

## 시화공업단지 주변지역 토양의 중금속 분포

송영배<sup>1</sup> · 이상모<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>서울여자대학교 환경학과, <sup>2</sup>서울대학교 농업과학공동기기센터

## Heavy Metal Distributions of Soils in the Vicinity of Shi-Hwa Industrial Complex Region

Young-Bae Song<sup>1</sup> · Sang-Mo Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Studies, Seoul Women's University,

<sup>2</sup>National Instrumentation Center for Environmental Management, Seoul National University

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the heavy metal distributions of soils in the vicinity of Shi-Hwa industrial complex region, where the air pollutants from industrial area could affect the soil environment of near residential and green areas. The ranges of contents of As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn in soils were 0.58~3.81, ND~0.91, 0.15~6.33, ND~1.86, 0.14~110.27, ND~1.17, 0.04~10.59, 1.16~86.48 and 1.83~212.65 mg/kg, respectively. For all industrial, residential and green areas, the heavy metal contents were much lower than the standard of Korean Soil Environmental Preservation Act or the critical concentration which phytotoxicity is considered to be possible. Mean values of contents of As were similar in industrial, residential and green areas. However, the mean values of contents of Cd and Cr in industrial area were higher 10 and 5 times than those in residential and green area, respectively. And also the mean values of contents of Co, Cu, Hg, Ni, Pb and Zn in industrial area were higher 2~3 times than those in residential and green area.

**Key words :** heavy metals, industrial region, shi-hwa industrial complex, soil

### 요약문

본 연구는 산업시설에서 배출되는 대기오염물질이 인접한 주거지역에 영향을 미칠 것으로 예상되는 시화공업단지 주변의 공단지역, 주거지역 및 녹지지역의 토양을 대상으로 As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb 및 Zn 함량을 조사하였다. 토양 중 중금속 함량의 범위는 As 0.58~3.81, Cd ND~0.91, Co 0.15~6.33, Cr ND~1.86, Cu 0.14~110.27, Hg ND~1.17, Ni 0.04~10.59, Pb 1.16~86.48 및 Zn 1.83~212.65 mg/kg으로서 전 지역에서 토양환경보전법의 토양오염기준이나 식물독성 유발기준에 비하여 매우 낮은 값을 나타내었다. As 함량은 전 지역에 걸쳐 비슷하였으나, Cd와 Cr 함량은 공단지역이 주거지역이나 녹지지역보다 각각 약 10배 및 5배정도 높았으며, 주거지역과 녹지지역은 비슷한 경향이었다. Co, Cu, Hg, Ni, Pb 및 Zn 함량은 공단지역이 주거지역이나 녹지지역보다 약 2~3배정도 높았으며, 주거지역과 녹지지역은 비슷한 경향이었다.

**주제어 :** 중금속, 공업단지, 시화지구, 토양

### 1. 서 론

시화지구는 1987년부터 1991년까지 공유수면(바다, 갯벌)을 주변 토취장에서 채취한 산흙을 높이 1.2~1.5 m의

두께로 매립하여 조성한 공단지역으로서, 지반은 대부분 산흙으로 이루어져 있다. 따라서 토성은 95%이상이 모래로 구성된 사질토양이며, 해염에 의한 염분도가 매우 높다<sup>1)</sup>. 시화공단은 전국 3대 공단 중의 하나로 총 2,914개

\*Corresponding author : smlee@nicem.snu.ac.kr

원고접수일 : 2003. 4. 14 게재승인일 : 2003. 5. 15

질의 및 토의 : 2003. 9. 30 까지

의 산업체가 입주하고 있으나, 영세 중소기업이 많으며 산업폐기물을 처리하는 산업폐기물 소각장과 화학업체 등의 다양한 업종으로 구성되어 있다. 시화지구는 공단지역과 주거지역으로 구분되어 있으며, 폭 225 m, 연장 3.84 km의 완충녹지대로 분리되어 있기는 하나, 해안지역이기 때문에 차폐시설이 부족하고 공단지역 배후에 주거지역이 인접하여 대기오염 영향에 대한 지리적 취약성을 갖고 있다.

따라서 본 연구는 시화공단 주변의 공단지역, 주거지역 및 녹지지역 토양의 중금속 함량을 조사하여 중금속 오염 현황을 파악하고 측정된 자료를 공간적으로 비교함으로서 중금속 함량 분포에 대한 정보를 제공하고자 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 토양시료 채취지점의 선정

토양시료 채취지점은 조사 대상지역의 토지이용 유형에 따라 크게 공단지역, 주거지역 및 녹지지역의 3가지로 구분하였으며, 토지이용 유형의 중분류 기준과 지형을 고려하여 선정하였다.

