大 韓 衛 生 學 會 誌
KOREAN. J. SANITATION
Vol. 6, No. 1, 47~62 (1991)

황사현상시 서울지역 대기분진의 성분에 관한 연구

신찬기,* 박태술, 김윤신

국립환경연구원 대기연구부*

한양대학교 환경과학대학원

A Study on the Metal Ion Components of Airborn Particulates during Yellow Sand Phenomena in Seoul

Chan-Ki Sin*, Tae-Sool Park, Yun-Shin Kim

*National Instute of Environmental Research**

Graduate School of Environmental Science, Han Yang University

Abstract

Yellow Sand Phenomena was observed from April 8th to 10th in 1990. During this period particle was collected to investigate the chacteristics of chemical composition of particulate by High Volume Air Sampler and Andersen Air Sampler in Seoul. During this period the particle concentration was 350 $\mu g/m^3$ and the anions, cations, and metal concentrations were increased and the orders of these were $SO_4^{-2}>NO_3^{-}>Cl^{-}>F^{-}$, $Na^{+}>Ca^{+2}>NH_4^{+}>Mg^{+2}>K^{+}$, and Fe>Al>Si>Zn>Pb respectively.

The principal source of Yellow Sand were identified soil and sea salt. Mn used by the trace element of soil, the persentage of contribution from soil was calculated to be about 81.3% for the particle increased by Yellow Sand Phenomena. Also the principal chemical compounds of particle were estimate metals(Fe, Al, Si, Zn) oxides, $CaSO_4$, $NaSO_4$, $MgSO_4$, NaCl, $MgCl_2$, and $(NH_4)_2SO_4$.

I. 서 론

중국을 포함한 아세아대륙에서 춘계기간(3~5월)동안에 발생되어지는 황사는 편서풍에 의하여 동기간에 우리나라 전역에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.[1] 황사의 발생원은 우리나라에서 수천 km 떨어진 중국북부의 타클라마칸, 고비, 알라샨사막과 황하유역의 광활한 황토지대로서 춘계에 기온이 상승하고 건조한 날씨가 계속되면서 발생한 다량의 흙먼지가 저기압의 상승기류를 타고 편서풍을 따라서 우리나라 및 일본을 거쳐 멀리 쿠릴열도까지 이동되는 것으로 알려져 있다.[2]

1990년에는 황사현상이 4월 8일부터 4월 10일까지 서울지역에서 관측되었으며 우리나라에서 지난 20년동안 관측한 황사현상은 26회였고 10회는 황하유역과 알라샨사막에서 발생했고, 타클라마칸사막 9회, 고비사막 7회로 나타났다.[3]

황사는 주로 규소, 알루미늄, 칼슘, 철, 마그네슘 등의 산화물로 구성되어 있으며 황사현상시에 호흡기질환, 안질환이 증가하며 공기중의 먼지는 코나 기관지, 폐 등을 거치면서 일부 걸러지나 작은 입경의 황사는 폐포 속까지 침투한다.[4,5]

황사에 대한 국내 연구동향을 살펴보면 김 등[1,3,6]은 황사현상시 장거리 이동에 관한 부유분진의 일반특성과 모양으로부터 기여율에 관한 연구보고가 있으며, 이 등[6~9]은 황사현상시 분진의 입경별 성분분석과 강수의 화학조성 및 우리나라에 미치는 영향 등에 관하여 보고한 바 있다.

미국과 유럽에서는 황사의 이동과 지구규모의 입자상물질의 장거리 이동에 대하여 조사하고 있다.[11,12] 일본에서는 황사에 관한 연구보고로써 암관태신 등[13,14]의 황사의 장거리 이동과 황사입자의 기상적 관측에 관한 연구와 정세랑 등[15]의 황사현상시 에어로졸에 관하여 연구, 전중무 등[16]의 황사현상시 대륙으로부터 토양입자의 이동에 관한 연구보고가 있다.

우리나라는 춘계기간에 황사현상으로 인하여 전역적으로 큰 영향을 받고 있으나 국내외적으로 황사현상시 부유입자상물질의 입경별 금속성분 및 이온성분의 분포와 성분간의 상관성에 관한 연구보고가 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 1990년 4월 발생된 황사현상기간과 황사를 전후한 기간의 분진을 포집하여 입경별 금속 및 이온성분들의 농도를 살펴보고 이들 성분들간의 상관성을 검토하여 황사현상시 부유입자상물질의 특성을 살펴보고자 한다.

II. 연구방법

1. 조사지점 및 시료채취

조사지점은 서울시 은평구 불광동(지상 약 10 m 지점)이었으며 1990년 4월 8일부터 4월 10일 사이에 발생했던 황사기간을 전후하여 100μm 이하의 분진을 포집할 수 있는 High Volume Air Sampler(Sierra INC. UV-2H)와 30 μm 이하의 분진을 입경별 9단 포집할 수 있는 Andersen Air-Sampler(AN-200, 일본 Dylec사)를 사용하여 동일 기간에 대기중의 부유분진을 포집하였다.

2. 분석 방법

대기중에 부유하는 분진을 여지에 포집하

여 황사현상시 및 비황사현상시(이하 평상시)와 구별하여 분석하였다.

분석항목은 4개 음이온성분(F^-, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{-2})과 5개 양이온 성분(NH_4^+, K^+, Na^+, Ca^{+2} Mg^{+2}) 및 10개 금속성분(Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Si, Zn)이다.

이온성분 등 음이온(anions)들의 분석은 Ion Chromatography(Model 2010i, Dionex사)를 사용하였고 NH_4^+을 제외한 양이온(cations)성분들과 금속성분들은 원자흡광광도기(AA/AE Spectrophotometor Model IL-951)를 사용하여 분석하였으며, NH_4^+은 흡광광도계(U.V Spectrophotometor Model UVI-DEC-505)를 사용하여 환경오염공정시험법의 Indo Phenol법에 의하여 비색분석하였다.

이온성분과 금속성분 분석을 위하여 시료여지를 각각 1/2장을 사용하였으며 이온성분 분석에 사용할 여지는 증류수로 전처리하였고 금속성분 분석시에는 혼산(2.23 M HCl + 1.67 M HNO_3)으로 전처리하였다. 전처리방법은 100 ml비이커에 시료여지를 넣고 혼산용액 50 ml를 채운 후 시료여지가 침적되도록 하여 초음파유출기(일본 Kimoto NS 600-50)로 100℃ 중역하에서 90분동안 25 KHz의 출력으로서 금속성분을 유출하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 부유분진과 구성성분

대기중에 부유하는 100 μm 이하 입경의 분진을 포집하는 High Volume Air Sampler를 사용하여 황사현상이 나타난 기간(4월 8일~10일) 및 황사현상의 전후 기간(3월 19일~23일, 4월 12일~13일)동안에 측정한 분진농도(TSP)와 분진중의 이온성분 및 금속성분을 분석한 결과는 Table 1에 나타난 바와 같다.

황사현상의 전후 기간(3/19~3/23, 4/12~4/13)의 분진농도는 181 μm/m³)로 나타났으며 황사현상 기간중의 분진농도는 1990년 4월 8일 357 μm/m³ 로서 평균 350 μm/m³으로 나타났다.

분진중의 음이온 농도는 Table 1에서 보는 바와 같이 평상시, 황사현상시 모두 SO_4^{-2}>NO_3^->Cl^->F^- 농도순으로 나타났으며, 음이온성분중 SO_4^{-2}sms 21.3~24.7 μm/m³, NO_3^-은 4.3~11.9 μm/m³의 분포를 나타냈다.

