , Al/Pb , Al/Ca^{2+} , Ti/Pb , Ti/Ca^{2+} , Mn/Pb , Mn/Ca^{2+} , Pb/Ca^{2+} 의 경우 상관계수가 0.7 정도로 비교적 상관성이 있는 것으로 나타났다. 반면에 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 의 수용성 음이온들은 거의 상관성을 보이지 않았다. 1994년에도 1993년과 마찬가지로 황사일에 Fe, Al, Ti, Mn, Pb, Ca^{2+} 의 농도가 증가하는 경향을 보였고 이들 원소들의 상관관계는 Fe/Al, Fe/Pb, Ti/Mn의 경우 상관계수가 0.9 이상으로 매우 양호한 상관관계를 나타냈다. Al/Pb, Ti/V, Mn/V 역시 상관계수가 0.8 이상으로 양호한 상관성을 보였으며, Fe/Ca^{2+} , Al/Ca^{2+} , Pb/Ca^{2+} 의 경우 상관계수가 0.7 정도인 것으로 나타났다. 반면에 SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 의 수용성 음이온들은 다른 원소들과 상관성을 보이지 않았다. 1995년 역시 황사일에 Fe, Al, Ti, Mn, Pb, Ca^{2+} 의 농도가 증가했고 이들 원소들은 Fe/Al, Fe/Pb, Ti/Mn의 상관계수가 0.9 이상으로 매우 양호한 상관성을 보였다. Al/Pb, Ti/V, Mn/V은 상관계수가 0.8 이상이었으며, Fe/Ca^{2+} , Al/Ca^{2+} , Pb/Ca^{2+} 의 경우 상관계수가 0.7 정도로 1993, 1994년과 비슷한 경향을 보였다. 1996년의 경우도 Fe, Al, Ti, Mn, Pb, Ca^{2+} 의 농도가 황사일에 증가하는 경향을 보였으며 상관관계는 Fe/Al, Fe/Ti, Fe/Ca^{2+} , Al/Ti, Mn/ Ca^{2+} 에서 상관계수가 0.9 이상으로 매우 양호한 상관성을 보였다. Fe/Mn, Al/Mn, Al/Ca^{2+} , Ti/Mn, Ti/Ca^{2+} 역시 상관계수가 0.8 이상인 것으로 나타났으며 Fe/V, Al/V, Ti/V의 경우 상관계수가 0.6 이상으로 비교적 상관성이 있음을 확인할 수 있었다.

Table 10. Linear correlation coefficients for aerosol samples in 1993.

	Cr	Zn	Cd	Ni	Fe	Al	Cu	Ti	Mn	Pb	V	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Zn	0.039																	
Cd	0.005	0.364																
Ni	0.008	0.001	0.065															
Fe	0.016	0.091	0.048	0.004														
Al	0.009	0.014	0.003	0.010	0.938													
Cu	0.002	0.112	0.016	0.011	0.001	0.013												
Ti	0.016	0.000	0.013	0.021	0.615	0.602	0.013											
Mn	0.009	0.014	0.000	0.013	0.865	0.958	0.012	0.504										
Pb	0.014	0.086	0.050	0.003	0.996	0.937	0.002	0.646	0.869									
V	0.003	0.249	0.632	0.125	0.217	0.090	0.000	0.130	0.030	0.218								
NH ₄ ⁺	0.033	0.082	0.201	0.037	0.179	0.214	0.014	0.279	0.188	0.200	0.001							
Na ⁺	0.002	0.035	0.003	0.001	0.174	0.130	0.000	0.574	0.102	0.200	0.080	0.342						
K ⁺	0.048	0.006	0.000	0.150	0.097	0.076	0.000	0.287	0.061	0.100	0.020	0.003	0.277					
Ca ²⁺	0.016	0.000	0.000	0.035	0.564	0.604	0.009	0.816	0.545	0.585	0.039	0.276	0.552	0.323				
Mg ²⁺	0.005	0.016	0.003	0.006	0.363	0.331	0.000	0.728	0.262	0.392	0.102	0.386	0.933	0.338	0.730			
SO ₄ ²⁻	0.036	0.055	0.001	0.116	0.055	0.068	0.090	0.093	0.036	0.060	0.006	0.603	0.055	0.203	0.062	0.063		
NO ₃ ⁻	0.012	0.004	0.000	0.002	0.710	0.740	0.006	0.492	0.701	0.717	0.069	0.483	0.275	0.024	0.570	0.436	0.202	
Cl	0.006	0.022	0.015	0.002	0.249	0.236	0.009	0.731	0.163	0.278	0.095	0.334	0.883	0.222	0.722	0.880	0.133	0.322

