

## 여천공단 주변 토양의 중금속함량에 관한 연구

윤언흠\* · 박돈희\*\* · 김용웅\*\*\* · 조완현\*\*\*\* · 박천영\*\*\*\*\* · 윤정한\*

### Heavy Metal Concentrations in the Soil of Yoecheon Industrialized Complex Area

Yoen-Hum Yun\*, Don-Hee Park\*\*, Yong-Woong Kim\*\*\*, Wan-Hyeon Cho\*\*\*\*, Cheon-Young Park\*\*\*\*\* and Chung-Han Yoon\*\*\*\*\*

**ABSTRACT:** This study was focused on the investigation for the heavy metal contamination of soils derived from Yoecheon Industrial Complex in Chonnam Province. Total 201 soil samples including farmland, paddy, forest and playground soils were collected, extracted by 0.1N HCl and analyzed for Cd, Cu, Cr, Fe, Mn and Zn using AAS. Most pH values in soils were weak acidic ranges of 4-6, while some of them were over 8.0. Concentrations of Cd, Cu, Fe and Zn in the soils tend to be relatively high around the Au-Ag mine area, railroad stations and oil station, however, those of Cr, Mn and Pb show high at the northside of Pohang Steel Co (POSCO). Cadmium-Zn couples, and Cd-Zn and Zn-Cr couples have relatively good correlations in the farmland soils and paddy soils, respectively. Concentrations of Cd, Fe and Zn with depth tend to be higher in the top soils than in the bottom soils, but those of Cu and Pb do not show regular variations with depth.

**Key words:** heavy metal, Yoecheon industrial complex, 0.1N HCl, contamination, correlations

주요어 : 중금속, 여천공단, 0.1N HCl, 오염, 상관관계

## 서론

암석이나 토양 중에 존재하는 중금속 원소들은 지표수 및 지하수 또는 대기에 의해 이동, 분산되면서 동식물의 성장에 영향을 주며, 동식물 및 인체에 축적됨으로써 심각한 건강 장애를 일으킨다 (Brooks, 1983). 현재까지 알려진 주요 유독성 중금속 원소로는 As, Cd, Cu, Hg, Mo, Pb, Se, Sb, Ti, Zn 등

을 들 수 있다. 그리고 여러 산업활동에 의해 이러한 다양한 형태의 중금속들이 분진이나 폐수 등을 통해 배출되며, 이들은 주변토양으로 유입되어 농작물과 가축에 독성을 끼쳐 결국 인간에게 피해를 입힌다 (Thornton, 1990).

토양 내에서 미량원소의 함량이 높게 나타나는 경우 일반적으로 생각해 볼 수 있는 원인들로는 모물질이 광채이거나 2차 분산에 의한 농축의 경우로 동식물의 건강에 유해한 수준까지 이를 수도 있으며, 건물의 건설과 파기, 교통량의 증가, 제조업 및 산업 폐기물의 처리 등 도시화 및 산업화에 따른 여러 근원에 의한 경우가 있다 (전효택과 정명채, 1991; 박청길 등, 1985; 김종갑, 김점수, 1991). 또한 광산이나 체련소와 같은 점오염원으로부터 국부적인 규모로의 분산에 의한 경우와 (Siegel, 1974; 이민호 등, 1994; 전동진, 1995) 농업 활동에 의한 분산의 경우도 있다. 김주용과 전효택 (1993)은 도시화가 활발히 진행된 도시지역을 전원지역, 교통량이 많은 지역, 공

\* 전남대학교 공과대학 자원공학과 (Dept. of Mineral and Resources, College of Engin., Chonnam National University)

\*\* 전남대학교 공과대학 생물화학공학과 (Dept. of Biochemical Engin., College of Engin., Chonnam National University)

\*\*\* 전남대학교 농과대학 농화학과 (Dept. of Agricultural chemistry, Chonnam National University)

\*\*\*\* 전남대학교 자연과학대학 통계학과 (Dept. of Statistic, Chonnam National University)

\*\*\*\*\* 조선대학교 공과대학 자원공학과 (Dept. of Mineral and Resources, Chosun University)

단지역으로 도시화특성을 나누어 다변수 통계처리 기법을 이용한 집단간의 구분을 통해 각 집단간의 특성 차이를 규명하였고, 이서래와 송기준 (1986), 유순호 (1985), 전효택과 최완주 (1992) 등은 제련활동이나 산업활동 그리고 공단지역 주변토양의 중금속 오염현상을 확인한 바 있다. 그리고 김옥배 등 (1997)은 공업단지의 매연 및 분진에 수반되어 배출되는 중금속 원소들이 생태계에 미치는 영향을 파악하고 환경오염 추적자로서 식물의 이용 가능성을 판별하기 위해서 공업단지 주변에 성장하는 억새와 소나무 잎을 채취, 중금속 함량을 분석, 고찰하였다.

외국의 경우 영국에서는 이미 1978년에 England와 Wales지방의 광역 지구화학지도 (Pb, Cd, Mo 등 24개 원소대상)가 완성 (Webb et al., 1978)되어 광물탐사뿐만 아니라 환경문제와 농업 및 목축에 응용되고 있으며 70년대 초부터 중금속 오염에 대한 연구가 이루어진 결과, 토양 및 분진의 중금속 함량은 매년 증

가되고 있음을 밝힌 바 있다 (예: Watt et al., 1983, 1987; Culbard et al., 1983; Thornton et al., 1985, 1990; Davies et al., 1987, 1990; Hunt et al., 1989).

본 연구지역은 1960년부터 중화학공업단지로 지정되어 중화학 제품을 생산해 오고 있으며, 주민들은 공단에서 발생하는 오염으로 질병과 불편을 호소하고 있다. 본 연구지역에서 환경 지구화학적 연구는 김옥배 (1997), 윤정한 등 (1999), Yoon et al. (2000) 등에 의해서 이루어진 바 있다. 이들은 연속추출법이나 강산에 의한 완전분해법으로 연구하였으나 본 연구에서는 환경오염공정시험법상의 0.1N HCl로 토양을 분해하여 중금속함량을 측정하여 토양오염정도를 파악하고, 중금속 원소들의 분산 양상을 규명하는데 연구의 목적이 있다.

