

호흡성분진중의 중금속 오염도에 관한 조사연구

-A Study of Heavy Metal Pollutants in the Respirable Dust in Seoul Area-

임·영·욱*, 정·용·*

Young Wook, Lim Young Chung

ABSTRACT

The heavy metal of suspended particulates with human health has long been studied in environmental interest concerned.

This study was intended to identify harmful heavy metals of the ambient air borne dusts which were related with the respirable sizes in the aerodynamics.

Two sampling sites were selected comparatively; one was in the Shinchon area, which is the commercial district with heavy traffic and the other site was in the Bulgwang area which is residential area.

The suspended particulates were sampled by high volume air sampler with 6 cascade impactor stages.

The heavy metals in terms of As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, V and Zn were determined by atomic absorption spectrometry or inductively coupled plasma emission spectrometry.

The samples were taken bimonthly for seven consecutive days from May 1987 to March 1988.

The annual average concentration of the respirable suspended dust of which diameter is less than $10\mu\text{m}$ was $152.59\mu\text{g}/\text{m}^3$ of the Shinchon air samples; the respirable dust was equivalent to approximately 85% of the total suspended particulates.

The annual average concentration of the respirable suspended dust of the Bulgwang air samples was $112.56\mu\text{g}/\text{m}^3$; that was approximately 86% of the total suspended particulates.

The concentration of heavy metals was investigated in relation to the particle size. The concentration of Cr, Fe, Mn and V were tended to be much more in the coarse particles than in the fine particles. Cd and Pb in the fine particles were more than in the coarse particles.

In the partial correlation coefficients; in the Shinchon area, high correlations among Fe, Se and Mn were determined; it is assumed that those sources would be originated from coal, gasoline and diesel

* 연세대학교 환경공해연구소(The Institute of Environmental Research, Yonsei University)

In Bulgwang area, would be high correlation among Fe, Se, Hg and Mn considered to be originated from coal, Bunker-C and heavy oil as well.

From the above results, the hazardous heavy metals in air should be measured and controlled in originally their sources.

1. 서 론

대기부유분진중 중금속에 의한 인체피해는 확실히 밝혀져 있지 않으나 미량일지라도 중금속이 함유된 공기를 호흡함으로써 만성적인 건강피해를 일으킬 수 있는 가능성을 갖고 있다고 하겠다. 부유분진중의 납화합물은 그 유해성이 이미 알려져 있는 것으로 주로 가정난방연료나 차량의 연료에 anti-knocking제로 사용되는 유기납(tetra ethyl lead)에 기인한 것으로 악성빈혈등을 유발시키고 있다.¹⁾ 또 대기부유분진중의 중금속오염도조사에서 납화합물에 대한 기준치를 $1.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 정하기도 하였다.²⁾ 또한 많은 유해성 중금속들이 연료 및 각종 생활폐기물로부터 배출되어 대기환경을 오염시키고 있으나 그들에 대한 조사와 위해성 평가가 잘 이루어지지 않고 있는 실정이다.

우리나라에서 대기부유분진중의 중금속 오염도에 관한 연구는 1973년 김민영 등,³⁾ 1979년 권숙표 등,⁴⁾ 1982년 이민희 등,⁵⁾ 그리고 1986년 주의조 등⁶⁾의 연구가 있으나 이들은 총부유분진에 대한 중금속오염도만을 다루었을 뿐 호흡성분진을 대상으로 한것은 아니었다.

우리나라 환경관계 법규상의 기준은 총부유분진(total suspended particulates : 이하TSP)을 대상으로 하고 있으나 일반적으로 유해한 분진은 호흡에 의해서 체내에 침착될 수 있는 호흡성분진(respirable dust)으로 EPA에서는 $15\mu\text{m}$ 이하로 규정하고 환경기준을 연평균 $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 하고 있다.

현재 우리나라 환경보존관계 법규상의 총부유분진은 연평균 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 규제하고 있으나, 대체로 총부유분진중의 호흡성분진 분포는 약 80%⁷⁾로서 건강 유해분진의 평가에 문제점이 있다고 생각된다. 미국 OSHA(occupational safety and health administration)에서는 일반적

으로 폐기관내의 침착가능성 및 그 측정방법등을 감안하여 $5\mu\text{m}$ 이하의 분진을 호흡성분진이라고 정의하고 있으나 주로 $10\mu\text{m}$ 이하 크기의 분진을 호흡성분진으로 적용하고 있다.^{8, 9)}

따라서 보다 구체적으로 건강상 유해성을 고려한 부유분진의 입도별 조사와 그 성분별조사, 그리고 위해성평가(risk assessment)에 따른 기준 설정등 대책이 요망된다고 하겠다.

이연구에서는 부유분진중 호흡기장해나 진폐증 등의 질병에 대한 직접적인 원인으로 알려져 있는 호흡성분진을 조사하고 그중의 유해성중금속오염도를 조사하여 도시부유분진의 대책을 강구하는 기초자료로 제공하기 위하여 시도하였다.

2. 연구방법

2.1 대상지역 및 조사기간

도시의 대표적인 형태로서 상업 및 교통혼잡지역인 신촌동과 주택지역인 불광동의 두지역으로 구분하여 시료를 포집하였다.

분진포집시기는 1987년 5월부터 1988년 3월까지로 하였으며 이 기간중 홀수달만을 대상으로하여 시료를 포집하였다.

2.2 분진포집방법

분진포집은 high volume cascade impactor air sampler(Sierra-352, US)를 사용하였으며, 유량은 $0.57\sim 1.13\text{m}^3/\text{min}$ 으로 하였다.