* : nss SO₄²⁻ (nss SO₄²⁻ = SO₄²⁻ - 0.251 Na⁺)

Table 11. Linear correlation coefficients for aerosol samples in 1994.

	Cr	Zn	Cd	Ni	Fe	Al	Cu	Ti	Mn	Pb	V	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Zn	0.001																	
Cd	0.192	0.000																
Ni	0.023	0.106	0.302															
Fe	0.005	0.005	0.046	0.003														
Al	0.011	0.000	0.009	0.026	0.916													
Cu	0.017	0.633	0.004	0.011	0.026	0.001												
Ti	0.004	0.002	0.036	0.035	0.731	0.684	0.003											
Mn	0.037	0.105	0.000	0.042	0.711	0.686	0.200	0.435										
Pb	0.001	0.011	0.002	0.003	0.961	0.879	0.037	0.727	0.714									
V	0.237	0.000	0.896	0.392	0.023	0.002	0.005	0.011	0.022	0.029								
NH ₄ ⁺	0.096	0.114	0.000	0.003	0.005	0.006	0.212	0.003	0.051	0.011	0.005							
Na ⁺	0.001	0.025	0.077	0.002	0.007	0.005	0.031	0.103	0.000	0.014	0.020	0.060						
K ⁺	0.006	0.131	0.106	0.000	0.342	0.177	0.185	0.232	0.352	0.354	0.032	0.113	0.038					
Ca ²⁺	0.021	0.004	0.118	0.005	0.819	0.637	0.012	0.677	0.539	0.805	0.057	0.004	0.074	0.623				
Mg ²⁺	0.001	0.007	0.115	0.001	0.142	0.120	0.008	0.265	0.054	0.172	0.041	0.030	0.646	0.216	0.326			
SO ₄ ²⁻	0.001	0.242	0.127	0.078	0.129	0.025	0.350	0.029	0.122	0.146	0.095	0.430	0.028	0.523	0.169	0.004		
NO ₃ ⁻	0.112	0.017	0.002	0.010	0.000	0.009	0.005	0.001	0.000	0.002	0.008	0.003	0.219	0.068	0.047	0.148	0.016	
Cl ⁻	0.005	0.025	0.031	0.012	0.025	0.041	0.025	0.192	0.004	0.032	0.004	0.146	0.791	0.019	0.074	0.529	0.067	0.042

* : nss SO₄²⁻ (nss SO₄²⁻ = SO₄²⁻ - 0.251 Na⁺)

Table 12. Linear correlation coefficients for aerosol samples in 1995.

	Zn	Cr	Zn	Cd	Ni	Fe	Al	Cu	Ti	Mn	Pb	V	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	
Zn	0.012																			
Cd	0.299	0.145																		
Ni	0.107	0.044	0.205																	
Fe	0.012	0.000	0.014	0.002																
Al	0.033	0.000	0.034	0.013	0.916															
Cu	0.348	0.039	0.000	0.000	0.000	0.009														
Ti	0.007	0.776	0.035	0.016	0.001	0.003	0.005													
Mn	0.004	0.773	0.038	0.016	0.001	0.002	0.008	0.993												
Pb	0.010	0.008	0.007	0.000	0.951	0.032	0.000	0.011	0.009											
V	0.002	0.791	0.165	0.033	0.003	0.001	0.005	0.844	0.855	0.000										
NH ₄ ⁺	0.012	0.108	0.021	0.001	0.000	0.017	0.014	0.032	0.034	0.000	0.191									
Na ⁺	0.053	0.039	0.087	0.033	0.147	0.000	0.056	0.025	0.025	0.104	0.076	0.024								
K ⁺	0.018	0.005	0.003	0.003	0.468	0.073	0.023	0.000	0.000	0.000	0.434	0.001	0.063	0.231						
Ca ²⁺	0.000	0.001	0.001	0.010	0.765	0.747	0.010	0.000	0.000	0.000	0.667	0.001	0.002	0.312	0.597					
Mg ²⁺	0.028	0.003	0.047	0.013	0.093	0.001	0.013	0.005	0.004	0.003	0.063	0.003	0.052	0.272	0.092	0.041				
SO ₄ ²⁻	0.129	0.024	0.080	0.009	0.015	0.084	0.043	0.013	0.012	0.012	0.012	0.038	0.496	0.016	0.185	0.003	0.159			
NO ₃ ⁻	0.138	0.004	0.203	0.001	0.037	0.079	0.038	0.008	0.006	0.006	0.042	0.015	0.064	0.008	0.001	0.041	0.005	0.181		
Cl ⁻	0.028	0.042	0.063	0.006	0.208	0.000	0.030	0.003	0.005	0.005	0.159	0.062	0.204	0.758	0.121	0.304	0.111	0.015	0.022	

