

ICP법에 의한 도시대기중 중금속 농도 측정 — 중앙대학교를 중심으로 —

Determination of Heavy Metals Concentrations in Urban Air using ICP Method — in the Area of Chung-Ang University —

손 동 헌 · 신 혜 숙 · 정 성 윤 · 정 원 태

중앙대학교 약학대학
(원고접수: 1993. 7. 9)

Dong Hun Sohn, Hye Suk Shin, Sung Yun Jung, Won Tae Jung

College of Pharmacy, Chung-Ang Univ
(Received, 9 July 1993)

Abstract

Total suspended particles in the atmosphere were collected on the quartz fiber filters using an Andersen Hi-volume air sampler from March 1989 to October 1989 and from June 1990 to February 1991, at Chung-Ang University in Seoul.

A total amount of eight heavy metals(Cr, Zn, Cd, Pb, Fe, V, Ti, Mn) in total suspended particles were determined by ICP spectrophotometer.

The annual arithmetic mean concentration of total suspended particle was $162.3\mu\text{g}/\text{m}^3$ and eight metals(Cr, Zn, Cd, Pb, Fe, V, Ti, Mn) were 11.6, 609.2, 3.5, 337.1, 2739.5, 15.1, 89.4 and $100.5\text{ng}/\text{m}^3$, respectively.

The concentration of total suspended particle was highest in the spring($343.7\mu\text{g}/\text{m}^3$) and lowest in the summer($91.8\mu\text{g}/\text{m}^3$).

These heavy metals were distinguished into two groups in terms of their particle size distribution. The contents of first-group heavy metals(Fe, Ti, Mn) were increased in accordance with the growth of the particle size. The contents of the second-group ones such as Pb, Cd, V, and Zn, on the contrary, came to increase according as the particle size reduced.

Statistical analysis indicated that there was a correlation between total suspended particle and Fe in coarse particles, and between total Suspended Particle and Zn, Pb in fine particle.

1. 서 론

근세에 들어와 급속도로 발전한 산업·과학 기술은 화석 연료의 사용을 크게 증대시키고 각종 인체에 유해한 화학물질을 방출시킴으로써 대기오염을 심화시켜 왔다.

대기부유분진에는 유해물질인 다환방향족탄화수소, 중금속 및 황산염이나 질산염등이 함유되어 있으며 이들 물질의 대기 중 농도, 粒徑分布 등은 대기오염연구의 중요한 부분을 차지하고 있다 (Mizohata et al., 1986).

유해중금속들은 미량으로도 강한 생리작용을 나

타내며 체내에 축적되어 진폐증, 피부질환, allergy 성 질환, 신장해, 간장장애, 성장부진 등 여러 가지 중독증상을 나타낸다(Bellinger et al., 1986).

부유분진은 입경 $2\mu\text{m}$ 전후를 경계로 하여 양측에 Peak를 나타내는 二山型 분포(bimodal distribution)를 나타내며 $2\mu\text{m}$ 이상인 입자를 조대입자(coarse particle), 이하인 입자를 미세입자(fine particle)라 부른다.

전자는 주로 토사, 해염 등 자연발생원으로부터 유래하며, 후자는 화석연료의 연소 및 공업활동, 또는 자연현상에 의하여 배출되는 1차 입자 및 gas로써 방출된 물질이 대기중의 화학반응에 의하여 입자화된 2차입자로 되어 있다. 2차 입자가 생성되는 광화학 또는 화학반응은 몇 분에서 길게는 몇 일의 시간이 소요되는 가뭄에 공해물질이 어느 정도 확산된 후에 생성되므로 1차 입자에 비해 광범위한 영역에서 낮은 농도로 발견되나 2차 입자는 낮은 농도에도 불구하고 인체에 미치는 유해도가 커서 큰 피해를 끼친다(角脇恰, 1987).

대기부유분진의 입경에 따라서 인체에 미치는 영향이 다르기 때문에 최근 부유분진 중 중금속에 관한 연구는 대기부유분진의 입경별 포집과 입경에 따른 각종 유해성분의 양을 분석하고 있다(손동헌등, 1986).

특히 $1.1\mu\text{m}$ 이하의 미세입자는 폐포 내까지 침착하여 인체에 심각한 손상을 일으킨다(Rivedal et al., 1981). 따라서 입경별로 포집하여 각각에 대한 중금속 농도를 분석할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 도시대기 중 부유분진과 부유분진내에 함유된 중금속의 농도와 입경별 분포를 파악하기 위하여 대기부유분진을 서울시 동작구 중앙대학교 약학대학 4층 옥상에서 포집 후 ICP spectrophotometer를 이용하여 분석하였다.