Stage 구분은 표 1과 같으며 stage 1의 $10.2\mu\text{m}$ 이상을 비호흡성분진으로, stage 2~B.U은 $10.1\mu\text{m}$ 이하의 호흡성분진으로 구분하였다(표 1).

분진포집에 사용한 filter는 glass fiber filter로 그 크기는 stage 1~6은 $5.625''\times 5.375''$ 이며 back up filter는 $8''\times 10''$ 를 사용하였다. 분진시

Table 1. Size characterization of suspended particulates

Stage	Size (μm)
1	10.2 <
2	4.2 ~ 10.1
3	2.1 ~ 4.1
4	1.3 ~ 2.0
5	0.69 ~ 1.2
6	0.39 ~ 0.68
B.U*	< 0.38

* B.U : back up

료는 조사지역에서 48~72시간을 주기로 1주일간 포집하였다. 분진포집시 우천에 의한 오차를 줄이기 위하여 우천후 2일부터 시료를 포집하였다.

2.3 중금속오염도 측정

Glass fiber filter를 105°C dry oven에서 2시간 이상 건조시킨 후 CaCl_2 (50% soln) desicator내에서 항량이 되게 하였다. 항량이 된 여지를 화학천칭으로 무게를 잰후 분진포집기에 걸고 분진을 채취하였으며 채취된 여지를 다시 항량으로 하여 전, 후 무게차로 분진농도를 측정하였다. 여지를 분할하여 회화로에서 300-350°C의 저온상태회화를 하였다. 회화된 시료에 HNO_3 를 넣고 유기물을 완전히 분해하여 5% 이하의 산농도를 유지하였으며 처리시료를 탈이온수로 일정량을 맞추었다.

As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb 및 Zn는 원자흡광광도계 (atomic absorption spectrophotometer; 이하 AA, Shimazu model AA-650, Japan)로, Se과 V은 유도상프라스마방출광도계 (inductively coupled plasma emission spectrophotometer; 이하 ICP, Labtest plasma-scan 710, Australia)로 농도를 측정하였다.

2.4 자료분석

부유분진의 입도별 중금속 정규분포화방법^{10, 11)}에 따른 각 중금속들의 평균입도분포를 구하였으며, 대기중 중금속간의 상관관계를 보기 위

하여 Pearson correlation을 구하였다.

모든 자료처리는 SPSS (statistical package for the social sciences) 통계 package를 사용하였다.

3. 연구결과

3.1 대기중의 분진오염도

1) 총부유분진

조사기간중의 총부유분진은 신촌지역이 연평균 $179.77\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 환경기준인 연평균 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하였으며, 조사기간 동안의 범위는 $118.05\sim 254.15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다(표 2). 입자별 분포는 $2.0\mu\text{m}$ 이하의 미세입자(微細粒子, fine particle)가 58.76%, $2.1\mu\text{m}$ 이상의 조대입자(粗大粒子, coarse particle)가 41.24%로 미세입자가 6:4 정도의 큰 분포를 보였다(그림 1).

불광지역은 연평균 $130.43\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었고 조사기간중의 총부유분진범위는 $88.20\sim 152.28\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 대부분 환경기준치보다 낮은 오염도를 나타내었다. 입자별 분포는 미세입자가 60.30%, 조대입자가 39.70%를 나타내었다.

2) 입도별 부유분진

대기중의 입도별 분포를 조사한 결과 $0.38\mu\text{m}$ 이하 입자에서 분포가 가장 컸으며 $2.1\sim 4.1\mu\text{m}$ 의 분포가 가장 적었다(표 3).

신촌지역의 입도별 분포양상은 $4.2\sim 10.1\mu\text{m}$, $1.2\sim 2.0\mu\text{m}$ 그리고 $0.38\mu\text{m}$ 이하에서 봉(peak)을 나타내어 삼산형(三山型)을 이루었다(그림 2).

불광지역의 입도별 분포양상은 $4.2\sim 10.1\mu\text{m}$ 와 $0.38\mu\text{m}$ 이하에서 봉을 나타내어 이산형(二山型)을 이루었다.

3) 호흡성분진

대기중 호흡성분진의 오염도를 조사하기 위하여 stage 1의 $10.2\mu\text{m}$ 이상의 입자크기를 비호흡성분진으로, stage 2~7의 $10.1\mu\text{m}$ 이하를 호흡성분진으로 적용하였다. 신촌지역은 비호흡성분진이 $27.18\mu\text{g}/\text{m}^3$, 호흡성분진이 $152.59\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났으며 호흡성과 비호흡성분진의 평균비는 5.61:1이었다(표 4).

Table 2. Aerodynamic components of suspended particulates in Shinchon and Bulgwang areas

		unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (%)							
Areas	Compo- nents	Period	May	July	Sept	Nov	Jan	Mar	Total mean
			1987			1988			
Shinchon	TSP		137.74 (100.00)	206.68 (100.00)	118.05 (100.00)	254.15 (100.00)	169.77 (100.00)	192.16 (100.00)	179.77 (100.00)
	Fine particle		75.75 (54.99)	127.02 (61.46)	67.35 (57.05)	150.02 (59.03)	103.04 (60.69)	110.62 (57.57)	105.64 (58.76)
	Coarse particle		61.99 (45.01)	79.66 (38.54)	50.71 (42.95)	104.13 (40.97)	66.73 (39.31)	81.54 (42.43)	74.13 (41.24)
Bulgwang	TSP		141.04 (100.00)	88.20 (100.00)	129.76 (100.00)	121.26 (100.00)	149.99 (100.00)	152.28 (100.00)	130.43 (100.00)
	Fine particle		80.23 (56.88)	53.26 (60.39)	71.97 (55.46)	75.47 (62.24)	99.26 (66.18)	91.63 (60.17)	78.64 (60.30)
	Coarse particle		60.81 (43.22)	34.94 (39.61)	57.79 (44.54)	45.79 (37.76)	50.73 (33.82)	60.65 (39.83)	51.79 (38.77)