### 지 질

본 연구지역의 지질은 선캠브리아기의 지리산편마암

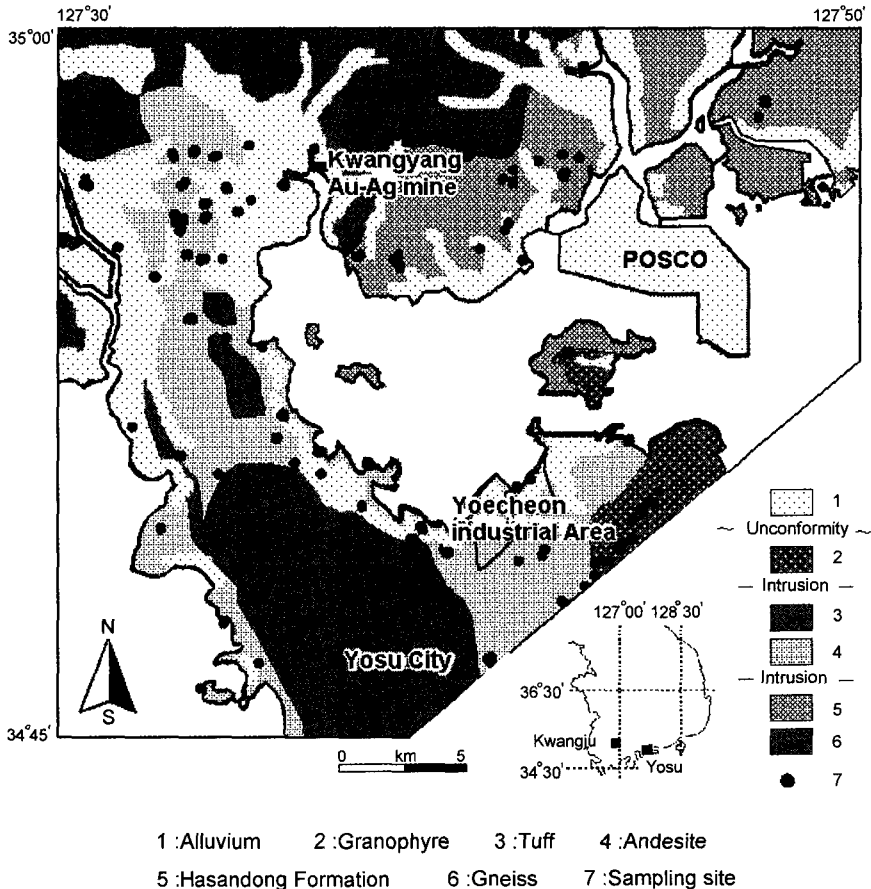


Fig. 1. Map showing geology and location of the study area.

복합체가 기저를 이루고 있고 이를 경상누층군의 퇴적암류와 화산암류가 부정합으로 덮고 있으며 이들을 불국사 화성암류가 관입하고 있다 (Fig. 1). 연구지역에 분포하는 지리산편마암복합체는 화강편암, 반상변정질 화강편마암과 화강편마암으로 구성되어 있다. 경상누층군은 안산암 및 응회암 등으로 구성된 유천층군과 역질사암, 세일, 사암 등의 퇴적암류가 대부분이고 화산암류가 거의 포함되지 않는 신동층군으로 구성되어 있다 (박희인 등, 1989). 심성암 및 반심성암은 섬록암질암류 (섬록암, 섬록반암, 화강섬록암, 석영섬록암), 흑운모화강암, 복운모화강암과 미문상화강암이 소규모의 암주로 산재분포하고 있으며 타암체와의 접촉부에서는 혼화대를 이루고 있음이 특징이다 (박천영 등, 1993).

### 연구방법

#### 시료채취

현장조사 및 시료채취는 여천공단지역 주변에서 96년 12월, 97년 2월과 3월에 걸쳐 201개의 시료를 채취하였으며 시료채취는 지형 또는 산업시설물 등에 인해서 규칙적인 채취가 어려워져 불규칙하게 이루어졌다 (Fig. 1). 논토양, 밭토양, 산토양은 모종삽을 이용하여 토양의 상부 10 cm까지 채취하였고 시료의 대표성을 높이기 위하여 모종삽으로 9개의 부분시료를 정방향 격자 (격자점간격 1 m)의 각 격자점에서 채취하여 총 1kg이상의 하나의 복합시료를 확보하였다. 운동장토양의 시료채취는 연구지역 내에 위치한 초·중·고등학교 운동장에서 0~10 cm 깊이로 모종삽을 이용하여 9개의 부분시료를 채취 후, 하나의 복합시료로 확보하였다.

#### 시료처리 및 화학분석

토양시료는 공기 중에서 자연 건조하여 막자와 유발을 이용해 문쳐진 부분을 분쇄시킨 후 -10 mesh로 체질하여 pH를 측정하였으며, 시료 중의 4분의 1을 다시 체질하여 -80 mesh 입도로 분쇄하였다. -80 mesh로 분쇄한 후 환경오염공정시험법상의 0.1N HCl를 이용한 방법 (환경부, 1993)으로 시료를 분쇄한 후 원자흡광분석기 (Atomic Absorption Spectrometer)로 Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb, Zn 등의 함량을 분석하였다. pH 측정은 Hoffman (1987)이 제안한 현장측정방법과 엄석원 등 (1985)이 사용한 실험실 측정방법을

참고하여 예비 실험을 거친 후, -10 mesh의 건조시료 20 g에 50 ml의 증류수를 가하고 60분동안 orbital shaking bath에서 진탕시킨 다음 30분간 방치시켜, Corning pH meter 340로 안정화된 값을 측정하였다.

### 결과 및 고찰

#### 토양색

토양의 색은 그 지역의 지질을 반영하는데 흑색 또는 회색이면 유기물 함량이 많음을 나타내고, 백색 또는 밝은 색깔이면 토양의 용탈을, 적갈색이면 철의 함량을, 검정색은 망간의 함량을 암시한다 (Hoffman, 1987).

이 연구에서는 -80 mesh 입도로 분리된 토양시료에 습기를 가하여 색을 육안으로 구분하였다. 시료로 채취된 토양에서 가장 흔하게 나타난 색은 황갈색 계통이며 이러한 색은 대부분 논, 밭, 산토양에서 두드러졌다. 이는 시료중에 포함된 철이 산화되어 주로 황갈색 계통을 나타내는 것으로 판단된다.

그러나 운동장토양은 주로 밝은황색 내지 밝은갈색 계통이었다.