2. 실험방법

2.1 대기부유분진의 포집

서울특별시 동작구 흑석동 중앙대학교 약학대학 4층 옥상에서 1989년 3월에서 10월까지 20회 및 1990년 6월에서 1991년 2월까지 27회에 걸쳐 Andersen high volume Air Sampler(Dylec Model AH-600, Model HVC-1000)를 사용하여 석영섬유여지상(Round filter-Pallflex quartz filter, Type 2500 QAST, Circular filter, $\phi 30\text{cm}$, Pallflex Product Corp.; Back up filter-Pallflex quartz filter, Type AHQ-630, $20 \times 25\text{cm}$, Pallflex Product Corp., USA)에 포집하였다.

부유분진포집장치를 사용하여 두 가지 방법으로 포집하였는데, 구체적인 입경별 분포를 파악하기 위하여 89년 4, 9월과 90년 7, 11월은 48시간 동안 5단 분별 포집 [$>7.0\mu\text{m}$ (S-1), $3.3-7.0\mu\text{m}$ (S-2), $2.0-3.3\mu\text{m}$ (S-3), $1.1-2.0\mu\text{m}$ (S-4), $<1.1\mu\text{m}$ (Back up)]하였고, 그 외 모든 시료들은 24시간 동안 total suspended particle을 포집하였다. 부유분진 포집량의 산출은 前報(손동헌 등, 1989)와 같이 하였다.

2.2 ICP에 의한 중금속의 분석방법

Round filter는 1/8을 취하고 back up filter는 둘로 접어서 직경 40mm인 belt punch로 절취하여 세정한 후, 고주파출력 200w, 산소류량 100ml/min의 조건으로 저온회화장치(PC-103, Yamato, Japan) 내에서 약 1시간 동안 회화시키고 toll beaker에 넣은 후 10% HNO_3 (和光純藥, 유해금속측정용) 100ml를 가하여 시계침시를 덮고 hot plate 상에서 저온으로 약 2시간 용출하여 온시여과(東洋餘紙 No.5c) 한 뒤 여액을 hot Plate 상에서 증발건고시키고 0.5N- HNO_3 용액으로 정용 10.0ml로 하여 검액으로 하였다. 검액을 ICP spectrometer(Plasma 40 Emission spectrometer, PER-KIN-ELMER)를 사용해 분석하였으며 측정조건은 표 1에 나타내었다.

Table 1. Measuring condition of ICP spectrometer.

RF power: 1.0kw		
RF frequency: 40.68MHz		
Nebulizer: cross-flow nebulizer		
Wavelength		
Cr; 205.552nm	Ti; 334.941nm	Cd; 214.438nm
Fe; 238.204nm	V ; 309.312nm	Pb; 220.353nm
Zn; 213.856nm	Mn; 257.610nm	

2.3 Standard Reference Materials Test(SRM Test)

NIST #1648(Urban Particulate) 중의 각 중금속의 측정 비교치를 표 2에 나타내었다. 각 중금속중에서 그 수치가 확실치 않다고 밝힌 Ti과 Mn을 제외한 나머지 6종의 금속의 회수율은 95~98.67%로서 양호한 회수율을 얻을 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 대기부유분진의 농도

1989년 3월부터 10월까지, 1990년 6월부터 1990년 2월까지 43회에 걸쳐 Andersen high volume Air Sampler를 사용하여 포집한 대기부유분진의 농도를 표 3에 나타내었다.

Table 2. Urban particulate heavy metal contents in standard reference materials of NIST #1648.

Element	A	B	%
Cr	403	392	97.27
Zn	4,760	4,594	96.51
Cd	75	74	98.67
Pb	6,550	6,229	95.10
Fe	39,100	37,870	96.85
V	140	133	95.00
Ti	(4,000)	3,603	90.08
Mn	(850)	716	84.24

Note : Values are shown in $\mu\text{g/g}$

A means Urban Particulate heavy metal contents by NIST

B means Urban particulate heavy metal contents by experiments

% means $B/A \times 100$

Values in parentheses are not certified, but are given for information only.