공단지역은 시화공업단지의 중분류 토지이용 현황은 크게 공장, 도로(인도 및 차도), 균린공원, 수로와 수변, 일부 나지 등으로 구성되어 있으며, 토양시료의 채취는 원칙적으로 공장내부 지역을 제외한 주변지역으로서 도로변과 공원 및 수변지역을 대상으로 하였으며, 대상지역에 시설물 등이 있어 각 지점간의 간격이 불충분할 경우 간격을 적절히 임의로 조절하여 채취하였다. 주거지역은 산업 단지와 마찬가지로 대부분 지면포장이 되어 있었으며, 따라서 시가화 된 지역에서의 토양시료 채취지점 선정은 가

로변, 조경지 및 화단, 균린공원 등으로 국한시켰다. 녹지지역은 임목지와 농지, 집단 취락지 및 토취장 등으로 구성되어 있으며, 산지, 농지, 취락지 가로변, 토취장 주변, 수변(저수지 등)을 대상으로 선정하였다(Fig. 1).

### 2.2. 토양시료 채취 및 분석

토양시료는 공단지역, 주거지역, 녹지지역으로 구분하여 각 구역별로 각각 33개, 47개, 40개 지점에서 토양깊이 0~20 cm에서 2002년 6~8월에 채취하였다. 채취방법은 토양오염공정시험방법<sup>2)</sup> 따라 주변 4방위의 5~10 m 거리에 있는 1개 지점씩을 선정하여 총 5개의 부시료를 하나의 혼합시료로 하는 방법을 이용하였다.

채취한 토양시료는 풍건 시킨 후 눈금간격 2 mm의 표준체를 통과시켜 분석용 시료로 사용하였다. As, Cd, Co, Cr(6+) 크롬), Cu, Hg, Ni, Pb, Zn는 토양오염공정시험방법 및 토양화학분석법<sup>3)</sup>에 의거하여 분석하였다. As는 1N HCl 침출법, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn는 0.1 N HCl 침출법을 이용하였다. 전처리 한 시료는 유도결합 플라즈마 발광광도기(ICP-1000IV, Shimadzu, Japan) 및 원자흡광광도기(AA-6401, Shimadzu, Japan)를 이용하여 정량 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

시화공업단지 주변의 공단지역, 주거지역 및 녹지지역 토양의 중금속 함량을 조사한 결과를 Table 1에 나타내었다. 시화공업단지는 공유수면을 주변 토취장에서 채취한 산흙을 사용하여 매립하여 조성한 공단지역이므로 매립에 사용한 토양의 기원에 따라 토양 중금속 함량의 편차가 있을 수 있으나<sup>4)</sup>, 각 토양 중금속 항목에 대한 지역별 변화를 비교하면 다음과 같다.

As 함량의 공단, 주거 및 녹지지역의 평균값은 2.33, 1.90 및 2.05 mg/kg으로서 큰 차이가 없었으며, 전 지역에서 0.58~3.81 mg/kg의 범위를 나타내어 토양환경보전법의 농경지에 대한 토양오염 우려기준인<sup>5)</sup> 6 mg/kg에 비하여 모두 낮은 값을 나타내었다(Fig. 2). Cd 함량은 전 지역에서 ND~0.91 mg/kg의 범위로서 토양환경보전법의 농경지에 대한 토양오염 우려기준인 1.5 mg/kg을 초과하는 지역은 없었다(Fig. 3). 공단지역의 평균값은 0.30 mg/kg으로서 주거 및 녹지지역에 비하여 약 10배정도 높았으나 토양오염이 우려 될 수준은 아니었다.

