

# 도시 대기중 중금속에 관한 연구 - 서울시 신촌지역을 중심으로 -

Heavy Metals in Ambient Air at Shinchon Area in Seoul.

정 용, 장 재 연, 주 의 조  
Yong Chung, Jae-Yeon Jang, Ui-Jo Chu

### ABSTRACT

In order to investigate the character of air pollution by heavy metals and to elucidate the possible sources in Seoul city, this study was performed to measure the concentrations of heavy metals of total suspended particulate and air pollutants such as SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, Non-methane hydrocarbon, ozone at the residential-traffic area (shinchon dong) in January and February, 1986.

The results are as follows:

1. SO<sub>2</sub> and TSP concentration were 135ppb and 167 μg/m<sup>3</sup> in average, respectively.
2. While concentrations of heavy metals such as Fe, Cu, Pb in the ambient air seems gradually decreasing annually, Ni compound has been shown the tendency of increasing.
3. Among heavy metals in TSP analysed, the iron was detected at the highest level, 0.905% and the cadmium was the lowest 0.004% in average, respectively.
4. V, Fe and Zn compounds in air were observed to be highly correlated with their correlation coefficients(r) higher than 0.7. Pb compound was highly correlated to the levels of Zn and Fe, however relatively less correlated to V compound.
5. Among concentrations of heavy metals in the particulates, V and Ni compounds were highly correlated with coefficient(r) of 0.8587; the cause might be imagined by the fact of releasing from combustion of fuel oil. Fe, Pb and Zn compounds were highly correlated SO<sub>2</sub> concentration. It might be explained that they were released by combustion of coal.
6. The level of SO<sub>2</sub> was highly correlated to most of heavy metals: especially correlation coefficient(r) to Pb compound was 0.9081. Pb compound was also highly correlated to NO, CO and TSP. TSP showed higher correlation to Pb and Cd compounds than to V and Ni compounds. It might be assumed that particulate was mainly produced by combusting coal from space heating and by exhausting gasoline and diesel oil from transportation rather than by burning fuel oil.

## 1. 서론

대기중의 부유분진은 대기오염도의 한 중요한 지표일뿐 아니라 그 구성성분으로 인체나 동식물에 유해한 각종 탄화수소류, 중금속류, 무기염, 돌연변이원성 물질등을 함유하므로 그 자체로도 큰 보건학적 의미를 갖는다.<sup>1)</sup>

정등의 오염물질 기준지수(Pollutant Standard Index)를 이용한 서울시의 대기오염도 평가에서 서울시의 경우 부유분진이 주민의 건강에 가장 악영향을 줄 수 있는 오염물질(critical pollutant)인 것으로 보고되었다.<sup>2)</sup> 따라서 서울시의 대기오염의 인체에 대한 위해도 평가(risk assessment) 및 대기오염의 관리측면에서 부유분진의 발생원, 구성성분, 오염양상 등에 대한 연구는 매우 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다.

서울시의 부유분진에 관한 연구는 1970년대 후반부터 활발히 이루어지기 시작하여 성분에 관한 연구로는 중금속에 관한 연구<sup>3-10)</sup>와 다핵방향족 탄화수소류(polynuclear aromatic hydrocarbons)에 관한 연구가 있으며<sup>11-12)</sup> 차등<sup>13)</sup>과 정<sup>14)</sup>에 의한 돌연변이원성에 관한 연구 및 입도분포에 관한 연구<sup>15-16)</sup>가 보고되었다.

부유분진중의 중금속 오염도에 관해서는 다른 분야에 비해 비교적 많은 연구보고가 이루어져 있으나 지금까지의 연구들은 대부분 각 연도별로 몇지역의 중금속 오염도를 측정하여 내용이며 제한적으로 중금속간의 상관 및 입도별 분포를 조사한 연구가 약간 있을 뿐이다.

최근의 외국의 대기중 중금속오염에 관한 연구는 체내 흡수도를 평가하고 인위적 발생원과의 관련성등을 밝히기 위하여 입도별 중금속오염도를 조사하고 있으며 중금속과 다른 오염물질과의 상관을 조사하는등 오염원 추정을 위한 연구들이 보고되고 있다.<sup>17)</sup>

대기중의 중금속 오염도는 연료사용, 자동차등에 의해 배출되는 것이므로 아황산가스, 일산화탄소, 질소산화물등과 같은 오염물질과 상관관계를 가질 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 서울시 대기중 중금속오염도 양상과 중금속과 다른 오염물질과의 상관을 조사하여 대기중의 중금속과 오염물질들의 발생원을 추정하기

위한 기초자료를 얻고자 한다. 또한 부유분진중의 중금속의 농도 및 그들간의 상관등을 조사분석하여 오염도 파악과 그 방지대책을 세우는데 자료를 제공하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 가. 조사지역 및 시료채취 기간

서울시 서대문구 신촌동에 위치한 연세대학교 의과대학 종합관 옥상에서 1986년 1월 13일부터 15일, 1월 23일부터 25일 및 2월 4일부터 5일 사이에 실시하였다.

