

서울지역의 황사발생시 호흡성 분진 중 미량원소의 특성 평가

신은상 · 선우 영*

동남보건대학 환경위생과, 건국대학교 환경공학과*

Trace Metals Characterization of Respirable Dust during Yellow Sand Phenomena in Seoul Area

Eun-Sang Shin · Young Sunwoo*

Department of Environmental Sanitation, Dongnam Health College

*Department of Environmental Engineering, Konkuk University**

Abstract

This research was carried out using Andersen air sampler which were set up on the roof of the Engineering College of Konkuk University at Hwayang-Dong, Kwangjin-Gu, Seoul from Aug. 1992 to Jul. 1999.

The results are as follows:

The major component of yellow sand is soil particles based upon the observation that particles ranging from 3.3~7.0 μ m occupy 36~63%. It is certain that the increase of fine particles of respirable dust during yellow sand phenomenon in Seoul area affects the human body. The trace metals from natural sources like Al, Ca, Fe, K, Na, and Si show larger mass median diameter(MMD) values during yellow sand phenomenon than in normal situations while the values of MMD for Mn and Pb rarely changes. Noticeably, the changes in value of MMD of water soluble elements like NO₃⁻ and SO₄²⁻ are 2.3 and 6.6 times higher during the yellow sand phenomenon compared to normal situations, respectively. This fact is regarded as decisive evidence showing that NO₃⁻ and SO₄²⁻ in the air are attached to yellow sand and move together.

key words : respirable dust, Andersen air sampler, soil particles, yellow sand phenomenon, trace metal, MMD.

I. 서 론

도시 대기 부유분진 중 미량원소의 화학조성에 관한 연구는 많은 국내의 연구자들에 의하여 이루어져오고 있었으나 중국 대륙의 풍하층에 위치

우리 나라의 지리적 입장에서 발원지가 중국 대륙인 황사의 호흡성 분진에 대한 연구는 미흡한 실정이었다. 최근 들어 급속히 도시화, 공업화가 진행되고 경제활동도 왕성하게 이루어지고 있는 중국대륙으로부터 대기 중 산성물질 및 입자상 물질

의 월경오염에 대한 연구는 중대한 문제가 되고 있어 이 분야에 대한 대책으로 1999년부터 한·중·일 3국환경장관회의(Tripartite environment ministers meeting) 등 각종 회의가 진행되고 있다¹⁾. 그 결과 2002년 4월 서울에서 열린 회의에서는 황사방지에 3국 공동 대응키로 합의하는 등 가시적인 환경외교의 성과를 얻어내었다²⁾.

황사현상은 중국의 황하강 상류지역의 광활한 분포를 하고 있는 황토(loess)와 동북부 지방에 위치한 오르도스(Ordos), 고비(Gobi), 알라산(Alashan), 타클라마칸(Taklamakan) 등의 건조한 사막지대의 황사가 주변지역의 추위가 물러가고 건조한 날씨가 계속되는 봄이 되면 지면이 급속히 가열되어 다량의 흩먼지를 일으켜, 몽고남부 지방에서 발생한 한랭전선을 동반한 저기압의 강한 상승기류에 의해 공중으로 날아올라 1,000~3,000m 상공의 강한 편서풍을 만나 더욱 상승하여 고도 3~6km의 대기 중에 분포되면서 3~4일 만에 우리나라를 거쳐 일본은 물론 멀리 태평양상의 쿠릴열도 및 미국 서부 캘리포니아 지역으로까지 장거리 이동하는 현상을 말한다^{3,4),5),14)}. 이때 이동되어진 황토의 입자는 주로 2~7 μ m의 입경분포를 갖고 있는 호흡성 먼지이므로 인체에 상당한 영향을 끼친다^{6),7)}. 황사현상 발생의 원인 물질인 황토가 분포된 지역은 북위 30°~49°사이에 걸쳐 면적 380,840 km²에 달하고, 준황토 지역은 254,440km²으로 중국 전체 국토면적의 7%에 해당한다. 사막 모래의 주발원지인 중국의 사막지역은 현재 국토 전체의 27.5%인 2,620,000km²의 면적을 차지하고 있으며 해마다 2,460km²가 사막으로 변해가고 있는 실정에 처해 있다.

중국과학원의 1998년도 통계에 따르면 사막화로 인해 매년 황하(黃河)로 흘러 들어가는 16억 톤의 토사 중 12억 톤이 사막화된 지역에서 밀려드는 모래로 추정하고 있다. 주로 봄과 겨울에 발생하는 사막의 강풍인 먼지폭풍은 중국을 사막화로 몰아넣는 주범임과 동시에 황사현상의 시발이라고 할 수 있다. 이 먼지폭풍의 폭풍발생 빈도는 황사의 발원지인 중국 북서부의 사막지대에 가까울수록 잦아지며 그 시기는 4월에 30~50%를 차지한다. 그런 까닭에 우리 나라에서 시각적으로 관측(目測)

되는 황사현상은 4월에 30~50%, 5월에 20~30%를 차지하여 이 시기에 집중되고 있는 것과 일치한다^{8),9)}. 봄철에 집중적으로 발생하는 황사는 꽃가루와 함께 우리의 호흡기에 좋지 않은 영향을 끼쳐왔다. 따라서 본 연구는 특히 봄철의 황사현상시 호흡성 먼지의 입경별 농도분포에 관한 연구로서 먼지시료를 채취한 후 증급속의 입경별 농도분포를 분석하고 각종 수리통계학적 기법을 사용하여 오염원을 분류하였다. 이러한 시도에 대한 오염 배출원의 정량적 기여도를 추정하기 위한 방편으로써 중요한 의미를 갖는다. 또한 각 원소별 입경분포도 연구는 분진의 공기 중 체류시간 및 소멸시간, 분진의 장거리 수송, 인체에 미치는 영향 등에 기초자료가 될 수 있다. 입경별로 포집된 호흡성 먼지의 중량분석과 농도분석을 바탕으로 호흡성 먼지 및 금속원소의 입경분포를 계절별로 분석하였고, 황사시와 평상시로 분류하여 그 특성을 조사하였다.