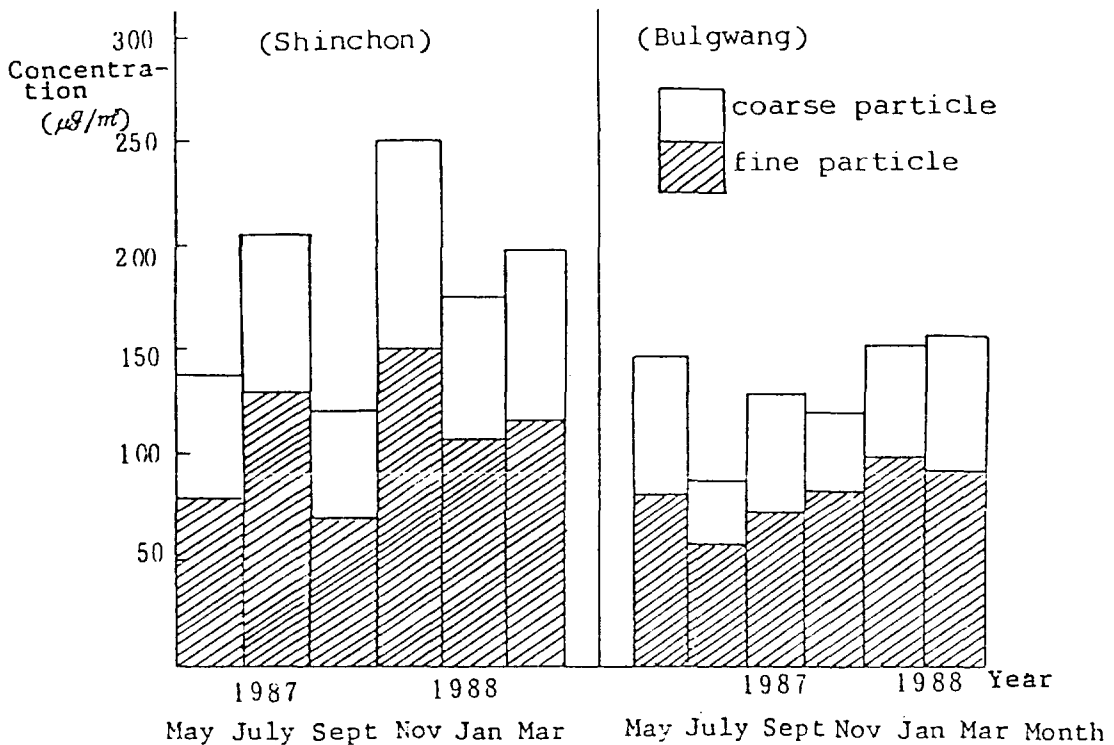


Fig. 1 Aerodynamic components of suspended particulates in Shinchon and Bulgwang areas

Table 3. Comparison in size distribution of suspended particulates

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

Stage(μm)	Shinchon		Bulgwang	
	Concentration	Range	Concentration	Range
1(10.2<)	27.18(15.12)	19.13 - 35.09	17.85(13.68)	9.73 - 24.66
2(4.2-10.1)	31.85(17.72)	22.59 - 45.83	22.06(16.91)	13.19 - 30.51
3(2.1-4.1)	15.10(8.40)	8.99 - 16.88	11.38(9.11)	9.49 - 15.07
4(1.3-2.0)	20.23(11.25)	9.80 - 40.67	13.63(10.45)	9.91 - 14.62
5(0.69-1.2)	221.83(12.14)	10.78 - 33.05	14.97(11.48)	9.95 - 20.53
6(0.39-0.68)	19.24(10.70)	10.26 - 28.49	15.58(11.95)	8.85 - 18.51
7(<0.38)	44.34(24.67)	30.77 - 64.34	34.46(26.42)	19.92 - 48.62
TSP	179.77(100.00)	118.05 - 254.15	130.43(100.00)	88.20 - 152.28

Table 4. Comparison in respirable dust of suspended particulates

Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Site	Items	Shinchon			Bulgwang		
		Non-res	Res	Ratio (Res/Non-res)	Non-res	Res	Ratio (Res/Non-res)
1987	May	25.20	112.54	4.47	24.66	116.38	4.72
	July	29.23	177.45	6.08	9.73	78.47	8.06
	Sept	19.13	98.93	5.17	23.72	106.04	4.47
	Nov	35.09	219.06	6.24	12.58	108.68	8.64
1988	Jan	25.06	144.71	5.77	17.76	132.14	7.44
	Mar	29.34	162.82	5.55	18.63	133.65	7.17
Mean		27.18	152.59	5.61	17.85	112.56	6.31

· Non-res: non-respirable dust

· Res : respirable dust

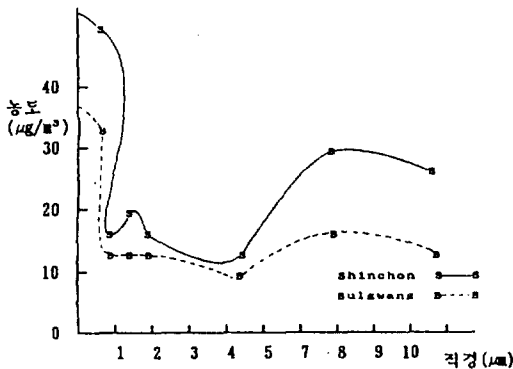


Fig. 2 Size distribution of suspended particulates

불광지역은 비호흡성분진이 $17.85\mu\text{g}/\text{m}^3$, 호흡성분진이 $112.56\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며 호흡성과 비호흡성분진의 평균비는 6.31 : 1이었다.