### 나. 시료채취 방법

부유분진의 채취는 대기오염도가 일일중에도 큰 변화가 있는 것을 고려하여 3시간씩 채취하였으며 High Volume Air Sampler (Kimoto Electric Co.)를 사용하였다. 공기의 흡입량은  $1.5\text{m}^3/\text{min}$ 으로 하였다. 여지는  $8'' \times 10''$  Glass Fiber Filter를 사용전에  $20^\circ\text{C}$ 에서 50%(w/v) 염화칼슘용액을 제습제로 한 메시케이더에서 항량이 될때까지 보관후 사용하였고 시료채취후 동일방법으로 처리하여 중량차를 측정하였다. 대기중의 가스상 오염물질은 대기오염 자동측정기(Kimoto Electric Co.)를 사용하여 매시간 측정하여 부유분진 채취시간별로 3시간씩의 평균치를 구하였다. 측정된 가스상 오염물질은 질소산화물, 일산화탄소, 아황산가스, 오존, 메탄, 비메탄탄화수소 등이었다.

### 다. 부유분진중의 중금속 분석

여지를  $300 \sim 350^\circ\text{C}$ 에서 저온회화시켜 유기물을 분해한 후 질산과 염산의 혼산(1:1)으로 환류냉각 추출하였다. 추출액을 증발농축한 후 탈이온수로 일정용량으로 조정하여 시험액으로 하였다. 측정항목은 Cu, Pb, Cd, Fe, Cr, Mn, Ni, Zn, V이었으며 V은 ICP(Lab-tam plasmacan 710)를 사용하여 측정하였고 기타 중금속은 원자흡광분광계(Shimadzu AA-650)을 사용하였다.

### 라. 통계분석

조사기간중의 중금속오염도와 가스상 대기오염물질의 오염도의 통계치를 구하였으며 중금속간

의 상관관계 및 대기중 중금속 농도와 가스상 오염물질의 농도간의 상관관계를 구하였다. 모든 통계처리는 SPSS (Statistical Package for Social Science)를 사용하였다.

### 3. 결 과

표 1은 조사기간중의 대기오염도의 통계분석치를 나타낸 것이다. 아황산가스가 135 ppb 로 연간 평균 환경기준치인 50 ppb 를 크게 초과하고 있으며 부유분진 역시  $167 \mu\text{g}/\text{m}^3$  로 연간 기준치인  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  를 초과하는 것으로 나타났다.  $\text{NO}_2$  는 평균 42ppb 를 나타내어 연간 기준치 50 ppb 보다 낮았으며 오존도 5 ppb 로 기준치 20 ppb 보다 낮은 값을 나타내었다. 메탄은 평균 1.3 ppm, 비메탄탄화수소는 평균 1.9 ppm 을 나타내었다.

표 2는 조사기간중의 대기중의 중금속 오염도를 조사한 결과를 나타낸 것이다. Fe 가 평균  $1.374 \mu\text{g}/\text{m}^3$  로 가장 높은 농도를 나타내었으며 Cd 이 평균  $0.004 \mu\text{g}/\text{m}^3$  로 가장 낮은 농도를 나타내었다. Fe 이외에 Zn, Pb, V 이 평균  $0.976 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0.271 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0.174 \mu\text{g}/\text{m}^3$  의 값을 나타내어 대기중의 농도가 높은 종류였으며 Cr, Mn, Cu 가 평균  $0.025 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0.032$

Table 1. Concentration of air pollutant in Shinchon, Seoul during survey (from Jan.13 to Feb.5,1986.)

Pollutant	Mean $\pm$ Standard deviation	Maximum	Minimum
$\text{NO}_2$ (ppb)	42 $\pm$ 4	92	20
$\text{O}_3$ (ppb)	5 $\pm$ 1	16	0
CO (ppm)	4.1 $\pm$ 0.7	13.8	0.7
$\text{SO}_2$ (ppb)	135 $\pm$ 25	447	37
TSP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	167 $\pm$ 19	434	57
$\text{CH}_4$ (ppm)	1.3 $\pm$ 0.1	3.7	1.1
NMHC* (ppm)	1.9 $\pm$ 0.3	4.9	0.3

\* Non Methane Hydrocarbon

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $0.046 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 값을 나타내어 비교적 낮은 농도를 나타내는 중금속류이었다.