Fig. 1과 2는 각각 황사현상시 및 평상시의 음이온성분과 양이온성분의 구성을 나타낸 황사현상시 SO_4^{-2}와 Cl^-의 농도는 평상

Table 1. TSP and components concentration of particulates below 100 μm

(unit : μg/m³)

date / components	3/19~ 3/20	3/20~ 3/21	3/22~ 3/23	4/8~* 4/9	4/9~* 4/10	4/12~ 4/13
F^-	0.270	0.274	0.246	0.322	0.432	0.426
Cl^-	4.560	3.776	3.920	5.614	5.032	4.660
NO_3^-	4.310	11.902	13.660	5.854	11.144	5.952
SO_4^{-2}	22.060	22.066	24.710	27.208	28.850	21.340
NH_4^+	4.800	5.250	6.860	5.890	5.820	5.590
K^+	0.620	0.770	0.640	0.952	0.853	0.590
Na^+	4.420	4.328	3.420	6.600	6.594	6.400
Ca^{+2}	2.730	2.185	2.020	5.770	4.681	2.238
Mg^{+2}	0.420	0.314	0.370	1.164	1.159	0.250
Al	0.960	0.880	0.860	2.590	2.340	1.120
Cd	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001
Cr	0.023	0.025	0.035	0.044	0.043	0.041
Cu	0.099	0.104	0.092	0.095	0.088	0.100
Fe	1.245	0.869	0.977	3.913	1.874	1.460
Mn	0.046	0.016	0.072	0.198	0.134	0.092
Ni	0.035	0.055	0.052	0.074	0.065	0.062
Pb	0.191	0.373	0.417	0.298	0.351	0.369
Zn	0.896	0.625	0.988	0.994	1.023	1.133
Si	1.250	1.120	0.920	1.880	1.660	1.320
TSP	177	163	196	357	343	188

* : the period of Yellow Sand Phenomena

시에 비하여 증가하였다.

평상시 분진중의 양이온의 농도는 NH_4^+ 4.8−5.6 μm/m³, Na^+ 3.4~6.4 μm/m³, Ca^{+2} 2.0~2.7 μm/m³로 나타났으며 황사시에는 Na^+ 6.59−6.6 μm/m³, NH_4^+ 5.8−5.89 μm/m³, Ca^{+2} 4.68−5.77 μm/m³로 나타났다. 따라서 평상시 양이온의 농도순은 $NH_4^+ > Na^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2}$이었으나 황사시의 경우에는 $Na^+ > NH_4^+ > Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+$으로 구성양상이 변하였다, 황사현상시 부유분진의 증가로 인하여 음이온성분 및 양이온성분의 증가를 보여주고 있으나 양이온중 NH_4^+과 음이온 F^-의 농도변화는 거의 없으며 상대적으로 양이온의 Na^+, Ca^{+2}과 Mg^{+2}, 음이온중 SO_4^{-2}와 Cl^-의 농도가 증가한 것으로 나타났다.

분진중의 이온평형을 살펴보기 위하여 분석된 각 이온성분의 농도를 이온당량농도로 환산하여 황사현상시 및 평상시, 황사현상시 증가된 분진의 이온당량농도의 구성을 Fig. 3에 도시하였으며 양이온 당량농도의 합이 음이온 당량농도의 합 보다 크게 나타났으며 황사로 인하여 증가된 분진은 이온평형을 이루고 있는 것으로 나타났다.

이온 당량농도로 살펴 보았을 때 평상시의 경우 SO_4^{-2}, NH_4^+와 Na^+가 높은 비중을 차지하고 있어$(NH_4)_2SO_4$, Na_2SO_4의 형태로 존재할 가능성이 높을 것으로 추정된다.

대기중 입자상 물질의 결합형태는 W.K. Weisweiler 등[17]에 의하여 보고된 바 있으며 특히 $(NH_4)_2SO_4$는 가스상물질의 대기중 화학반응에 의한 2차 생성입자의 결합형태로 일반적으로 2 μm 이하의 미세입자로 대부분 존재하는 것으로 알려졌다.[25)~27)] 황사현상으로 인하여 증가된 이온성분을 살펴보면 SO_4^{-2}, Cl^-, Ca^{+2}, Na^+, Mg^{+2}가 큰 비중을 차지하고 있으며 NO_3^-와 NH_4^+가 미세한 증가를 나타냈다.

따라서 황사현상으로 증가된 분진중 이온성분의 결합형태는 평상시의 2차 생성입자의 결합형태인 $(NH_4)_2SO_4$와는 달리 $CaSO_4$, Na_2SO_4, $MgSO_4$, NaCl, $MgCl_2$일 가능성이 클 것으로 추정된다. 이 등[12),13),15)]에 의하면 황사기간중 성분 중 $CaSO_4$ 결합형태가 큰 것으로 보고된 바 있다.

Table 1에서 분진중 금속성분의 농도를 살펴보면 평상시 Si 농도는 0.92~1.31 μm/m³, Fe 0.869~1.49 μm/m³, Al 0.86~1.12 μm/m³, Pb 0.191~0.373 μm/m³, Mn 0.016~0.092 μm/m³로 나타났으며 황사현상시에는 Si 1.66~1.88 μm/m³, Fe 1.87~3.91 μm/m³, Al 2.34~2.59 μm/m³, Pb 0.29~3.51 μm/m³, Mn 0.134~0.198 μm/m³로 나타났다. 금속성분의 구성분포는 Fig. 4 및 5와 같으며 Al, Fe, Si와 Zn이 평상시 및 황사현상시 모두 금속성분중 큰 비중을 차지하고 있었으며, 황사현상시 Al, Fe, Si와 Mn의 농도가 크게 증가하였고 대부분 인위적 배출원으로 배출되는 것으로 알려져 있는 Cu, Cr, Cd, Ni, Pb의 농도는 황사현상시 뚜렷한 증가를 나타내지 않았다.

황사현상시 큰 증가를 나타낸 Al, Fe, Si, Mn의 산화물은 토양성분의 주요 구성성분으로 알려져 있다.[18),20),22)] 이와 같이 Al, Fe, Si, Mn의 농도가 황사현상시 급증한 것은 황사현상이 사막이나 황토지역의 토양성분을 주 발생원으로 하고 있다는 것과 맥을 같이 하는 것으로 판단된다.