국내의 토양환경보전법에는 별도의 토양오염 판단기준이 제시되어 있지 않는 Co 함량은 전 지역에서 0.15~

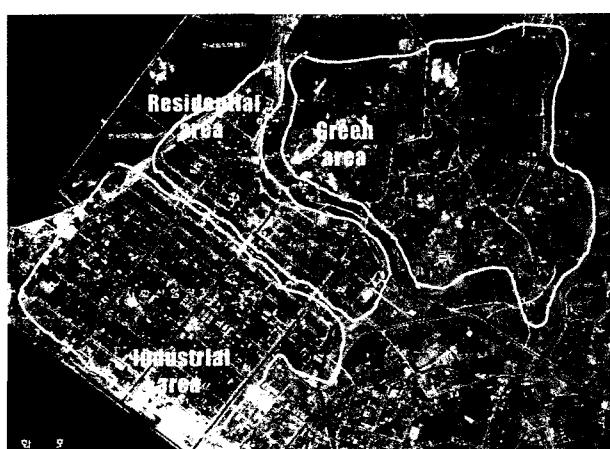
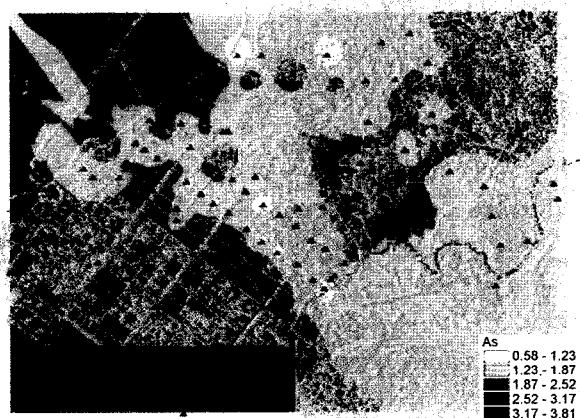


Fig. 1. Locality map of study area showing sampling sites in Shi-Hwa industrial complex region.

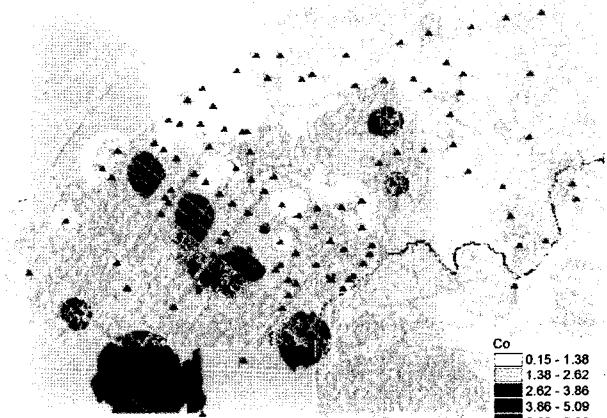
**Table 1.** Heavy metal contents of soils in Shi-Hwa industrial complex region

Sites	Values	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
		(mg/kg)								
Industrial area	Min.	0.97	0.09	0.54	0.08	1.94	0.31	0.30	3.43	5.96
	Max.	3.81	0.91	6.33	1.86	110.27	1.17	10.59	86.48	212.65
	Mean	2.33	0.30	2.49	0.62	16.61	0.67	1.47	14.75	37.74
Residential area	Min.	0.58	ND*	0.20	ND	0.44	ND	0.06	1.42	1.83
	Max.	3.32	0.25	3.22	0.44	46.68	0.61	1.47	24.70	35.57
	Mean	1.90	0.02	1.38	0.13	5.85	0.21	0.56	7.44	13.33
Green area	Min.	0.86	ND	0.15	ND	0.14	ND	0.04	1.16	2.37
	Max.	3.28	0.32	4.40	0.40	31.97	0.78	2.18	48.51	33.80
	Mean	2.05	0.04	1.20	0.11	6.28	0.49	0.72	8.26	12.76

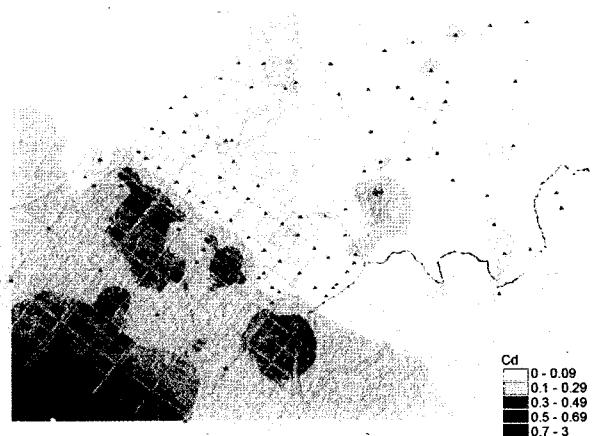
\*ND: not detected



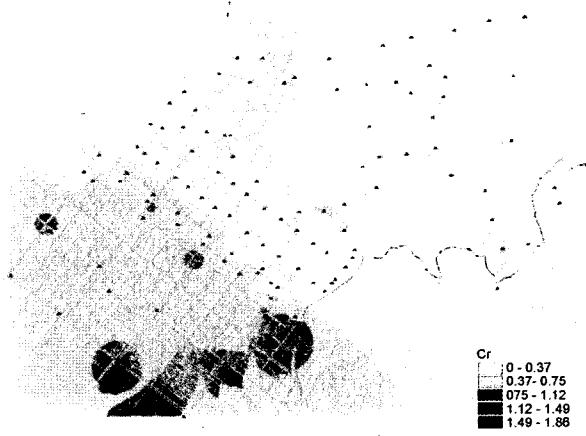
**Fig. 2.** Distribution of As contents of soils in the vicinity of Shi-Hwa industrial complex region (Unit: mg/kg).