II. 실험방법

1. 시료채취

시료의 채취는 서울시(북위 37°32', 동경 127°05')의 동쪽에 위치하고 있는 서울특별시 광진구 화양동 건국대학교 공과대학 B관 옥상(지상 약 15m 높이)에서 행하였다. 이 곳은 서해안으로부터 약 60km 동쪽에 위치한 내륙지역이며 채취지점 주변의 지역적인 특징을 살펴보면 북쪽 약 1km이내에는 공원이 위치하고 있고 사방으로 6~8차선의 도로망이 형성되어 자동차 교통량이 많은 지역이고, 서쪽 2km 정도에는 섬유, 기계, 인쇄업종의 중소공장들과 저층 상가 및 아파트 등이 밀집해 있는 환경상태이다.

대기 중 호흡성 먼지의 입경별 농도분포를 분석하기 위하여 앤더슨 샘플러(Graseby Andersen 20-800 SERIES)를 사용하여 1992년 8월부터 1999년 7월에 걸쳐서 평상시에는 1주일 단위로 월 1회 채취(총 측정회수 84회)하였고 황사시에는 황사발생기간 동안만 시료를 채취하였다. 이에 따른 황사 발생시 총 측정회수는 10회였다. 시료채취유량은 28.3 l/min으로 하였고 포집여지는 샘플러의 각

단마다 폴리에틸렌을 사용하여 그 표면에 채취된 먼지를 모아서 분석하였고, 백업 단은 멤브레인 여지(Membrane filter, Millipore AA, 80mm ϕ)를 사용하여 포집하였다. 황사시료는 따로 무게측정이 이루어진 실리카 여지(Silica fiber filter, Adventec, Toyo, QR100, 110mm ϕ)를 봄철에 상시 준비하여 기상청의 황사 예보시 앤더슨 에어 샘플러를 바로 설치하여 황사만을 측정하였다.

2. 분석방법

채취된 호흡성 먼지는 데시케이터에서 24시간 동안 항량 조작을 행한 후 항온·항습 조건을 온도 22℃, 상대습도 55%이하로 하여 직시 분석용 저울(Satorius R200D)을 사용하여 무게를 0.01mg까지 정확하게 칭량하여 시료채취 전후의 무게차이에 의하여 대기 중 입자상물질의 질량농도를 구하였다. 백업 단의 실리카 여지도 마찬가지로 하였다. 호흡성 먼지의 수용성 성분(Cl^- , NO_3^- 및 SO_4^{2-})은 이온크로마토그래프법(Ion chromatography, Dionex사제 DX100)을 사용하여 분석을 행하였고, 금속원소(Al, Ca, Cu, Fe, K, Mn 및 Na)의 분석은 비파괴, 동시 다원소 분석을 행할 수 있는 기기중성자 방사화 분석법(Instrumental neutron activation analysis, INAA)을 이용하여 해결하였

다^{10,11,17)}. 또한 실험에 사용된 실리카 여지의 특성상 INAA를 적용하는 경우 주성분인 Si의 분석에 문제가 있어 이를 보완하기 위하여 Si의 분석은 형광 X선 분석법(X-ray fluorescence spectroscopy, XRF)으로, INAA로는 분석이 불가능한 Pb 등은 고주파 유도결합 플라즈마 분광법(Inductively coupled plasma, ICP)으로 분석을 행하였다.

III. 결과 및 고찰

측정기간 동안 평상시 시료의 계절별 입경의 평균 농도값을 황사시와 비교하여 표 1에 나타내었다. 표 1에서 황사시 호흡성 먼지의 입경별 토양입자의 분포율을 파악한 결과 입경 3.3~7.0 μm 의 범위에서 36~63%를 차지하고 있음을 알 수 있었다. 이것은 황사의 대표적인 발생물질이 토양입자라는 사실을 나타내는 것이라고 생각할 수 있다^{14),16)}. 또한 호흡성 먼지의 계절별 비교를 위해 봄(3,4,5월), 여름(6,7,8월), 가을(9,10,11월), 겨울(12,1,2월)로 나누어 평균을 내었으며, 또한 이들을 전체 평균하여 평상시의 농도값으로 나타내어 황사시와 비교를 하였다. 표 1에서와 같이 봄철, 여름철, 가을철, 겨울철의 평균 호흡성 먼지의 농도는 각각 111.95 $\mu g/m^3$, 81.64 $\mu g/m^3$, 90.88 $\mu g/m^3$, 120.70 $\mu g/m^3$ 으로 여름철

Table 1. Size distribution of mean concentration of mass for sampling period.

(unit: $\mu g/m^3$)

cut size (μm)	Spring (n=21)	Summer (n=21)	Fall (n=21)	Winter (n=21)	Normal period (n=84)	Yellow sand phenomena (n=10)
(0.08)	10.16	7.17	12.66	18.39	12.10	9.70
0.43	8.77	7.40	7.89	11.33	8.85	7.52
0.65	10.92	11.03	9.93	14.67	11.64	7.74
1.1	9.35	7.86	8.40	11.75	9.34	10.85
2.1	7.21	5.54	4.97	6.65	6.09	14.63
3.3	11.43	7.63	7.59	9.73	9.10	20.66
4.7	10.60	7.07	8.65	10.09	9.10	18.20
7.0	16.37	9.62	12.61	14.58	13.30	25.45
11.0	27.14	18.31	18.19	23.51	21.79	38.74
surr.	111.95	81.64	90.88	120.70	101.31	153.49

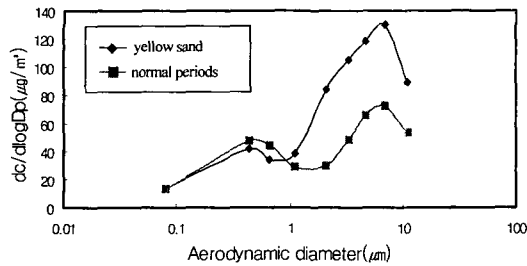


Fig. 1. Size distribution of respirable dust during the period of yellow sand phenomena and normal periods.

에 가장 낮고 겨울철에 가장 높은 것으로 나타났다.