황사현상으로 인하여 평상시보다 급증된 분진농도에 대한 분진중 구성성분의 상대적 증가 정도를 살펴보기 위하여 이온성분 및

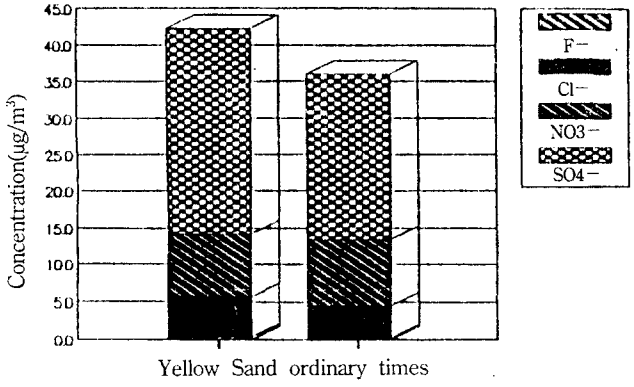

Fig. 1 Anions component of particulates below 100 μm

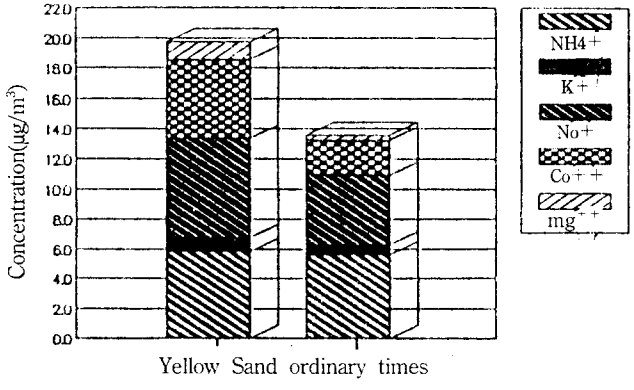

Fig. 2 Cations component of particulates below 100 μm

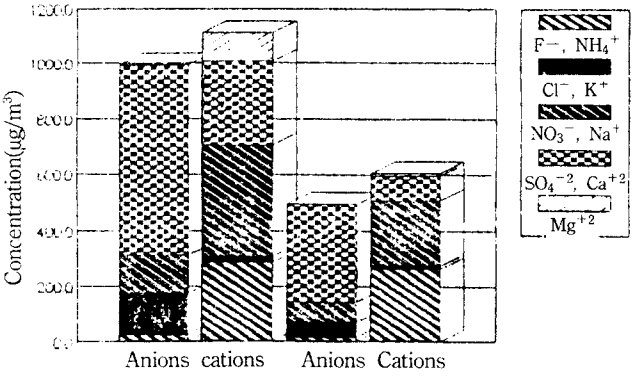

Fig. 3 Equivalent ion balance of particulates below 100μm

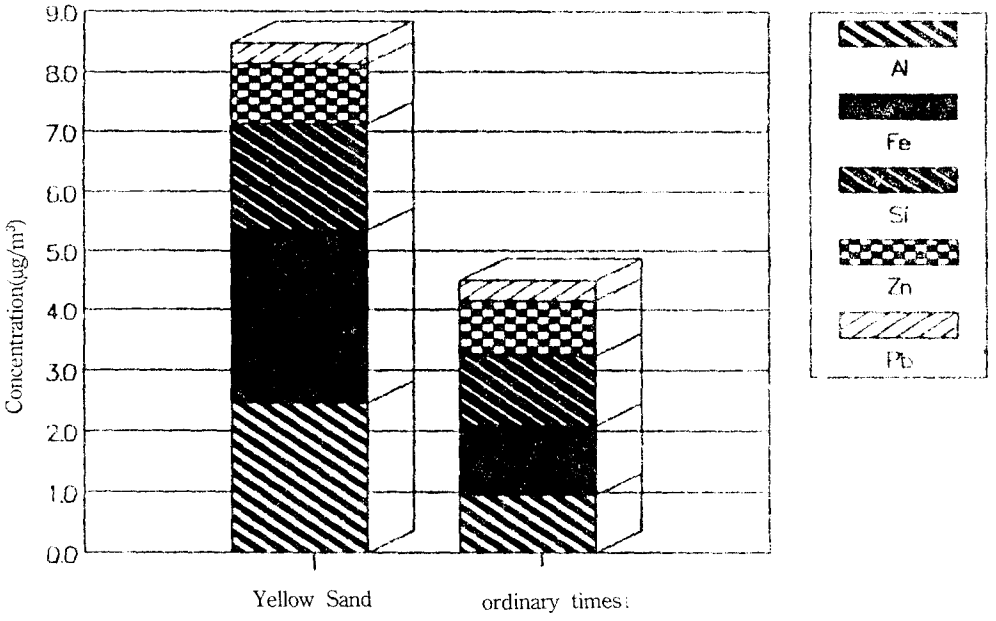

Fig 4. Metals concentration of particulates below 100μm

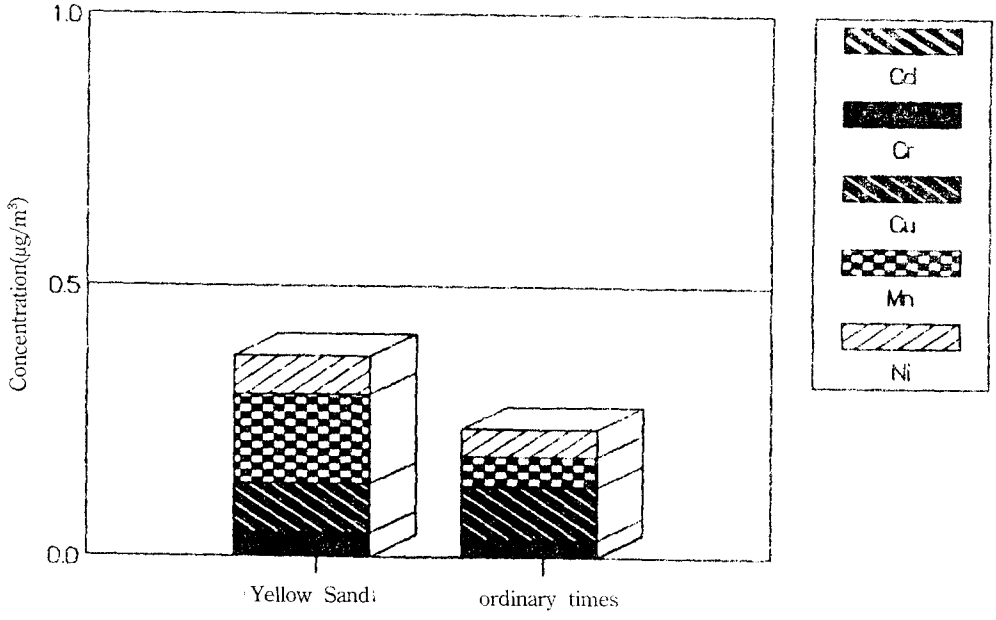

Fig 5. Metals concentration of particulates below 100μm

금속성분의 중량 백분율을 산출하고 평상시에 대한 황사시 백분율비를 Table 2와 같이 산출하여 보았다.

분진농도에 대한 분진중 구성성분의 중량백분율은 평상시 SO_4^{-2} 12.8%, NO_3^- 5.57%, NH_4^+ 3.15%, Na^+ 2.27% 등으로 나타났으며, 황사현상시 SO_4^{-2} 8.412%, NO_3^- 3.12%, Na^+ 3.12%, NH_4^+ 1.65% 등으로 이온성분들의 중량백분율이 큰 것으로 나타났다.

황사현상시 평상시에 대한 상대적인 증가를 살펴보기 위한 중량백분율비를 살펴보면 이온성분은 모두 1.0보다 작게 나타났으며 Mn 2.2, Fe 1.9, Mg^{+2} 1.58, Al 1.44, Ca^{+2} 1.25로 나타나 이들 금속성분들이 황사현상시 증가된 분진과 깊은 관계가 있는 것으로 추정된다.

황사현상은 중국대륙으로부터의 대규모 토양입자들의 이동이라고 볼때 Fe, Al, Ca^{+2}, Mg^{+2}의 비(황사현상시/평상시)가 높게 나타난 것은 김[6], 이[8,21] 등의 보고와도 일치하는 결과이며 김[6]은 토양입자의 지표원소로 Al을 이용하여 서울지역에 있어서 토양으로부터의 기여율이 1990년 4월 황사시 56.9%라 보고한 바 있다.

Fe, Mg^{+2}, Al, Ca^{+2}와 Si의 산화물들은 토양중에 높게 함유되어 있으며 이들 산화물과 Al, Fe, Mn 등 분진중 성분의 토양지표원소로서 일부 이용된 바 있으나 Al, Fe, Mg 등은 화석연료 연소 등의 인위적인 배출원에서도 높게 배출되고 있는 것으로 보고되고 있다.[1,3,21]

황사현상시 증가된 분진이 토양성분에서 기인된 것이라고 볼 때 Table 2에서 Mn이 2.2로 가장 높게 나타난 것은 토양성분중 Mn의 농도가 비교적 적으나 인위적 배출원이 적어 단일원소로서는 토양성분의 증가를 잘 설명하는 원소임을 시적하는 것으로 판단된다.

토양성분의 지표원소로 금속성분 Mn을 이용하여 토양성분의 기여율을 산출하기 위하여 다음의 식을 적용하였다.

여기서, C_{TSP} : 분진농도(μm/m³)

C_{Mn} : 분진중 Mn의 농도(μm/m³)

$Soil_{Mn}$: 토양성분중 Mn의 중량농도비(g/g)

위 식으로부터 평상시와 황사현상시의 분진의 토양으로부터의 기여율을 산출하기 위하여 판본화산 등[23]이 제시한 토양성분중 Mn의 중량농도비 0.0008 g/g을 적용한 결과 분진중 토양의 기여율은 평상시 38.75%, 황사현상시 59.28%로 나타나 분진중 토양으로부터 기인된 분진농도는 평상시 70.1 μm/m³, 황사현상시 207.5 μm/m³인 것으로 나타났다.