* : $nss\ SO_4^{2-} = SO_4^{2-} - 0.251\ Na^+$

Table 13. Linear correlation coefficients for aerosol samples in 1996.

	Cr	Zn	Cd	Ni	Fe	Al	Cu	Ti	Mn	Pb	V	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Zn	0.035																	
Cd	0.016	0.042																
Ni	0.018	0.131	0.003															
Fe	0.004	0.192	0.005	0.532														
Al	0.002	0.155	0.012	0.573	0.961													
Cu	0.070	0.003	0.173	0.001	0.010	0.015												
Ti	0.006	0.156	0.005	0.570	0.928	0.976	0.018											
Mn	0.025	0.328	0.010	0.390	0.873	0.851	0.025	0.800										
Pb	0.021	0.442	0.138	0.172	0.259	0.218	0.052	0.249	0.335									
V	0.022	0.041	0.098	0.378	0.622	0.688	0.066	0.697	0.509	0.059								
NH ₄ ⁺	0.000	0.024	0.259	0.000	0.018	0.028	0.000	0.019	0.021	0.122	0.004							
Na ⁺	0.059	0.305	0.001	0.201	0.218	0.212	0.007	0.216	0.280	0.098	0.115	0.000						
K ⁺	0.014	0.703	0.000	0.282	0.368	0.302	0.015	0.304	0.500	0.777	0.095	0.081	0.352					
Ca ²⁺	0.004	0.351	0.001	0.434	0.913	0.846	0.011	0.811	0.923	0.355	0.183	0.009	0.308	0.565				
Mg ²⁺	0.026	0.375	0.020	0.216	0.280	0.258	0.006	0.273	0.280	0.223	0.139	0.021	0.761	0.434	0.354			
SO ₄ ²⁻	0.000	0.026	0.069	0.075	0.049	0.033	0.029	0.025	0.112	0.297	0.003	0.117	0.008	0.326	0.125	0.000		
NO ₃ ⁻	0.019	0.124	0.250	0.035	0.075	0.055	0.003	0.062	0.096	0.249	0.041	0.384	0.011	0.235	0.114	0.058	0.108	
Cl ⁻	0.064	0.074	0.016	0.081	0.008	0.018	0.000	0.028	0.014	0.002	0.026	0.007	0.663	0.042	0.020	0.445	0.032	0.171

* : nss SO₄²⁻ (nss SO₄²⁻ = SO₄²⁻ - 0.251 Na⁺)