이러한 원인은 여름철에는 강우로 인한 먼지의 Washout 효과로 인한 것으로 생각되고, 시료채취 지점의 지역적 특성과 겨울철에는 난방으로 인한 화석연료의 사용으로 미세먼지가 많이 발생한 것으로 판단된다. 계절별 대기중 농도를 입경 2.1µm을 기준으로 총 먼지(Total Aerosol, T.A.)와 조대입자(Coarse particles, C.P.)의 비(C.P./T.A.)의 평균치를 보면 겨울철의 C.P./T.A.가 48.0%로 봄철 58.5%, 여름철 52.2%, 가을철 51.8%보다 낮아 결과적으로 미세입자의 농도가 많음을 보아도 알 수 있다. 봄철에 조대입자의 농도가 높은 것은 황사현상의 원인이 큰 작용을 한 것으로 판단된다. 특히 황사현상이 발생한 시기에는 조대입자의 우세가 뚜렷함을 볼 수 있었다^{13,14}.

그림 1에 이번 측정기간 동안 황사시와 평상시에 대한 호흡성 먼지의 전체 입경분포를 나타내었다. 여기서 질량입경분포의 표시방법으로 질량분포함수를 이용하였다. 즉, 횡축을 log d로 하고, 종축을 $dC/d\log D_p$ (dC : 각 단의 질량농도($\mu\text{g}/\text{m}^3$), $d\log D_p$: 대수변환시킨 입경의 폭)로 플롯하였다. 단, 대수는 상용로그를 사용하였다. 이것은 어떤 입경범위와 분포곡선으로 둘러싸인 면적이 실제적인 질량농도를 나타냄을 뜻한다. 이 방법은 입경범위가 불균등하게 나누어진 경우 입경구간 폭의 보정을 행함으로써 각 단의 정량적인 비교가 가능하고 또한 0단에 포집되는 입자의 최대경과 백업(back-up)단에 포집되는 입자의 최소경의 문제가 해결되는 장점이 있다¹⁶. 그림에서 보면 황사시 호흡성 먼지는 평상시에 비하여 조대입자($2.1\mu\text{m} < D_p$)

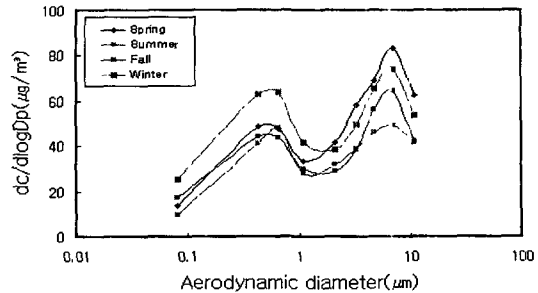


Fig. 2. Size distribution of respirable dust in terms of season.

의 영역이 절대적으로 높은 값을 보여 조대입자의 영역 측에 상대적으로 치우친 분포를 보이고 있음을 알 수 있었으며, 미세입자($D_p < 2.1\mu\text{m}$)의 영역에서는 평상시에 비해 농도가 다소 낮은 값을 보였다. 평상시에 호흡성 먼지의 입경분포의 경향은 약 2.1µm 부근을 중심으로 뚜렷한 이산분포(二山分布, bimodal)를 나타내었으며, 황사시에도 조대입자의 영역에 치우친 분포를 보이고 있지만 평상시에 비하여 약간 왼쪽으로 쏠리면서 미미한 이산분포의 형태를 나타내었다. 여기에 나타난 형태로 보아 평상시의 분포는 2.5~5µm를 중심으로 미세입자와 조대입자로 나누어져 이산분포를 보인다는 Whitby K. T. 등¹³의 연구 결과와 유사한 결과를 나타내었으나, 황사시에는 이 값보다 다소 적은 1µm의 입경에서 변곡점을 보였다. 이것은 평상시에는 가스상 물질이 입자상 물질로 전환되어 가는 과정에서 전체적으로 고른 분포를 보이면서 미세입자와 조대입자가 분리되는 반면, 황사시에는 가스상 물질에서 입자로 생성될 때 분자와 같이 운동하는 에이트켄 입자(Aitken particles)를 포함한 1µm 이하의 서브마이크론 입자의 상당량이 황사 입자에 부착되면서 나타나는 현상이라고 생각된다⁵.

또한 측정기간 중 호흡성 먼지의 계절적 입경분포의 변화를 그림 2에 나타내었다. 조대입자의 영역에서 봄 > 겨울 > 가을 > 여름의 순으로 뚜렷한 분포의 차이를 나타내고 있다. 이러한 현상은 서울에서 측정된 호흡성 먼지 농도에 따른 조대입자와 미세입자 농도의 관계를 나타낸 그림 3의 과 관련지어 생각해 볼 때 그 이유를 밝힐 수 있다. 그것은 그림 3에서 보면 여름, 가을, 겨울은 전체 먼지 농도에 대한 미세입자의 분포비율이 높은 반면, 봄

철은 잦은 황사의 출현으로 조대입자의 비율이 높게 나타나는 경우가 많기 때문으로 생각된다. 측정기간에 서울에서 호흡성 먼지 중 조대입자의 평균 농도는 붓철을 제외하고 약 $49\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 붓철은 이 값의 1.3배, 황사시는 2.1배로 조대입자 농도 변동의 주원인이 중국대륙에서 운반되어지는 황사에 있다고 쉽게 생각할 수 있다. 반면 미세입자의 농도는 측정기간 중 평균적으로 약 $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 겨울철에 약간 증가하였으나 평상시와 황사시에 뚜렷한 차이는 없었다. 이것으로부터 서울시의 호흡성 먼지 중 조대입자의 농도의 변동은 자연적 오염에 의한 부하로, 미세입자의 농도의 변동은 인위적인 오염에 의한 부하로 생각하는 것이 어느 정도 가능할 것이라고 생각된다.

일반적으로 토양에 많이 분포하고 있는 것으로 알려져 있는 금속성분인 Al, Ca, K, Na 및 Si와 자연적인 배출보다는 인위적인 배출원에 의해서 기인되는 것으로 알려져 있는 Cu와 Pb에 대해 황사시와 평상시에 따른 금속성분에 대한 입경분포와 수용성 음이온 성분의 입경별 분포를 황사시(왼쪽)와 평상시(오른쪽)로 나누어 그림 4에 나타내었다.