Table 2. Component concentration of particulates

(unit : w/w %)

components	3/19~3/23 (Ordinary)	4/8~4/9 (Yellow Sandy)	Ratio (Yellow/Ordinary)
F^-	0.147	0.090	0.612
Cl^-	2.280	1.570	0.688
NO_3^-	5.570	3.122	0.560
SO_4^{-2}	12.840	8.411	0.655
NH_4^+	3.154	1.649	0.523
K^+	0.378	0.266	0.703
Na^+	2.270	1.848	0.814
Ca^{+2}	1.294	1.616	1.249
Mg^{+2}	0.208	0.326	1.583
Al	0.503	0.725	1.440
Cd	0.001	0.0003	0.215
Cr	0.016	0.012	0.793
Cu	0.055	0.027	0.484
Fe	0.576	1.096	1.903
Mn	0.025	0.055	2.200
Ni	0.027	0.021	0.781
Pb	0.183	0.102	0.557
Si	0.613	0.526	0.858
Zn	0.468	0.298	0.636

따라서 평상시에 비하여 황사현상으로 인한 토양성분의 순증가량은 137.4 μm/m³로써 황사현상에 의한 분진 증가 169 μm/m³의 81.3%에 해당한다. 이는 황사현상시 편서풍에 의하여 중국대륙으로부터 서울지역으로 이동되어진 분진의 81.3%가 토양성분에서 기인하는 것이며 나머지 31.3%는 해고입자와 일부 화석연료의 연소 등에 의하여 발생된 인위적인 발생원에 의하여 기인된 분진인 것으로 추정된다.

Table 3. Size distribution of particulates concentration

(unit : μg/m³)

date / size(μm)	3/19~3/21	3/26~3/28	4/8~4/10*
0.08~0.43	25.4	4.5	10.5
0.43~0.65	9.6	9.3	5.2
0.43~0.65	9.6	9.3	5.2
0.65~1.10	13.9	14.3	10.5
2.10~3.30	11.5	22.6	47.2
3.30~4.70	13.9	25.9	55.2
4.70~7.00	30.9	33.7	56.5
7.00~11.0	21.2	22.1	34.2
11.0~30.0	12.3	14.1	29.1
Total	164.8	166.9	276.0

* : the period of Yellow Sand Phenomena

2. 입경별 분진농도와 구성성분

Andersen Air Sampler를 사용하여 대기중의 30 μm 이하의 분진을 입경별로 9단 포집하여 입경별 분진농도를 측정한 결과는 Table 3과 같다.

30 μm 이하의 분진농도는 평상시 평균 166 μm/m³이고 황사시의 분진농도는 276 μm/m³로서 황사시 분진농도는 평상시보다 약 1.7배 높은 농도를 나타내고 있다.

분진의 입경분포를 살펴보기 위하여 Table 3에 나타난 입경별 분진농도(Δm)를 각 단의 입자의 분결복($\Delta \ln D = \ln D_1 - \ln D_2$)으로 나눈 $\Delta m / \Delta \ln D$을 산출하였으며, Fig. 6은 분진의 입경분포를 반대수그래프에 도시한 것이다.

Fig. 6에서 평상시의 경우 7.0 μm 입경에서 분진농도가 최고 피크를 나타내고 2.1 μm에서 다음 피크를 갖는 이산형을 이루고 있으며 황사현상시 분진의 입경분포는 4.7 μm 입경에서 가장 높은 피크를 이루는 일산형을 이루고 있다.

입경에 따른 황사현상시와 평상시의 분진농도 차이를 살펴보면 2.1 μm 분진입경에서 1.2배, 3.3배 μm 분진입경에서 2.7배, 4.7배 μm 부유입경에서 2.8배, 7.0 μm 분진입경에서 1.7배로 황사현상시 분진농도가 평상시 분진농도보다 높게 나타났으며, 3.3~7.0 μm 입경의 분진들이 황사현상으로 인하여 급증하였으며 7.0~30.0 μm의 분진도 증가하였다.

30 μm 이하 분진들의 입경별 이온성분 및 금속성분의 농도를 알아보기 위하여 입경별 분진을 4단계(4.7~30 μm, 2.1"4.7 μm, 0.65"2.1 μm, 0.08"0.65 μm)로 분류하여 이온성분 및 금속성분의 농도를 분석하였으며 Table 4와 Table 5는 평상시, Table 6은 황사기간에 포집된 입경별 분진중의 이온 및 금속성분의 농도를 나타낸 것이다.

Table 4부터 Table 6에서 볼 수 있듯이 30 μm 이하의 분진중 음이온 성분들의 농도를 살펴보면 평상시 SO_4^{-2}은 14.18 μg/m³, 18.33 μg/m³, NO_3^- 2.69 μg/m³, 3.95 μg/m³, Cl^- 1.26 μg/m³, 2.67 μg/m³로 나타났으며 황사현상시는 SO_4^{-2} 31.32 μg/m³, NO_3^- 6.41 μg/m³, Cl^- 5.36 μg/m³로 나타나 황사현상시 SO_4^{-2}의 증가가 큰 것으로 나타났다.

양이온성분은 평상시 Na^+ 5.19 μg/m³, 5.57

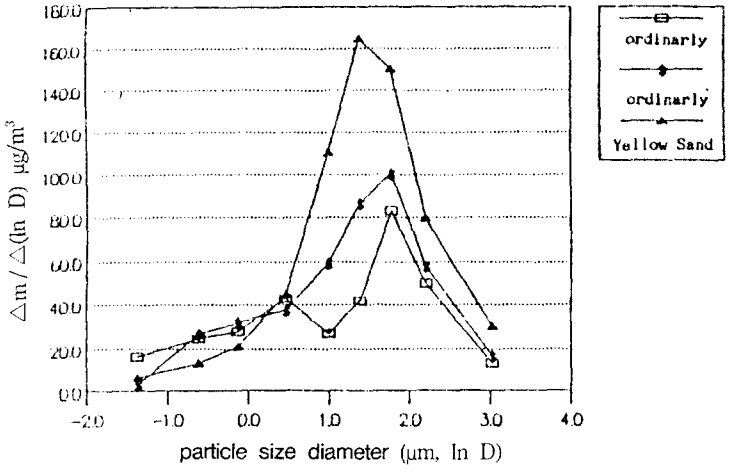

Fig 6. Size distribution of particulate

Table 4. Component concentration of particulates below 30 μm (3.19~3.21)

(unit : μg/m³)

size(μm) components	4.7~30	2.1~4.7	0.65~2.1	0.08~0.65	Total
F^-	0.1410	0.0240	0.0200	0.0240	0.2090
Cl^-	0.6660	0.0640	0.3670	0.1640	1.2610
NO_3^-	1.3700	1.1500	0.0200	0.1530	2.6930
SO_4^{-2}	7.2000	4.3100	1.3600	1.3100	14.1800
NH_4^+	2.2100	1.2100	0.2100	0.6100	4.2400
K^3	0.1300	0.1300	0.1800	0.1200	0.5600
Na^+	2.8000	0.9300	0.9600	0.8800	5.5700
Ca^{+2}	1.0500	0.6000	0.4000	0.0900	2.1400
Mg^{+2}	0.0080	0.0040	0.0020	0.0020	0.0160
Al	0.2000	0.3200	0.1900	0.1300	0.8400
Cd	0.0005	0.0006	0.0000	0.0003	0.0014
Cr	0.0030	0.0030	0.0000	0.0130	0.0190
Cu	0.0110	0.0170	0.0190	0.0060	0.0530
Fe	0.4870	0.2960	0.1100	0.0000	0.8930
Mn	0.0060	0.0010	0.0000	0.0020	0.0090
Ni	0.0290	0.0000	0.0180	0.0000	0.0470
Pb	0.0470	0.0000	0.0870	0.0470	0.1810
Zn	0.2100	0.1500	0.1700	0.1600	0.6900
Si	0.3100	0.2400	0.1900	0.1500	0.8900

Table 5. Component concentration of particulates below 30 μm (3.26~3.28)

