Korean J. Environ. Agric.
Vol. 15, No. 4, December 1996

도로변 대기오염도와 토양오염 수준의 관계

이진하* · 박기학* · 정영도**

Relation between the Pollution Level of the Atmosphere and that of the Soil in the Vicinity of Roads

Jin-Ha Lee*, Gi-Hark Park* and Young-Do Jeoung**

Abstract

To investigate the relationship between the atmospheric pollution level and the pollution level of soil adjacent to the roadside in Suwon suspended particles and soil samples were collected in August to October 1993, and analyzed by AAS and ICP.

The Ca, K, Mg concentration in atmosphere were observed as high level and assumed that it was effected by the acid-rain originated from the erosion of concreate vicinity to the roadside, and the Pb, Zn concentration were higher at outer area than that of central area. Hazardous heavy metal (Cu, Pb, Zn) concentrations in soil were observed as high level at all sampling sites.

The relationship between the heavy metal concentrations in the atmosphere and those in the soil were analyzed, by using the correlation coefficient value(r) and the result was appeared similarly. And this study indicated that the atmospheric pollution affect the level of the soil pollution adjacent to the road side.

Key words : roadside, atmospheric pollution, soil pollution

*Dongnam Health Junior College, Dept. of Environmental Science
**Chung Buk National University, Dept. of Environmental Engineering

서 론

최근들어 우리나라의 자동차 보유대수는 급속한 산업화와 소득의 증대로 기하급수적으로 증가하는 추세를 나타내고 있으며 93년말 현재 전국의 자동차 등록대수는 6,274,000대로 92년말에 비해 19.9%가 늘어 났으며 이들 자동차에서 배출되는 유해물질로 인해 대기오염 및 자연환경파괴문제가 심각히 대두되고 있다[1,3].

자동차에서 배출되는 자동차 기인성 오염물질(Vehicle-borne pollutants)들에 대한 심각성은 우리나라 도시의 대부분이 도로변에 밀집한 고층건물과 낮은 도로율 그리고 과중한 교통량으로 인한 체증현상이 자주 발생함으로써 이들 오염물질들이 대기중으로 희석 또는 확산 또는 확산되지 못한 채 주변자연환경에 직접, 간접적으로 많은 피해를 주고 있기 때문에 관심이 더욱 증대되고 있다[2].

자연환경 피해대상중 하나인 토양은 자연환경에 있어서 모든폐기물질을 가장 많이 받아들이는 곳이며 일단 토양에 들어온 오염물질가운데 유기물이나 무기염류는 기후, 광선, 미생물등 여러 가지 요인에 의하여 서서히 흡수, 흡착, 용해, 분해되어 감소되는 반면 중금속류는 제거되지 않은 채 토양의 한 부분에 흡착 축적되어 토양에서 일어나는 모든 반응에 관여하게 될 뿐만 아니라 결국은 food-chain을 통해 인간을 포함한 모든 생명체에 어떤 형태로든 영향을 끼치게 된다. 이러한 이유로 대기오염과 토양오염과의 상관관계를 밝히는 연구가 활발히 진행되고 있다[3].

특히 도로주변 토양은 차량에 의한 각종오염물질들이 집중적으로 배출되는 곳으로서 도로변에서 생육하는 가로수 및 녹색식물들은 차량의 배출가스 및 분진중의 중금속에 의하여 많은 피해를 받고 있다. 더욱이 활성이 강한 Fe, Ni과 같은 중금속들은 공기중에서 SO_2를 황산 미스트로 변화시키는 산화촉매체로 작용하며[4], Mn은 엽록소 형성과 탄소 동화작용에 필수 요소이나 식물체내의 Auxine의 함량을 감소시킨다. 또한 Cr은 폐발암성의 원인으로 보고된바 있으며, 심장병, 고혈압 및 동맥경화증의 발병율과 비례한다고 보고된 바 있다. 또한 자동차의 Antiknoking제의 주구성원인 Pb는 조혈기관및 중추신경계의 장해를 일으키는 것으로 보고된바 있으며[5] Zn은 자동차의 윤활류 속에 Antioxidant-Zn-dichloro phosphate의 형태로 존재하며 배출가스속에 섞여 배출되고 Cu는 자동차의 타이어 및 부품의 합금 등으로 사용되며 도로주행시 마찰 또는 마멸등으로 인하여 도로주변으로 배출되어 환경을 오염시키는 것으로 연구보고 된 바 있다[6].