토양입자의 주된 금속성분인 Al, Ca, Fe, K, Na

및 Si에 대한 입경분포를 보면, 황사시와 평상시에 다소 특이한 차이점을 발견할 수 있다. 황사시에 측정된 미량 금속원소성분인 Al, Ca, Fe, K, Na 및 Si에 대한 입경분포는 대부분이 조대입자의 영역에 절대적으로 편중하여 존재하고 있다. 즉 Al, Ca, Fe 및 Si는 조대입자 영역에 절대적인 단일분포 형태를 나타내고 있고, K 및 Na 등은 황사시에도 미약하기는 하지만 미세입자의 영역이 존재하는 이산분포를 보였다. 이러한 사실은 황사시에 측정된 자연적 기원인 대부분의 토양성분 원소들이 호흡성 먼지의 주류를 이루고 있다는 것을 나타냄과 동시에 일부 원소들은 황사의 이동과정에서 기존의 대기 중에 존재하고 있는 인위적인 배출에 의한 주위 대기의 영향도 다소간 받고 있기 때문인 것으로 여겨진다¹⁵⁾.

평상시 호흡성 먼지의 입경분포에서 토양성분 원소인 Al, Ca, K, Na 및 Si는 모두 조대입자에 지배적인 분포를 보이고 있었지만, 미세입자의 영역에서도 뚜렷한 피이크를 나타내는 확연한 이산분포를 발견할 수 있었다. 이것으로부터 평상시에도 이들 성분은 주로 토양과 같은 자연적인 배출이 주류를 이루는 것으로 인식되어져 있었으나 인위적인 배출에 의한 영향도 받고 있는 것으로 파

