한국환경과학회지 제5권(제4호), 463~471, 1996
J. of the Korean Environmental Sciences Society

부산지역 대기 중 강하분진의 특성에 관한 연구

김은경 · 옥 곤 · 김영섭
부경대학교 지구환경과학부
(1996년 6월 17일 접수)

A Study on the Characteristics of Dustfall in Pusan

Eun-Kyoung KIM, Gon OK and Young-Seup KIM
School of Earth Environmental Sciences, National Fisheries University of Pusan, Pusan, 608-737, Korea
(Manuscript received 17 June 1996)

In order to investigate the characteristics of dustfall at eight sites in Pusan, the dustfall samples were collected with dust jar method from May to September 1995, and Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb were analyzed.

The main results of this study are summarized as follows;

1) The total mean value of dustfall was 11.30 ton/℃/month.

2) The maximum and minimum values of dustfall were industrial and resident area respectively.

3) The dustfall showed the general trend in order as May>Jun>September>July.

4) The general trend of the heavymetals in dustfall was in order as Fe>Cu>Zn>Pb>Ni>Cd>Cr>Mn and the concentrations of heavymetals had different tendencies according to sources of pollutant meterials.

5) The Concentrations of Fe, Cu, Pb, Ni, Cd and Cr in industrial area and Mn, Pb and Zn in traffic area were high.

The concentrations of heavymetals in residence area and unpolluted area were generally low.

6) Cr, Cu and Cd were influenced by the steel industry and the metal products plant and Zn was influenced by the automobils. Mn, Fe and Ni were influenced by the soil as wel as artificial outlet.

7) The correlation between the total amount of dustfall and the concentrations of the heavymetals by month was high and the correlation between the heavymetals of the same origin was high.

Key words : dustfall, heavymetals.

1. 서 론

산업의 발달로 인한 인구의 도시 집중과 교통량의 증가 등으로 인하여 도시 대기의 오염이 점차 증가하고 있는 실정이다.

일반적으로 대기중에 배출된 대기오염물질들은 대기중에서 확산, 수송등의 제거과정을 거치면서 이차오염물질들로의 전환을 하게 되고, 대기중에서 일정 기간 체류하다가 지표 부근에 침착하게 된다. 이러한 과정에서 지역적 대기오염의 정도를 파악

하기 위하여 일반적으로 강하분진이 측정되고 있다.

강하분진은 대기중의 오염물질 중 자기 중량에 의해 또는 우적에 포함되어 침강하는 매연 및 분진과 그 외의 불순물로서, 그 측정치는 일정지역에 있어서의 오염변동을 나타내고 지역적 비교의 지표로서 이용되고 있다.

시료의 채취방법으로는 일반적으로 british deposit gauge (BG)와 dust jar (DJ)가 사용된다. british deposit gauge (BG)는 입구 직경 약 30 cm의 대형 깔대기와 10~20 l용량의 포집병으로 구성되어 있으며, 지상 5 m이내에 설치하며, 조류 번식을 방지하기 위하여 0.02N 황산동 용액 10 ml만을 가한다. 입구 직경이 약 10 cm이고 3~6 l 용량의 포집병으로 구성된 dust jar (DJ)는 건물 옥상에 설치하며, 포집병에는 분진의 비산을 방지하기 위하여 순수 500~1500 ml를 주입한다. 조류의 번식 방지를 위하여 0.02N $HgCl_2$ 10 ml를 첨가하고, 분진 이외의 외적인 요소에 의한 피해를 방지하기 위하여 격자 1 mm 정도의 망사를 부착하였다. 이들 채취방법을 비교해 보면 강하분진이 바람에 의한 재비산이나 휘발성 물질의 휘산등에 의한 손실이 BG에서는 많기 때문에 분진의 포집이 저유수면에서 습식으로 이루어 지는 DJ법이 분진 포집율이 양호하여 기상요소에 대한 영향이 적고 실질적인 강하분진량으로서 취급할 수 있으며, 지역적 강하분진의 특성과 주요 오염원의 오염부하정도의 고찰에 유익하고 월별 또는 년별 변화 경향에 유용하다고 알려져 있다 (鈴木武夫, 1975).