#### 토양의 pH

중금속 원소들은 일반적으로 산성 산화 환경에서는 이동도가 큰 반면, 알카리성 환원 환경에서는 이동성이 제한되어 광물상태로 침전되거나, 음이온들과 착물을 형성하여 침전되므로 (Fortescue, 1980) 환경지구화학에서 pH측정은 중요하다. 또한 pH는 중금속원소들이 철이나 망간 산화물에 흡착되는 능력에 영향을 미쳐 식물이 이들 중금속 원소들을 흡수하는 능력에도 영향을 미치게 된다 (Xingfu, 1989).

이 연구에서 시료로 채취된 토양을 대상으로 pH를 측정한 결과 대부분의 토양에서 pH값이 4에서 6정도의 산성 영역에 나타났다 (Table 1). 이는 Jung

Table 1. Ranges and means of pH values in soils of the study area. (unit : ppm)

	Playground soil (22)	Forest soil (56)	Farmland soil (75)	Paddy soil (48)
Range	4.8~8.58	4.13~7.21	3.7~7.2	4~7.51
Mean	6.01	4.48	4.99	5.17
Median	5.74	4.38	4.88	5.07

Table 2. Ranges and mean concentrations of heavy metals in soils extracted by 0.1N HCl.

(unit : ppm)

	Playground (22)			Forest soil (56)			Farmland soil (75)			Paddy soil (48)		
	Range	Mean	Median	Range	Mean	Median	Range	Mean	Median	Range	Mean	Median
Cd	0.02~0.35	0.11	0.07	0.02~0.58	0.1	0.06	0.03~0.2	0.12	0.12	0.02~2.12	0.22	0.1
Cu	0.6~7.72	2.51	1.27	0.13~11.2	1.05	0.53	0.21~8.5	2.14	1.21	0.21~16.5	2.68	1.85
Cr	0.14~0.56	0.4	0.48	0.04~0.2	0.14	0.16	0.17~0.9	0.32	0.27	0.13~0.58	0.26	0.19
Pb	0.63~29.7	6.58	1.60	0.36~10.98	3.19	2.37	0.45~10.9	2.74	2.00	0.36~13.48	3.09	2.25
Zn	1.42~28.2	10.76	5.93	0.37~19.5	2.66	1.57	0.55~88.2	9.66	5.97	0.65~22.6	3.7	2.50
Mn	32.0~250	99.28	70.05	12.3~244	52.74	36.3	17.2~269	87.48	70.3	10.0~199	50.6	38
Fe	9.68~205	53.62	35.65	5.68~71.6	18.97	12.6	8.15~302	52.96	4.09	22.41~130	198.2	138

Numbers in parentheses are number of samples analyzed.

(1995)이 밝힌 국내 토양의 pH값과 유사하며 외국 공단지역에서의 연구사례에서 나타나는 pH의 경향 (Jennett, 1989)과도 유사하다. 공단인접부에서 pH값이 낮게 나타나는 것은 중금속과 함께 배출된 황화합물에 의한 산성화 때문으로 사료된다. 그리고 산토양과 밭토양의 pH평균값이 더욱 산성쪽에 가까운데 이는 이 연구지역이 순천-광양 금은광상구 (김옥준, 1970)의 가장자리에 위치하며 연구지역의 북쪽에는 광양, 초남, 중흥, 본정광산등의 금은광산이 개발된 바 있고 (이창신 등, 1993; 윤정환, 1989), 이 연구지역에 분포하는 화강암류와 섬록암류에는 소량의 황철석 및 불투명광물 (이창신 등, 1993)이 배태된 것으로 보아 황화광물의 영향으로 사료되며, 공단근처의 운동장토양의 경우에 8.58으로 가장 높게 나타나는데 이는 외부에서 운반된 토양으로 모암 또는 pH가 높은 물질 (예 : 석회, 소금 등)을 운동장에 살포한 영향으로 사료된다.

### 화학분석

국내환경오염공정시험법 (환경부, 1996a)에 근거 0.1N HCl을 이용하여 분석한 결과는 Table 2와 같다. Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb 및 Zn함량은 전체적으로 낮게 나타났으며, 이를 환경오염공정시험법에 의한 토양환경보전법 (환경부, 1996b)상의 공장, 산업지역 토양오염 우려기준 12 µg/g Cd, 200 µg Cu와 400 µg Pb와 비교하면 공단등의 산업활동에 의해 아직 오염이 많이 진행되어 있지 않음을 알 수 있다.

여천공단 주변지역의 시료를 분석한 결과, 전체적으로 중금속 함량은 낮게 나타났으나 광산활동으로 인해 영향을 받은 광산지역, 성산역, 옥곡역 그리고 공단근처의 수정주유소 부근에서 다소 높게 나타났다. 이는 공단

의 산업활동에 의한 영향은 크지 않은 것으로 사료된다.

### Cd

Cd은 일반적으로 Zn와 수반되어 나타나며 (Rose *et al.*, 1979), 오염원은 광산, 제련공장, 도료공장, 매연, 분진 등이며, 안료, 염화비닐의 안정제, 합금, 건전지 제조시에 유출된다. Levinson (1974)과 Rose *et al.* (1979) 등은 토양에서 Cd의 자연수준을 각각 1 ppm과 0.1~0.5 ppm, Kabata-Pendias and Pendias (1984)는 0.62 ppm을 토양중의 Cd의 평균함량으로 제시하였다. 국내 토양의 평균Cd함량 (서운수 등, 1982)은 0.14 ppm (0.013~1.07 ppm)이고 서울토양 (김주용과 전효택, 1993)의 평균Cd함량은 3.1 ppm (1~4.4 ppm)이고 춘천토양 (민경원과 정연태, 1996)의 평균Cd함량은 1 ppm (0.1~3.3 ppm)이며 중부지방토양 (김기현 등, 1996)의 평균함량은 0.14 ppm (0~0.66 ppm)으로 이 연구지역의 평균Cd함량 0.14 ppm (0.02~2.12 ppm) (Table 2, Fig. 2)보다 높거나 비슷한 함량을 보여주는데 중부지방토양을 제외한 다른 지역의 Cd 분석법은 강산 추출법에 의한 것이므로 단순비교가 될 수 없지만 이 연구에서 수행한 분석법과 유사한 추출법으로 분석한 중부지방 토양의 Cd함량과 유사하다. 이 연구지역의 논 토양에서 Cd의 함량은 변화폭이 크고 평균값이 다른 토양시료에 비해 높음을 알 수 있는데 이는 비료에 의한 영향인 것으로 보이며 광산활동이 있었던 지역부근에서도 약간 높은 함량을 나타낸다.