이에 본 조사 연구에서는 대도시중 비교적 도로보급률이 낮고 교통량이 많으며 이에 따를 체증현상이 늘고 있는 수원을 대상으로 자동차 기인성 중금속오염이 토양중 중금속농도에 미치는 영향을 조사 분석함으로써 대기 오염과 토양오염관리에 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구기간및 대상

본 연구는 1993년 8월-10월중 비에 의한 오염물질의 희석을 고려하여 조사기간을 설정하였으며, 조사대상지역인 경기도 수원시 일부지역을 사전조사에 의하여 비교적 교통량과 건물의 밀집도, 도로율 등을 고려하여 도심지역(central area), 준도심지역(sub-urban area), 외곽지역(outer area)으로 분류 각각 4개지역, 총 12개 지역을 설정하였으며 구분지역은 Table 1과 같다.

Table 1. Samping site

Central area	Sub-urban area	Outer area
South gate	Jangan Gu office	Suwon I.C
North gate	Woncheon Dong	Gi Gi De hill
City Terminal	Seryu Dong	Gosek
DongSuwon cross road	Sedun Dong	DeHwang Kyo Dong

2. 대기중의 중금속농도

대기중의 부유분진에 함유된 중금속을 포집하기 위하여 환경공정시험법[7]에 따라 High Volume Air Sampler(KIMOTO.120, Japan)을 이용하였으며, 공기의 흡인 량은 1.5m³/min으로 고정하고, Back-up filter로서는 GF/c(Gelman Science)을 사용 하였다.

분진중 중금속 농도 분석은 환경공정시험법[7]에 따라 전처리를 하였고 원자흡광광도계(Varian AA-30)와 유도플라즈마발광계(Labtam 8440)을 사용하여 분석하였다.

3 토양중 중금속농도

토양시료 채취는 대기중 중금속 시료채취 기간과 동일한 기간중 동일지역에서 실시 하였으며 특히 비에 의한 오염물질의 희석을 줄이기 위하여 5일 이상의 건조한 기상조건을 만족하는 시기를 택하여 토양중 0-15cm의 표토층을 골고루 섞어 250g정도를 취하였고 토양중 중금속 분석을 위한 시료의 전처리는 토양화학분석법[2]과 환경오염공정시험법[7]에 따라 전처리를 하였으며 분석은 대기시료분석과 동일한 기기를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 대기중의 중금속농도

각 조사 지역의 대기중 부유분진양과 부유분진중 중금속농도가 다음 표-2에 나타나 있다. 표에서 보듯이 K, Ca, Mg, Fe의 농도가 전지역에서 높게 나타난것을 알수 있다. 또한 표-3에서 보듯이 시외로 갈수록 부유분진의 평균농도는 증가를 하지만 K, Ca, Mg, Fe의 평균농도는 작아지고 있다. 이는 표 4에서 볼수 있듯이 시외로 갈수록 차량속도의 증가로 도로변에 쌓여있던 입자가 비산하여 포집된것으로 사료된다. 또한 시내 중심부로 갈수록 금속의 농도가 높아진 것은 입자들의 발생근원이 건물의

Table 2. Concentrations of cations pollutants in suspended particulate(T.S.P)in Suwon Atmosphere. (ng/m³)