대기분진은 입자의 크기와 밀도에 따라 다른데 공중에 부유하고 있는 물질을 비산분진이라하며, 분진이 공중에 체류하고 있는 시간은 다르지만 최종적으로 지상으로 낙하하게 될 때의 분진을 강하분진이라 한다. 강하분진은 입자의 직경이 약 20 μm 이상의 크기를 말하며, 이제까지의 분진에 관한 연구는 비산분진에 집중되어져 왔고 강하분진에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 부산지역 대기중 강하분진의 특성을 조사하기 위하여 강하분진과 분진중의 중금속 (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb)농도를 측정하고, 각 지역별 농도분포와 월별 농도변화를 조사하고 각 분석 항목간의 상관관계를 조사하여 강하분진의 특성과 오염물질의 기원을 연구하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 측정지점 및 기간

본 연구는 강하분진의 양과 강하분진중의 중금속 성분을 조사하기 위하여 1995년 5월~9월까지 강수시료와 강하분진시료를 함께 포집하였다.

조사지역으로는 부산 전역을 주거지역, 상업지역, 공단지역, 청정지역으로 구분하고, 각 지역의 특성을 고려하여 주거지역에는 서동과 부산수산대학교가 위치해 있는 대연동, 상업지역으로는 남포동과 양정, 공업지역으로는 사상과 다대포, 그리고 청정지역으로는 해안에 가깝게 접해있는 태종대와 내륙에 가까운 남산동으로 총 8개 지점을 선정하였으며, 측정지점의 위치는 Fig. 1과 같다.

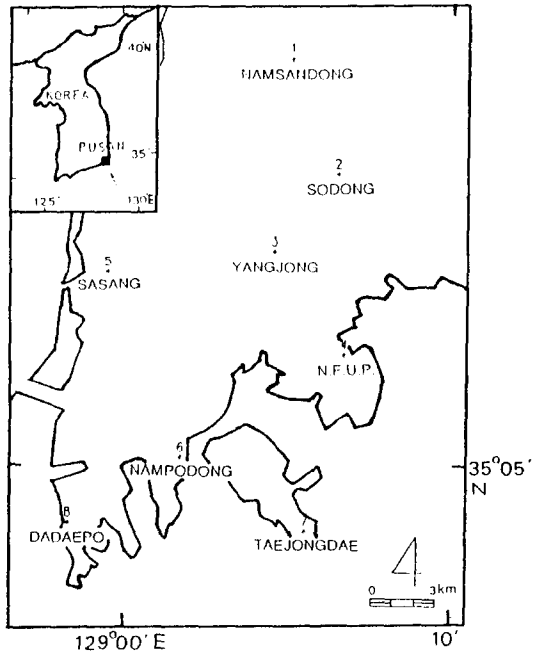


Fig. 1. A map of sampling sites.

2.2. 시료의 채취방법

본 연구기간 중의 강하분진은 Dust Jar법을 채택하여 Fig. 2와 같이 강우채수기 옆 상단에 Dust Jar 채집병을 장착시켰다. 포집병인 Dust Jar는 직경 9.5 cm, 3 l 용량의 폴리에틸렌병을 사용하였다. 포집병에는 순수 1 l를 주입하고 조류(Algae)의 번식 방지를 위하여 0.02N $HgCl_2$ 10 ml를 첨가하고 분진 이외의 외적인 요소로서 조류 등에 의한 피해를 방지하기 위하여 격자 1 mm정도의 망사를 부착하였다.

시료채취장치는 지면으로 부터의 비산먼지가토사 등의 방지를 위하여 건물옥상으로 사방이 개방된 곳을 선정하였으며 옥상바닥으로부터 1.2 m 이상의 높이를 유지하도록 하였다.

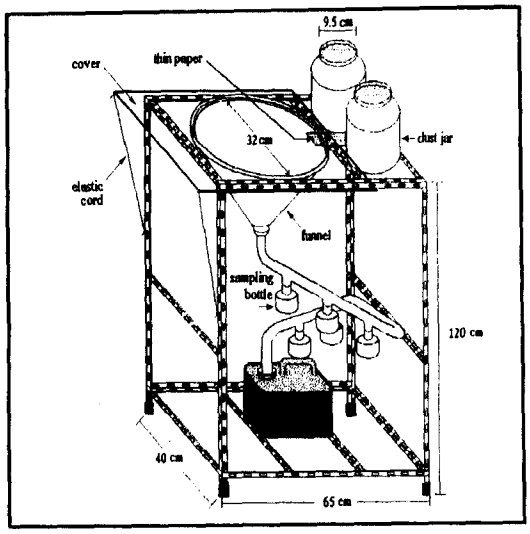


Fig. 2. Sampling apparatus of rainfall and dustfall.

2.3. 시료의 분석방법

2.3.1 강하분진량의 측정 방법

1개월간 채취된 시료는 충분히 혼합가교반하고 시료의 일정량을 비이커에 분취하여 가열판 위에서 가열하고 수분을 증발가건조한 후 데시케이터 내에서 냉방시킨 후 평량하여 강하분진량을 측정하였다.