오염도의 변이계수는 V, Zn, Fe 이 매우 커서 각각 0.448, 0.366, 0.323으로 오염도의 변화가 큰 종류인 것으로 나타내었으며 Ni, Pb Mn은 각각 0.160, 0.196, 0.125의 낮은 변이계수를 보여 오염도의 변화가 상대적으로 작은 종류인 것으로 나타났다.

Table 2. Heavy metals concentration in the ambient air of Shinchon, Seoul during Jan-Feb.1986.

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

Heavy metals	Mean $\pm$ Standard deviation	Maximum	Minimum	Variance
Cu	0.046 $\pm$ 0.010	0.204	0	0.217
Pb	0.271 $\pm$ 0.053	1.024	0.009	0.196
Cd	0.004 $\pm$ 0.001	0.011	0	0.250
Fe	1.374 $\pm$ 0.444	12.537	0	0.323
Cr	0.025 $\pm$ 0.005	0.110	0	0.200
Mn	0.032 $\pm$ 0.004	0.084	0	0.125
Ni	0.075 $\pm$ 0.012	0.279	0.002	0.160
Zn	0.976 $\pm$ 0.357	8.966	0.049	0.366
V	0.174 $\pm$ 0.078	2.220	0	0.448

표 3은 채취된 부유분진중량에 대한 중금속의 중량을 %로 나타낸 것이다. Fe가 가장 높은 값을 나타내어 평균 0.905%이었으며 Zn, Pb가 0.659%, 0.190%로 그다음 순이었다. V, Cu, Mn, Cr은 0.075%, 0.033%, 0.025%, 0.017%로 낮은 함량을 나타내었으며 Cd가 0.004%로 가장 낮은 함량을 나타내 대기 중의 농도순과 일치함을 보였다.

조사기간중의 부유분진의 중금속함량의 변이

계수는 대기중의 농도의 변이계수에 비해 Cu를 제외하고는 모두 낮은 값을 보였다. 특히 Cd, Fe, Cr, Zn, V 등은 대기중의 농도의 변이계수에 비해 부유분진중의 농도의 변이계수가 현저히 감소하였다. 조사대상 중금속중 Zn이 0.284로 가장 높은 변이계수를 나타내었으며 Cd가 0으로 가장 낮은 변이계수를 나타내었다.

Table 3. The ratio of heavy metals to TSP in Shinchon, Seoul during Jan - Feb, 1986.

(unit : %)

Heavy metals	Mean $\pm$ Standard deviation	Maximum	Minimum	Variance
Cu	0.033 $\pm$ 0.008	0.222	0.008	0.242
Pb	0.190 $\pm$ 0.024	0.461	1.006	0.126
Cd	0.004 $\pm$ 0.000	0.009	0	0
Fe	0.905 $\pm$ 0.202	5.642	0	0.223
Cr	0.017 $\pm$ 0.003	0.058	0	0.176
Mn	0.025 $\pm$ 0.003	0.048	0	0.120
Ni	0.055 $\pm$ 0.007	0.169	0.006	0.127
Zn	0.659 $\pm$ 0.187	4.041	0.053	0.284
V	0.075 $\pm$ 0.014	0.306	0	0.187

표 4는 대기중의 중금속 농도간의 상관계수를 나타낸 것이다. Cu는 Ni와 상관계수가 0.6151

로 가장 높은 상관관계를 나타내었고, Pb는 Zn과 0.7054, Fe와 0.6935, Cr과 0.6868

Table 4. Correlation coefficients(r) between heavy metals of ambient air

Cu	1.0000								
Pb	0.4602*	1.0000							
Cd	0.1922	0.5213*	1.0000						
Fe	0.2847**	0.6935*	0.2388**	1.0000					
Cr	0.4255**	0.6868*	0.6162*	0.2865**	1.0000				
Mn	0.4725*	0.4733*	0.2402	0.4901*	0.5663*	1.0000			
Ni	0.6151*	0.5623*	0.2746**	0.2787**	0.6449*	0.5462*	1.0000		
Zn	0.2229**	0.7054*	0.3045**	0.8500*	0.2586**	0.2887**	0.2587**	1.0000	
V	0.3560**	0.5822*	0.1418	0.9252*	0.2017	0.3763**	0.4157**	0.7881*	1.0000
	Cu	Pb	Cd	Fe	Cr	Mn	Ni	Zn	V

의 값을 보였다. Cd은 Cr과 가장 높은 상관관을 보여 0.6162의 상관계수를 나타내었다. Fe는 V, Zn과 0.9252, 0.8500의 매우 높은 상관관을 보였으며 Pb와도 0.6935의 높은 상관관계를 나타내었다. Cr은 Pb, Cd, Ni과 0.6이상의 상관계수를 보였으며 Mn은 Cr과 0.5663으로 가장 높은 상관관을 나타내었다. V과 Zn은 0.7881의 높은 상관관을 보였다.