V. 결 론

청정지역인 제주도 북제주군 한경면 고산리 소재 수월봉(북위 33° 17', 동경 126° 10')에 측정소를 설치하고, High Volume Tape Sampler를 이용하여 1993년부터 1996년까지 매해 4월초부터 5월초까지 약 40일간 에어로졸 시료를 채취하였다. 이 에어로졸 시료에 대해 수용성 이온과 금속 성분을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수용성 양이온 분석 결과 연평균 농도는 $\text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 의 순이었고, Na^+ 의 농도가 평균 $1.53 \sim 1.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 양이온들 보다 높게 나타났다. Na^+ 농도 증가시 Cl^- 및 K^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-} 이온의 농도도 대체적으로 동시에 상승하는 경향을 보여 해염입자의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.
2. 황사일로 관측된 시기에 비황사일에 비해 Ca^{2+} 의 농도가 약 3~11배까지 현저하게 증가하였으며, 이로부터 황사현상이 대기 부유분진의 구성에 크게 기여하고 있고 황사의 토양입자가 다량으로 한반도의 대기로 유입되고 있음을 확인할 수 있었다.
3. SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- 의 수용성 음이온 분석 결과 SO_4^{2-} 의 농도가 $5.41 \sim 9.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 다른 성분에 비해 가장 높게 나타났다. SO_4^{2-} 의 발생기원을 조사해 본 결과 E.F. 값이 13~23으로 해양기원보다 인위적 발생 요인에 의한 기원이 비교적 큰 것으로 나타났으며, 해수면에서 발생하는 DMS의 영향도 클 것으로 추정된다.
4. Cr, Zn, Cd, Ni, Fe, Al, Cu, Ti, Mn, Pb, V의 11개 금속 성분을 분석한 결과 Fe, Al, Ti, Mn, Pb, V이 황사시에 농도가 증가하는 경향을 보였다. 특히 Al의 경우 연평균농도가 $0.30 \sim 1.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위이고 황사시에 농도가 6~11배, Fe의 경우 연평균농도가 $0.68 \sim 1.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 범위로 황사시에 농도가 3~6배 증가하였다. Al, Fe은 토양입자의 주요 구성 성분으로 대기 부유분진이 황사의 영향을 크게 받고 있으며, 황사입자가 다량으로 유입되고 있음을 확인할 수 있었다.

5. 각 성분들간의 상관관계를 조사한 결과 Al과 Fe 간에 0.9 이상의 아주 큰 상관성을 보였으며, Ca^{2+} 와 Al 간에는 0.604~0.856, Ca^{2+} 와 Fe 간에는 0.564~0.913의 상관계수를 나타냈다. Ca^{2+} , Al, Fe 성분은 토양입자의 주요 성분들로 황사입자의 영향이 크고 토양기원의 에어로졸이 상당량 함유되어 있음을 확인할 수 있었다.
6. 인위적 요인에 의해 발생하는 Pb의 경우 황사시에 농도가 약 4배 정도 증가했으며, 이러한 결과로부터 황사입자에 중국의 대기오염물질이 상당량 흡수된 상태로 한반도로 장거리 이동되고 있음을 확인할 수 있었다.
7. 토양입자의 유입정도를 정량적으로 확인하기 위하여 농축계수를 계산한 결과 1993년부터 1996년까지 매해 Fe의 경우 각각 3.0, 3.7, 0.9, 1.9이었고, Mn은 각각 1.0, 2.9, 3.1, 1.4, Ti은 각각 0.9, 1.2, 0.7, 0.8로 비교적 1에 가까운 E.F. 값을 보였다. 이러한 결과로부터 황사시기인 봄철의 제주지역 대기 에어로졸 중에는 토양 성분이 많이 함유되어 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 Zn의 경우 E.F. 값이 각각, 238, 503, 90, 66으로 큰 값을 나타냈으며 토양외의 다른 성분들로부터 유입되고 있을 가능성이 큰 것으로 추정된다. 반면에 Cr, Cd, Ni, Cu 성분의 경우 황사시에 특별한 경향성을 보이지 않았으며 대부분 검출이 되지 않거나 극미량 함유되어 있는 것으로 확인되었다.