1개월간의 강하분진량은 다음과 같은 식에 의해 ton/㎢/month 단위로서 산출하였다.

$C = 4/\Pi \times W/D^2 30/n \times 10^4 V/a$

C : 강하분진량 (ton/km²/month)
W : 강하분진량의 분석치 (g)
D : Dust Jar의 직경 (cm)
n : Dust Jar의 방치일 (day)
V : 전체 시료량 (ml)
a : 시료의 채취량 (ml)

2.3.2 강하분진중 중금속의 분석 방법

채취된 시료 1 l당 HCl을 10 ml를 가하여 중금속량의 손실을 방지하였으며 시료수 300 ml를 분취하여 HNO_3 및 H_2SO_4를 가하여 가열·분해 농축하여 시험용 시료로 사용하였다.

시험용 시료는 중금속 분석은 pH를 3.5~4.0으로 조정한 후, APDC-MIBK법으로 전처리 하여 유도결합플라즈마 발광광도법을 이용한 ICP (Spectro Analytical Instruments, Spectro)로 Cu, Zn, Cd, Ni, Pb, Mn, Fe, Cr을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강하분진량의 측정 결과

본 연구 기간 중의 각 지점별 강하분진량 및 그 평균치를 Table 1에 나타내었다. 월별 평균치를 비교해보면, 5월이 평균 17.04 ton/km²/month로 가장 많은 량을 나타내었으며, 6월이 평균 12.03 ton/km²/month, 9월이 10.60 ton/km²/month, 7월이 8.6 ton/km²/month의 순으로 나타났다.

지역별 평균치를 비교해보면, 사상이 23.1, 양정이 15.32, 다대포가 11.22, 남포동이 10.80 ton/km²/month로 공단지역 및 교통량이 많은 상업지역에서 분진량이 높은 값을 나타내었으며, 서동과 남산동

Table 1. Monthly & average concentrations of dustfall in Pusan.

(ton/km²/month)

Point \ Month	May	Jun	Jul	Sep	Average
Namsandong	13.81	5.08	8.02	5.65	8.14
Taejongdae	15.63	8.84	8.47	8.85	10.45
N.F.U.P.	7.64	14.37	5.37	7.66	8.86
Sodong	13.88	6.70	7.13	7.66	8.84
Yangjong	23.61	4.91	9.77	22.98	15.32
Nampodong	18.20	11.36	7.01	6.61	10.80
Sasang	26.20	31.63	17.22	17.34	23.10
Dadaepo	17.38	13.66	5.79	8.06	11.22
Average	17.04	12.03	8.6	10.60	

등의 주거 및 청정지역에서의 강하분진량은 낮게 나타났다.

강하분진량의 월별 지역별 농도분포 경향을 등농도선으로 Fig. 3에 나타낸 결과에서도 알 수 있듯이 일반적으로 사상과 양정의 공간 및 교통량이 많은 지역에 강하분진량의 측정치가 높다는 결과를 보여주고 있으며, 서동, 남산동 및 태종대 등의 부산 외곽지역으로 갈수록 강하분진량이 낮은 결과를 나타내어 산업과 교통 등의 인간활동이 활발한 지역에서 인위적 분진량의 발생량이 크다는 것을 설명하고 있다.

3.2. 중금속 분석결과

조사기간 동안의 각 지점에서의 중금속(Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pd) 농도와 그 평균치를 Table 2에 나타내었다. 각 중금속 성분의 지역적 특성을 파악하기 위하여 농도분포의 등고선을 Fig. 4에 나타내었다.

강하분진중의 중금속류의 지역적 특성을 비교해 보면 다대포에서 Cr이 평균 166.96 g/km²/day로 가장 높게 나타났으며, 양정이 96.22, 사상이 94.52 g/km²/day로 타지역과 비교해 다소 높게 나타났다. 이는 다대포와 사상지역이 금속정련 및 철강산업이 밀집해 있으며, 양정은 교통량이 많은 지역으로서 인위적 발생원이 많은 것에 기인한다고 사료된다.

그리고 Fe, Cu, Cd, Pb 등도 마찬가지로 다대포 지역이 타지역과 비교하여 다소 높게 나타났다. 그러나 비공업지역인 남산동과 태종대에서도 777.02 및 1881.83 g/km²/day로 비교적 높은 농도를 나타내었다. 이것은 Fe가 인위적 발생원으로서의 철강산업 및 금속정련 등에서 유래하는 것만이 아닌 자연발생원에서 기인할 수 있다는 것으로 설명할 수 있다.