이상의 결과를 종합해 보면 Zn, Fe, V에서 상관관이 가장 높은 군인것으로 나타났으며, Pb는 Zn, Fe와 상관관이 높은 반면 V과는 비교적 상관관이 낮은 것으로 나타났다. 그외에 Cr, Cd, Pb도 비교적 서로간의 상관관이 높은 군으

로 나타났다.

표 5는 부유분진중의 중금속 함량간의 상관관계를 나타낸 것이다. 표 4에 나타낸 대기중의 중금속 농도간의 상관관계에 비해서 전체적으로 낮은 상관관을 보였다. V이 Ni과 가장 높은 상관관을 보여 상관계수가 0.8587이었으며 Fe와 Pb, Fe와 Zn, Zn과 Pb 사이의 상관관이 0.5435, 0.6799, 0.6772로 서로간의 상관관이 높은 것으로 나타났다. V과 Cd, Ni과 Cd이 각각 상관계수 -0.4085, -0.3008로 통계적으로 유의한 부의 상관관계를 나타내었다.

표 6은 대기중의 중금속농도와 다른 가스상오염물질간의 상관관계를 나타낸 것이다. Cu와 상

Table 5. Correlation coefficients(r) between heavy metals of TSP

Cu	1.0000								
Pb	0.1080	1.0000							
Cd	-0.2734**	0.2444**	1.0000						
Fe	0.0144	0.5435*	-0.0434	1.0000					
Cr	-0.0018	0.2181	0.2408*	0.1185	1.0000				
Mn	0.1483	0.0619	-0.0793	0.3510**	0.3984**	1.0000			
Ni	0.3653**	-0.0700	-0.3008**	-0.0131	0.3399**	0.3307**	1.0000		
Zn	-0.0267	0.6772*	0.0998	0.6799*	0.1061	0.0331	0.0420	1.0000	
V	0.3270**	-0.2529**	-0.4085*	-0.1500	0.2542	0.4270	0.8587*	0.0420	1.0000
	Cu	Pb	Cd	Fe	Cr	Mn	Ni	Zn	V

Table 6. Correlation coefficients between heavy metals and air pollutants Seoul ambient air.

	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	TSP	CH <sub>4</sub>	NMHC**
Cu	0.6814	-0.3404	0.2730	0.3901	0.4363	0.0923*	-0.2172*
Pb	0.7573	-0.4506	0.8640	0.9081	0.7199	0.3359	0.0838*
Cd	0.1552*	-0.3060	0.5352	0.5955	0.5743	0.2918*	-0.0377*
Fe	0.5820	-0.2262*	0.5858	0.5599	0.3930	0.1139*	0.0948*
Cr	0.1742*	-0.2476*	0.3978	0.5497	0.4452	0.0523*	-0.0668*
Mn	0.3902	-0.1680*	0.2503	0.3046	0.3312	0.0202*	0.2013*
Ni	0.5108	-0.3124	0.3804	0.5533	0.4702	0.0711*	0.1195*
Zn	0.4314	-0.3326	0.6475	0.6368	0.3669	0.0831*	0.0554*
V	0.5815	-0.2215*	0.5108	0.5144	0.3476	0.0703*	0.0609*

\* P > 0.05

\*\* Non Methane Hydrocarbon

관이 가장 높은 오염물질은 NO<sub>2</sub>로서 상관계수가 0.6814이었으며 Pb와 상관이 높은 오염물질은 NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, TSP로서 그중 SO<sub>2</sub>와 0.9081로 가장 높은 상관관계를 나타내었다. Pb는 조사대상 중금속류중 유일하게 CH<sub>4</sub>와 통계적으로 유의한 상관관계를 나타내었다. Cd는 CO, SO<sub>2</sub>, TSP와의 상관이, Fe는 NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>와의 상관이 Cr은 SO<sub>2</sub>와의

상관이 높았다. Ni은 SO<sub>2</sub>와 Zn은 CO, SO<sub>2</sub>와, V은 NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>와 상관이 높았다. 대부분의 중금속이 O<sub>3</sub>와는 부의 상관관계를 보였으며 Cu, Mn을 제외한 모든 중금속이 SO<sub>2</sub>와의 상관이 높았다. 모든 중금속이 비메탄 탄화수소와는 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았으며 Pb를 제외하고는 CH<sub>4</sub>와도 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

Table 7. Summary of surveyed data for heavy metals in the Seoul ambient air.