3.2 대기중의 중금속오염도

1) 호흡성분진의 중금속

대기중의 중금속오염도를 호흡성, 비호흡성으로 구분하였다(표 5).

신촌지역의 호흡성오염도는 Fe이 $0.628\mu\text{g}/\text{m}^3$, Zn은 $0.317\mu\text{g}/\text{m}^3$, Pb이 $0.214\mu\text{g}/\text{m}^3$, V은 $0.175\mu\text{g}/\text{m}^3$, Se은 $0.131\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cu는 $0.110\mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn은 $0.062\mu\text{g}/\text{m}^3$, Ni은 $0.043\mu\text{g}/\text{m}^3$, As

Table 5. Heavy metals concentration in the ambient air of Shinchon and Bulgwang areas

		Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$											
		As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	V	Zn
Shin- chon	Non-res	0.001	0.0005	0.0011	0.014	0.158	0.00004	0.011	0.006	0.011	0.022	0.060	0.046
	Res	0.016	0.0066	0.0042	0.110	0.628	0.00026	0.062	0.043	0.214	0.131	0.175	0.317
	Ratio (Res/ Non-res)	16.00	13.20	3.82	7.86	3.97	6.50	5.64	7.17	19.45	5.95	2.92	6.89
	Total	0.017	0.0071	0.0053	0.124	0.786	0.00030	0.073	0.049	0.225	0.153	0.235	0.363
Bulg- wang	Non-res	0.003	0.0006	0.0011	0.014	0.138	0.00005	0.008	0.006	0.007	0.025	0.025	0.030
	Res	0.0025	0.0089	0.0047	0.119	0.735	0.00044	0.053	0.032	0.167	0.168	0.144	0.321
	Ratio (Res/ Non-res)	8.33	14.83	4.27	8.50	5.33	8.80	6.63	5.33	23.86	6.72	5.76	10.70
	Total	0.028	0.0095	0.0058	0.133	0.873	0.00049	0.061	0.038	0.174	0.193	0.169	0.351

- Non-res : non-respirable air
- Res : respirable air
- Total : non-respirable air + respirable air

는 $0.016\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cd은 $0.0066\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cr은 $0.0042\mu\text{g}/\text{m}^3$ 그리고 Hg은 $0.00026\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 순이었다. 호흡성에 대한 비호흡성의 농도비는 Pb이 19.45 : 1로 가장 높았고 V이 2.92 : 1로 가장 낮았다.

불광지역의 호흡성오염도는 Fe이 $0.735\mu\text{g}/\text{m}^3$, Zn은 $0.321\mu\text{g}/\text{m}^3$, Se은 $0.168\mu\text{g}/\text{m}^3$, Pb은 $0.167\mu\text{g}/\text{m}^3$, V은 $0.144\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cu은 $0.119\mu\text{g}/\text{m}^3$, Mn은 $0.053\mu\text{g}/\text{m}^3$, Ni은 $0.032\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cd은 $0.0089\mu\text{g}/\text{m}^3$, Cr은 $0.0047\mu\text{g}/\text{m}^3$, As는 $0.0025\mu\text{g}/\text{m}^3$ 그리고 Hg은 $0.00044\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 순이었다. 또 호흡성에 대한 비호흡성의 농도비는 Pb이 23.86 : 1로 가장 높았고 Cr은 4.27 : 1로 가장 낮았다.

3) 입도별 중금속

대기중의 입도별 중금속오염도는 Cr, Fe, Mn 및 V은 $2.1\mu\text{m}$ 이상의 조대입자에서 오염도가 높았고 Cd과 Pb은 $2.0\mu\text{m}$ 이하의 미세입자에서 높았다(표 6).

As, Cu, Hg 및 Se은 입도별 중금속오염도 양상이 뚜렷하지 않았다.

4. 고 찰

이연구는 대기중 부유분진의 입도별 분포와 이 중 함유되어 있는 주요 중금속류의 오염분포를 조사한 결과이다.

대기중 중금속오염도를 평균크기분포로 표현하는 방법을 사용하였으며(그림 3), 이것은 대기중 중금속오염분포를 정규분포상으로 표현하기 위한 질량함수의 종좌표로 나타낸 것이다.^{10, 11, 12)}

각 중금속의 입도별 분포를 구한 식은 $(\Delta C/CT)/\Delta \log dp$ 이다. ΔC 는 조사중금속의 입도별 대기중 농도이고, CT는 각 조사중금속 전체입도의 대기중 농도를 말한다. 또 $\Delta \log dp$ 는 $\log dp_{\max} - \log dp_{\min}$ 이다. 일반적으로 대기중 분진의 기체역학적 직경(aerodynamic diameter)은 $0.05 \sim 40\mu\text{m}$ ¹¹⁾라고 하며 이연구에서도 결과를 적용하였다. 조사중금속의 입도별 분포는 As, Cd, Hg 및 Zn은 $0.39 \sim 4.1\mu\text{m}$ 에서 크게 나타났으며 V만은 $2.1\mu\text{m}$ 이상의 조대입자에서 분포가 크게 나타났다. 또한 입도별 누적분포 50%의 중앙입도(mass median diameter; 이하 MMD)를 구하여 각 중금속의 발생원을 추정해 보면 MMD가 $2\mu\text{m}$ 보다 작은 경우는 용접, 납땀질, 금속제련 그