Zn은 도시대기에서 금속정련, 도금, 소각 등에서도 배출되지만 주로 자동차 타이어의 마모에 의하여 발생하는 tire tread particle과 도로표지판에 사용되는 페인트에 함유되어 있는 ZnO등이 알려져 있으며(손 동헌, 1988), 또한 tire tread compound에는 가류촉진제로서 ZnO가 2 wt% 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(豊澤眞一, 1978). 그리고 Hamilton(1984)은 교통량의 증가에 따라 Zn의 농도도 증가함을 보고하고 있다. 도시 대기중에서의 인위적 발생원 중의 하나인 Zn이 본 연구에서도 교통량이 많은 지역인 양정 및 남포동에서 2897.12 및 1829.96 g/km²/day로 나타났으며, 다대포에서 1551.99 g/km²/day로 교통량이 많은 지역과 공단지역에서 높은 값을 나타내어 인위적인 발생원에서의 기여도가 큰 것을 나타내었다.

Pb는 일반적으로 도시대기에서의 발생원은 금속정련 등의 산업활동에 의해 대기중으로 방출되는데, 본 연구에서도 공단지역인 금속정련의 다대포

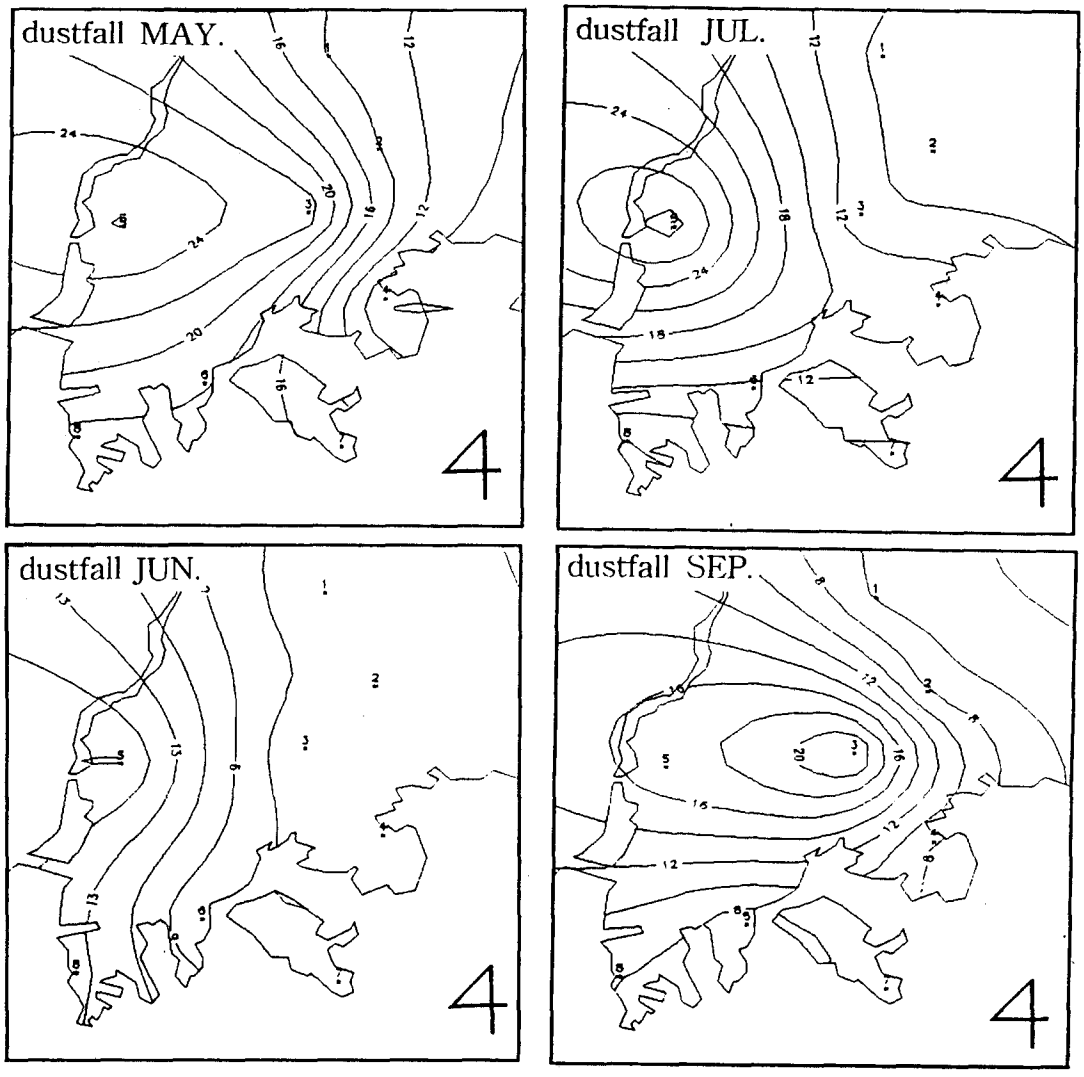


Fig. 3. Dustfall concentrations(Unit: ton/km²/month).