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

Author	Year Surveyed	TSP	Cd	Pb	Zn	Cu	Fe	Mn	Ni
Kim, M. Y., et al <sup>*)</sup>	1973	274.6 ± 101.21* (200.0 ~ 347.8)**	0.009 ± 0.0017 (0.003 ~ 0.027)	2.344 ± 1.0886 (0.525 ~ 4.387)	2.344 ± 1.0886 (1.150 ~ 2.087)	1.036 ± 0.3332 (0.545 ~ 2.114)	5.12 ± 1.778 (3.78 ~ 7.27)	0.194 ± 0.1266 (0.008 ~ 0.568)	0.047 ± 0.0345 (0.012 ~ 0.164)
Park, J. J., et al <sup>*)</sup>	1975	308.7 ± 73.85 (192.2 ~ 526.0)	0.009 ± 0.039 (0.003 ~ 0.021)	1.395 ± 0.5379 (0.293 ~ 2.264)	1.375 ± 0.6774 (0.632 ~ 4.212)	0.305 ± 0.1888 (0.048 ~ 0.818)	2.340 ± 0.6665 (1.464 ~ 4.505)	0.136 ± 0.1286 (0.050 ~ 0.874)	0.030 ± 0.067 (0.009 ~ 0.108)
Jang, J. H., et al <sup>*)</sup>	1977	216.28 ± 10.29	0.0093 ± 0.0006	1.5734 ± 0.1091	1.3755 ± 0.0741	0.3741 ± 0.0416	2.9103 ± 0.1374	0.1268 ± 0.0167	0.0325 ± 0.0021
Kwon, S. P., et al <sup>*)</sup>	1977	264.8 (193.0 ~ 325.9)	0.005 (0.024 ~ 0.026)	1.497 (1.091 ~ 2.252)	—	0.220 (0.103 ~ 0.354)	5.005 (3.679 ~ 6.579)	0.180 (0.128 ~ 0.254)	0.070 (0.044 ~ 0.102)
Kim, K. S., et al <sup>*)</sup>	1980	251.26 ± 35.74	0.012	2.274	1.448	0.319	2.747	0.123	0.033
Lee, M. H., et al <sup>*)</sup>	1982	185 ± 63	0.008 ± 0.007	0.293 ± 0.203	—	0.265 ± 0.218	1.091 ± 0.0869	0.173 ± 0.099	0.059 ± 0.038
This study (Shincheon)	1986	167 ± 19	0.004 ± 0.001	0.271 ± 0.203	0.976 ± 0.357	0.046 ± 0.010	1.374 ± 0.444	0.032 ± 0.004	0.075 ± 0.012
Kwon S. P., et al <sup>*)</sup> (Shincheon)	1977	141.1 ± 51.3	0.007 ± 0.003	0.624 ± 0.378	—	0.166 ± 0.066	2.422 ± 0.578	0.098 ± 0.023	0.04 ± 0.052

\* Mean ± Standard deviation

\*\* Range

#### 4. 고 찰

표 7은 지금까지 서울시를 대상으로 중금속오염도를 조사한 과거의 연구결과를 요약한 것이다. 연구자, 시료채취지역, 조사시기, 분석방법등이 다소 차이가 있어 비교적 어려움이 있으나, 비교적 연구방법과 분석방법이 비슷한 결과들을 요약하였다. 또한 본 연구와 직접적인 비교가 가능한 권<sup>1)</sup> 등의 1977년 겨울철의 신촌지역 조사내용과 본 연구결과를 비교하였다.

통계적인 유의도 검증은 할 수 없으나 1973년부터 1982년 사이에 서울시의 부유분진과, Pb, Cu, Fe 등의 중금속은 다소의 변동은 있으나 점차적으로 감소하는 추세에 있는 것으로 생각되어지고, Zn, Mn은 비교적 비슷한 농도

를 나타내는 것으로 보인다. 그러나 Ni만은 증가추세에 있는 것으로 생각된다. 직접적인 비교가 가능한 신촌지역의 결과를 보면 부유분진은 1986년이 1977년보다 다소 증가하였으며 Ni을 제외한 다른 중금속류는 현저히 감소한 것으로 나타났다. Ni은 1977년에 비해 1986년에 약 2배정도 증가한 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합해 보면 서울시에서 1973년 이래 부유분진오염도와 Pb, Cu, Fe 등의 중금속은 감소추세에 있으나 특이하게 Ni만은 증가하는 영향을 보이고 있는 것으로 생각된다. Ni은 석유계연료 그중에서도 특히 중유의 연소과정에서 생성되는 분진에 약 0.5%로 다량 함유되어 있는 것으로 알려져 있다.<sup>18-20)</sup> 또한 본 조사결과의 표 5에서 나타난 것과 같이 석유계 연료의 연소에