(unit : μg/m³)

size(μm) components	4.7~30	2.1~4.7	0.65~2.1	0.08~0.65	Total
F^-	0.1420	0.0039	0.0980	0.1270	0.3709
Cl^-	0.7810	0.1810	0.7340	0.9750	2.6710
NO_3^-	1.6090	0.9870	1.1940	0.1550	3.9450
SO_4^{-2}	7.7300	6.9500	2.0600	1.5900	18.3300
NH_4^+	2.3100	1.5600	0.8100	0.4800	5.1600
K^3	0.1700	0.1800	0.1100	0.0300	0.4900
Na^+	2.7500	1.1200	0.7300	0.5900	5.1900
Ca^{+2}	0.5800	0.3100	0.1600	0.2600	1.3100
Mg^{+2}	0.0040	0.0036	0.0010	0.0012	0.0098
Al	0.1900	0.3800	0.1600	0.1100	0.8400
Cd	0.0003	0.0000	0.0000	0.0005	0.0008
Cr	0.0050	0.0000	0.0150	0.0150	0.0350
Cu	0.0220	0.0150	0.0150	0.0070	0.0590
Fe	0.9110	0.3510	0.1170	0.1410	1.5200
Mn	0.0050	0.0000	0.0030	0.0020	0.0100
Ni	0.0500	0.0100	0.0500	0.0100	0.1200
Pb	0.0300	0.0300	0.0400	0.0200	0.1200
Zn	0.2300	0.1000	0.1900	0.0900	0.6100
Si	0.4400	0.3800	0.2100	0.1100	1.1400

μg/m³, NH_4^+4.24 μg/m³, 5.16 μg/m³, Ca^{+2}1.31 μg/m³, 2.14 μg/m³, Mg^{+2}0.16 μg/m³, 0.098 μg/m³, 황사현상시는 Na^+9.18 μg/m³, Ca^{+2}6.05 μg/m³, NH_4^+5.13 μg/m³, Mg^{+2}1.27 μg/m³로 나타나 Na^+ 및 Ca^{+2}, Mg^{+2}의 증가가 큰 것으로 나타났으며 Cd, Cr, Cu 농도의 변화는 미세하였다.

30 μm 이하의 분진중 음이온 성분의 농도 구성비는 평상시 및 황사현상시 모두 SO_4^{-2} > NO_3^- > Cl^- > F^-의 순으로 나타났으며 Cl^-

Table 6. Component concentration of particulates below 30 μm (4.8~4.10)

(unit : μg/m³)

size(μm) components	4.7~30	2.1~4.7	0.65~2.1	0.08~0.65	Total
F^-	0.2330	0.1240	0.0570	0.0110	0.4250
Cl^-	2.3300	1.8600	0.7600	0.4100	5.3600
NO_3^-	2.7290	0.5100	1.5900	1.5800	6.4090
SO_4^{-2}	10.4300	8.4700	7.5400	4.8800	31.3200
NH_4^+	2.5400	1.6600	0.7400	0.1900	5.1300
K^3	0.3000	0.2000	0.1800	0.1200	0.8000
Na^+	3.8600	1.8500	1.7600	1.7100	9.1800
Ca^{+2}	2.3200	1.5500	1.5500	0.6300	6.0500
Mg^{+2}	0.0810	0.0610	0.0640	0.0460	0.2520
Al	0.4500	0.7100	0.3400	0.1200	0.6200
Cd	0.0005	0.0000	0.0002	0.0002	0.0009
Cr	0.0040	0.0000	0.0140	0.0140	0.0320
Cu	0.0180	0.0190	0.0190	0.0090	0.0650
Fe	1.5630	1.2890	0.3470	0.1980	3.3970
Mn	0.0090	0.0050	0.0040	0.0030	0.0210
Ni	0.0400	0.0000	0.0500	0.0000	0.0900
Pb	0.0600	0.0300	0.1200	0.0600	0.2700
Zn	0.4400	0.2100	0.3800	0.1200	1.1500
Si	0.5600	0.3800	0.2400	0.1600	1.3400

* : the period of Yellow Sand Phenomena

농도는 황사현상시에 평상시보다 약간 높은 수치를 보이고 있다.

평상시 양이온 성분은 $Na^{+a15'}NH_4^+ > Ca^{+2} > K^+ > Mg^{+2}$ 순으로 분포하고 있으며 황사현상시 Ca^{+2}, Mg^{+2}의 농도비율이 평상시에 비해 감소현상을 나타내 $Na^+ > Ca^{+2} > NH_4^+ > Mg^{+2} > K^+$ 순으로 나타났다.

평상시의 경우 분진중 금속성분의 농도는 Fe가 평균 29.5%로 가장 높게 나타났고 Fe>Si>Al>Zn>Pb 순이었으며 황사현상시는 Fe가 43%로 급증하였고 상대적으로 Si의 구성비율이 감소하여 Fe>Al>Si>Zn>Pb 순으로 나타났다.

Fig. 7은 30 μm 이하의 분진중 이온 및 금속성분들의 입경별 농도분포를 나타낸 것으로 F^-와 NO_3^-의 농도는 평상시와 황사현상시 모두 입경에 따른 유의한 차이를 나타내지 않고 있으며 Cl^-의 경우 평상시 0.65~2.1 μm 에서 최대 농도, 2.1~4.7 μm 입경에서 가장 낮은 농도를 나타냈다. 황사현상시에는 2.1~4.7 μm 입경에서 가장 높은 농도를 나타내 평상시와는 다른 양상을 보이고 있어 황사현상으로 인하여 증가된 2.1~30 μm 입경 분진중에 Cl^-가 함유되어 있는 것으로 생각된다.

SO_4^{-2}는 황사현상시 2.1~4.7 μm 에서 최고 농도를 보이고 있으며 황사현상으로 인하여 전체적으로 증가를 보였으나 0.65~2.1 μm 입경의 범위에서 급증하였다.

이는 황사현상시 토양성분들에 의하여 2.1~7.0 μm 의 분진이 급증하는 것과는 양상을 달리하는 것으로 황사현상시 인위적인 발생원에서 기인된 분진들도 토양성분과 함께 이동되어진 것으로 추정된다.

양이온 성분들의 입경별 농도분포는 K^+와 NH_4^+를 제외한 양이온성분들은 황사현상시 평상시에 비하여 높은 농도를 보이고 있으며 미세입자보다는 조대입자 범위에서 높은 농도를 나타냈다.

금속성분들의 입경별 농도분포는 Al과 Fe의 경우 0.08~0.65 μm 의 미세입자에서는 평상시와 황사현상시의 농도가 비슷한 수준으로 나타났다. 황사현상시 조대입자 2.1~4.7 μm 입경범위에서 최대로 증가하였으며 평상시 농도의 2배 이상의 수준으로 나타났다.

평당시 Si는 조대입자 범위에서 높은 농도로 나타났으며 황사현상으로 인하여 4.7~30 μm 입경범위에서 증가를 하였으며 Mn은 평상시와 황사현상시의 입경별 농도분포가 유사하게 나타났으나 황사현상으로 인하여 2.1 μm 이상의 조대입자에서 증가를 나