지역에서 2878.52 g/km²/day로 높은 농도를 나타내었다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이 Cr, Fe, Cu, Cr, Pb등의 주요 중금속의 농도분포 특성이 금속정련 산업과 관련한 다대포, 사상지역을 중심으로 고농도 분포를 나타내었으며, Zn는 금속정련 및 산업과 관련된 지역 뿐만아니라, 교통량이 많은 양정지역에서도 고농도 분포 특성을 명확히 나타내었다.

이러한 지역적 특성으로 부터 부산시 대기 강하분진 중의 중금속 성분은 주로 인위적 발생원에 의해 기인하는 것으로 사료된다.

그리고 부산지역 강하분진 중 전체적인 중금속 농도를 비교해보면 Fe>CU>Zn>Pb>Ni>Cd>Cr>Mn의 순으로 나타났다.

강하분진 및 각 중금속 간의 상관계수를 Table 3에 나타내었는데, 강하분진과 각 중금속 간은 0.5 이하의 낮은 상관성을 나타냈으나, 각각의 중금속 간의 상관관계는 강하분진량과는 달리 비교적 높은 상관성을 나타내었다. 특히 Cr은 Fe, Cd, Pb와 높은 상관관계를 나타내었으며, 이는 철강 또는 금속제

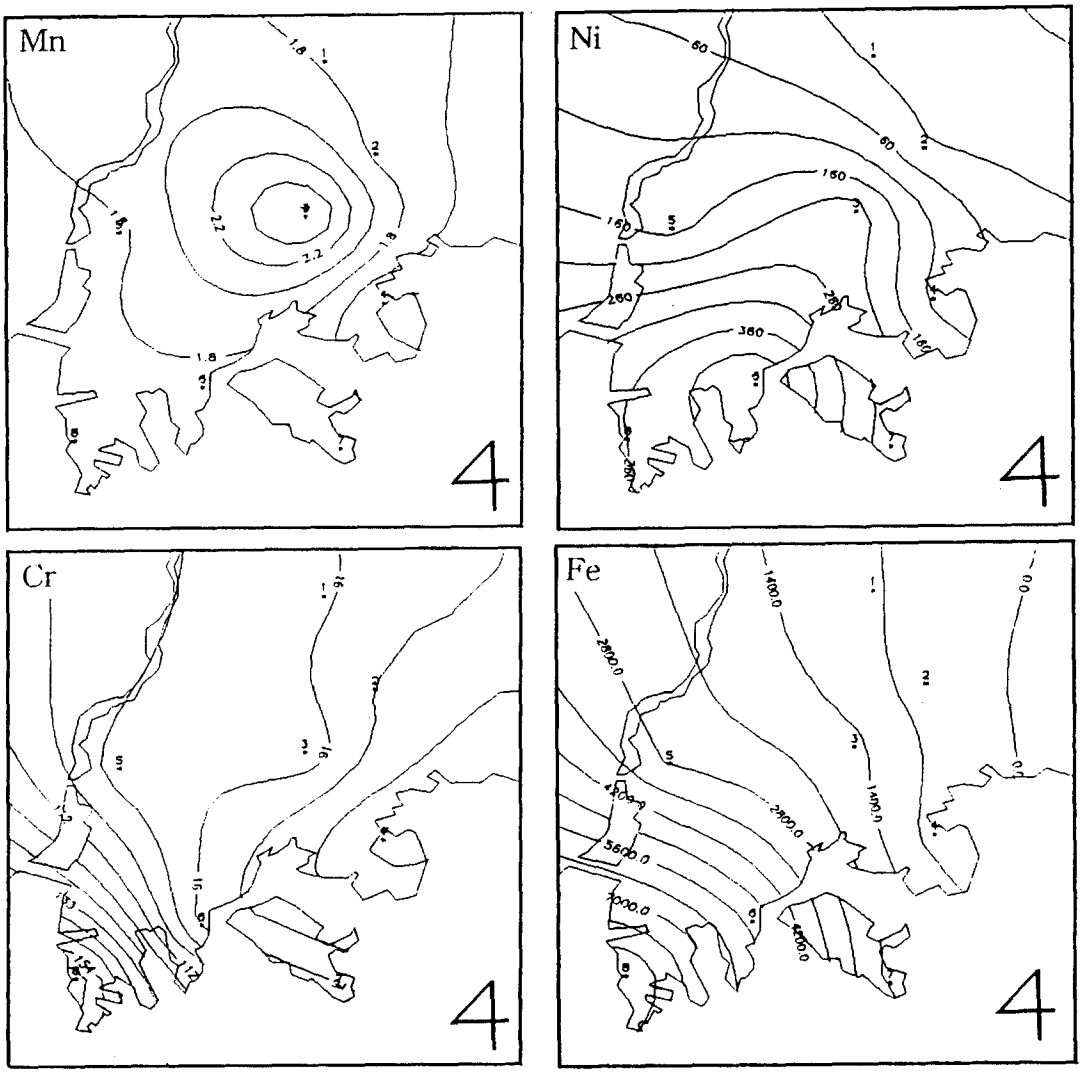
Table 2. Monthly & average values of heavymetals in Pusan.