포집기간 동안 대기부유분진(total suspended particle: 이하 TSP로略함)의 농도범위는 $30.5 \sim 428.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서 월별, 계절별 변동이 심한 편이었다. 89년의 평균치(시료수: 18)는 $179.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고, 90년의 평균치(시료수: 25)는 $142.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로서 연평균 환경기준치인 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 89년도에는 높았다. 이는 89년의 경우, 4월에 2회에 걸쳐 포집된 TSP의 농도가 연간 3회 이상 초과하지 않도록 규정되어 있는 일평균 환경기준치인 $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (김형철, 1980)를 초과하여 나타남으로 인해서 연평균치를 상승시켰다고 본다.

본 포집장소에서의 연도별 TSP의 농도변화를 살펴보면, 85년은 $113.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 86년은 $147.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 87년은 $180.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 88년은 $200.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (권상호 등, 1987; 손동현 등, 1989)으로 연도별로 약간씩 상승했음을 보여주고 있는데, 이는 측정지점의 인근 차량통행의 증가와 주택 건축법 완화로 인한 다세대 주택의 증가로 난방연료 소비량의 급격한 증가로 생각된다.

90년도의 평균치가 낮은 이유는 대기부유분진의 양이 전년도보다 감소하였기 때문이 아니라 일년중 분진량이 가장 많은 춘기의 측정자료가 없음에 기인한다고 생각된다.

3.2 대기부유분진중 중금속의 농도

표 3에 대기부유분진중에 함유된 중금속의 농도를 나타내었다. 각 중금속의 평균농도는 Fe가 2739.

$5 \text{ng}/\text{m}^3$, Pb는 $337.1 \text{ng}/\text{m}^3$, Zn이 $609.2 \text{ng}/\text{m}^3$, Mn이 $100.5 \text{ng}/\text{m}^3$, Ti가 $89.4 \text{ng}/\text{m}^3$, V가 $15.1 \text{ng}/\text{m}^3$, Cr이 $11.6 \text{ng}/\text{m}^3$, Cd이 $3.5 \text{ng}/\text{m}^3$ 으로 나타났다.

포집 全期間에 걸쳐 각 중금속이 TSP에 분포하는 정도를 비교하면 Fe가 1.65%로 가장 높고, Zn은 0.38%, Pb는 0.21%, Mn은 0.062%, Ti는 0.054%, V는 0.009%, Cr은 0.007%, Cd은 0.002%로 가장 낮은 분포를 나타냈다.

이 분포는 笠原 등(1984)의 1974년부터 1983년에 걸친 연구 결과($\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Mn} > \text{Ti} > \text{V} > \text{Cr} > \text{Cd}$)와 일치하게 나타난 것으로 보아 우리나라와 일본의 대기부유분진 중 중금속 분포비율이 유사함을 알 수 있다.

토양입자 등 자연발생원에 의한 Fe(溝塚朗, 1981)이 많이 분포되어 있었으며 자동차나 도시 폐기물의 소각과정 등과 같이 주로 인공발생원에서 유래한다고 알려진 Pb, Zn 등은 Fe을 제외한 다른 금속에 비해 높은 분포를 보였다.

황사현상이 나타나는 춘기에 Fe, Ti의 농도가 현저히 높았는데 이는 田中茂 등(1984)의 연구 결과와 유사하게 나타났으며 이들 금속들은 주로 토양 입자에서 유래한다.

한편 도시환경분진 중 금속의 인위적 영향여부를 판단할 수 있는 농축계수(Enrichment Factor, EF)를 구해보면 Table 4와 같다. 여기에서는 기준원소로서 Fe를 선정하였고, 대조치(reference)는 Vinogradov의 토양원소 조성표(山縣登, 1977)를 이용하였다.

EF가 1보다 크면 측정된 입자상 물질은 인위적 영향을 받고 있다고 생각 되므로 Table 4에서 Pb(483.6), Zn(175.0), Cd(92.1) 등은 EF치가 현저히 높으므로 토양 유래 요인이 아닌 인위적 요인에 의해서 분진중에 분포되어 있음을 알 수 있다. V의 경우 2.07로서 작은 EF치를 보이고 있었으나 주로 미세 입자층에 분포되어 있는 것으로 보아 석탄, 석유 등의 연소에 의해 분진중에 분포되어 있는 것으로 생각된다. Mn은 1.7로서 인위적 영향을 크게 받지 않고 있다. 반면, Cr(0.8)과 Ti(0.3)은 대부분 토양 입자에서 유래된 것으로 판단된다.