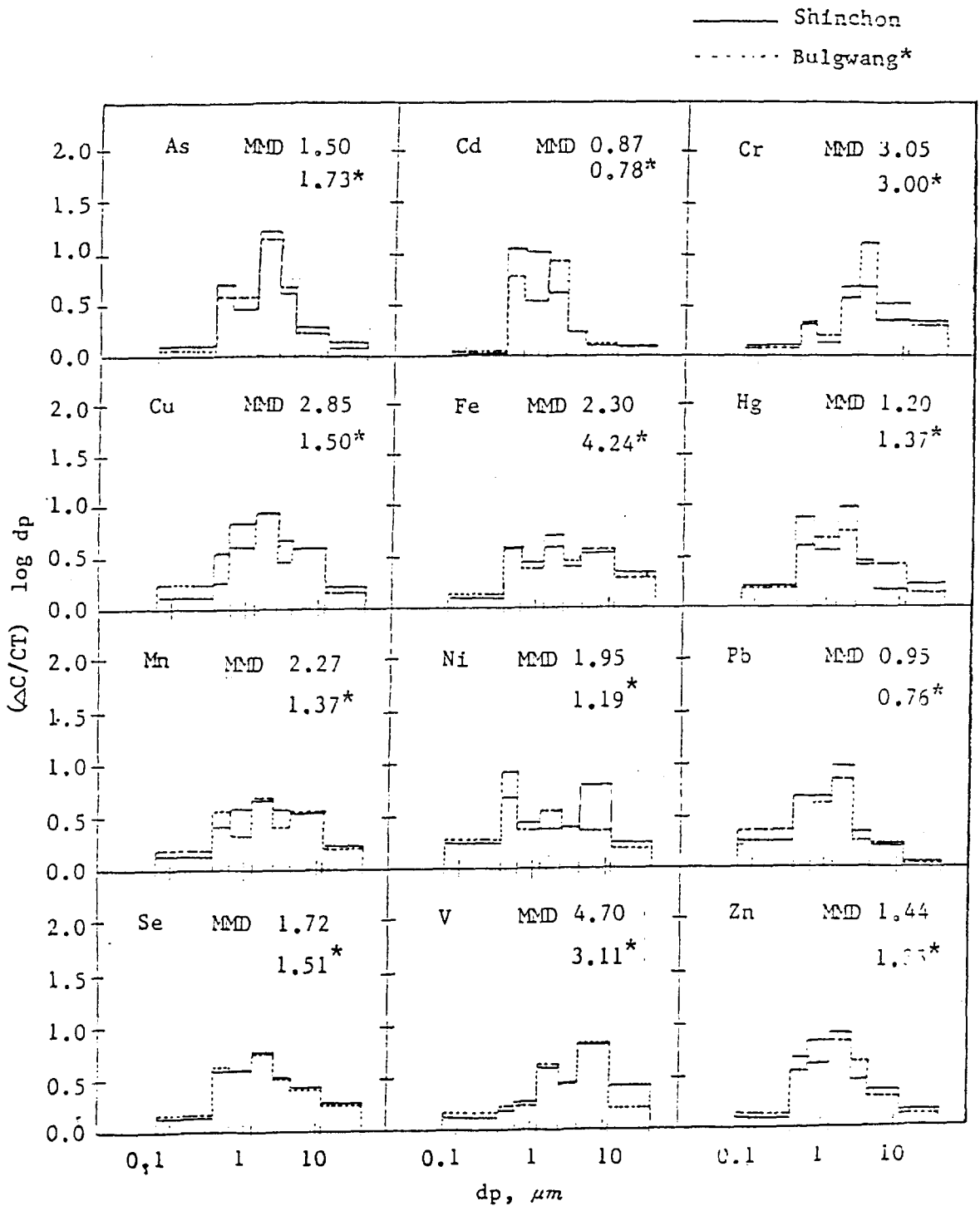


Fig. 3 Airborne mass size distribution for heavy metals

Table 6. Heavy metals concentration by particle size in the ambient air of Shinchon and Bulgwang areas

		Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$											
Stage(μm)	Items Areas	-As-		-Cd-		-Cr-		-Cu-		-Fe-		-Hg-	
		S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B
1(10.2<)		0.001	0.003	0.0005	0.0006	0.0011	0.0011	0.014	0.014	0.158	0.136	0.00004	0.00005
2(4.2-10.1)		0.002	0.003	0.0005	0.0006	0.0010	0.0008	0.021	0.021	0.150	0.183	0.00002	0.00008
3(2.1-4.1)		0.003	0.006	0.0006	0.0008	0.0011	0.0019	0.020	0.017	0.099	0.122	0.00004	0.00006
4(1.3-2.0)		0.004	0.006	0.0008	0.0017	0.0007	0.0006	0.019	0.023	0.100	0.097	0.00005	0.00007
5(0.69-1.2)		0.002	0.004	0.0018	0.0013	0.0002	0.0003	0.021	0.018	0.081	0.081	0.00004	0.00008
6(0.39-0.68)		0.003	0.004	0.0019	0.0018	0.0005	0.0005	0.015	0.009	0.113	0.120	0.00006	0.00007
7(< 0.38)		0.002	0.002	0.0010	0.0027	0.0007	0.0006	0.014	0.031	0.085	0.132	0.00005	0.00008