(g/km²/day)

Point	Item / Month	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Namsandong	5	112.50	2.34	16.04	3.56	5.35	227.66	132.77	33.53
	6	88.25	1.48	758.32	2.26	3.39	93.68	273.14	3950.34
	7	59.20	1.17	8.02	1.78	2.67	31.69	9.08	16.76
	9	108.03	2.12	2305.71	3.22	4.84	512.94	1.41	30.33
	Avg.	92.00	1.78	772.02	2.71	4.06	216.49	104.10	1007.74
Taejongdae	5	87.50	1.71	647.08	17.50	154.24	216.02	6.59	24.50
	6	79.50	1.93	3668.48	95.88	1240.31	33.22	5.98	27.70
	7	63.38	1.17	937.28	112.05	239.30	2063.35	47.62	746.81
	9	135.64	2.12	2274.47	3.22	4.84	106.62	92.61	869.68
	Avg.	91.51	1.73	1881.83	228.65	409.67	604.80	38.20	417.17
N. F. U. P.	5	45.32	1.08	1089.10	236.14	451.12	302.47	34.79	53.47
	6	35.41	0.85	152.70	111.18	104.92	35.00	9.56	12.25
	7	63.61	1.27	231.70	18.08	2.90	28.00	43.17	18.20
	9	126.17	2.12	205.58	3.22	4.84	283.07	12.70	30.33
	Avg.	67.63	1.33	419.77	92.16	140.95	162.14	25.06	28.56
Sodong	5	77.91	1.78	12.19	2.71	4.06	93.45	318.79	2622.97
	6	67.46	1.17	344.78	44.33	399.30	49.68	24.17	16.76
	7	69.34	1.17	344.78	44.33	399.30	49.68	24.17	16.76
	9	119.52	2.12	1168.98	3.22	4.84	341.62	1.41	30.33
	Avg.	83.56	1.73	384.66	13.27	103.11	138.43	86.40	674.15
Yangjong	5	153.33	6.24	3769.16	498.21	2670.93	9912.97	108.04	3352.59
	6	57.41	1.43	96.94	2.18	3.28	210.33	8.60	20.55
	7	71.74	1.14	2158.58	462.32	858.98	1281.15	33.26	1095.57
	9	102.39	2.12	396.34	3.22	4.84	184.01	10.98	30.33
	Avg.	96.22	2.73	1605.25	241.48	884.51	2897.12	40.22	1124.76
Nampodong	5	98.30	2.22	15.24	3.39	5.08	129.20	1.48	31.85
	6	74.51	1.53	11398.57	133.40	1916.30	228.99	1.90	21.97
	7	58.70	1.17	4193.52	1212.95	1494.19	58.64	14.42	16.76
	9	120.42	2.12	6338.68	570.38	1958.04	6903.01	926.11	408.13
	Avg.	87.98	1.76	5486.50	480.03	1343.4	1829.96	235.98	119.68
Sasang	5	114.58	2.12	9019.26	366.21	6066.59	177.56	24.19	30.33
	6	95.45	1.53	1490.13	199.07	942.10	171.42	7.37	21.97
	7	47.50	1.17	8.02	1.78	2.67	37.09	1.23	16.76
	9	120.53	2.12	322.27	3.22	4.84	100.98	13.40	30.33
	Avg.	94.52	1.74	2709.92	142.57	1754.05	121.76	11.55	24.77

Table 2. continued.