또한, Pb의 농도(87년도에는 $924.1 \text{ng}/\text{m}^3$, 88년도에는 $607.5 \text{ng}/\text{m}^3$ (손동현 등, 1989), 89년도에는 $339.3 \text{ng}/\text{m}^3$, 90년도에는 $274.9 \text{ng}/\text{m}^3$)의 감소현상은 주 배출원인 자동차에 대한 무연 gasoline의 보급 확대에 의한 것으로 생각된다.

3.3 대기부유분진 농도의 월별 변동

대기부유분진의 월별 평균농도의 변동을 그림 1

Table 3. Concentration of TSP and each heavy metals.

Date	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration of each Heavy Metals(ng/m^3)							
		Cr	Zn	Cd	Pb	Fe	V	Ti	Mn
890308	131.4	14.4	869.5	2.7	347.8	2,137.9	29.5	64.6	53.5
890315	209.7	14.4	771.1	5.2	595.3	3,256.2	5.6	11.6	97.5
890322	158.2	17.4	765.4	3.7	428.5	3,653.1	40.2	119.2	97.9
890405	373.2	33.9	2,041.0	8.7	969.3	6,422.4	53.6	224.6	236.4
890419	229.2	24.2	1,778.0	13.4	817.2	7,813.2	77.6	757.3	232.9
890426	428.8	16.0	506.9	2.5	304.3	2,327.1	17.9	61.2	69.7
890503	222.6	13.6	687.7	3.9	413.9	4,410.5	40.3	126.9	115.0
890523	234.7	16.5	817.1	2.7	262.4	4,677.6	22.5	133.4	122.9
890529	222.1	15.4	819.1	5.3	330.6	4,819.4	26.7	129.4	136.8
890608	48.5	7.1	247.9	0.8	92.9	1,054.5	10.2	13.4	24.4
890621	171.9	19.5	957.7	7.0	550.2	4,244.5	28.4	77.9	118.5
890628	264.8	22.7	1,370.2	5.5	444.0	6,216.9	25.8	12.5	163.6
890712	66.1	7.2	356.7	1.1	200.0	1,920.8	10.5	34.7	40.4
890718	56.7	5.3	493.1	1.3	168.6	1,614.3	8.8	30.4	24.8
890913	110.3	8.9	416.3	2.0	213.4	237.8	13.8	67.4	65.7
890921	136.0	13.4	556.1	3.7	356.8	248.6	7.8	3.0	67.4
890928	77.8	8.4	428.3	2.5	229.5	2,179.7	10.7	52.8	49.0
891005	87.4	6.1	402.2	3.6	462.7	1,382.2	11.6	57.1	29.0
MEAN	179.4	14.7	793.6	4.2	399.3	3,366.	25.3	113.0	97.0
S. D.	105.8	7.3	488.1	3.1	224.3	2,194.3	19.1	176.0	64.4
900627	54.3	3.6	128.7	0.4	89.2	1,335.2	6.5	55.7	26.5
900705	139.4	10.4	504.8	4.1	224.0	2,596.0	21.6	95.6	67.6
900711	47.8	6.8	116.7	0.7	85.5	730.7	3.5	21.4	21.4
900725	41.5	3.8	168.4	0.6	111.9	844.9	1.4	32.9	15.5
900801	131.1	11.5	549.7	2.3	200.3	2,538.0	—	92.3	42.5
900808	70.1	5.9	156.2	0.7	111.7	1,416.9	—	57.2	22.3
900823	45.9	5.9	277.5	0.7	89.8	763.5	—	37.1	33.3
900829	173.9	11.2	459.4	3.0	318.9	3,099.9	—	11.6	52.1
900912	96.1	8.3	547.4	2.2	242.6	1,414.0	5.4	51.4	3.7
900919	254.4	15.1	769.4	3.9	394.9	5,305.1	—	200.2	110.3
901003	137.1	7.5	325.0	1.7	204.7	2,545.8	—	—	58.4
901017	131.7	6.8	295.5	2.3	202.0	2,636.8	—	72.2	92.1
901024	153.6	9.1	658.8	3.2	326.9	2,167.1	2.8	78.7	82.9
901031	242.8	15.9	818.8	5.3	570.5	3,851.1	13.7	131.0	119.4
901107	141.5	7.7	489.0	3.3	344.1	2,116.6	11.3	73.0	68.6
901114	150.8	7.3	356.9	1.9	295.4	1,999.5	3.6	80.8	58.9
901122	371.2	18.2	819.8	5.3	572.2	5,540.5	5.2	190.4	169.5
901130	97.4	2.9	360.3	3.1	367.6	504.9	17.2	22.9	15.6
901212	288.8	12.7	701.5	5.4	545.6	2,981.3	4.9	91.1	984.0
901219	30.5	2.4	115.1	0.6	53.4	538.3	—	22.3	20.1
910109	221.9	9.9	563.1	3.9	331.9	2,287.3	5.2	68.4	49.7
910116	129.6	8.6	307.0	3.7	258.4	1,766.3	—	57.2	50.4
910123	155.3	11.7	566.9	4.7	442.7	1,592.9	21.6	41.7	45.9
910201	113.6	5.0	246.3	2.1	165.2	121.7	—	36.7	359.6
910206	128.9	4.8	321.1	2.7	323.6	860.5	1.5	24.1	31.5
MEAN	142.0	8.5	424.9	2.7	274.9	2,112.3	5.0	65.8	104.1
S. D.	82.6	4.1	221.1	1.2	152.0	1,382.3	6.8	47.1	196.8
MEAN	160.7	11.6	609.2	3.5	337.1	2,739.5	15.1	89.4	100.5
S. D.	26.5	4.4	260.7	1.1	87.9	887.0	14.3	33.3	5.0