의해 배출되는 것으로 알려진 V의 분진중 농도와 Ni의 분진중 농도가 0.8587의 가장 높은 상관계수를 보이고 있는 것을 고려해 볼때 서울시 대기중의 Ni의 발생원이 중유등의 석유계 연료이며 서울시에서의 대기중의 Ni 농도의 증가는 중유와 같은 석유계 연료의 사용증가에 기인할 것으로 추정된다. Ni은 화학적인 형태에 따라 Nickel mist나 Nickel carbonyl 화합물등은 만성적으로 노출될 경우 폐암등과 관련이 있다는 역학보고가 있는등 여러가지 독성이 알려져 있다.<sup>21-22)</sup> 서울시의 현재 대기중의 Ni 농도는 Moyers<sup>23)</sup>, Lioy<sup>24)</sup> 등이 보고한 미국의 Arizona, New York, New Jersey 등의 여러 도시에서의 0.0032 ~ 0.039  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 값에 비해 높은 값을 나타내고 있을 뿐 아니라 계속 증가하는 경향을 보이고 있다는 점에서 추후에 계속적인 모니터링이 필요하다고 생각된다. 기타 중금속류의 감소경향은 배출원의 다양성으로 인하여 그 정확한 원인은 알 수 없으나 연소시설의 연소효율 증가로 의한 분진발생의 감소, 제조시설의 교외이전으로 인한 배출원의 감소, 석탄계 연료의 사용 비율의 감소등에 그 원인이 있을 것으로 추정된다.

표 2에 나타난 것과 같이 대기중의 오염도가 높은 중금속류는 Fe, Zn, Pb, V의 순이었다. Fe의 배출원으로는 석탄, 중유의 연소, 산화철의 비산등이 알려져 있고 석탄 연소시 발생하는 분진에 약 1.8%, 중유 연소시 발생하는 분진에 약 0.46%가 함유된 것으로 알려져 있다.<sup>18-20)</sup> Zn의 배출원으로는 합성판, 염료등이 배출원으로 알려져 있으나 도시 대기중의 주요 배출원은 알려진 바가 적다. Pb의 주요 배출원은 자동차의 배기가스, 석탄의 연소인 것으로 알려져 있다. V은 석유계 연료의 연소에 의해 배출되는 것으로 알려져 있다.

표 4의 중금속류의 대기중 농도간의 상관관계의 결과에서는 V과 Zn, Fe가 상관관계가 매우 높고 Pb은 V보다는 Zn, Fe와 다소 낮은 상관관계를 보이나 표 5의 부유분진중의 농도간의 상관관계에서는 Pb이 Fe, Zn과 상관관계가 높은 반면에 V은 Zn, Fe와 통계적으로 유의성이 없는 상관관을 보였다. 이와 같은 사실에서 Pb의 배

출원과 Fe, Zn의 배출원의 종류가 일치하고 V과 Zn, Fe의 배출원의 종류는 구분되어진다고 추정할 수 있다. 즉 대기중의 농도에 있어서 V과 Zn, Fe의 상관관계가 높은 것은 기상조건같은 대기중의 수송에 영향을 주는 조건, 발생원의 위치의 근접등 대기중의 농도를 결정하는 인자에 의한 영향이 비슷하기 때문인 것으로 생각되며 부유분진중의 V과 Zn, Fe의 농도간의 상관관계는 매우 낮은 것으로 보아 V과 Zn, Fe의 배출원은 구분되어진다고 생각된다. 따라서 대기중의 Pb의 배출원과 Zn, Fe의 배출원들과 공통된 부분이 있을 것으로 생각되는데 그와같은 가능성이 높은 배출원으로는 연탄등 석탄연료의 연소를 생각할 수 있다. 이와 같은 사실은 표 6에서 Pb의 대기중 농도가 석탄연료의 연소에 의해 배출량이 많은 SO<sub>2</sub>와의 상관관계수가 0.9081로 매우 높은 상관관을 보이고 있는 점으로도 뒷받침 된다. Pb의 또 다른 배출원으로 중요한 것은 많은 연구보고대로 자동차의 배기가스일 것으로 생각되며 Pb가 NO<sub>2</sub>, CO, TSP등과의 상관관계가 높고 다른 중금속류와는 상관관계가 거의 없는 메탄과의 상관관계도 유의하게 나타나는 이유일 것으로 추정된다.

표 6에서 보면 부유분진은 Pb와 가장 상관관계가 높고 ( $r=0.7199$ ) 다음으로는 Cd과 상관관계가 높은 것으로 나타났다. ( $r=0.5743$ ) 부유분진과 V, Ni과는 상관관계수가 각각 0.3476, 0.4702로서 Pb에 비해 낮게 나타나 조사지역의 대기중 부유분진은 석유계 연료보다는 석탄계 연료나 자동차에 의해 발생된 분진과 관련이 높을 가능성을 제시한다고 할 수 있다. 또한 Pb 다음으로 부유분진과 상관관계가 높은 Cd이 다른 중금속류와 비교하여 메탄, 일산화탄소와의 상관관계가 높은 점을 고려해 볼때 (표 6) 조사지역에서 Cd의 배출원은 자동차 배기가스와의 관련이 높을 것으로 생각되어지며 부유분진 역시 자동차 배기가스와의 관련이 높을 것으로 생각된다.