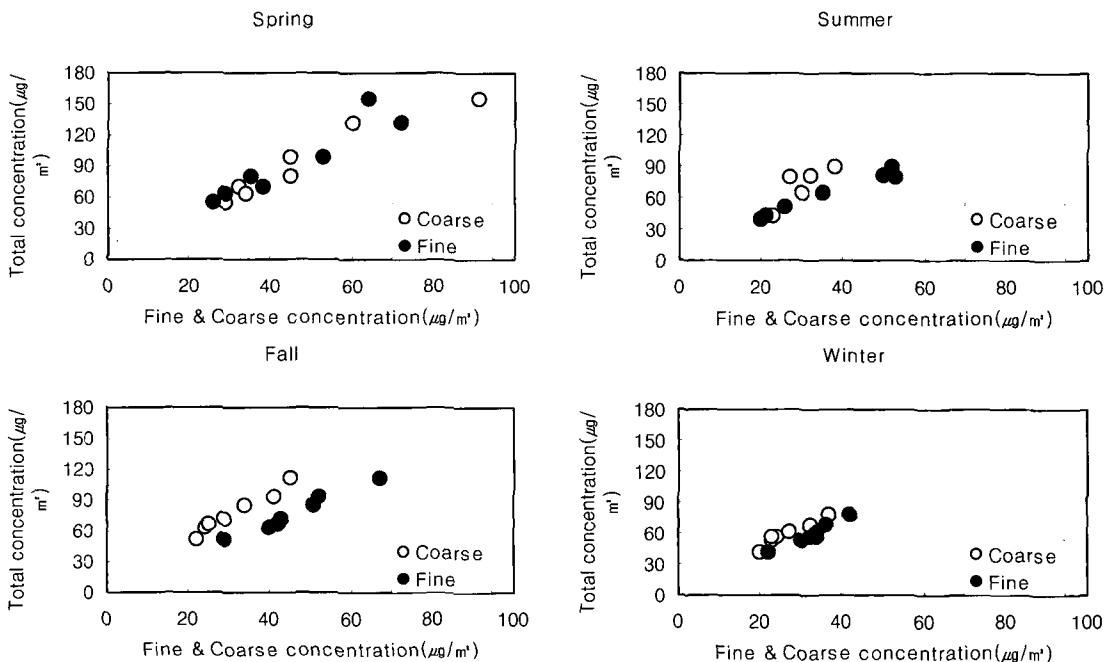
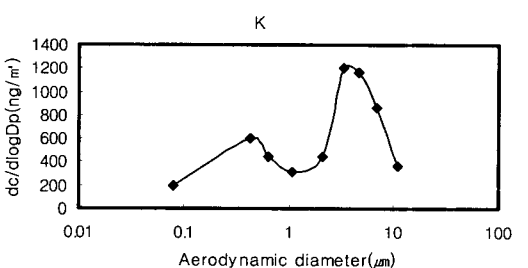
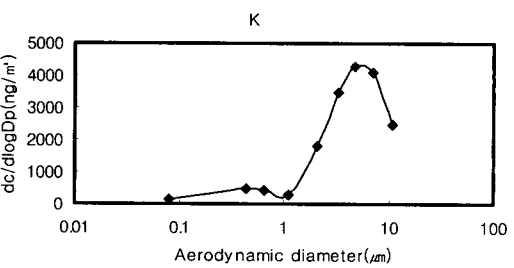
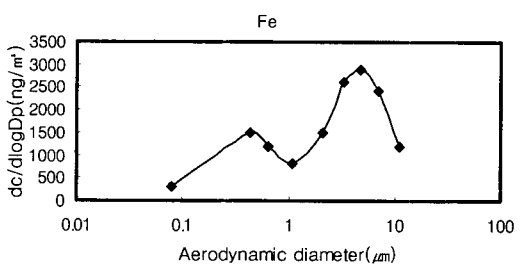
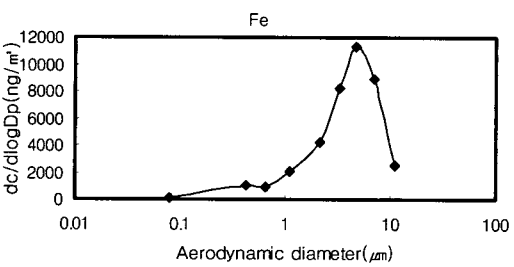
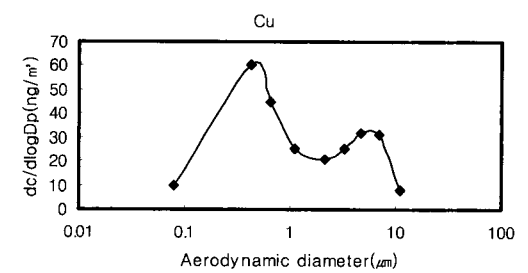
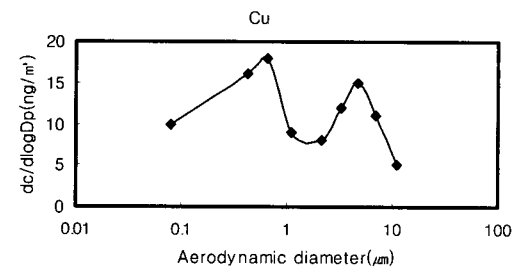
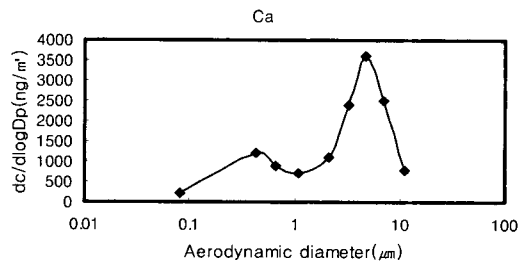
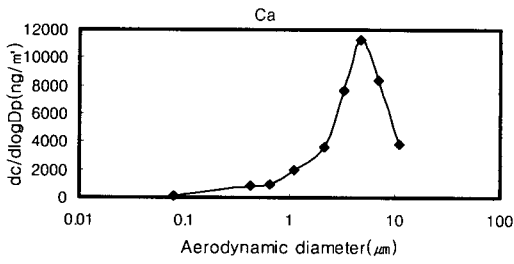
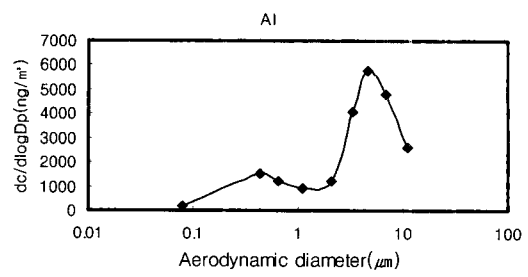
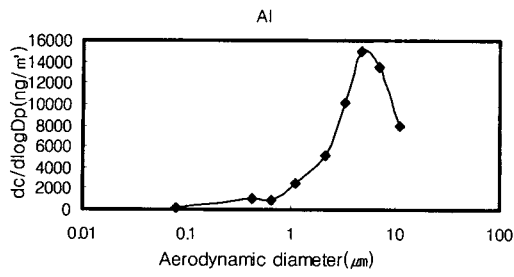
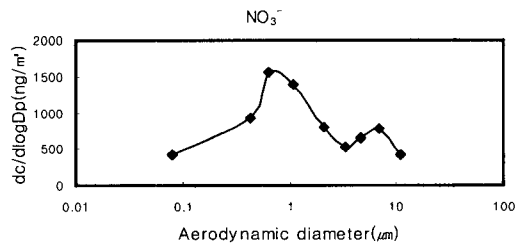
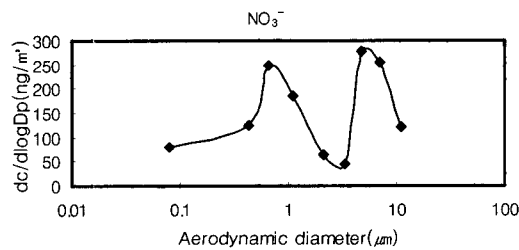
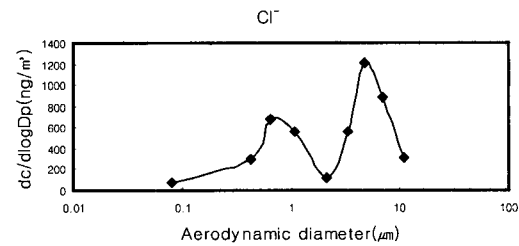
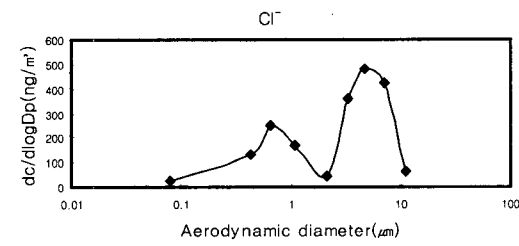
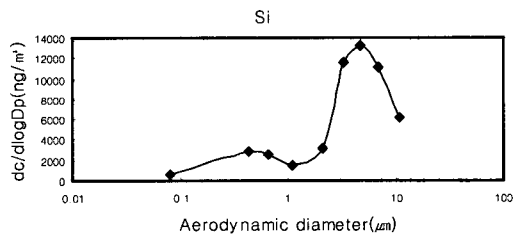
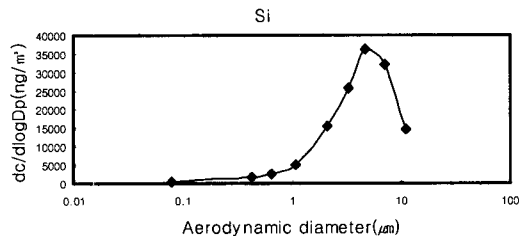
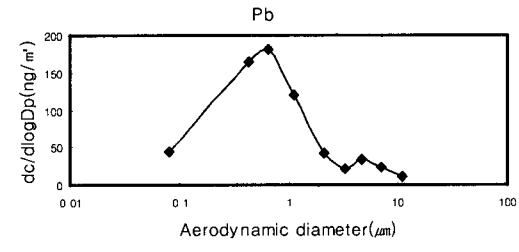
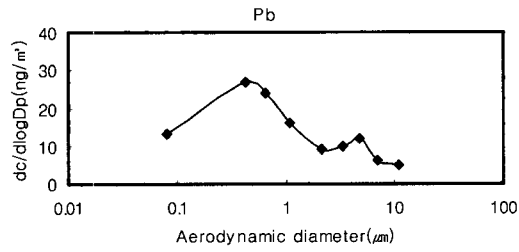
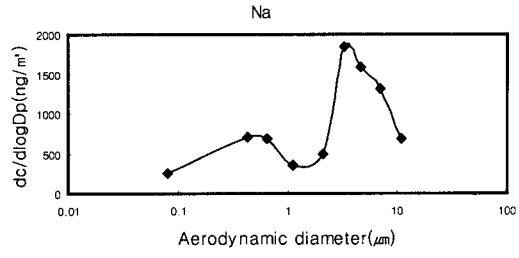
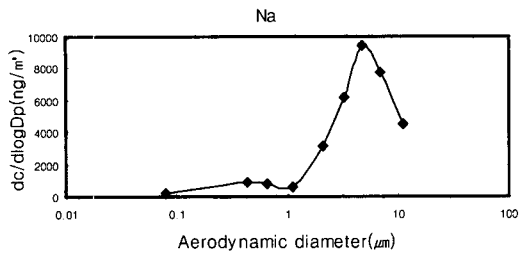


Fig. 3. Relation of respirable dust concentration to fine and coarse particle.