Tale 4. Enrichment factor(EF) of each element in the TSP.

	Cr	Zn	Cd	Pb	V	Ti	Mn
%	0.007	0.38	0.002	0.21	0.009	0.054	0.062
EF	0.8	175.0	92.1	483.6	2.1	0.3	1.7

Note; % means Heavy metal % in TSP.

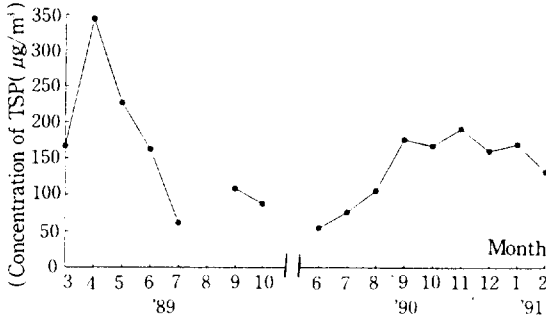


Fig. 1. Monthly variation of TSP.

에 나타내었다.

춘기의 TSP의 평균농도는 332.1µg/m³이었고, 하기, 추기, 동기는 각각 100.9, 156.3, 152.6µg/m³으로 춘기(3월, 4월, 5월)가 가장 높았고 하기(6월, 7월, 8월)에 가장 낮았는데 이것은 富田 등(1973)의 연구결과와 유사하게 나타난 것으로 보아 우리나라와 일본은 지역적으로 유사한 영향을 받고 있다고 생각된다. 특히 다른 계절에 비해 봄에 농도가 높았는데 이는 우리나라의 4월에 발생하는 중국대륙으로부터 불어오는 황사현상(이민희 등, 1986)에 기인한다고 생각되며 또한 하기에 가장 낮은 농도를 나타낸 것은 강우에 의한 Rainout 효과(高芝芳裕 등, 1975)로 생각된다.

3.4 대기부유분진과 부유분진 중 중금속의 입경별 분포

대기부유분진과 부유분진 중 중금속의 입경별 분포를 밝히기 위하여 춘하추동 4회에 걸쳐 5단분별 포집을 실시하였으며 그 결과를 표 5와 그림 2에 나타내었다.

그림 2에서와 같이 TSP는 1.1µm 이하와 7.0µm 이상의 입경에서 농도가 높았으며 중간입경에서 낮은 농도를 나타내었는데 이는 도시대기중의 일반적인 분포형인 二山型분포와 잘 일치한다. 부유분진 중에 함유되어 있는 중금속의 경우, Zn, Cd, Pb는 입경이 작은 곳에 편재되어 나타났는데 이는 이들 금속들이 대부분 인위 발생원에서 유래한다는 사실과 잘 일치한다. Pb는 자동차의 antinocking agent로 첨가되는 tetraethyl lead가 고온고압 하에서 연소되어 배출되며, Zn의 경우 도시지역에서 자동차