**Fig. 4.** Distribution of Co contents of soils in the vicinity of Shi-Hwa industrial complex region (Unit: mg/kg).



**Fig. 3.** Distribution of Cd contents of soils in the vicinity of Shi-Hwa industrial complex region (Unit: mg/kg).



**Fig. 5.** Distribution of Cr contents of soils in the vicinity of Shi-Hwa industrial complex region (Unit: mg/kg).

6.33 mg/kg의 범위로서 지역별로 큰 차이를 나타내었다 (Fig. 4). 공단, 주거 및 녹지지역의 평균값은 2.49, 1.38 및 1.20 mg/kg으로서 공단지역이 주거 및 녹지지역에 비

하여 약 2배정도 높았으며, 주거 및 녹지지역은 비슷한 값을 나타내었다. Cr 함량은 전 지역에서 ND~1.86 mg/kg의 범위로서 토양환경보전법의 농경지에 대한 토양오염



Fig. 6. Distribution of Cu contents of soils in the vicinity of Shi-Hwa industrial complex region (Unit: mg/kg).



Fig. 7. Distribution of Hg contents of soils in the vicinity of Shi-Hwa industrial complex region (Unit: mg/kg).

우려기준인 4 mg/kg에 비하여 모두 낮은 값을 나타내었다(Fig. 5). 공단지역의 평균값은 0.62 mg/kg으로서 주거 및 녹지지역에 비하여 약 5배정도 높았으나, 녹지지역으로 갈수록 크게 감소하였다.

Cu 함량은 전 지역에서 0.14~110.27 mg/kg의 범위로서 지역별로 큰 차이를 나타내었다(Fig. 6). 공단, 주거 및 녹지지역의 평균값은 16.61, 5.85 및 6.28 mg/kg으로서 공단지역이 주거 및 녹지지역에 비하여 약 3배정도 높았으며, 주거 및 녹지지역은 비슷한 값을 나타내었다. 공단지역의 33지점 중 2지점(55.63 및 110.27 mg/kg)을 제외한 전 지역에서 토양환경보전법의 농경지에 대한 토양오염 우려기준인 50 mg/kg에 비하여 모두 낮은 값을 나타내었다. Hg 함량은 공단지역의 평균값이 0.67 mg/kg으로서 주거 및 녹지지역에 비하여 약간 높은 경향이었으나 토양오염이 우려될 수준은 아니었다. 전 지역에서

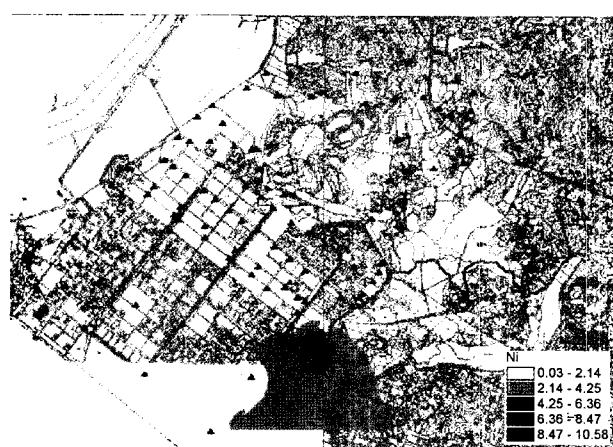


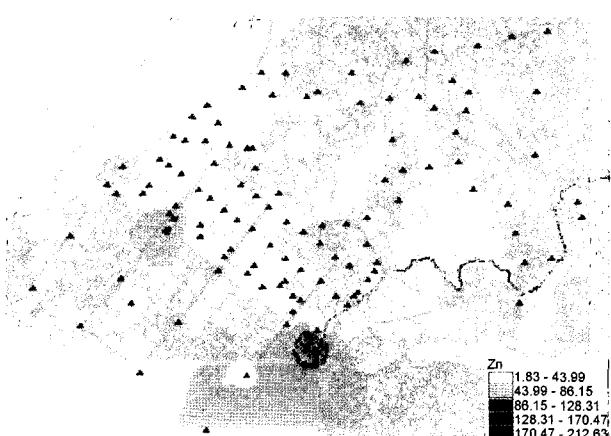
Fig. 8. Distribution of Ni contents of soils in the vicinity of Shi-Hwa industrial complex region (Unit: mg/kg).



Fig. 9. Distribution of Pb contents of soils in the vicinity of Shi-Hwa industrial complex region (Unit: mg/kg).