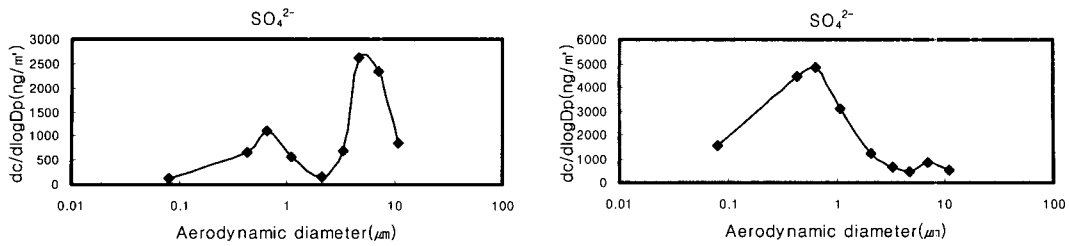
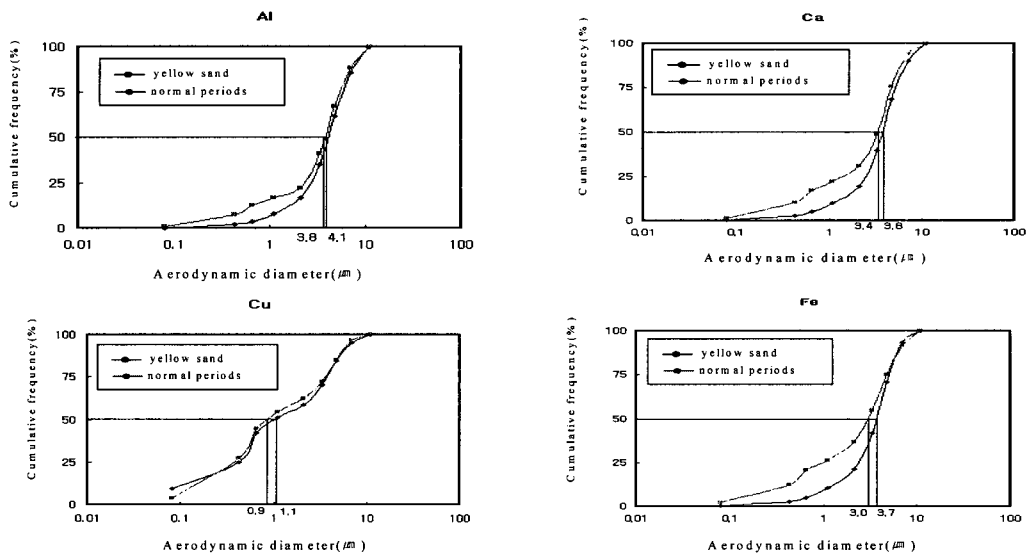


Fig. 4. Size distribution of respirable dust during the period of yellow sand phenomena(left) and normal periods(right).

악되었다. 반면 인위적인 배출에 의한 영향이 큰 것으로 알려진 Cu는 황사시에 조대입자와 미세입자의 영역에서 거의 동일한 이산분포를 나타내고 있음을 볼 수 있었으며 평상시에는 조대입자보다 미세입자의 영역에 지배적으로 존재하고 있음을 볼 수 있었다. 또한 Pb는 황사시와 평상시 모두 미세입자의 영역에 지배적으로 존재하고 있음을 발견하였는데, 이것은 시료채취지점 주위의 대기환경 등 토양성분이외의 다른 인위적인 배출의 영향에 의한 것으로 생각되어진다¹⁶⁾.

호흡성 먼지 중 수용성 성분인 Cl⁻는 황사시와 평상시 모두 조대입자 영역이 약간 높은 이산분포 형태를 나타냈는데 이는 해염입자의 영향이 크게 작용한 것으로 판단된다. 그리고 NO₃⁻는 Cu와 비슷하게 황사시 미세입자와 조대입자의 영역에 거의

골고루 분포되는 이산분포를 형성하고 있었지만 평상시에는 미세입자에 편중되어 있음을 볼 수 있었다. SO₄²⁻는 황사시 조대입자의 영역에 지배적인 이산분포를 보인 반면에, 평상시에는 미세입자에 절대적으로 편중된 이산분포를 보이고 있는 것으로 나타났다. 황사시 SO₄²⁻가 조대입자 영역에 지배적인 것은 황사현상시 채취된 황사 입자의 전자현미경 사진 판독시 보통의 도시 대기 중에 존재하는 황산염적, 황산암모늄과는 다른 형태로 입자의 주위에 황산액이 둘러싸여져 있었다는 보고²⁰⁾를 통하여 생각할 때 사막에서 발생한 황사가 이동 중 중국의 대기를 통과하면서 부착된 결과로 유추해 볼 수 있다. 전반적으로 이러한 입경분포에 대한 정확한 규명을 위하여 앞으로 중국 사막에서 유래하는 황사의 발생시 중국 본토의 오염물질들에 대한 장