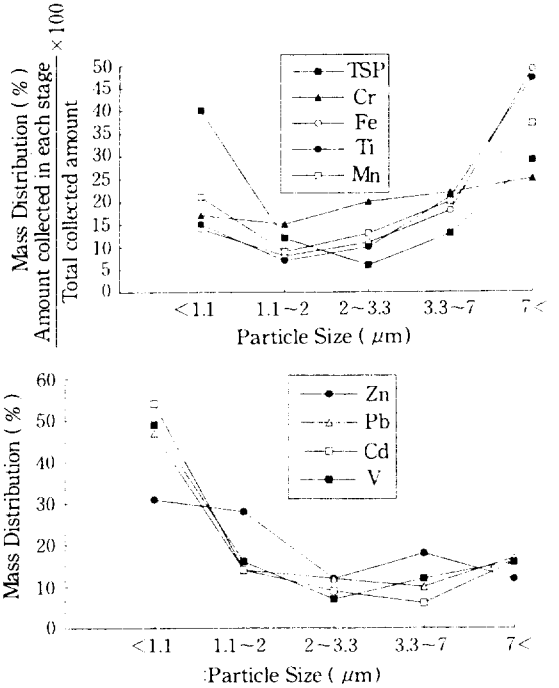


Fig. 2. Size distribution of TSP and heavy metals.

타이어트레드의 마모가 주요 발생원이며, 또한 폐기물소각장에서의 연소시 대기중에 배출된다. 또한 입경이 큰 곳에 편재되어 분포하는 Fe, Ti, Mn 등의 금속들은 바람에 의한 토양입자, 암석의 풍화 등과 같은 자연발생원과 분쇄, 절삭 등의 기계 물리적 처리과정 등에서 유래한다고 추정된다.

부유분진중 중금속 농도의 계절변동을 살펴보면 조대입자측의 농도가 높은 금속인 Mn은 춘기에 현저히 높았는데 이는 춘기에 중국대륙으로부터 불어오는 황사현상 때문으로 생각된다(이민희 등, 1988). 미세입자측의 농도가 높은 금속인 Pb, Zn, V 등은 여름철에 가장 낮은 경향을 나타냈으며 다른 계절에서 높은 분포를 나타냈는데 이는 여름철의 난방 연료의 사용 감소로 인한 것으로 판단된다.

3.5 대기부유분진과 각 중금속의 상관성

대기부유분진과 각 중금속간의 상관성은 표 6에 나타내었다.

Table 5. Particle size distributions of T. S. P and each heavy metals.

Date	5-Stage	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration of each Heavy Metals(ng/m^3)							
			Cr	Zn	Cd	Pb	Fe	V	Ti	Mn
890417	S-1	95.4	9.7	114.0	3.9	340.3	1,806.4	7.1	68.7	82.8
	S-2	44.7	17.2	144.2	1.2	169.6	1,079.4	8.1	68.7	66.3
	S-3	11.0	10.2	130.1	1.1	135.3	752.0	4.2	27.3	49.5
	Coarse	151.1	37.1	388.3	6.3	645.2	3,637.7	19.9	164.6	198.6
	S-4	44.9	8.5	219.0	1.7	190.8	794.6	8.1	15.1	26.3
	Back-up	179.2	14.6	493.8	9.6	854.5	1,545.5	35.7	29.6	80.1
	Fine	224.1	13.1	712.8	11.3	1,045.3	2,340.0	43.8	44.7	106.3
	Total	375.2	56.2	1,101.0	17.6	1,790.4	5,977.8	52.7	209.3	304.9
	F/T	0.6	0.3	0.7	0.6	0.6	0.4	0.8	0.2	0.4
	900716	S-1	26.1	6.4	57.7	0.1	48.8	843.2	-	24.6
S-2		10.0	4.9	50.1	0.0	26.5	272.2	-	11.0	9.5
S-3		5.5	2.9	53.7	0.2	23.8	187.9	-	7.9	4.5
Coarse		41.6	13.3	161.5	0.4	99.1	1,303.3	-	43.5	30.6
S-4		5.1	2.5	78.7	0.2	37.0	80.5	0.6	4.2	3.0
Back-up		30.3	3.0	127.7	0.9	94.5	282.2	-	25.4	8.5
Fine		35.3	5.5	206.4	1.1	131.5	362.8	0.6	29.6	11.5
Total		76.9	18.7	367.8	1.5	230.6	1,666.1	0.6	73.1	42.1
F/T		0.5	0.3	0.6	0.7	0.6	0.2	-	0.4	0.3
890904		S-1	63.5	14.5	158.6	0.3	61.4	3,094.6	9.4	115.1
	S-2	28.6	10.2	103.2	0.3	68.2	963.3	4.3	35.0	23.9
	S-3	14.2	15.4	116.8	0.6	117.7	618.9	2.6	17.1	12.8
	Coarse	106.2	40.1	368.5	1.2	247.2	4,676.9	16.2	167.1	99.8
	S-4	14.4	11.9	145.8	0.7	86.1	350.4	2.3	16.2	10.2
	Back-up	64.3	7.4	314.5	3.5	333.6	446.8	13.7	20.6	27.9
	Fine	78.7	19.3	460.3	4.2	419.7	791.1	16.0	36.8	38.2
	Total	184.9	59.4	828.8	5.4	666.9	5,468.0	32.2	203.9	137.9
	F/T	0.4	0.3	0.6	0.8	0.6	0.1	0.5	0.2	0.3
	901127	S-1	134.7	12.5	217.1	0.3	79.7	3,924.3	-	137.4
S-2		58.8	5.3	484.5	0.3	67.2	1,150.0	-	38.0	30.7
S-3		35.9	6.1	202.3	0.8	99.8	554.1	-	18.6	18.2
Coarse		229.5	24.9	903.8	1.4	246.7	5,628.3	-	193.9	130.9
S-4		68.4	3.4	743.9	1.5	134.0	390.9	4.9	15.2	20.1
Back-up		175.9	3.4	384.7	1.8	220.5	466.1	-	34.0	17.7
Fine		244.3	6.8	1,027.5	3.4	354.4	857.0	4.9	49.2	37.8
Total		473.8	31.7	1,931.4	4.8	601.1	6,485.3	4.9	243.1	168.7
F/T		0.5	0.2	0.5	0.7	0.6	0.1	-	0.4	0.2