NO<sub>2</sub>는 Pb와 가장 상관관계가 높고 ( $r=0.7573$ ) V, Ni과도 비교적 상관관계가 높아 ( $r=0.5815, 0.5108$ ) 자동차 배기가스와 석유계 연료가 주 배출원일 것으로 추정된다. 이상의 고찰내용을 종합해 보면 조사대상 지역의 대기중의 부

유분진과 중금속류는 석탄계 연료로부터 배출되는 것으로 예상되는 Pb, Zn, Fe의 상관성이 높은 오염 원인물질과 석유계 연료의 연소로부터 배출되는 것으로 예상되는 오염 원인물질, 그리고 자동차에서 배출되는 것으로 예상되는 Pb와 Cd와 상관성이 높은 분진등에 의해 영향을 받고 있다고 생각된다. V, Ni의 상관성이 높은 오염물질의 기여도는 다른 것에 비해 다소 낮은 것으로 예상되나 점차적으로 증가하는 경향을 보이고 있어 주의가 요망되며 Pb 등의 농도는 석탄계 연료의 감소에 따라 감소추세에 있으나 자동차의 증가로 인한 Cd, Pb와 상관성이 높은 분진의 기여도는 계속 증가할 것으로 예측된다.

대기중의 중금속류와 각종 대기오염 물질의 배출원은 매우 다양하고 그들의 대기중 농도는 기상, 지형, 계절, 배출시설의 규모등 많은 인자의 영향을 받기 때문에 단순히 상관관계로만 모든 사실을 규명하기는 어려우나 연구결과가 집적되면 많은 현상의 설명이 가능할 것으로 생각된다. 또한 본 조사연구에서는 동시에 조사하지 못한 Al, Se와 같은 중금속, 무기이온, 유기탄소(organic carbon) 및 원소탄소(elemental carbon) 등을 동시에 조사하면 좀더 명확한 상관관계 및 배출원의 추정등에 도움이 될 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

대기부유분진중의 중금속 오염도 양상과 중금속과 다른 가스상 오염물질과의 상관성을 조사하기 위하여 서울시 신촌동을 대상으로 1986년 1월 13~15일, 1월 23~25일 및 2월 4~5일 사이에 3시간 간격으로 부유분진을 채취하고 이종의 중금속류를 측정하였으며 가스상 오염물질의 농도를 동시 측정하여 조사분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조사기간중의 대기오염도는 SO<sub>2</sub>가 평균 135 ppb, TSP가 167 μg/m<sup>3</sup>로 높았으며 중금속 오염도는 Fe, Zn, Pb, V, Ni, Cu, Mn, Cr, Cd의 순이었다.

V, Zn, Fe의 대기중 농도의 변이계수가 0.488, 0.366, 0.323으로 오염도 변화가 심했으며, Pb, Ni, Mn이 0.196, 0.160, 0.125로 오염도 변

화가 낮았다.

2. 서울시 대기중의 Pb, Cu, Fe 등의 중금속은 감소하는 경향을 나타내는 것으로 보이나 Ni 등은 증가하는 경향을 보이고 있었다.

3. 부유분진중의 중금속함량은 Fe가 가장 높아 0.905%이었으며 그 다음이 Zn, Pb, V, Ni, Cu, Mn, Cr의 순이었고 Cd이 0.004%로 가장 낮았다. 함량의 변이계수는 대기중의 농도의 변이계수에 비해 낮았으며 Zn이 0.284로 가장 높았고 Cd이 0으로 가장 낮았다.

4. 중금속 오염도간의 상관성이 높은 군으로는 V, Fe, Zn가 서로 0.7이상의 높은 상관성을 보였으며 Pb는 Zn, Fe와 상관성이 높은 반면 V와는 비교적 낮은 상관성을 보였다.

5. 부유분진중의 중금속 함량간에는 V와 Ni이 r=0.8587로 매우 높았으며 이는 석유계 연료의 연소에 기인하는 것으로 생각되며 그외에는 Fe, Pb, Zn등이 서로간의 상관성이 높은 군이었으며 이들은 석탄계 연료의 연소에 기인하는 것으로 생각된다.

6. SO<sub>2</sub>가 전반적으로 대부분의 중금속류와 상관성이 높았으며 특히 Pb와는 r=0.9081의 높은 상관성을 보였다. Pb는 SO<sub>2</sub>이외에도 NO<sub>2</sub>, CO, TSP와도 상관성이 높았다. TSP는 V, Ni군에 비해 Pb와의 상관성이 높았고 Pb, CH<sub>4</sub> 등과 상대적으로 상관성이 높은 Cd와의 상관성이 높아 석유계 연료의 연소보다는 자동차 배기분진과 석탄계 연료의 연소와의 관련이 높을 것으로 생각된다.