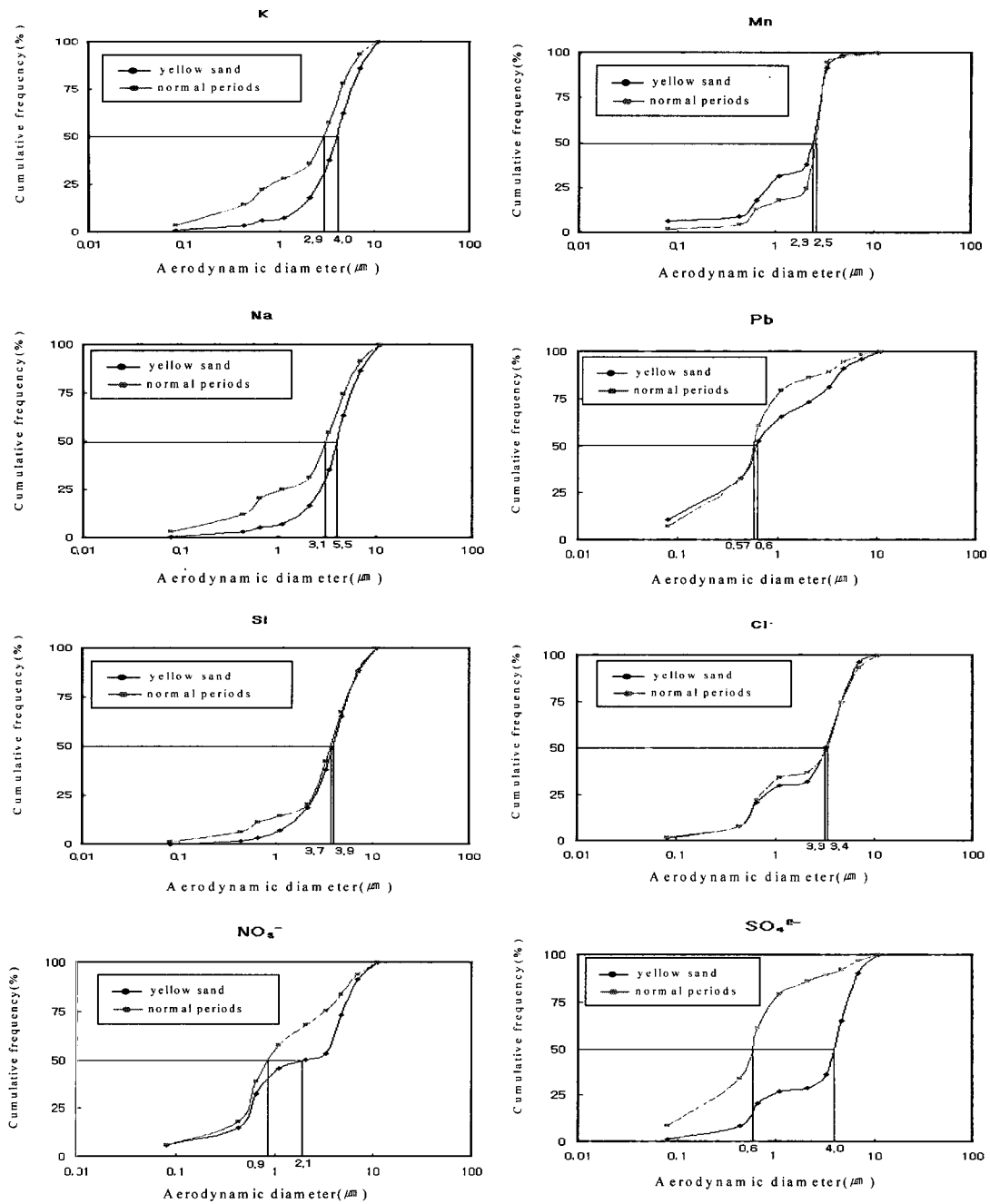


Fig. 5. Mass median diameter of respirable dust during the period of yellow sand and normal periods.

거리 수송도 동시에 일어나고 있다고 판단¹⁶⁾되어짐으로 이 부분에 대한 평가와 연구가 계속 지속되어질 필요가 있어야 한다고 판단된다^{2),5)19)}.

이번 연구에서 측정되어진 호흡성 먼지 중 각 미량 금속성분들과 이온성분들에 대한 누적분포를 살펴보면, 대략적으로 세 그룹으로 나뉘어지는데

토양으로부터 기인하여 조대입자의 영역에 편중된 것으로 알려진 Al, Ca, Fe, K, Na 및 Si의 첫 번째 그룹과 미세입자와 조대입자에 거의 고르게 분포되어 있는 것으로 파악된 Cl⁻와 Mn의 두 번째 그룹, 그리고 미세입자의 영역과 조대입자의 영역에 모두 존재하고 있지만 미세입자의 영역에 편중되어 있는 것으로 알려진 Cu, NO₃⁻, Pb 및 SO₄²⁻의 세 번째 그룹으로 형성되어 있었다. 이 세 그룹에 대한 질량중위경(Mass median diameter, 이하 MMD)을 그림 5에 나타내었다.

여기서 첫 번째 그룹인 주로 조대입자에 절대적으로 편중되어 나타났던 Al, Ca, Fe, K, Na 및 Si의 MMD는 황사시 각각 4.1, 3.8, 3.7, 4.0, 5.5 및 3.9 μ m로 나타났으며, 평상시에는 3.8, 3.4, 3.0, 2.9, 3.1 및 3.7 μ m으로 나타나 평상시보다는 황사시의 MMD가 다소 큰 값을 나타내고 있음을 볼 수 있었는데, 이는 황사시 미세입자의 영역의 농도값이 상대적으로 평상시보다 낮은 값을 보이기 때문인 것으로 생각된다.

또한 두 번째 그룹인 Cl⁻와 Mn에 대한 MMD는 황사시 3.4와 2.3 μ m이었으며, 평상시에는 각각 3.3과 2.5 μ m를 나타내어 두 상황간의 차이는 거의 없었다. 첫 번째와 두 번째 그룹에서 나타난 성분들의 MMD 크기는 모두 2.0~2.5 μ m의 영역보다 큰 값을 나타내었다. 이와는 달리 세 번째 그룹에 속한 Cu와 Pb는 황사시 MMD가 각각 1.1과 0.6 μ m를 나타내었고, 평상시에는 각각 0.9와 0.57 μ m를 나타내어 황사시와 평상시 모두 미세입자에 편중되어 있음을 알 수 있었다. 그리고 호흡성 먼지의 대표적인 수용성 성분인 NO₃⁻와 SO₄²⁻는 황사시 MMD가 각각 2.1과 4.0 μ m로 나타난 것에 반해 평상시에는 0.9와 0.6 μ m로 두 상황에서의 MMD 값이 뚜렷이 차이가 남을 알 수 있었다. 이는 중국의 대기 중에 존재하고 있던 질산염과 황산염이 황사에 부착되어 이동하였다는 보고¹⁵⁾와도 일치하였다. 이 세 그룹에 대한 MMD를 종합적으로 파악하기 위하여 그림 6에 이 성분들의 MMD를 나타내었다.