### Cu

토양의 Cu함량은 10~80 ppm 범위이며, Mn과 Fe의 산화물 및 유기물에 강하게 흡착하고 다른 어떤 양이온보다도 유기물과 강하게 결합한다 (임선옥, 1992). Cu는 자동차 부품, 식기, 보일러, 파이프 등 여러 용도

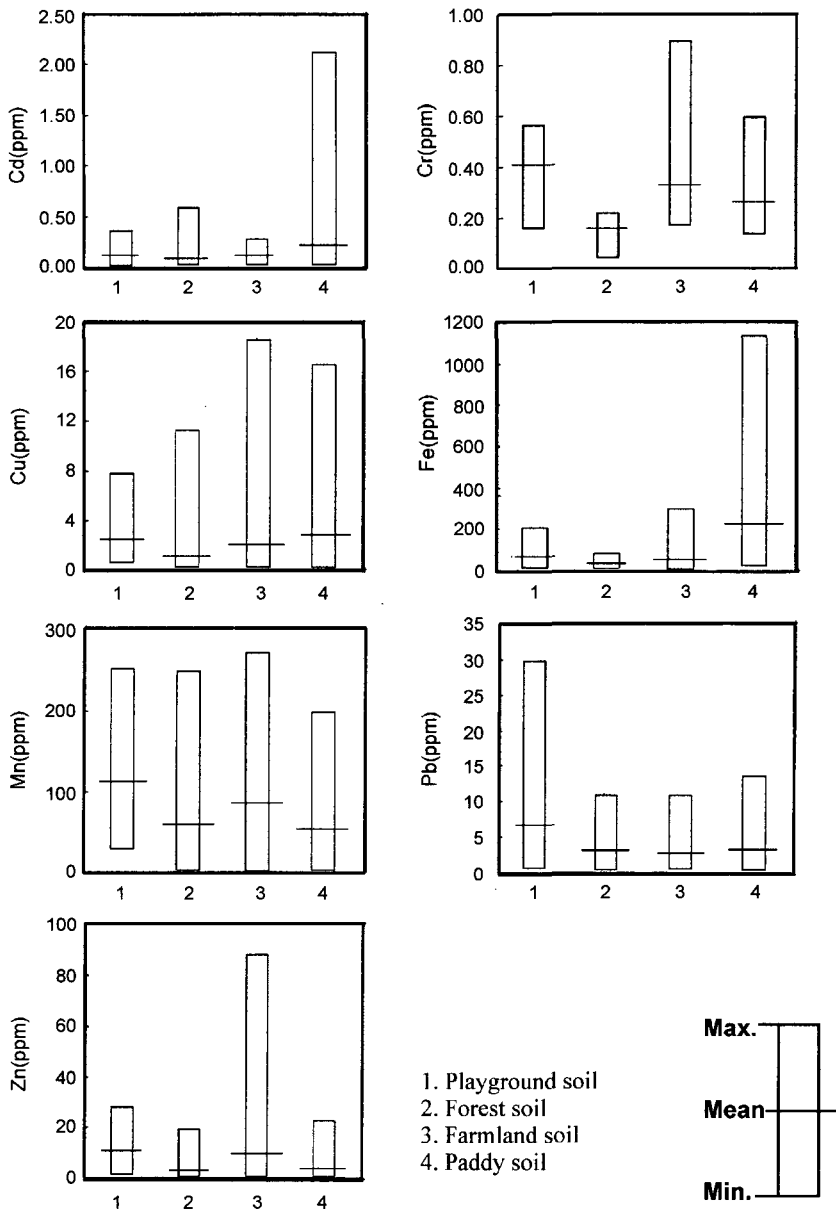


Fig. 2. Box plot showing the trace element contents in soil.

로 이용되며, 석탄이나 펄가의 연소, 폐기물 소각, 산업활동, 야연, 납, 철강생산 등에 의해서 배출되기도 한다 (민경원과 정연태, 1996).

토양 중의 Cu의 평균함량은 Rose *et al.* (1979)과 Levinson (1974) 등에 의해 각각 15 ppm, 2~100 ppm으로 보고되었으며, 국내의 경우 자연적인 토양의 평균함량은 15.71 ppm (서윤수 등, 1982)이며 서울토

양 (김주용과 전효택, 1993)은 84 ppm (11~471 ppm)이고 춘천토양 (민경원과 정연태, 1996)은 30 ppm (6~136 ppm)이며 중부지방토양 (김기현 등, 1996)은 3.1 ppm (0.04~15.12 ppm)의 함량을 보여 준다. 상기한 Cu함량 중 중부지역토양을 제외한 다른 토양의 Cu함량분석은 강산분해법에 의한 분석이므로 이 연구에서의 토양 Cu함량과 비교할 수 없지만 이

연구의 분석법과 유사한 분석법으로 분석한 중부지방 토양의 Cu함량과 이 지역의 토양 중 Cu함량과 비교하면 평균 Cu함량은 여천지역의 Cu함량이 2.1 ppm으로 약간 낮으나 최저 및 최고 Cu함량 각각 0.13 ppm과 최고 18.5 ppm으로 약간 높은 경향을 나타낸다. 산토양 중의 Cu함량이 가장 낮고 논토양, 밭토양 중의 Cu함량은 평균Cu함량과 유사하다. 논토양은 대체적으로 평균함량보다 낮게 나타났다 (Table 2, Fig. 2).

### Cr

Cr의 함량은 토양에서 매우 광범위하게 나타나며, 일반적으로 평균 40 ppm (10~150 ppm)정도 존재한다 (민경원과 정연태, 1996). Purves (1985)에 의하면 평균함량은 200 ppm이다. Cr은 피혁공장, 안료공장 등에서 배출되는 6가의 Cr이 문제가 된다. 시분암의 풍화토에서는 3,000 ppm 이상이 들어있는 곳도 있으나, 독성이 없는 3가 Cr이거나 난용성염으로 존재하기도 한다 (민경원과 정연태, 1996). 비료에도 상당량 존재하여 질소질 비료에 5~3000 ppm, 인산질 비료에 30~3000 ppm 정도 존재한다. 이 밖에 석탄의 연소, 소각 등에 의하여 오염되기도 한다 (Adriano, 1986). 이 연구지역 토양의 평균 Cr함량은 0.30 ppm (0.14~0.9 ppm)으로 비교적 낮은 함량을 보여주는데 참고로 강산분해법으로 분석한 춘천토양 (민경원과 정연태)의 평균 Cr함량 82 ppm (30~169 ppm)과 금왕광산 주변토양 (박중진 등, 1997) 평균 Cr함량 7.28 ppm (5.4~10.1 ppm), 그리고 약산추출법 (0.05N HCl)으로 분석한 대구 달성광산 부근토양 (이재영 등, 1996) 평균 Cr함량 0.01 ppm보다 훨씬 낮거나 높은 경향을 보이지만 앞서 서술한 바와 같이 분해법의 차이 때문에 단순 비교할 수 없다.