Point	Item / Month	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Dadaepo	5	348.85	2.34	27344.21	840.93	3133.17	445.42	1584.96	7395.74
	6	111.34	1.43	7877.92	393.90	674.47	5461.30	176.13	3611.28
	7	59.70	1.17	173.87	107.87	486.18	76.35	55.58	476.71
	9	149.94	2.12	1349.36	3.22	4.84	220.9	8.67	30.33
	Avg.	166.96	1.77	9186.34	358.76	4298.66	1550.99	456.34	2878.52
Total average		97.55	1.82	2805.79	194.95	1117.30	940.21	124.73	784.42



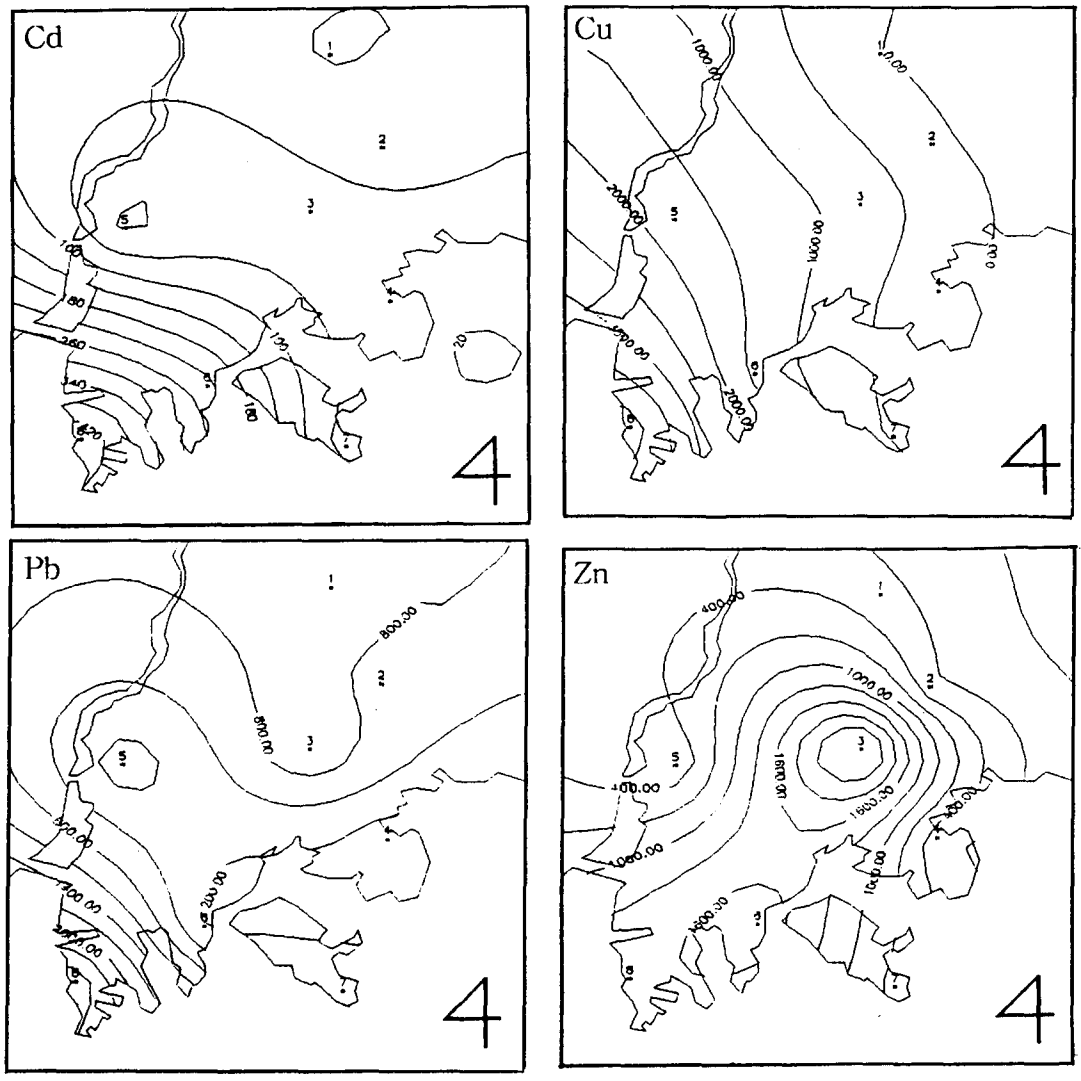


Fig. 4. Average concentrations of heavymetals(unit: g/km²/day).

Table 3. Linear correlation coefficients of dustfall and heavymetals.