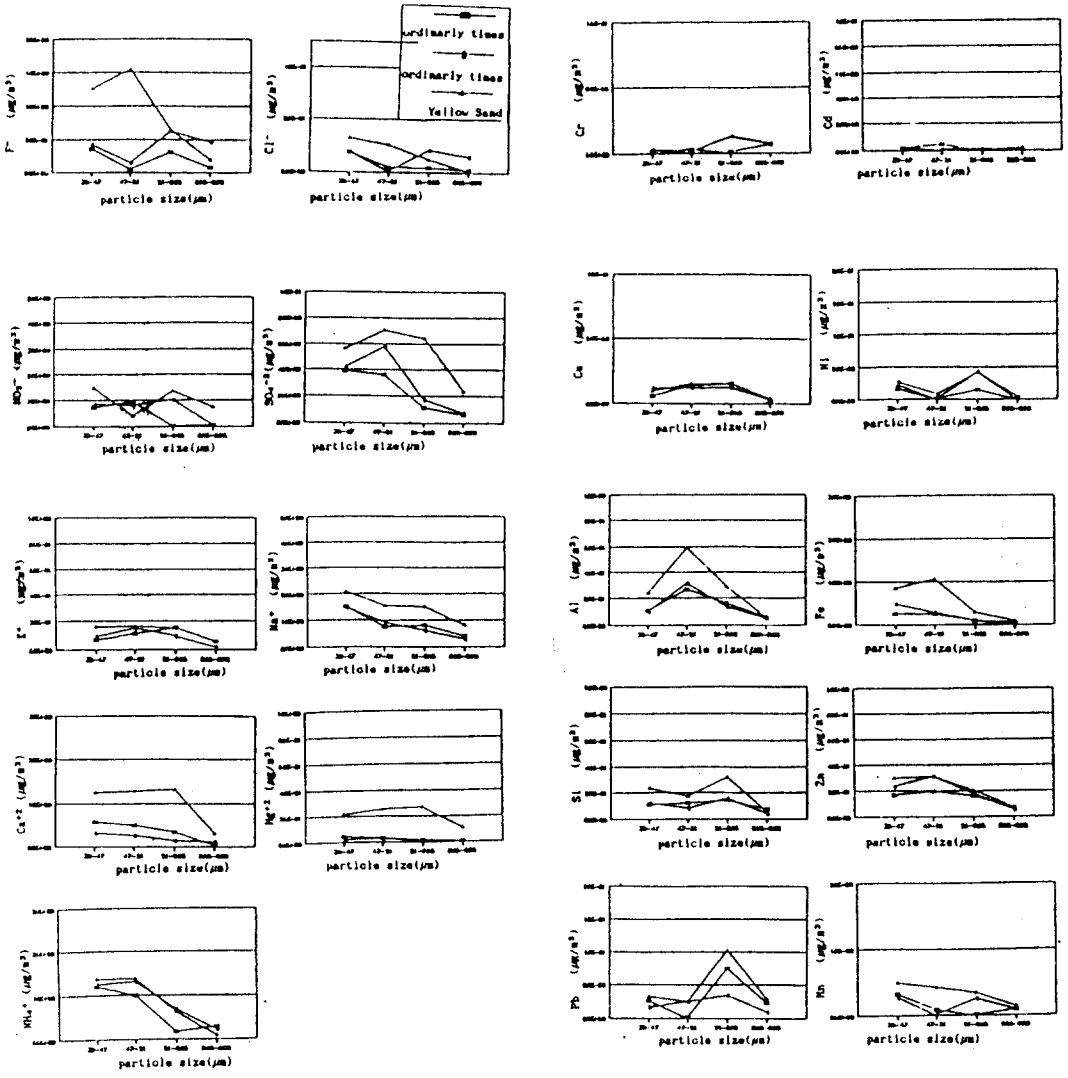

Fig 7. Size distribution of ion and metal concentration

타냈다.

Ni, Pb은 0.65~2.1 μm 입경의 미세입자에서 최고농도 피크형태를 나타내고 있어 이들 성분들이 인위적인 분진 발생원에서 기인된 미세입자의 분진에서 주로 유래된 것으로 생각된다.

황사현상시에도 증가를 나타내고 있는데 이는 음이온 성분중 SO_4^{-2}의 경우와 마찬가지로 황사현상시 인위적인 발생원에서 기인된 분진들이 일부 토양성분과 함께 이동되어진 것으로 추정된다.

이상에서 Cl^-, SO_4^{-2}, NH_4^{+2}, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al, Fe, Si, Mn의 농도는 조대입자의 범위에서 높은 농도를 나타냈으며 일반적으로 자연발생원과 관련있는 것으로 알려진 Cl^-, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al, Fe, Si, Mn의 농도가 황사현상시

조대입자의 범위에서 증가하고 있음을 알 수 있었다.

분진농도의 입경분포에서 살펴본 바와 같이 황사현상으로 인하여 분진농도가 조대입자(2.1~7.0 μm)범위에서 증가를 보이고 증가된 분진들의 주요구성성분들이 토양성분과 깊은 관계가 있는 성분이라는 사실을 미루어 볼 때 황사현상에 의하여 대륙으로부터 서울지역에 이동되어진 분진들이 토양성분에서 기인된 분진들로 주종을 이루고 있는 것으로 추정된다.

이는 100 μm 이상 입자의 분진에 대한 검토에서 Mn을 토양성분의 지표원소로 하여 분진중의 토양성분의 기여율을 산출한 결과 황사시 증가된 분진 중 81.3%가 토양성분에서 기인된 것이라는 것과 맥을 같이 한다.

3. 구성성분간의 상관분석

분진중 이온 및 금속성분 농도들간의 상관성을 살펴보기 위하여 High Volume Air Sampler를 이용하여 포집한 100 μm 이하 분진들의 이온성분들과 금속성분들을 대상으로 하여 성분간의 상관계수를 산출하였고 Andersen Air Sampler에 의한 입경별 분진의 각 성분들은 2.1 μm 입경을 기준으로 하여 조대입자와 미세입자로 구별하여 상관계수를 계산하였으며, 그 결과는 Table 7부터 Table 9까지에 나타난 바와 같다.

High Volume Air Sampler를 사용하여 포집한 100 μm 이하의 분진중 성분간의 상관관계를 살펴보면 대기중 부유분진 농도와 Cl^-, SO_4^{-2}, Na^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al, Fe, Mn, Si들과의 상관계수(r)가 0.8 이상으로 높게 나타났다.

이는 이들 성분들이 분진의 구성에 큰 비중을 차지하고 있으며 앞에서 논의된 바와 같이 이들 성분들이 황사현상시 증가되는 분진의 주요 구성성분이라는 것과 관계가 있는 것으로 생각된다.

분진의 음이온성분중 Cl^-는 Na^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al, Fe, Si, Mn과의 상관계수가 각각 0.8 이상으로 이들 성분들과의 상관성이 큰 것으로 나타났다. 해고입자의 주요 구성성분이 NaCl, $MgCl_2$이라는 사실로 미루어 볼 때 해고입자의 지표원소 성격을 갖고 있는 Cl^-의 상관분석에서 황사현상시 Ca^{+2}, Al, Fe, Si, Mn, 즉 토양성분의 이동과 함께 NaCl, $MgCl_2$의 해고입자가 이동되어진 것으로 생각된다.

음이온성분중 SO_4^{-2}는 양이온성분 Ca^{+2}, Mg^{+2}와 금속성분 Al, Mn과 상관성(r=0.816, 0.927)이 큰 것으로 나타나 전술된 바와 같이 분진중 $CaSO_4$, $MgSO^4$의 종합상태로 존재할 가능성을 시사하는 것으로 생각된다.

NO_3^-는 자연발생원들로부터 기인하는 성분들과의 상관성을 찾아볼 수 없었으며 NH_4^+ 및 Pb와의 상관계수는 0.615, 0.783으로 나타났다. 양이온중 NH_4^+과의 상관성을 미루어 볼 때 NH_4NO_3의 형태로 존재할 가능성을 추정할 수 있었으며 중금속 항목중 Pb와의 높은 상관성은 인위적인 발생원으로부터 유래한 것임을 시사하는 것으로 생각된다.

중금속성분 중 자연발생원과 관계가 적은 것으로 알려진 Cd은 Cl^- 및 Na^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Zn, Si, Mn과 높은 역상관관계를 나타냈다.

2.1~30 μm 분진중 각 성분들간의 상관관계를 살펴보면 음이온 성분중 SO_4^{-2}은 Na^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Fe, Al, Zn, Mn 등과 비교적 상