Stage(μm)	Items Areas	-Mn-		-Ni-		-Pb-		-Se-		-V-		-Zn-	
		S	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S	B
1(10.2<)		0.011	0.008	0.006	0.006	0.011	0.007	0.022	0.025	0.060	0.025	0.046	0.030
2(4.2-10.1)		0.015	0.013	0.013	0.005	0.019	0.016	0.024	0.027	0.064	0.047	0.046	0.035
3(2.1-4.1)		0.012	0.008	0.005	0.004	0.021	0.013	0.023	0.028	0.031	0.022	0.047	0.068
4(1.3-2.0)		0.009	0.008	0.003	0.004	0.042	0.028	0.022	0.027	0.026	0.021	0.061	0.054
5(0.69-1.2)		0.010	0.005	0.005	0.003	0.041	0.026	0.022	0.027	0.018	0.012	0.059	0.069
6(0.39-0.68)		0.007	0.008	0.008	0.008	0.041	0.030	0.022	0.030	0.012	0.012	0.068	0.049
7(< 0.38)		0.009	0.011	0.009	0.008	0.050	0.054	0.018	0.029	0.024	0.030	0.036	0.046

* S : Shinchon
B : Bulgwang

리고 화석연료의 연소와 관련된 인위적인 발생원으로 추정하고 있으며, $2\mu\text{m}$ 보다 큰 경우는 토양 침식 및 해무등의 자연발생원으로 간주하며 분포는 $1\sim 20\mu\text{m}$ 의 크기를 갖는다고 한다.^{10, 11, 13, 14, 15)}

MMD 조사결과에서 인위적인 발생원에 의한 것으로 추정되는 중금속은 신촌지역에서 Cd, Hg, Ni, Pb, Se 및 Zn이었고 불광지역은 As, Cd, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Se 및 Zn이었다. 또한 자연발생원으로 추정되는 중금속은 신촌지역이 Cr, Cu, Fe, Mn 및 V이었고 불광지역은 Cr, Fe 및 V이었다.

그러나 이러한 발생원추정은 본조사의 타연구 결과와는 다소간의 차이가 있으며 앞으로 많은 보완이 필요할 것이다.

조사지역의 오염배출원을 추정하기 위하여 대기 중금속간의 상관관계를 Pearson correlation으로 구하였다(표 7,8).

대기중 중금속오염도간의 상관관계조사에서 신촌지역은 Fe이 Se과 0.7192, Mn과 0.5781로 높은상관을 보였으며 Mn은 Se, V, Fe과 0.6915, 0.6867, 0.5681로 높은 상관관계를 나타내었다. Se과는 Fe 0.7192, Mn 0.5077로 높은 상관을 보였다. 이상에서 신촌지역에 중금속간의 상관은 Fe, Se, Mn이 높은 군임을 알 수 있었다. 불광지역은 Cd과 Hg이 0.6009, Pb은 0.5364, Fe은 0.5291로 높은 상관관계가 있었다. Cr과는 Fe이 0.6284, Mn이 0.5945, Zn이 0.5882, Se이 0.5529로 높게 나타났다. 또 Fe과는 Mn이 가장 높아 0.8142를 Se, Hg, Cr, Cd, Ni등의 순으로 많은 중금속간에 상관을 보였다. Hg은 Se이 가장 높은 0.7658, Mn과는 Fe이 0.8120로 가장 높게 나타났다. Se과는 Hg이 0.8744, Fe 0.7658, Mn 0.5819, Cr 0.5529, Cd 0.5025로 높은 상관관계를 나타내었다. 불광지역에서는 Cd, Cr, Fe, Hg, Mn, Ni, Se의 대부분 항목간에 높은 상관

Table 7. Correlation coefficient(r) among heavy metals of ambient air in Shinchon

	TSP	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	V	Zn
TSP	1.0000												
As	-0.4282*	1.0000											
Cd	-0.1662	0.0103	1.0000										
Cr	-0.1556	0.0532	-0.1147	1.0000									
Cu	-0.0600	-0.1129	0.0502	0.0158	1.0000								
Fe	-0.2559	-0.2060	0.1732	0.4370*	0.2239	1.0000							
Hg	-0.1650	0.1373	0.2655	0.4632*	0.1177	0.3262	1.0000						
Mn	-0.1845	-0.0576	0.1901	0.4584*	-0.0013	0.5681**	0.3113	1.0000					
Ni	0.1791	-0.0792	0.1818	0.4848**	0.0601	0.3621*	0.1701	0.5532**	1.0000				
Pb	0.3538	-0.0104	0.3931*	-0.3262	-0.012	-0.3571	0.0776	-0.0466	0.0050	1.0000			
Se	-0.5094**	-0.0179	0.2172	0.4226*	0.1661	0.7192**	0.4590	0.6915	0.3390	-0.1985	1.0000		
V	0.1530	-0.1596	-0.1939	0.2537	-0.1262	0.2677	-0.0639	0.6867**	0.3726*	-0.1833	0.2103	1.0000	
Zn	-0.2322	-0.0267	0.4521*	0.1959	0.3180	0.4069*	0.3660*	0.3016	0.1617	0.2200	0.5077**	0.0271	1.0000