### Fe

Fe<sup>3+</sup>는 이동도가 매우 낮고 pH>3에서는 수산화철로 침전된다. 토양 중 Fe평균함량은 40,000 ppm (2,000~550,000 ppm 범위)이고 0.05N HCl법으로 추출하여 얻은 달성광산지역 토양 (이재영 등, 1996) 중 평균Fe함량은 61.45 ppm (11~226 ppm)이고 본 연구지역 토양 중 평균Fe함량은 80.94 ppm (5.68~1130 ppm)으로 본 연구지역 토양 중 Fe함량이 달성광산지역 토양 중 Fe함량보다 약간 높은 경향을 나타내는데 이는 지역적인 영향도 있겠지만 시료 분해법의 차이 즉, 0.05N HCl과 0.1N HCl분해법에 기인된 것으로 사료된다. 본 연구지역 토양 중 Fe는 논토양에서

가장 높고 산토양에서 가장 낮은 경향을 나타낸다 (Table 2, Fig 2).

### Mn

지각 Mn평균함량은 1000 ppm (Rose *et al.*, 1979)이고 본 연구지역의 Mn 함량은 논토양, 밭토양, 산토양 및 운동장토양에서 각각 10~199 ppm (평균함량; 50.63 ppm), 17.2~169.2 ppm (평균함량; 87.48 ppm), 12.3~244 ppm (평균함량; 52.74 ppm) 및 32~250 ppm (평균함량; 70.05 ppm)으로 운동장토양에서 비교적 높고 산토양에서 낮은 경향을 나타낸다 (Table 2, Fig. 2).

Mn은 인산질 및 질산질 비료에서 토양으로부터 첨가될 수 있으며 강산 추출법으로 분석한 미국의 산토양과 기타 토양 중 Mn함량은 각각 150~1500 ppm (평균함량; 645 ppm) 및 20~3000 ppm (평균함량; 490 ppm)으로 보고된 바 있다 (Kabata-Pendias and Pendias, 1984). 0.05N HCl 추출법으로 분석한 달성광산 부근 토양 (이재영 등, 1996)의 평균Mn함량은 20.35 ppm (1.99~91.19 ppm)이며 이 연구지역의 평균Mn함량은 72.35 ppm (10.0~269.2 ppm)으로 이 연구지역 토양 중 Mn함량은 국내 달성광산 주변 토양 중 Mn함량 (이재영 등, 1996)보다는 높는데 이는 분석법의 차이에 의한 것으로 사료된다.

### Pb

일반적으로 Pb는 상대적으로 낮은 이동도를 보이며, Mn-Fe산화물에 흡착되어 이동성이 저하되지만 용해성 유기화합물이나 음이온화합물의 형성에 의하여 이동성이 좋아지기도 한다 (Rose *et al.*, 1979). Pb의 많은 부분은 제련소의 소각, 자동차 매연 등의 분진 낙하로 부화되며 (Fergusson, 1990), 인쇄공업, 축전지제조업, 조선공업, 도료업, 도자기공업, 자동차 제조업에서 유출되기도 한다 (민경원과 정연태, 1996). 토양에서의 평균 Pb함량은 Rose *et al.* (1979), Levinson (1974) 등에 의해 각각 17 ppm과 2~200 ppm으로 보고된 바 있으며 국내 토양중의 자연함유량은 19.27 ppm (서운수 등, 1982)으로 보고되어 있다. 서울토양 (김주용과 전효택, 1993)의 평균Pb함량은 240 ppm (93~1636 ppm)이고 춘천토양 (민경원과 정연태, 1996)은 평균Pb함량이 65 ppm (20~507 ppm)이며 중부토양 (김기현 등, 1996)의 평균함량은 5.42 ppm (4.94~6.08 ppm)인데 이 중 분석법이 이 연구에서와 유사한 중부지방토양의 Pb함량과 비교하면 평균 Pb함량이 3.9 ppm으로 중부지

방토양 중 Pb평균함량보다 약간 낮다. Pb함량범위는 0.63~29.7 ppm (Table 2, Fig. 2)로 비교적 함량변화가 심한 경향을 보이나 운동장 토양을 제외하면 Pb함량범위는 0.36~13.48 ppm으로 변화의 폭이 줄어든다. 운동장토양 중에서 Pb함량이 높은 것은 운반된 토양의 모암의 영향일 수도 있으나 자동차의 배출가스 또는 타이어의 영향과 운동장 출입자의 소지품에 의한 영향일 가능성이 더 큰 것으로 사료된다.

Zn

토양 중 Zn는 Fe-Mg광물, 각섬석, 흑운모 등의 유색 광물에 많이 존재하며, 그밖에 ZnS, ZnO, ZnCO<sub>3</sub> 등의 형태로 존재한다. 황화물은 환원조건에서도 존재할 수 있으나 그밖에 다른 염들은 가용성이므로 유실되기 쉽다. Zn는 점토광물과 유기물의 교환 부위나 고체 표면에 흡착되어 있는 상태로도 존재한다. Zn의 흡착정도는 pH가 높아질수록 강해지므로 그만큼 가용성이 떨어진다. Zn는 모물질의 성분을 제외한 대부분이 인간에 의한 오염이다. 농업에서 비료는 거대한 Zn운반체이며, 자동차 연료첨가제, 타이어, 브레이크 라이닝, 모터오일 등에서 배출된다 (민경원과 정연태, 1996).