이상의 결과로 보아 대기부유분진중의 중금속간의 상관 및 타 오염물질간의 상관성은 오염원의 영향을 받은 것으로 예상된다. 또한 서울시의 경우 석유계 연료소비 증가에 따른 Ni, V 등의 오염도증가가 예상되고 자동차 배기가스에 의한 대기부유분진오염 기여도가 높은 것으로 추정되어 이에 대한 대책이 필요할 것으로 생각된다.

(原稿接受 '87.10.6)

## 참 고 문 헌

- 1) Well B., Gall O., (1967), Symposium on the physico-chemical transformation of sulfur compounds in the



- atmosphere and formation of acid smogs. Mainz, Germany.
- 2) 정 용, 장재연, 권숙표, (1986), 오염물질 기준지수(Pollutant Standards Index)를 이용한 대기질의 평가, 예방의학회지 19, 65-75.
  - 3) 김민영, 이홍근, 정문식, (1974). 서울시내 대기중 중금속 농도조사, 공중보건잡지 11, 1, 130-141.
  - 4) 박재주 외 5명, (1975), 서울도심지의 대기중의 대기 중 중금속농도조사, 서울특별시 위생연구소보, 11, 57-77.
  - 5) 김종석 외 6명, (1976), 서울특별시 대기중의 중금속농도조사, 서울특별시 보건연구소보, 12, 265-279.
  - 6) 장재홍 외 7명, (1977) 서울특별시 대기중의 중금속농도조사, 서울특별시 보건연구소보, 13, 167-173.
  - 7) 권숙표, 정 용, 임동구, (1979) 서울시 대기 중 유해부유분진의 성분, 예방의학회지 12, 1, 49-55.
  - 8) 김갑수 외 7명, (1980), 서울시 대기 중 중금속 농도조사, 서울특별시 보건연구소보 16, 211-217.
  - 9) 이민희 외 5명, (1982), 대기 중 부유분진의 성분에 관한 조사연구, 국립환경연구소보 4, 27-47.
  - 10) 손동현, (1986), 도시 대기 중 수은농도, 약학회지, 30, 281-287.
  - 11) 권숙표, 정 용, 임동구, (1978), 서울시 대기 중 유해부유분진의 성분에 관한 조사, 예방의학회지, 11, 1, 65-75.
  - 12) 손동현, 이규식, 허문영, (1986), 부유분진 중 다환방향족 탄화수소에 관한 연구, 약학회지, 30, 6, 323-328.
  - 13) Cha C.W., Kim Y.W., Kim J.S., (1983) Study on mutagenicity of the air pollutants in Seoul. Kor. Env. Preser., 4, 167-179.
  - 14) Chung Y., (1987), Physico-chemical nature and mutagenic activity of ambient dust in Seoul. Yonsei Medical Journal, 28, 1, 52-59.
  - 15) 이운재, 김희강, (1985), 조대립자가 대기 부유분진에 주는 부하, 한국대기보전학회지 1, 71-82.
  - 16) 한의정, 정 용, 권숙표, (1986), 한도시 분진의 유해성 입도분포에 대한 조사연구, 예방의학회지, 19, 130-136.
  - 17) Wollff T.G., et al, (1986), Measurements of sulfur oxides nitrogen oxides haze and fine particles at a rural site on the Atlantic coast, JAPCA, 36, 585-591.
  - 18) 眞室哲雄外, (1979), ボイラより放出される浮遊粒子の元素組成, 大氣汚染學會志 第14卷, 第7號.
  - 19) 藤付滿外 (1979) 非汚染地域の粒子狀物質に對する工業汚染の粒度別影響, 大氣汚染學會志 第14卷, 第2號.
  - 20) 内藤良三外, (1977), 浮遊つんじんに關する研究, 三重縣環境科學センター 研究報告 第一號.
  - 21) Doll R., Mathews J.D., Morgan L.G., (1977), Cancers of the lung and nasal sinuses in nickel workers: reassessment of the period of Risk, Br. J. Industr. Med., 34, 102-106.
  - 22) Sunderman F.W., (1981), Recent research on nickel carcinogenesis, Environ. Health Perspect, 40, 131-41.
  - 23) Moyers L.J., Ranweiler E.L., et al, (1977), Evaluation of particulate Trace Species in Southwest Desert Atmosphere, Environ. Sci. Tech., 11 789-795.
  - 24) Liroy P.J., Wollff T.G., (1978), Toxic airborne elements in the New York metropolitan area and of air pollution, JAPCA, 28, 510-512.