Note : F/T=Fine particle($<2\mu\text{m}$)/(Fine particle($<2\mu\text{m}$)+Coarse particle($>2\mu\text{m}$))

Table 6. Correlation coefficient T. S. P between heavy metals.

(a) Coarse

	TSP	Cr	Zn	Cd	Pb	Fe	V	Ti	Mn
TSP	1.00								
Cr	0.10	1.00							
Zn	0.51	0.01	1.00						
Cd	0.10	0.30	0.00	1.00					
Pb	0.14	0.42	0.01	0.98	1.00				
Fe	0.74	0.35	0.71	0.01	0.05	1.00			
V	0.00	0.80	0.08	0.52	0.59	0.03	1.00		
Ti	0.75	0.53	0.58	0.15	0.25	0.92	0.16	1.00	
Mn	0.46	0.47	0.18	0.79	0.87	0.30	0.42	0.57	1.00

(b) Fine

	TSP	Cr	Zn	Cd	Pb	Fe	V	Ti	Mn
TSP	1.00								
Cr	0.02	1.00							
Zn	0.90	0.01	1.00						
Cd	0.35	0.18	0.13	1.00					
Pb	0.77	0.18	0.14	0.99	1.00				
Fe	0.42	0.10	0.17	0.99	0.99	1.00			
V	0.21	0.27	0.05	0.97	0.97	0.93	1.00		
Ti	0.95	0.00	0.97	0.26	0.27	0.30	0.14	1.00	
Mn	0.42	0.14	0.18	0.99	0.99	0.99	0.94	0.32	1.00

TSP-Fe(조대입자층에서 $r=0.74$, 미세입자층에서 $r=0.42$)는 조대입자에서 미세입자보다 더 높은 상관성을 나타냈으며, TSP-Zn(조대입자층에서 $r=0.51$, 미세입자층에서 $r=0.90$)와 TSP-Pb(조대입자층에서 $r=0.14$, 미세입자층에서 $r=0.77$)는 미세입자층에서 높은 상관성을 나타냈다.

각 금속간의 상관관계를 검토해보면, Fe-Ti는 조대입자층($r=0.92$)에서 상관성을 나타내는 것으로 보아 둘다 자연 발생원에서 유래함을 알 수 있다. Pb-V은 미세입자층에서 상관성을 나타냈는데 이는 Pb, V가 인위적 발생원에서 유래함을 알 수 있다.