Rose *et al.* (1979), Levinson (1974) 등은 토양중의 Zn함량을 강산분해법에 의해서 분석한 결과 각각 36 ppm, 20 ppm으로 보고한 바 있으며, 국내 토양의 평균함량은 40.41 ppm (서윤수 등, 1982)으로 보고되었다. 서울토양 (김주용과 전효택, 1993)의 평균Zn함량은 271 ppm (55~596 ppm)이고 춘천토양 (민경원과 정연태, 1996)의 평균Zn함량이 190 ppm (25~886 ppm)이며 중부지방토양 (김기현 등, 1996)의 평균Zn함량이 5.76 ppm (0.02~67.3)이다. 서울, 춘천토양은 강산추출법에 의해서 분석된 결과이므로 이 연구지역 토양의 Zn함량과 비교될 수 없지만 이 연구지역의 평균 Zn함량은 이 연구에서의 분석법과 유사한 추출법으로 분석한 중부지방 토양의 Zn함량과 비슷한 수준인 6.7 ppm이고 Zn함량범위는 0.37~88.2 ppm (Table 2, Fig. 2)이다. 운동장토양과 발토양에서 비교적 높게 나타나는데 이는 자동차로부터 발생하는 Zn화합물과 비료사용으로 인한 것으로 사료되며, 산토양에서의 Zn함량은 대체적으로 낮게 나타났다. Pb와 함께 Zn함량은 운동장토양에서 1.42~28.2 ppm (평균함량: 10.76 ppm)으로 상대적으로 높게 나타나는데 이는 운동장으로 운반된 토양의 모암의 영향도 고려될 수 있으나 자동차의 배출가스 또는 타이어의 영향이나 운동장 이용자의 소지품 등에 의한 영향으로 판단된다.

이상에서 살펴본 바와 같이 이 연구지역 토양을 대상으로 환경오염공정시험법 즉 0.1N HCl로 시료를 부분분해하여 분석된 Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb 및 Zn 함량은 국내 타지역, 특히 오염이 거의 없는 지역으로 알려진 중부지역 토양중의 중금속함량보다 낮은 경향을 보여주는 것으로 보아 이 연구지역에서 토양오염은 아직 열려할 단계는 아닌 것으로 판단된다. 연구지역에 분포된 토양 중 일반적으로 운동장토양, 논토양, 발토양, 산토양 순으로 중금속함량이 낮아지는 경향을 나타내는데 이는 Yoon 등 (2000)이 이 지역에서 토양과 도로분진을 대상으로 연구한 결과 토양보다는 도로 분진에서 중금속함량이 훨씬 높은 것은 주로 자동차에서 배출된 중금속에 기인된 것으로 주장한 바 있는데 이 연구에서도 운동장토양에서 중금속함량이 높고 산토양에서 낮은 경향을 보이는 것은 운동장으로 운반된 토양의 모질물에 의한 영향일 수도 있으나 더욱 중요한 오염인자로는 자동차의 배기가스, 타이어 및 운동장 이용자의 소지품 등에 의한 영향이 더 클 것으로 사료된다.

원소별 분포특성

논토양, 발토양, 산토양 및 운동장 토양을 대상으로 분석된 Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb 및 Zn함량의 등함량 분포도를 Fig. 3에 나타냈다. 성산역 부근과 광양금은광산지역에서 Cd, Cu, Fe, Zn은 높은 함량을 나타내며 특히 Zn은 성산역, 광산부근이외에 여천공단 배후의 일부 논토양과 발토양 그리고 수정주유소 부근에서 높게 나타나는데 이는 비료와 자동차 타이어 및 배기가스의 영향인 것으로 사료된다. Cr, Mn, Pb 함량은 POSCO북쪽 후면과 옥곡역 부근에서 특히 높은 경향을 나타내는데 이는 POSCO에서 발생하는 분진 또는 과거 광산활동 영향으로 판단된다.

이 연구에서 분석된 원소간의 상관성을 SAS system으로 산출한 결과는 Table 3과 같다. 발토양에서 Cd-Zn의 상관성이 유의수준 0.001에서 0.7로 좋으며 논토양에서도 Cd-Zn과 Zn-Cr의 상관성이 비교적 좋은데 이는 밭과 논 경작을 위해 사용된 비료의 영향 때문인 것으로 사료된다. 운동장토양에서는 Cu-Zn, Cu-Pb 그리고 Pb-Zn의 상관성이 유의수준 0.05에서 각각 0.805, 0.733 및 0.793으로 좋은데 이는 운동장으로 운반된 토양의 모암의 영향도 있었으나 자동차 배기가스, 타이어 및 운동장 이용자의 소지품에 의해 기인된 영향이 더 클 것으로 사료된다. 산토양에서