Item	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	Dustfall
Cr	1.00								
Mn	0.48	1.00							
Fe	0.77	0.16	1.00						
Ni	0.35	0.14	0.61	1.00					
Cu	0.40	0.33	0.66	0.59	1.00				
Zn	0.21	0.66	0.17	0.38	0.31	1.00			
Cd	0.76	0.15	0.78	0.49	0.36	0.26	1.00		
Pb	0.70	0.3	0.68	0.41	0.29	0.34	0.74	1.00	
Dustfall	0.27	0.38	0.2	0.12	0.44	0.16	0.04	0.14	1.00

련산업과 관련이 높은 것을 알 수 있다. 그리고 토양등에서 유래한다고 볼 수 있는 Mn이 Zn과 다소 높은 상관관계를 나타내는 것은 교통량의 증가와 타이어의 마모와 토양입자의 비산에 의한 영향이 큰 것으로 사료된다.

또한 Fe는 Cr, Ni, Cu, Cd, Pb 등과도 다소 높은 상관성을 나타내었으며, Fe가 토양 기원인 Ni과 철강산업과 관련이 깊은 Cr, Cu, Cd, Pb 등과도 다소 높은 상관성을 보임으로서 Fe가 자연발생원 뿐만 아니라 인위적인 발생원 모두에 기인하고 있다고 추정된다.

그리고 월별 총 강하분진량과 월별 총 중금속 농도와의 관계를 살펴보면 강하분진량이 7월, 9월, 6월, 5월로 증가함에 따라 중금속 농도도 7월, 9월, 6월, 5월로 증가하는 것을 알 수 있으며, 이것은 대기중 분진량의 증가가 대기에서의 중금속 오염의 가중화를 초래하는 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 부산지역의 대기분진의 오염도를 조사하기 위하여 Dust jar법을 사용하여 부산시내의 각 지역별 특성 및 오염원에 따라 8개 지점을 선정하였다. 1995년 5, 6, 7, 9월의 강하분진량과 강하분진중의 중금속 (Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) 농도를 측정하였으며, 월별 농도 변화와 지역별 농도 분포를 조사하고, 각 분석 항목들 간의 상관성을 분석하여 강하분진의 특성과 오염물질의 기원을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 강하분진량의 평균값은 11.30 ton/km^2/month이고, 범위는 4.91~31.63 ton/km^2/month로 나타났다.

2. 지역별 강하분진량은 공단지역이 전평균 17.16 ton/km^2/month으로 최고치를 나타냈고, 주거지역이 8.85 ton/km^2/month으로 최저치를 나타내었다.

3. 월별 강하분진량은 5월이 전평균 17.04 ton/km^2/month으로 최고치를 나타내었고, 7월이 8.6 ton/km^2/month으로 최저치를 나타내었다.

4. 분진중의 중금속량은 Fe>Cu>Zn>Pb>Ni>Cd>Cr>Mn으로 나타났다.

5. 지역별 중금속 농도는 오염물질의 기원에 따라 각각 다른 경향을 나타내었다. 즉, 공단지역에서는 Cr, Fe, Ni, Pb, Cu, Cd 등이 고농도를 나타내었고, 교통지역에서는 Mn, Zn 등이 고농도를 나타내었다. 주거지역과 대조지역은 중금속 농도가 전체적으로 낮게 나타났다.

6. 월별 중금속 농도는 각 성분별로 약간의 차이는 있으나 전체적으로 5월에 고농도가 많이 나타났고, 6월, 9월, 7월순으로 나타났다.

7. Cr, Cu, Cd, Pb은 주로 철강이나 금속제련에 의한 오염물 배출에 많은 영향을 받으며, Zn은 자동차에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다. Mn, Fe, Ni은 토양성분에서 주로 기인하나 인위적인 배출원에서도 그 영향을 찾을 수 있는 것으로 사료된다.

8. 월별 총 강하분진량과 월별 총 중금속 농도와의 상관성이 명확하게 나타났으며, 오염물질의 기원이 같은 중금속간의 상관성도 높게 나타났다.

5. 참고문헌

손동헌, 이택순 (1988) : 서울시 토사중의 중금속 함량에 관한 연구. 약학논총. 2, 21~31.

豊澤眞一 (1978) : 都市大氣におけるゴム粉じんの擧動. 大氣保全學會誌, 13, p.101~105.

鈴木武夫 (1975) : 大氣汚染 handbook (1), コロナ社, p.32~41.

R. S. Hamilton and D. H. Revitt (1984) : Levels and physio-chemical associations of Cd, Cu, Pb and Zn in road sediments. The science of the Total Environment 33, p. 59~74.