장소 / 원소	S. gate	D. SuWon	N. gate	Terminal	Seryu	Jangan Gu	Woncheon	Soedun	I.C.	Gi Gi De	Dehwang	Gosek
As	8.60	29.00	15.90	17.40	27.60	13.50	43.40	27.10	27.50	21.70	4.10	27.00
Ca	7824.00	8532.90	8532.90	8845.30	8300.40	8179.40	9478.00	7777.00	9171.80	8542.50	4215.10	7772.00
Cd	0.40	1.60	1.30	1.00	1.90	0.20	2.20	1.80	2.10	1.30	0.20	0.90
Co	0.70	1.30	0.60	1.90	1.20	0.09	1.40	1.00	1.00	1.40	0.09	0.90
Cr	27.70	30.20	18.50	27.60	22.70	24.90	18.40	30.70	12.20	29.60	13.10	20.90
Cu	100.00	105.10	74.20	89.90	94.90	72.90	108.10	66.70	70.00	99.10	39.50	166.10
Fe	2805.30	2985.00	1822.80	2045.40	2707.20	1686.80	3321.50	1252.20	3207.20	2189.30	1367.10	2314.20
Hg	28.90	39.50	33.70	40.60	27.70	23.20	34.50	34.40	20.80	27.70	35.60	17.80
K	1884.80	2606.70	1830.80	2156.80	1982.20	1667.90	2238.20	1982.50	2145.70	2172.00	1001.00	1923.00
Mg	3492.00	4903.80	3548.70	4337.90	3484.50	3432.40	4097.70	3535.00	3963.20	4150.10	1749.50	3554.60
Mn	88.80	127.50	76.00	93.60	116.00	59.30	127.50	99.90	137.50	93.70	41.70	116.30
Mo	8.70	7.30	9.60	0.70	8.90	3.20	1.00	3.60	5.00	8.60	2.00	4.70
Pb	67.10	310.10	93.30	77.30	331.00	66.80	329.20	173.90	107.20	112.40	62.30	66.60
Zn	303.30	723.10	428.80	348.50	542.40	236.40	625.80	372.50	556.20	401.50	216.50	775.00
TSP(μg/m³)												
TSP	233.82	463.29	293.75	242.56	391.28	197.05	433.19	220.02	420.76	291.56	207.73	737.55

부식으로 인해 형성된 것으로 사료된다.[2~3] 또한 표 6에서 Mg, K간의 상관관계가 높게 나타났음을 알수 있다. 이는 이들물질이 같은 발생원을 갖고 있다는 것을 간접적으로 나타내고 있는 것이다. 또한 Pb, Zn의 경우는 시내지역의 경우 각각측정지점에 대한 편차가 심한 것은 도심지역이라해도 대형차가 많이 이용하는 지역에서 높게 나타났으며, 시외지역도 대형차가 많이 이용하는 도로에서는 각각의 중금속농도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 수원시의 외곽으로 산업도로등의 대형차가 통과하는 지역이 많다는 지역적인 특성으로 인한 결과라 할 수 있겠다. 또한 차종에 따른 각 지역별 Vihicle mass을 그림 1에 나타내었다.

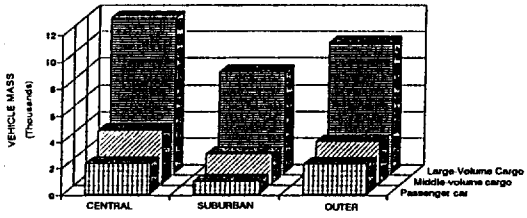

Fig. 1. Vehicle mass for vehicle-mode.

Table 3. The concentration of pollutants and dust concentration in Suwon atmosphere.

(ng/m^3)

Sampling site	Central area	Sub-urban area	Outer-area
Dust Conc.	308.36	310.39	414.4
Ca	8433.78	8433.70	7425.30
K	2119.77	1967.70	1810.40
Mg	4070.60	3637.40	3354.35
Fe	2414.63	2242.0	2269.45

Table 4. Vehicle speed

Sampling site	Central area	Sub-urban area	Outer-area
Km/hr	29	50	65

2. 토양중의 중금속농도

토양에 존재하는 각종 중금속물질의 농도를 측정한 결과를 표 5에 나타내었다. 이들 가운데 Ca, K, Mg, Fe의 농도가 대기에 존재하는 경향과 반대임을 알수 있다. 시외로 갈수록 토양에 존재하는 금속물

Table 5. The concentration of pollutants in soil.