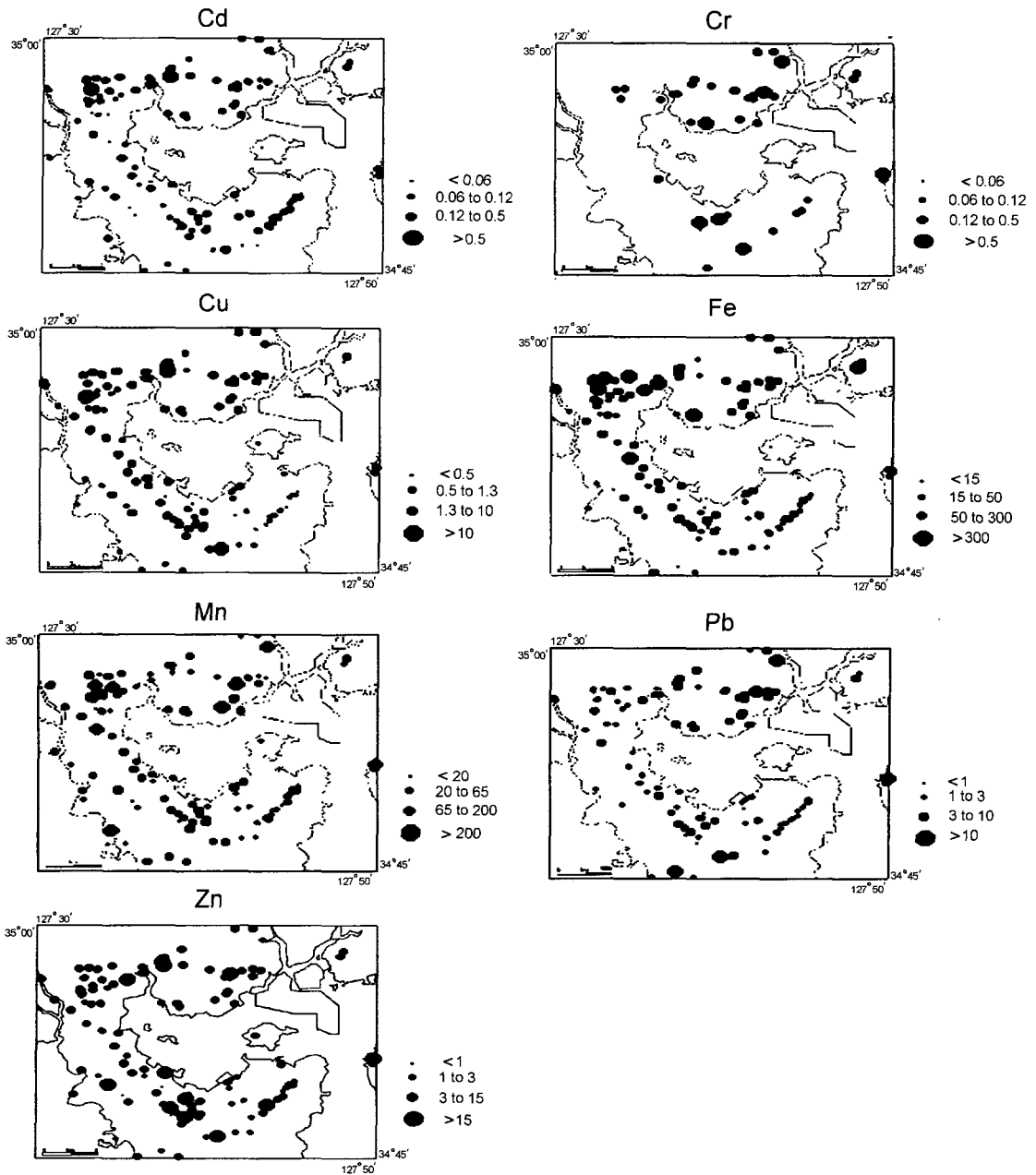


Fig. 3. Map of element concentration in the soils of the study area.

는 상관성이 좋은 원소는 발견되지 않는다.

**심도별 원소함량변화**

여천공단 남쪽 논토양 (3), 밭토양 (2)과 수정주유소 부근 (2)에서 그리고 도로변토양 (1)을 대상으로 8개

지점에서 상부 (0~10 cm) 및 하부토양 (15~30 cm) 시료를 채취하여 분석한 결과 Fig. 4와 같이 원소함량 변화가 나타났다. Cd는 일반적으로 상부토양에서 높고 하부토양에서는 낮으나 2, 4지점 즉, 수정주유소 부근과 여천공단 남쪽 논토양의 지점에서 오히려 하부 토양에서 높으며 수정주유소의 지하수에서도 Cd, Cu, Zn



**Table 3.** Correlation coefficients between heavy metal elements in soil.

		Playground soil						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Cd		1						
Cr		-0.95	1					
Cu		0.16	-0.63	1				
Fe		0.67	0.32	0.56	1			
Mn		0.55	-0.63	0.59	0.66	1		
Pb		0.35	0.21	0.73	0.56	0.36	1	
Zn		0.22	0.11	0.81	0.59	0.50	0.79	1

		Paddy soil						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Cd		1						
Cr		0.66	1					
Cu		0.56	0.33	1				
Fe		0.61	0.60	0.47	1			
Mn		-0.09	0.44	-0.13	0.13	1		
Pb		0.49	0.27	0.37	0.35	-0.01	1	
Zn		0.65	0.65	0.59	0.47	-0.08	0.45	1

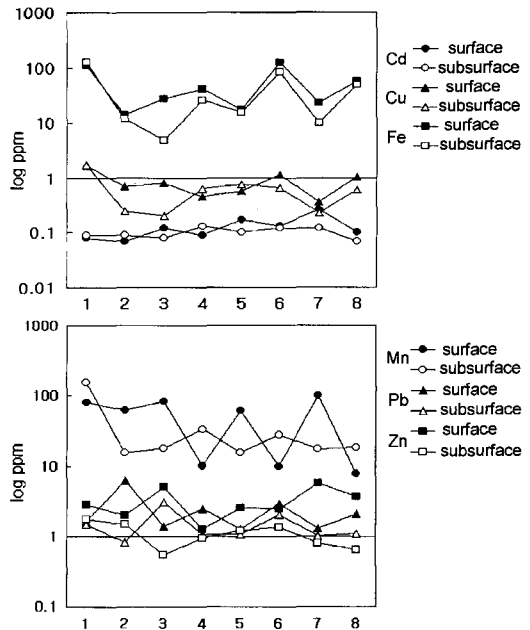
		Forest soil						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Cd		1						
Cr		0.53	1					
Cu		0.29	-0.23	1				
Fe		0.55	-0.55	0.33	1			
Mn		0.25	-0.55	0.32	0.27	1		
Pb		0.24	-0.29	0.36	0.36	0.17	1	
Zn		0.27	-0.52	0.58	0.53	0.39	0.12	1

		Farmland soil						
		Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Cd		1						
Cr		0.64	1					
Cu		0.49	0.41	1				
Fe		0.57	0.41	0.62	1			
Mn		0.15	-0.06	-0.13	0.11	1		
Pb		0.38	0.40	0.58	0.60	-0.22	1	
Zn		0.70	0.62	0.44	0.44	0.27	0.30	1

Figures with shadow box are statistically correlated at level of  $P < 0.001$ .

등의 중금속 원소함량 (오근창 등, 1998)이 높은 것으로 보아 이곳에서 오염이 비교적 심하게 진행되고 있음을 시사해 주고 있다. Cu는 여천공단 남쪽 논토양과 밭토양에서 하부 토양의 Cu함량이 높게 나타나며 Pb



**Fig. 4.** Relationship between surface and subsurface soils of the study area.

의 경우 수정주유소 부근 토양에서 하부 토양의 Pb함량이 높게 나타난다. Fe와 Zn 특히 Zn은 대부분의 지점에서 하부 토양보다 상부 토양에서 높게 나타나는 것으로 보아 이들 원소는 비료, 자동차 타이어 및 배기가스영향을 받은 것으로 사료된다. Mn의 경우는 1, 4, 6, 8지점에서 하부토양에서 비교적 높은 경향을 나타낸다. 이상의 결과 도로변 토양과 여천공단 남쪽 논토양이 비교적 오염된 지점으로 보인다.

## 결론

여천공단 주변 토양의 중금속 오염 정도를 파악하기 위해 여천중화학공업단지 주변의 토양을 대상으로 pH 측정, 색 구분, 화학분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

1. 토양의 pH는 최고 8.58 (운동장토양)으로 알카리 성향을 띠는 경우도 있지만 대부분 4-6정도의 산성 및 약산성영역에서 나타나며 이러한 경향은 특정지역에 한정되어 나타나지 않고 지역 전반에 걸쳐서 골고루 나타나고 있다.