Table 7. Correlation matrix of component of particulate below 100 μm

	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Si
F^-	1.0000																		
Cl^-	.5341	1.0000																	
NO_3^-	-.2034	-.3856	1.0000																
SO_4^{2-}	.3014	.5999	.2584	1.0000															
NH_4^+	-.0635	-.0602	.6146	.4580	1.0000														
K^+	.1570	.8067	.0754	.7715	.0867	1.0000													
Na^+	.3585	.8423	-.4450	.4503	-.1374	.8119	1.0000												
Ca^{2+}	.3471	.8863*	-.2884	.8159	.0616	.8779	.7102	1.0000											
Mg^{2+}	.3716	.9082	-.0643	.9271*	.1886	.8716	.6457	.9844**	1.0000										
Al	.4987	.8894*	-.1806	.8557	.1354	.8596	.7892	.9789**	.9708**	1.0000									
Cd	-.7486	-.8350	.4130	-.5201	-.2277	-.3536	-.8174	-.8179	-.8903	-.8996	1.0000								
Cr	.8901	.8842	-.0112	.8574	.5397	.4863	.7374	.8206	.8303	.7416	-.8481	1.0000							
Cu	-.2984	-.4106	-.3117	-.8581	-.6181	-.3386	-.2485	-.5080	-.5700	-.5778	.5752	-.8184	1.0000						
Fe	.3482	.9018*	-.4350	.5945	.1040	.7587	.8865	.9063*	.7852	.8675	-.6398	.6487	-.2936	1.0000					
Mn	.4350	.9086*	-.2661	.7548	.3417	.6853	.7534	.8906*	.8432	.9181*	-.6334	.8649	-.3847	.9226*	1.0000				
Ni	.5520	.5871	.0873	.5929	.3992	.7057	.7334	.8575	.6283	.7541	-.5811	.8539	-.3175	.7056	.7810	1.0000			
Pb	.1474	-.4021	.7834	.1106	.7180	-.0183	-.0978	-.3736	-.3811	-.1228	.0657	.3678	-.1759	-.3474	-.0640	.4430	1.0000		
Zn	.0036	.5553	-.3143	.3911	.3910	-.1383	.5308	.2631	.2582	.3571	-.9018*	.7483	-.5540	.3468	.6042	.3370	.0812	1.0000	
Si	.5431	.9600*	-.4489	.6416	-.1325	.7844	.8733	.8518*	.8410	.8503*	-.7037	.6440	-.3496	.8809*	.8645	.8814	-.3234	.3846	1.0000
TSP	.4836	.5452	-.0731	.9221*	.2632	.8419	.7144	.9869*	.9821**	.9872**	-.8861	.7621	-.6918	.8290	.9178*	.7341	-.0684	.3900	.8922*

Table 8. Correlation matrix of component of particulate below 2.1 μm

	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
F^-	1.0000																	
Cl^-	.8373	1.0000																
NO_3^-	.4958	.4449	1.0000															
SO_4^{2-}	.4281	.8922*	.5442	1.0000														
NH_4^+	.8672*	.5638	.7511	.7811	1.0000													
K^+	.6543	.3427	.6500	.8604	.5351	1.0000												
Na^+	.9634**	.7087	.7983	.8079	.9649**	.6218	1.0000											
Ca^{2+}	.8313	.9414*	.5518	.7843	.5482	.7984	.7195	1.0000										
Mg^{2+}	.7180	.9638**	.4149	.8033	.4184	.8598	.5794	.9429*	1.0000									
Al	.0828	.6039	-.3034	.3780	-.2548	.4796	-.1247	.5112	.7014	1.0000								
Cd	.1589	.1828	.5626	-.0540	-.0603	.3587	.1217	.4031	.3407	.0402	1.0000							
Cr	.5313	.0745	.7218	.1045	.6087	.0644	.6096	.1416	-.0428	-.6580	.3735	1.0000						
Cu	.3125	.3259	.1134	.2375	.1072	.3487	.1079	.0894	.2303	.3388	.1035	.3635	1.0000					
Fe	.8307	.9756**	.4658	.8863*	.6047	.8499	.7070	.8876	.9071*	.8534	.1684	.1674	.5130	1.0000				
Mn	.9941**	.8349	.8443	.8084	.8841	.6218	.8517*	.6510	.7277	.0998	.1852	.4929	.1283	.8084	1.0000			
Ni	.6854	.2783	.7430	.5287	.9048*	.3295	.5199	.2186	.0791	-.6494	-.0648	.7903	.3410	.3843	.7080	1.0000		
Pb	.7811	.6735	.8177	.8781	.8448	.8580	.8812	.6746	.5934	.0475	-.1046	.1838	-.1905	.8095	.7986	.8171	1.0000	
Zn	.9238*	.8400	.8480	.7943	.7776	.8190	.8850*	.8863*	.7986	.1451	.4783	.5296	.2532	.8348	.8825*	.8946	.7196	1.0000
Si	.7276	.7862	.5958	.9145*	.7386	.9081	.7844	.8334	.6888	.3111	.1058	.2765	.4379	.8161	.6362	.6433	.7501	.7903

Table 9. Correlation matrix of component of particulate from 2.1 μm to μm

	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NH_4^+	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
F^-	1.0000																	
Cl^-	.8858*	1.0000																
NO_3^-	-.0831	.2181	1.0000															
SO_4^{2-}	-.1772	.2220	.8324	1.0000														
NH_4^+	.5254	.3620	.2411	.1576	1.0000													
K^+	-.5817	-.4631	.2544	.4363	-.0609	1.0000												
Na^+	-.5580	-.1582	.7530	.9035*	-.1783	.5777	1.0000											
Ca^{2+}	-.1517	.2590	.6380	.9432*	.1324	.5443	.4222	1.0000										
Mg^{2+}	-.3158	.0832	.7971	.9631**	.0036	.4527	.9587*	.9159*	1.0000									
Al	-.0840	.2043	.4358	.7330	.3891	.7058	.8619	.8744	.5584	1.0000								
Cd	.7348	.6578	-.4084	-.2948	-.0497	-.8257	-.5001	-.2304	-.3217	-.2704	1.0000							
Cr	.4718	.4288	.5041	.3209	.5627	-.5540	.0926	.0899	.2418	-.0875	.3884	1.0000						
Cu	-.1054	.1446	.2728	.3796	.1183	.7620	.3048	.5314	.3029	.7758	-.4348	-.5053	1.0000					
Fe	.0827	.5144	.7258	.9162*	.1146	.3297	.7386	.83444	.8678	.7482	-.0478	.3084	.5259	1.0000				
Mn	.2190	.3634	.5488	.7498	.5823	-.0441	.5310	.5563	.6783	.3917	-.1185	.8348	-.0247	.8169	1.0000			
Ni	.3997	.5309	.4598	.4078	.8952	.3506	.1068	.4670	.2487	.7137	-.2392	.1234	.7447	.5330	-.3683	1.0000		
Pb	-.4921	-.1517	.3913	.7062	-.0073	.9012*	.7322	.8395	.7050	.8822*	-.3787	-.2753	.7698	.8805	-.1781	.4283	1.0000	
Zn	-.0880	.1487	.5063	.7371	.8358	.8825	.5581	.8278	.0810	.9739**	-.4357	.0486	.8825	.8857	-.0341	.7406	.8343	1.0000
Si	-.3962	.0183	.5740	.8794	.4140	.9003	.4803	.6258	.4948	.8336	-.7049	-.1428	.8598	.8487	-.2145	.8106	.7811	.8623

N of cases: 6 1-tailed Signif: * - .01 ** - .001

" . " is printed if a coefficient cannot be computed

관계수가 높게 나타나 100 μm 이하의 분진의 경우와 유사한 경향을 보였으며 NO_3^-의 경우도 이들 성분과의 상관관계가 SO_4^{-2}와 유사하게 나타났다.

2.1~30 μm 조대입자에서는 NO_3^-, Cu, Pb 등이 주로 자연발생원과 관계있는 것으로 알려진 Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al, Fe 들과도 부분적으로 상관성을 보이는 것은 자연발생원으로부터 유래된 조대입자중에 이들 성분들이 일부 함유되어 있고 황사현상시 인위적인 배출원에서 유래된 입자들이 일부 이동되는 효과에 기인하는 것으로 생각된다.

2.1 μm 이하의 분진에서 Cl^-은 Ca^{+2}, Mg^{+2}, Fe, Zn, Mn과 상관계수 0.8 이상의 높은 상관성을 보이고 SO_4^{-2}은 Na^+, Mg^{+2}, Fe, Mn, Pb, Si 등과 0.8 이상을 보였으며, NO_3^-는 NH_4^+, Na^+, Cr, Ni, Zn 등과 0.7 이상을 나타냈다.

SO_4^{-2}과 NO_3^-는 조대입자의 경우에 비하여 NH_4^+ 및 Pb, Cr, Ni 등과의 상관계수가 크게 나타나 미세입자중에서 $(NH_4)_2SO_4$ 및 NH_4NO_3의 형태로 존재할 가능성과 인위적인 발생원으로부터 기인되었을 가능성을 동시에 보여주고 있는 것으로 판단된다.