그림 6에서 종합하여 보면 본 연구에서 측정된 호흡성 먼지 중 미량성분원소 들과 이온성분 들의 황사시와 평상시의 입경분포를 MMD 2.5 μ m의 경계로 살펴보았을 때 황사시와 평상시 호흡성 먼지

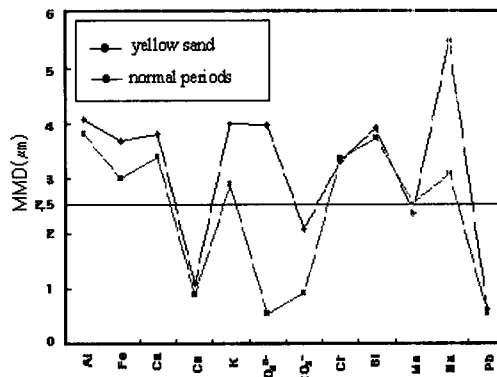


Fig. 6. Mass median diameter of components of respirable dust during the period of yellow sand phenomena and normal periods.

의 입경별 미량원소와 이온성분의 분포가 다소 차이가 있음을 알 수 있었으며 특히 황사시 NO₃⁻와 SO₄²⁻의 MMD변화는 황사시가 평상시의 2.3배와 6.6배로 나타나 이 물질들이 황사에 부착되어 이동된다는 사실을 확인할 수 있었다. 이러한 사실에 입각해서 생각할 때 황사 발생시 호흡성 먼지로 인한 인체에 미치는 영향이 매우 크며 여기서 발생되는 어린이와 노인을 비롯한 호흡기 질환자에게 미치는 인체에 대한 의학적인 측면도 매우 중요하다는 사실을 간과해서는 안될 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 서울지역의 황사 발생시와 평상시를 중심으로 앤더슨 에어 샘플러를 사용하여 1992년 8월부터 1999년 7월까지 7년 동안 측정된 입자상 물질의 분석결과로 바탕으로 호흡성 분진 중 미량원소의 특성을 평가한 것이다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 황사시료의 입경별 토양입자의 분포율을 파악한 결과 입경 3.3~7.0 μ m의 범위에서 36~63%를 차지하고 있었다.

둘째, 황사 발생시 호흡기 깊숙히 침투하는 입경 2.1 μ m이하의 미세입자의 증가가 뚜렷하여 황사가 인체에 미치는 영향이 큰 것으로 사료되었으며 이 입경보다 비교적 큰 2.1~10 μ m의 조대입자도 마찬가지로

가지로 증가하여 전반적인 입경별 조성 균일도가 높은 것으로 나타났다.

셋째, 황사시와 평상시 호흡성 먼지에 대한 미량 금속성분들의 질량중위경(MMD)을 통한 입경별 조성평가를 파악한 결과 황사시에 MMD가 큰 값을 나타낸 성분은 Al, Ca, Fe, K, Na 및 Si 등의 주로 자연 발생원 유래의 토양입자 성분 원소들이었다.

넷째, 호흡성 먼지의 수용성 성분 중 NO₃⁻와 SO₄²⁻의 MMD 변화는 황사시가 평상시의 2.3배 및 6.6배의 큰 값을 나타내었는데 이는 오염된 중국 대기 중에 존재하고 있던 황산염과 질산염이 황사 입자의 표면에 부착되어 우리 나라로 이동한다는 사실을 뒷받침해주는 결정적인 증거라고 사료된다.

참 고 문 헌

1. 환경부(2001), 환경연감.
2. 환경부(2002. 4), 보도자료.
3. 국립환경연구원, 대기오염물질의 장거리 이동과 산성비 강하에 관한 연구(I,II,III), 과학기술처, 1989, 1990, 1991.
4. 강동근, 김선태, 김정욱 : 동북아시아 대기오염물질의 장거리 이동에 관한 연구, 한국 대기보전학회지, 9(4), 329~339, 1993.
5. 국립환경연구원 : 동북아 대기오염 장거리이동과 환경보전 협력방안에 관한 조사(I) -대기오염물질 장거리 이동현상과 감시망 운영-, 한국과학기술연구원, 1996.
6. 이민희, 한의정, 신찬기, 한진석 : 황사현상시 분진의 입도분포와 화학조성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 4(2), 57~66, 1998.
7. 이민희, 한의정, 신찬기, 한진석, 김상균 : 황사현상시 대기에어로졸 중 무기물질의 동태, 한국대기보전학회지, 9(3), 230~235, 1993.
8. 신은상 : 대기부유분진에 대한 토양입자의 기여율에 관한 연구, 건국대학교 대학원 석사학위 청구논문, 1990.
9. 신은상, 김희장 : 서울에서의 대기 부유먼지에

- 대한 황사의 영향, 한국대기보전학회 지, 8(1), 52~57, 1992.
10. 정용삼, 문종화, 김선하, 박광원, 강상훈, 조승연 : 중성자 방사화분석법과 Gent SFU 샘플러를 이용한 도시와 농촌 지역의 대기분진(PM₁₀) 관측연구, 한국대기환경학회지, 16(5), 453~467, 2000.
11. 정용삼, 문종화, 정영주, 박광원, 이길용, 윤윤열, 심상권, 조경행, 한명섭, 이종해 : INAA · ICP · AAS를 이용한 대기먼지(PM₁₀)의 다원소분석, 한국대기환경학회지, 15(4), 495~503, 1999.
12. 한국원자력연구소 : 방사화분석 이용연구, 과학기술처, 1996.
13. Whitby K. T. : The aerosol size distribution of Los Angeles smog, *J. Colloid Interface Sci.*, 39, 177, 1972.
14. Glenn E. Shaw : Transport of desert aerosol to the Hawaiian islands, *Journal of Applied Meteorology*, 19, 1254~1259, 1980.
15. Iwasaka Y., Yamato M., Imasu R. and Ono A. : Transport of Asian dust(KOSA) particles; Importance of weak KOSA events on the geochemical cycle of soil particles, *Tellus*, 40B, 494~503, 1988.
16. 角脇 怜 : アンダー-セン・サンブラによる都市大気中の粒度分布, *Japan Analyst*, 23, 490~495, 1974.
17. 僑本芳一, 金熙江, 大歳恒彦, 關根嘉香 : 多元素放射化分析による韓國 ソウル市の大気エアロゾル成分の觀測, *大氣汚染學會誌*, 25(5), 313~323, 1990.
18. 李敏熙 : 韓國における黃砂現象からみた大気エアロゾル中無機物質の成分解析に關する基礎的研究, 金澤大學大學院自然科學研究科 博士論文, 1991.
19. 關根嘉香 : 大氣中粒子狀汚染物質の成分解析に基づく東アジア地域の都市大氣質に關する研究, 東海大學大學院 博士論文, 1992.