VI. 참고 문헌

1. B. J. Huebert, A. Pszenny and B. Blomquist, **1996**, *J. Geophys. Res.*, 101(D2), 4319~4329.
2. J. M. Hoell, etc., *J. Geophys. Res.*, **1996**, 101(D1), 1641~1653.
3. R. W. Talbot, etc., **1996**, *J. Geophys. Res.*, 101(D1), 1713~1725.
4. J. E. Dibb, etc., **1996**, *J. Geophys. Res.*, 101(D1), 1779~1792.
5. R. Arimoto, etc., **1996**, *J. Geophys. Res.*, 101(D1), 2011~2023.
6. F. S. Rowland, etc., **1996**, *J. Geophysical Research*, 101(D1), 2073~2085.
7. Hitoshi Mukai, Yoshinari Ambe, Keiko Shibata, Tatsunori Muku, Kazuo Takeshita, Tsuneo Fukuma, Junichi Takahashi and Shinji **1990**, *Atmospheric Environment*, 24A, No. 6, 1379~1390.
8. 최만식, 이선기, 최재천, 이민영, **1995**, *J.KAPPA*, 11, No. 2, 191~198.
9. 박경윤외, **1991~1993**, *과학기술처 연구보고서*.
10. D. Sopauskiene & d. Budvytyte, **1994**, *Atmospheric Environment*, 28(7), 1291~1296.
11. Masataka Nishikawa, Satoru Kanamori, Nobuko Kanamori, Tsuguo Mizoguchi. **1991**, *The Science of the Total Environment*, 107(1991), 13~27.
12. 김양균외, **1989~1990**. 대기오염물질의 장거리 이동과 산성비 강하에 관한 연구 (I),(II). *과학기술처 연구보고서*.
13. Chung Y. S. **1986**. *Atmospheric Environment*, 20, 619~630.
14. Arao K., Ishizaka Y. **1986**. *J. Meteor. Soc. Japan*, 64, 79~93.
15. Woo-Gyu Kim, Young-Sin Chun, Won-Hwan Lee, Hyun-Mee Kim. **1995**. *J. KAPRA*, 11(2), 199~209.
16. Y. S. Chung, M. B. Yoon. **1994**. *J. KAPRA*, 10(4), 233~244
17. Kim Hui Kang, Shin Eun Sang. **1991**. *Emerging Issues in Asia, Proceedings of the 2nd IUAPPA Regional Conference on Air Pollution, Seoul, Korea*, II, 27~35.
18. C. M. Goran, E. C. Jones, R. E. Larson, **1977**. *J. Geophysical Research*,

- 82(6). 988~990.
19. D. A. Braaten., T. A. Cahill, **1986**, *Atmospheric Environ.*, 20(6), 1105~1109.
Yasunobu Iwasaka, Hiroaki Minoura and Katsuhiko Nagaya, **1983**, *Tellus*, 35B, 189~196
 20. A. R. Bandy, D. C. Thornton, B. W. Blomquist, S. Chen, T. P. Wade, J. C. Ianni, G. M. Mitchell, W. Nadler, **1996**, *Geophys. Research Letters*, 23(7). 741~744
 21. Ho-Geun Lee, Kyoung-Yoon Park, Myoung-Seok Suh, Kwang-mi Jang, Chang-Hee Kang, Chul-Goo Hu, 1995, *J. KAPRA*, 11(3), 245~252.
 22. Y. Takayama and T. Takashima, **1986**, *Atmospheric Environment*, 20, No. 4, 631~638
 23. Veerabhadra R. Kotamarthi and Gregory R. Carmichael, **1993**, *Tellus*, 45B, 426~441.
 24. Y. Iwasaka, M. Yamato, R. Imasu and A. Ono, **1988**, *Tellus*, 40B, 494~503.
 25. Ki-Hyun Kim, Jae Ryong Oh, Sung-Hyun Kang, Soo-Hung Lee, Gang-Woong Lee, **1996**, *J. KAPRA*, 12(4), 495~504.
 26. Eiji HIRA, Motoichi MIYAZAKI, Tetsuji CHOJI, Min-Hee LEE, Moritsugu KITAMURA, Kosuk YAMAGUCHI, **1991**, *Emerging Issues in Asia, Proceedings of the 2nd IUAPPA Regional Conference on Air Pollution, Seoul, Korea*, II. 27~35.
 27. Kikuo Okada, Hiroshi Naruse, Toyooki Tanaka, Osamu Nemoto, Robert A. Duce, Mitsuo Uematsu, John T. Merrill, **1990**, *Atmospheric Environment*, 24A(6), 1369~1378.
 28. Masataka Nishikawa, Satoru Kanamori, Nobuko Kanamori, Tsuguo Mizoguchi, **1991**, *The Science of the Total Environment.*, 107(1991). 13~27.