(mg/g)

sites / elements	South gate	Dong SuWon	North gate	Terminal	Seryu	Jangan Gu	Woncheon	Soedun	Inter Change (High Way)	Gi Gi De	Dehwang	Gosek
As	0.079	0.35	0.106	0.182	0.36	0.199	0.52	0.39	0.24	0.15	0.092	0.29
Ca	317.00	317.50	315.500	311.50	297.50	316.50	317.00	315.50	316.50	317.00	316.50	315.50
Cd	0.016	0.06	0.018	0.032	0.12	0.023	0.19	0.03	0.30	0.021	0.021	0.03
Co	1.33	0.28	1.58	2.17	1.42	1.43	1.30	1.50	1.04	1.35	1.20	1.56
Cr	1.42	0.07	1.61	1.20	0.08	1.46	0.62	1.26	0.97	0.43	2.65	1.61
Cu	16.00	24.44	20.15	18.55	21.78	12.40	28.10	26.65	12.55	24.10	13.5	24.10
Fe	99.00	142.00	97.00	177.00	98.50	91.00	42.35	219.00	94.50	228.00	200.50	331.10
Hg	0.073	0.127	0.074	0.095	0.073	0.074	0.044	0.088	0.034	0.042	0.067	0.089
K	270.00	106.00	159.40	92.00	99.00	192.00	253.50	314.00	127.00	194.50	206.00	161.60
Mg	427.00	215.00	333.50	184.00	165.50	384.50	335.00	428.00	560.00	365.50	410.00	449.00
Mn	168.00	77.50	173.50	152.00	67.00	182.00	153.50	179.00	141.00	151.50	188.50	185.00
Mo	0.14	0.03	0.16	0.18	0.05	0.15	0.07	0.18	0.14	0.09	0.14	0.09
Pb	14.90	17.56	13.10	18.60	8.65	3.83	1.60	2.68	1.68	4.43	3.39	6.40
Zn	69.80	19.6	9.04	22.10	4.74	19.50	17.05	20.7	14.95	21.10	17.45	21.10

질의 농도가 높아지는 이유는 도심의 토양에 존재하는 금속물질이 산성비로 인해 대부분이 용출되어 이들의 농도가 적어졌음을 추정할 수 있다. 그러나 토양에 존재하는 Pb와 Zn의 농도는 도심지역이 시외지역보다 높게 나타나는 경향을 보였다. 또한 도심지역이라 할지라도 대형차가 많이 이용하는 간선도로일 경우 다른지역에 비해 토양에 존재하는 중금속물질의 농도가 확연히 차이가 남을 알 수 있다.

3. 대기중에 함유된 중금속간의 상관관계

대기중에 존재하는 각각의 물질에 대한 상관관계를 표 6에나타내었다. Ca와 K, Mg과의 상관관계가 높게 나타났으며 특히 K와 Mg의 상관관계가 높다는 것은 이들의 배출원이 동일 장소이며, 도시의 건물과 콘크리트로된 많은 구조물의 산성비로 인한 부식으로 말미암아 발생된것으로 추정을 할 수 있다. 또한 Pb와 Zn과의 상관관계가 높다는것도 이들 두 성분이 동일한 배출원에 기인하고 있는 가능성이 높다는 것을 지적하고 있으며, 또한 이들의 배출원이 자동차의 배출가스에 포함되어 배출된 것이라고도 추론할 수 있다. 또한 표 4에서도 알수 있듯이 부유분진이 많은 장소에서 Pb, Zn, Cu의 농도가 높게 나타난것은 이를 뒷바침해주는 결과라 볼수 있다. 그외에 As와 Cd, Cd과 Co, K과 Mn, Mg과 Mn, Pb와 As, Zn과 As, Zn와 Mn등이 높은 상관관계를 나타내었다.