4. 결 론

대기부유분진(TSP)과 그중에 함유된 중금속의 농도, 입경별 분포를 조사하기 위하여 1989년 3월부터 10월, 1990년 6월부터 1991년 2월까지 서울시 동작구 흑석동 중앙대학교 약학대학 4층 옥상에서 Andersen high volume air sampler를 사용하여 대기중 부유분진을 포집하였다. 이를 저온회화하고

질산으로 전처리한 후 ICP Emission Spectrometer로 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 89년 3월부터 10월까지의 대기부유분진 평균농도는 $179.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 90년 6월부터 91년 2월까지의 평균농도는 $142.0\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

2. 이 기간중 TSP 중에 함유된 중금속의 평균농도는 Fe가 $2739.5\text{ng}/\text{m}^3$, Pb는 $337.1\text{ng}/\text{m}^3$, Zn이 $609.2\text{ng}/\text{m}^3$, Mn은 $100.5\text{ng}/\text{m}^3$, Ti가 $89.4\text{ng}/\text{m}^3$, V가 $15.1\text{ng}/\text{m}^3$, Cr이 $11.6\text{ng}/\text{m}^3$, Cd 가 $3.5\text{ng}/\text{m}^3$ 이었다.

3. TSP는 춘기(3월-5월)에 그 농도가 높고 하기(6월-8월)에 낮았다.

4. 대기부유분진과 각 중금속의 입경분포를 조사한 결과 그 분포에 따라서 다음 2가지로 대별된다.

1) 입경이 큰쪽에 주로 편재되어 있는 것-Fe, Ti, Mn

2) 입경이 작은쪽에 주로 편재되어 있는 것-Zn, Cd, Pb

5. 대기부유분진과 각 중금속간의 상관성은 조대입자층에서는 TSP-Fe($r=0.74$), 미세입자층에서는 TSP-Zn($r=0.90$), TSP-Pb($r=0.77$)로 상관성이 높았다.

참 고 문 헌

강춘원, 손동현 (1986) 대기중 중금속의 입경분포에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 2(3), 57~63.

권상호, 손동현 (1987) 대기부유분진중 중금속 함량에 관한 연구, 약학논총, 1,1~15.

김형철 (1980) 환경보전법, 녹원출판사, 40~45.

이민희외 (1988) 황사현상시 분진의 입도 분포와 화학 조성에 관한 연구, 대기보전학회지, 4(2), 57~66.

이민희, 한의정, 원양수 (1986) 황사현상이 우리나라에 미치는 영향, 대기보전학회지, 2(3), 34~44.

손동현, 권창호, 허문영 (1989) 서울시 대기중 발암 관련 물질에 관한 연구(I), 중앙대학교 자연과학논문집, 32, 33~52.

角脇 恰 (1987) 浮遊粉じんによる都市大気汚染に於ける自然發生源から負荷, 大気汚染學會誌, 13, 252~256.

高芝芳 外 6人 (1975) 浮遊粉じんに関する研究, 三重縣公害センター年報, 3, 116~124.

溝環朗 (1981) 都市大気エアロゾル粒子の性状と發生源の關する基礎的研究, 京大博士論文.

- ㉔ 笠原三紀夫, 高橋幹二, 島田學(1984) 大氣中粒子狀物質の發生源と同定と寄與率の推定, 大氣汚染學會誌, J. Japan Soc. Air Pollut. 19 (5) 337~358.
- 富田絹子, 瓦家敏男, 春木孝祐 (1973) 日本公衆衛生學會, 20(9), 525~532.
- 山縣登 (1977) 微量元素, 産業圖書, 東京, 54.
- 田中茂 外 (1989) 國設大氣測定網(NASN)の10年間の測定結果に基づく黃砂現象にするアジア大陸からの土壤粒子の我が國環境大氣に及ぼす影響, 大氣汚染學會誌 J. Japan Soc. Air Pollut. 24(2) 119~129.
- Bellinger, D., HL. Needleman, R. Bromfield, and M. Mintz (1986), A follow-up study of the academic attainment elevated dentine lead level, Biol. Trace Elem. Res., 6, 207~23.
- Mizohata, A., Y. Matsuda, K. Sakamoto, and S. Kadowaki (1986), Chemical composition of particulate air pollutants, J. Japan Soc. Air Pollut., 21(2), 83~103.
- Rivedal, E. and T. Sanner (1981), Metal salts as promoters of vitro morphological transformation of hamster embryo cells initiated by benzo (a) pyrene, Cancer research, 41, 2950~2953.