또한 100 μm의 경우와 달리 자연발생원 및 인위적인 발생원에서 기인된 것으로 생각되는 성분들이 비교적 높은 상관성을 가지고 농도변화를 나타내는 것은 이들 성분들이 같은 발생원으로부터 기인한 것이 아니라 황사현상으로 인하여 토양성분이 주종을 이루는 황사와 인위적인 발생원에서 유래된 SO_4^{-2}, Pb 등이 함께 이동되어진 데 기인하는 것으로 추정된다.

이와같은 사실은 토양성분의 지표원소로 간주할 수 있는 Mn을 기준으로 하여 볼 때 황사현상시 증가된 분진의 81.3%가 토양으로부터 기인되었으며 나머지 18.7%는 해고입자 및 인위적인 발생원에서 배출된 분진이 황사현상시 황사와 함께 이동되었다는 것을 의미하는 것으로 판단된다.

Ⅳ. 결 론

1990년 4월 8일부터 4월 10일 사이에 우리나라 전역에서는 황사현상이 관측되었다. 동 황사현상기간과 이 기간을 전후로한 평상시에 서울시 은평구 불광동에서 대기중의 100 μm 이하 및 30 μm 이하의 분진을 입경별로 채취하여 분진내에 함유되어 있는 이온성분 및 금속성분을 분석함으로써 부유분진중 구성성분들의 분석특성을 살펴보고 각각의 성분들간의 상관성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 황사현상으로 인하여 100 μm 이하 분진의 이온성분중 SO_4^{-2}과 Cl^-, Na^+, Ca^{-2}, Mg^{-2}의 농도가 증가하였으며, 각각의 농도범위는 27.2~28.5 μm/m³, 5.03~5.61 μm/m³ 6.59~6.6 μm/m³, 4.68~5.77 μm/m³, 1,159~1.160 μm/m³로 나타났다.

2. 평상시에 관한 황사현상시 100 μm 이하 분진중 각 구성성분의 중량백분율의 비는 음이온성분은 모두 1.0 이하이었고, Mn은 2.2, Fe 1.9, Mg^{+2} 1.58, Al 1.44, Ca^{+2} 1.25로 나타났으며 황사현상시 토양분석의 지표원소로 Mn이 적합한 것으로 판단되었다.

3. 황사현상시 4.7 μm에서 피크를 이루는 일산형으로 나타났으며 3.3~7.0 μm의 입자가 평상시에 비해 상당히 증가한 것으로 나타났다.

4. 30 μm 이하의 분진중 음이온성분 농도

는 평상시와 황사현상시 $SO_4^{-2}>NO_3^->Cl^-$ $>F^-$ 순으로 나타났으며, 양이온 성분은 평상시 $Na^+>NH_4^+>Ca^{+2}>K^+>Mg^{+2}$, 황사현상시에는 $Na^+>Ca^{+2}>NH_4^+>Mg^{+2}>K^+$ 순으로 나타났다.

5. 황사현상시 30 μm 이하 분진의 금속성분중 Fe는 43%(평상시 29.5%)로 증가하였고 금속성분의 구성비율은 Fe>Al>Si>Zn >Pb 순으로 나타났으며 자연발생원과 관련있는 Cl^-, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al, Fe, Si, Mn의 농도는 입경 2.1~7.0 μm 범위에서 증가하였다.

7. 황사현상과 관련하여 Cl^-, SO_4^{-2}, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al, Fe, Mn, Si 들간의 상관성(r>0.7)이 높게 나타났으며 조대입자는 $CaSO_4$, Na_2SO_4, $MgSO_4$, NaCl, $MgCl_2$, 미세입자는 $(NH_4)_2SO_4$ 및 NH_4NO_3의 형태로 존재할 가능성이 큰 것으로 추정된다.

8. Mn을 지표원소로 하여 산출된 분진중 토양의 기여율은 평상시 38.75%(70.1 μmm^3), 황사현상시는 59.28%(207.5 μm/m^3)로 나타났으며, 황사현상으로 인하여 증가된 분진농도(169 μm/m^3)중 81.3%는 토양성분으로부터, 나머지 18.7%는 해고입자 및 인위적인 발생원에서 기인된 분진인 것으로 추정된다.

참 고 문 헌

1. 김희강외 4인 : 황사 및 분진의 일반특성조사, 대기오염물질의 장거리이동과 산성비 강하에 관한 연구(1), 과학기술처, pp. 107~140(1989).
2. 박경윤, 양영규, 서명석 : 형성자료 영상분석에의 대기오염물질 장거리이동 확인, 대기오염물질 장거리이동과 산성비 강하에 관한 연구(1), 과학기술처, pp. 142~168(1989).
3. 김희강외 3인 : 황사 및 분진의 일반특성, pp. 147~145, 대기오염물질의 장거리 이동과 산성비 강하에 관한 연구(2), 과학기술처, pp. 147(1989).
4. Charles E. Kupchella and Margaret C. Hyland, Living with in the system of nature, Environmental Science, 2nd Edition.
5. 김형석, 흡인성입자(respirable particle)의 유해성, 환경과 공해, Vol.3 No.9.
6. 김희강, 신은상 : 대기부유분진중 토양입자의 기여율에 관한 연구, 제 11 회 대기보전학회학술연구발표회 요지집, p. 17(1990).
7. 이민희 외 3인 : 황사현상시 분진의 입도분포와 화학조성에 관한 연구, 대기보전학회지, Vol. 4 No. 2(1988).
8. 이민희외 3인 : 황사현상시 강수의 화학적 성분에 관한 연구, 대기보전학회지, Vol. 5 No. 2(1989).
9. 이민희, 한의정, 한진석, 신찬기, 박태술, 권오영 : 산성비 및 강하물질분석, 대기오염물질의 장거리 이동과 산성비 강하에 관한 연구(2), 과학기술처(1990).
10. K. Arao and Y.Ishizara, Volume and Mass of Yellow sand dust in the air, 64 (1), pp. 79~94(1986).
11. G.E. Shaw, Transport of Asian desert aerosol to hawaiian islands, J. APPl Meteor. 19, pp. 1254-1259(1980).
12. 암판태신, 질포송명, 장실승전, 황사입자의 운반とその공간적ひろがり(1979년 4월にみちねた황사현상のレサレダ

관측), 천기 29(3) pp 35~39(1982).
13. 암판태신, 황사の장거리운반이측계획(フジイ지역におそ대기화학の국제공동연구계획), pp 46~57(1989).
14. 청세랑, 진실철웅, 황사エアロソルに관すニ,ヲ삼の지견, 대기오염학회지, Vol. 13, Mo.7, pp. 31~39(1978).
15. 진중무, 전촌정의, 교본방일, 황사현상によるフジフ대륙ちの토양입자の이동とねが국に내ほま영향, 대기오염학회지, 18(3) pp. 263~270(1983).
16. W.K. Weisweiler and B.U. shwarz, Nature of Ammonium Containing Particles in Airborn Site of Germany, Atmospheric Environment, vol.24 B, No.1, pp. 107~114(1990).
17. 이민희외 2인 : 황사현상이 우리나라에 미치는 영향, 대기보전학회지, Vol. 2 No. 3, pp. 34~44(1986).
18. 이동수, 최만식 : 우리나라 대기 분진중의 화학조성에 관하여, 제 11 회 대기보전학회학술연구발표회 요지집, pp. 20~21(1990).
19. 이민희, 한의정, 신찬기, 한진석, 박태술 : 도시대기질 개선에 %한 연구, NIER No. 89-08-257(1989).
20. 이민희외 5인 : 대기중 부유분진의 성분에 관한 조사 연구(5), 국립환경연구소보(1986).
21. 김동술, 황사의 양적 추정을 위한 기초연구, 대기보전학회지, Vol. 6 No. 1(1990).
22. 이민희외 5인 : 황사현상시 대기오염물질 동태에 관한 연구, 대기보전학회지, Vol. 6 No. 2(1990).
23. 판본화산 : 대기입자상물질の이차생성, 부유입자상물질に관すそ문헌학적조사, 환경청위탁조사결과보고서(1981).