* : P < 0.05

** : P < 0.01

Table 8. Correlation coefficients(r) among heavy metals of ambient air in Bulgwang

	TSP	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	V	Zn
TSP	1.0000												
As	-0.2795	1.0000											
Cd	-0.1016	-0.1023	1.0000										
Cr	-0.2249	0.3242	0.2812	1.0000									
Cu	0.1080	0.1078	0.0977	0.2470	1.0000								
Fe	-0.1215	-0.0710	0.5291**	0.6284**	0.3957*	1.0000							
Hg	-0.2256	0.0402	0.6009**	0.5016**	0.4410*	0.6811**	1.0000						
Mn	-0.0221	-0.7516	0.4104*	0.5945**	0.1811	0.8142**	0.4526	1.0000					
Ni	0.1473	-0.0478	0.5091**	0.4259*	0.1211	0.5250**	0.4329*	0.5080**	1.0000				
Pb	0.4041*	-0.2342	0.5364**	-0.1055	0.0657	0.1342	-0.0577	0.2560	0.2342	1.0000			
Se	-0.2566	0.0570	0.5020**	0.5529**	0.4435*	0.7658**	0.8744**	0.5819**	0.4369*	0.0188	1.0000		
V	0.4493*	-0.0456	-0.3299	-0.1440	-0.0496	-0.1034	-0.4168*	0.2230	0.764	0.1180	-0.3136	1.0000	
Zn	-0.0925	0.3838*	0.5131	0.5882**	0.5322**	0.4591*	0.3372	0.2552	0.2222	0.0567	0.4046*	-0.2081	1.0000

* : P < 0.05

** : P < 0.01

관계를 나타내었고 Fe, Se, Hg, Mn은 상당히 높은 상관관을 이루는 군임을 알 수 있었다.

연료별 배출중금속은 석탄연소에서 Fe, Mn, Cu 및 Se등이 배출되고 가솔린의 연소과정에서 Pb, Zn, Cu, Fe, Mn 및 Cd이 배출되며 석유연료의 연소에서는 V, Ni 및 Mn이 발생된다고 하였다.^{16, 17)}

이 결과에서 상관관계가 높았던 중금속으로 보면 신촌지역은 석탄과 가솔린 및 디젤이 주배출원이며 불광지역은 석탄과 석유연료인 벙커C 및 중

유에 의한 중금속오염 배출원임을 추정할 수 있었다. 또한 석유계연료의 연소와 관련이 깊은 것으로 알려져 있는 V은 신촌지역이 Mn, Zn 및 Ni 과 상관관계를 높은 반면에 불광지역은 Zn만이 상관관계를 높고 신촌지역이 석유계연료에 의한 중금속오염 양상이 큼을 알 수 있었다.

그러나 중금속오염원의 추정은 조사지역에서 사용되는 연료의 분석이 선행되어야 하며 본 조사의 분석결과와는 다소 차이를 예상할 수 있었다.

조사지역의 중금속오염도 변화를 알아보기 위

하여 서울시 중금속오염도에 관한 많은 연구 가운데 지역이 동일한 연구결과만을 살펴보면(표 9), 신촌지역의 중금속오염도는 전반적으로 감소하는 추세이며 이중 Fe, Ni, Pb 및 Zn은 뚜렷하게 감소하였다. 특히 중유의 연소과정에서 많이 발생하는 것으로 알려진 Ni이나 교통량에 따른 영향을 많이 받는 Pb이 감소경향은 주의할 만하다. 불광지역은 Cu, Mn 및 Zn은 감소한 반면에 As, Fe 및 Se의 오염도는 증가하여 전반적인 중금속오염도 변화양상을 설명하기는 어려웠다.

이미 Lippman¹⁸⁾(1977), EPA¹⁹⁾(1982)등의 연

구에서 폐기관내의 분진침착률을 조사한 바 있으며 이연구 결과에 따라 중금속의 체내침착률과 이에 따른 위해성평가가 가능하리라 생각된다.

우리나라에서도 대기중 부유분진의 위해성평가를 위하여 분진의 돌연변이원성에 관한 조사를 하고 있으며^{20, 21, 22)} 일부 다환방향족탄화수소류(polycyclic aromatic hydrocarbons)의 연구도 차츰 세분화 되어가고 있다. 따라서 대기질의 평가를 위해서는 단편적인 연구에 치중하지 않고 여러분야의 연구에서 얻어진 결과를 종합하여 평가되어야 할 것이다.

Table 9. Comparison of heavy metals in the ambient air of Shinchon and Bulgwang areas

		Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$													
Author	Year	TSP	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	V	Zn	
Shin- chon	Kwon SP et al	1977	193.0	-	0.011	0.003	0.354	3.679	-	0.128	0.102	1.149	-	-	-
	Chung Y et al	1986	167.0	-	0.004	-	0.046	1.374	-	0.032	0.075	0.271	-	0.174	0.976
	This study	1988	179.8	0.017	0.0007	0.005	0.108	0.787	0.00029	0.072	0.048	0.224	0.152	0.234	0.362
Bulg- wang	Lee MH et al	1982	167.3	-	0.009	-	0.258	0.721	-	0.135	0.048	0.228	-	-	-
	Lee MH et al	1985	181.0	0.015	0.005	0.003	0.146	0.431	0.003	0.392	0.011	0.091	0.014	-	0.503
	This study	1988	130.4	0.028	0.010	0.006	0.130	0.873	0.0005	0.061	0.038	0.172	0.192	0.170	0.351

5. 결 론

이 연구는 대기중 부유분진평가의 한분야로 호흡성분진의 입도별 중금속오염도를 상업 및 교통혼잡지역과 주택지역의 두지역에서 1987년 5월부터 1988년 3월까지의 조사에 대한 결과이다.