4. 토양중에 함유된 중금속간의 상관관계

토양에 존재하는 각각의 물질에 대한 상관관계를 표 7에 나타내었다. 표 6에서 보듯이 As와 Cd, Ca와 K, Mg, 특히 K와 Mg간의 상관관계가 높게 나타났으며 Pb와 Zn의 상관관계도 높게 나타났다. 이의 결과는 대기의 경우와 매우 유사한 양상을 띄고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 도로주변 토양오염이 자동차 배출기체에 영향받고 있다는 것을 시사해 주고 있는 것이다. 도로변 대기와 토양에서 중금속들에 대한 상관관계를 표 8에 나타내었다. 표 8에서 보듯이 상관관계가 좋지않은 이유는 앞에서도 언급하였듯이 도로환경과 산성비의 영향인것으로 사료된다.

Table 6. Correlation Coefficients between the Heavy Metal conc. in ambient air

	As	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Pb	Zn
As	1.0	0.655	0.862	0.600	0.029	0.462	0.583	−0.044	0.707	0.601	0.845	−0.120	0.798	0.771
Ca		1.0	0.623	0.632	0.263	0.401	0.591	−0.103	0.842	0.865	0.696	0.161	0.300	0.458
Cd			1.0	0.616	−0.057	0.129	0.526	0.081	0.667	0.538	0.817	0.089	0.587	0.607
Co				1.0	0.391	0.403	0.452	0.331	0.786	0.756	0.671	−0.052	0.399	0.454
Cr					1.0	0.247	−0.142	0.291	0.475	0.509	0.053	0.218	0.068	−0.059
Cu						1.0	0.448	−0.361	0.488	0.461	0.540	0.153	0.627	0.734
Fe							1.0	−0.158	0.640	0.563	0.785	0.191	0.500	0.637
Hg								1.0	0.130	0.144	−0.160	−0.209	−0.042	−0.197
K									1.0	0.974	0.823	0.207	0.495	0.644
Mg										1.0	0.710	0.162	0.360	0.545
Mn											1.0	0.114	0.686	0.833
Mo												1.0	0.056	0.147
Pb													1.0	0.845
Zn														1.0

결 론

수원시지역의 대기오염과 대기오염으로 인한 토

양오염의 관계를 알아보고자 1993. 8월부터 10월까지 수원시내와 인접지역의 대기중부유분진과 토양시료를 채취하여 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수원시내의 대기중 오염성분의 상당량이 K, Ca, Mg, Fe인 것으로 보아 산성비에 의한 부식으로 콘크리트구조물로부터 유래 되었을 것으로 사료되었다.
2. 수원시의 대기오염현황은 대형차가 많이 이용하는 도로변을 중심으로 시내, 외의 구분없이 전지역에 대해 넓게 퍼져있음을 알 수 있었다.
3. 유해오염성분중 Pb, Zn, Cu의 농도는 지역에 관계하지않고 교통량 많은 주요간선도로변에서

Table 7. Correlation Coefficients among the Heavy Metal conc. in Soil.

	As	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Pb	Zn
As	1.0	0.65	0.862	0.596	0.029	0.462	0.583	−0.044	0.707	0.600	0.845	−0.120	0.798	0.771
Ca		1.0	0.6223	0.631	0.263	0.401	0.591	−0.103	0.842	0.865	0.696	0.161	0.300	0.458
Cd			1.0	0.615	−0.056	0.129	0.526	0.081	0.667	0.539	0.817	0.089	0.587	0.607
Co				1.0	0.391	0.403	0.453	0.331	0.785	0.756	0.671	−0.052	0.400	0.454
Cr					1.0	0.247	−0.142	0.291	0.475	0.509	0.053	0.218	0.068	−0.059
Cu						1.0	0.449	−0.361	0.488	0.461	0.540	0.153	0.627	0.734
Fe							1.0	−0.158	0.638	0.563	0.785	0.191	0.500	0.637
Hg								10	0.129	0.144	−0.160	−0.210	−0.042	−0.198
K									1.0	0.974	0.823	0.207	0.495	0.644
Mg										1.0	0.710	0.162	0.360	0.545
Mn											1.0	0.114	0.686	0.833
Mo												1.0	0.056	0.147
Pb													1.0	0.845
Zn														1.0

Table 8. Correlation coefficient between the Heavy Metal. conc. in soil and those in atmosphere.