ND~1.17 mg/kg의 범위로서 토양환경보전법의 농경지에 대한 토양오염 우려기준인 4 mg/kg을 초과하는 지역은 없었다(Fig. 7).

Ni 함량은 공단, 주거 및 녹지지역의 평균값이 1.47, 0.56 및 0.72 mg/kg으로서 공단지역이 주거 및 녹지지역에 비하여 약 2배정도 높았으며, 주거 및 녹지지역은 비슷한 값을 나타내었다. 전 지역에서 0.04~10.59 mg/kg의 범위로서 지역별로 큰 차이를 나타내었으나 식물에게 독성을 나타낼 수 있는 농도인<sup>6)</sup> 100 mg/kg과 비교하면 매우 낮았다(Fig. 8). Pb 함량은 전 지역에서 1.16~86.48 mg/kg의 범위로서 토양환경보전법의 농경지에 대한 토양오염 우려기준인 100 mg/kg에 비하여 모두 낮은 값을 나타내어 토양오염이 우려되는 지역은 없었다(Fig. 9). 공단, 주거 및 녹지지역의 평균값은 14.75, 7.44 및 8.26 mg/kg으로서 공단지역이 주거 및 녹지지역에 비하여 약 2배정도 높았



**Fig. 10.** Distribution of Zn contents of soils in the vicinity of Shi-Hwa industrial complex region (Unit: mg/kg).

으며, 주거 및 녹지지역은 비슷한 값을 나타내었다.

Zn 함량은 전 지역에서 1.83~212.65 mg/kg의 범위로서 지역별로 큰 차이를 나타내었다(Fig. 10). 공단, 주거 및 녹지지역의 평균값은 37.74, 13.33 및 12.76 mg/kg으로서 공단지역이 주거 및 녹지지역에 비하여 약 3배정도 높았으며, 주거 및 녹지지역은 비슷한 값을 나타내었다. 국내의 토양환경보전법에는 별도의 토양오염 판단기준이 제시되어 있지 않는 Zn 함량은 공단지역의 33지점 중 6지점(70.24, 74.71, 99.71, 100.28, 104.31 및 212.65 mg/kg)에서 식물에게 독성을 나타낼 수 있는 농도인 70 mg/kg 보다 높았다. 특히 이들 지역에서는 다른 중금속 함량도 높아 정밀 조사가 필요하다고 판단되었다.

#### 4. 결 론

시화공업단지 주변의 공단지역, 주거지역 및 녹지지역

토양의 As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb 및 Zn 함량을 조사한 결과 공단지역의 몇 지점을 제외하고는 전 지역에 걸쳐 토양환경보전법의 토양오염 우려기준이나 식물독성 유발기준을 초과하는 지역은 없어 아직은 토양오염이 그리 우려할 만한 수준은 아닌 것으로 나타났다. As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb 및 Zn 함량의 평균값은 공단지역의 경우 2.33, 0.30, 2.49, 0.62, 16.61, 0.67, 1.47, 14.75 및 37.74 mg/kg이고, 주거지역의 경우 1.90, 0.02, 1.38, 0.13, 5.85, 0.21, 0.56, 7.44 및 13.33 mg/kg<sup>a</sup>었으며, 녹지지역의 경우 2.05, 0.04, 1.20, 0.11, 6.28, 0.49, 0.72, 8.26 및 12.76 mg/kg으로서 토지이용유형별 토양 중금속 함량은 공단지역에서 가장 높게 나타났으며, 주거지역과 녹지지역은 비슷한 경향이었다. 본 연구에서 조사된 시화공업단지주변 토양의 중금속 함량 분포는 산업단지에서 배출된 대기 오염물질이 바람에 의해 주변지역으로 확산되었을 개연성이 있지만 조사 결과 뚜렷한 변화추이의 일관성을 찾아 볼 수 없었으나, 토지이용 유형에 따라 주로 발생지 중심으로 분포되었다고 판단되었다.

#### 참고문헌

1. 수자원공사, 시화지구 대기환경 오염저감방안 수립연구 (1997).
2. 환경부, 토양오염공정시험방법 (2002).
3. 농촌진흥청 농업기술연구소, 토양화학분석법 (1988).
4. Wong, M.H., and Yu, C.T. "Monitoring of Gin Drinkers' Bay Landfill, Hong Kong: II. Gas Contents, Soil Properties, and Vegetation Performance on the Side Slope". *Environmental Management*, 13(6), pp. 753-762 (1989).
5. 환경부, 토양환경보전법 (1999).
6. Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. *Trace Elements in Soils and Plants*, CRC Press, Boca Raton, FL (1992).