1) 대기중 총부유분진 조사에서 신촌지역은 연평균 $179.77\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 환경기준 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 높은 오염도를 나타냈고 $2\mu\text{m}$ 를 경계로 한 미세입자는 58.76%, 조대입자는 41.24%이었다. 불광지역은 연평균 $130.43\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 오염도를 나타내었고 미세입자는 60.30%, 조대입자는 39.70%를 나타내었다. 또한 난방기의 오염도가 비난방기에 비하여 높았다.

2) $10.1\mu\text{m}$ 이하 입자크기의 호흡성분진 오염도조사에서 신촌지역의 연평균 호흡성분진은 $152.59\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 총부유분진의 약 85% 정도이었으며 호흡성분진에 대한 비호흡성분진의 비는 5.61 : 1로 나타났다. 불광지역은 연평균 호흡성

분진이 $112.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 총부유분진의 86%이었으며 호흡성분진에 대한 비호흡성분진의 비는 6.31 : 1이었다.

3) 대기중의 입도별 중금속오염도는 Cr, Fe, Mn 및 V은 조대입자의 오염도가 높았고 Cd과 Pb은 미세입자의 오염도가 높았다.

4) 오염배출원의 추정을 위하여 중금속간의 상관관계를 조사한 바 신촌지역은 Fe, Se 및 Mn이 서로 높은 상관관계를 나타내어 석탄과 가솔린 및 디젤에 의한 배출원으로 추정하였고 불광지역은 Fe, Se, Hg 및 Mn이 서로 높은 상관관계를 나타내어 석탄과 석유연료인 벙커C와 중유를 배출원으로 추정하였다.

5) 조사지역의 중금속오염도를 과거의 타연구들과 비교한바 신촌지역은 Fe, Ni, Pb 및 Zn의 오염도가 감소하는 변화를 보였으며 불광지역은 Cu, Mn 및 Zn은 감소한 반면에 As, Fe 및 Se의 오염도는 증가하였다. (원고접수 '89.3.15)

참 고 문 헌

1. Butler J.D., (1977), Air pollution chemistry, Academic press, U.S.A.
2. Lioy P.J., Wolff G.T., (1978), Toxic elements in the New York metropolitan area, JAPCA, 28, 5, 510~512.
3. 김민영, 이홍근, 정문식, 서울시내 대기중 중금속농도조사, 공중보건잡지, (1974), 11, 1, 130~141.
4. 권숙표, 정용, 임동구, (1979), 서울시 대기중 유해부유분진의 성분, 예방의학회지, 12, 1, 49~55.
5. 이민희외 5인, (1982), 대기중 부유분진의 성분에 관한 조사연구, 국립환경연구소보, 4, 27~47.
6. 주의조, (1987), 도시대기 부유분진중의 중금속오염도에 관하여, 연세대학교 보건대학원.
7. Solomon P, Derrick M, Moyers J, (1982), Performance comparison of three samples of suspended airborne particulate matter, JAPCA, 32, 4, 373~375.
8. Miller F.J., Gardner D.E., Graham J. A., (1978), Size considerations for establishing a standard for inhalable particles, JAPCA, 29, 6, 610~615.
9. Rowe D.R., Nouh M.A., Al-Dhowa K. H., (1985), Indoor-outdoor relationship of suspended particulate matter in Riyadh, Saudi Arabia, JAPCA, 35, 1, 24~26.
10. Davidson C.T., Goold W.D., Mathlson T.P., (1985), Airborne trace elements in great smoky mountatins, Olympic, and Glacier national park, ES&T, 19, 1, 27~35.
11. Milford J.B., Davidson C.I., (1985), The Size of particulate trace elements in the atmosphere-A review, JAPCA, 35, 12, 1249~1260.
12. Daisey J.M., (1987), An overview of the Riode Janeiro aerosol characterization study, JAPCA, 37, 1, 15~23.
13. Stern A.C., (1977), Air pollution, Academic press, U.S.A.
14. Englund C., (1984), Handbook of air pollution technology, Mc Graw-Hill, U.S.A.
15. Richard A.W., Peter A.C., (1983), Indoor air pollution, John Wiley & Sons, U.S.A.
16. Lee R.E., Lehmden D.J., (1973), Trace metal pollution in the environment, JAPCA, 23, 10, 853~857.
17. Lee R.E., Crist H.L., Riley A.E., (1975), Concentration and size of trace metal emissions from a power plants, a steel plant, and a cotton gin, ES&T, 9, 7, 643~647.
18. Doll R., Mathews J.D., Morgan L.G., (1977), Cancers of the lung and nasal sinuses in nickel workers, a reassessment of the period of risk. BJIM, 34, 102~105.
19. E.P.A., Air quality criteria for particulate matter and sulfur oxides, E.P.A.
20. Chung Y., (1987), Physico-chemical component and mutagenic activity of ambient dust in Seoul, Yon Med J, 28, 1, 52~59.
21. 차철환, 김영환, 김재성, (1983), 서울시 대기오염물질의 돌연변이원성에 관한 조사, 환경보전협회지, 4, 1, 167~179.
22. Yuko S., Toshio K., (1987), Carcinogenicity of extrat of airborne particles using newborn mice and comparative study of carcinogenic and mutagenic effect of the extract, Arch Environ Health, 42, 14~18.