Soil / Atmos		H.M. Conc. in Soil.													
	element	As	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Pb	Zn
	As	0.912	−0.121	0.589	−0.215	−0.682	0.717	−0.130	−0.099	−0.041	−0.130	−0.421	−0.542	−0.039	−0.380
	Ca	0.430	−0.075	0.438	0.053	−0.715	0.350	−0.382	−0.111	−0.223	−0.188	−0.362	−0.191	0.251	−0.081
	Cd	0.730	−0.255	0.690	−0.216	−0.690	0.576	−0.256	−0.203	−0.122	−0.127	−0.535	−0.373	0.037	−0.450
H.M.	Co	0.434	−0.247	0.248	0.143	−0.681	0.577	0.055	0.097	−0.317	−0.487	−0.492	−0.282	0.506	−0.095
Conc.	Cr	0.090	−0.017	−0.547	0.027	−0.432	0.424	0.211	0.534	0.151	−0.416	−0.206	−0.065	0.457	0.343
in	Cu	0.330	−0.043	−0.044	0.029	−0.346	0.517	0.375	0.219	−0.156	−0.104	−0.142	−0.516	0.500	0.154
Ambient	Fe	0.400	−0.078	0.689	−0.427	−0.631	0.161	−0.451	−0.208	−0.278	−0.070	−0.571	−0.625	0.197	0.144
air.	Hg	0.070	0.031	−0.262	−0.041	−0.061	0.264	−0.183	0.429	0.005	−0.598	−0.195	0.067	0.056	−0.028
	K	0.522	−0.011	0.330	−0.277	−0.850	0.553	−0.145	0.205	−0.271	−0.320	−0.587	−0.448	0.440	−0.021
	Mg	0.403	0.055	0.241	−0.192	−0.787	0.453	−0.154	0.232	−0.327	−0.346	−0.505	−0.346	0.445	−0.009
	Mn	0.680	−0.155	0.671	−0.311	−0.728	0.494	−0.095	−0.021	−0.248	−0.049	−0.571	−0.527	0.289	−0.118
	Mo	−0.287	−0.225	−0.146	−0.289	−0.359	0.068	−0.088	0.030	−0.156	−0.092	−0.392	−0.316	0.550	0.140
	Pb	0.830	−0.357	0.279	−0.328	−0.589	0.719	0.057	0.244	−0.164	−0.350	−0.565	−0.801	0.212	−0.326
	Zn	0.627	−0.084	0.412	−0.385	−0.535	0.577	0.148	0.192	−0.348	−0.105	−0.471	−0.700	0.333	−0.277

높게 나타났다.

4. 토양중에 존재하는 Pb, Zn의 농도는 도심보다 외곽에 더높은 농도로 존재하는 것을 알수 있였다.
5. 대기중에 존재 하는 오염성분간의 상관관계와 토양에 존재 하는 오염성분간의 상관관계의 유형이 서로 유사하였다.

참고문헌

1. Philip, K.H. and R.E. Lamb (1980) : Multielemental characterizationof urban roadway dust, *Environ. Sci. Technol.*, **14**, 164.
2. 박기학 (1992) : 교통량과밀 도로주변의 토양과 가로수, 대기중 Pb, Cu, Zn의 중금속농도와 그 상관성에 관한 연구., 한국위생학회지, **10**.
3. Nizar Nasrullah, Hidelci Tatsumoto, Akira Misawa (1994) : Effect of roadside planting on suspended particulate matter concentration wear road., *Environmental Technology*, **15**, 293.
4. Brace well and O. Gall (1967) : Symposium on the physico-chemical Transformation of sulfur compounds in the atmosphere and formation of acid smogs., *Mainz, Germany*.
5. Friberg, L. and N. Nelson (1981) : Introduction, General Findingsand General Recommandations., *Environmental Health Perspect.*, **40**.
6. 정용 (1991) : 자동차 배출물질과 건강장해, 대기보전학회 세미나집, p 14.
7. 환경처 (1993) : 환경오염공정시험법