2. 화학분석 결과 분석된 중금속 함량은 일반적으로 낮게 나타났으나, 광산활동으로 인해 영향을 받은 광산지역, 성산역, 옥곡역과 수정주유소 부근에서 다소 높게 나타나는데 이는 광산활동, 기차와 자동차 배기

가스 또는 타이어로부터 배출되는 분진때문인 것으로 사료된다.

3. Cd, Cu, Fe 및 Zn은 성산역부근과 광산활동이 있었던 지역에서 비교적 높은 함량을 나타내며 특히 Zn은 상기 지역을 포함한 여천공단 주변의 일부 농토양과 수정주유소 부근에서 높은 함량을 보여 주는데 이는 비료와 자동차 배기가스 및 타이어에 의한 영향인 것으로 판단되며 Cr, Mn 및 Pb함량은 POSCO북쪽과 옥곡역 부근에서 특히 높은 경향을 나타내는데 이는 POSCO에서 발생하는 분진 또는 과거 광산활동의 영향으로 보인다.

4. 분석된 원소함량은 일반적으로 운동장 토양에서 가장 높고 산토양에서 가장 낮으며 원소간 상호관계는 밭토양에서 Cd-Zn의 상관성이 좋으며 농토양에서는 Cd-Zn과 Zn-Cr의 상관성이 비교적 좋는데 이는 전담에 사용된 비료의 영향때문인 것으로 사료된다. 운동장토양에서는 Cu-Zn, Cu-Pb 그리고 Pb-Zn의 상관성이 0.805, 0.733 및 0.793으로 비교적 좋는데 이는 자동차 배기가스, 타이어 분진 및 운동장 이용자들의 소지품에 의한 오염의 영향인 것으로 사료된다.

5. 심도별 원소함량 변화 추이를 살펴보면 Cd는 일반적으로 상부토양에서 높고 하부토양에서는 낮으나 여천공단 남쪽 농토양과 수정주유소 부근에서는 반대로 하부토양에서 높고, Cu는 여천공단 남쪽 농토양과 밭토양에서 하부토양층의 Cu함량이 높으며 Pb의 경우 수정주유소 부근의 하부토양에서 비교적 높게 나타나는데 이는 이 지점에서 오염이 비교적 심하게 진행되고 있음을 시사해 주고 있다. Fe와 Zn함량은 상부토양이 하부토양보다 높게 나타났다.

6. 이 연구지역의 토양은 환경오염공정시험법, 즉 0.1N HCl을 이용한 부분분해 방법으로 분석된 중금속 함량은 환경오염법에 규정된 공장 및 산업지역 토양오염 우려 기준인 12  $\mu\text{g/g}$  Cd, 200  $\mu\text{g/g}$  Cu 그리고 400  $\mu\text{g/g}$  Pb에 훨씬 못 미치는 것으로 보아 이 연구지역에 분포된 토양에서 염려할 만한 오염의 증후는 없는 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 한국학술진흥재단에서 지원하는 97-99 학제간 연구의 일부이며 연구비를 지원한 학술진흥재단에 감사드립니다. 아울러 시료채취시 수고를 아끼지 않았던 오근창, 정규복, 이효재 대학원생에게도 깊은 감

사드리고 원소분석시 많은 도움을 주신 이정일씨에게도 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김기현, 김세현, 최영천 (1996) 중금속의 토양 오염 : 한국 중부지역의 농경지를 중심으로. *자원환경지질*, 29권, 6호, p. 725-732.
- 김옥배, 이무성, 박희열, 박정용, 나춘기 (1997) 공업단지 주변 토양의 중금속오염에 관한 환경 지화학적 연구. *한국자원공학회지*, 34권, p. 1-10.
- 김옥준 (1970) 남한의 금은광상구 연구. *광산지질*, 제3권, p. 163-167.
- 김종갑, 김점수 (1991) 대기오염지역주변 삼립토양의 오염 농도 분석. *한국환경농학회지*, 10권 2호, p. 158-166.
- 김주용, 전효택 (1993) 서울지역 토양과 분진층의 Cu, Pb, Zn, Cd의 지구 화학적 분산. *한국자원공학회지*, 30권, p. 163-176.
- 민정원, 정연태 (1996) 춘천지역 토양 및 분진 층의 유독성 미량원소의 분포에 관한 지구화학적 연구. *한국자원공학회지*, 33권, p. 251-265.
- 박종진, 김명균, 전효택 (1997) 금왕 금, 은광산 주변 지구화학적 환경에서의 중금속 원소들의 분산. *자원환경지질*, 30권, 5호, p. 407-416.
- 박천영, 윤정환, 이창신 (1993) 광양지역에 분포하는 심성암류에 대한 미량 원소 분포특징에 관한 연구. *한국자원공학회지*, 30권, p. 248-258.
- 박청길, 이근자, 유선재 (1985) 도로변 인접 토양 층의 납, 카드뮴, 아연 및 구리의 함량분포 특성. *대한환경공학회지* 7권, 1호, p. 37-42.
- 박희인, 박용안, 정지곤 (1989) 광양도록 지질보고서 (1:50,000): 한국동력자원 연구소.
- 서윤수, 문화희, 김인기, 김학엽, 전성환, 지달현 (1982) 토양 층의 중금속 자연함유량에 관한 조사. *국립환경연구소보*, 제4호, p. 189-198.
- 엄석원, 김명희, 박성배 (1985) 토양 중 중금속의 수직분포도 조사. *서울특별시 보건환경연구소보*, 21권, p. 136-140.
- 오근창, 윤연홍, 이효재, 정규복, 윤정환, 박돈희 (1998) 광양만 주변 지하수 및 지표수의 중금속 함량. 제70회 *자원공학회 춘계학술발표회*, p. 61-66.
- 윤정환, 오근창 (1999) 전남 광양만과 순천만 표층퇴적물의 중금속 함유량에 관한 연구. *춘계 공동학술발표회 논문집 특별 심포지움. 동북아 광상 성인 심포지움*, p. 33-35.
- 유순호, 김계훈, 현해남 (1985) 아연광산 주변 토양중 아연, 구리 및 연의 화학적 형태별 함량. *한국환경농학회지*, 3권, p. 71-77.
- 임선옥, 1992, 토양학특론 : 문운당, 380p.
- 이민희, 유홍일, 서윤수 (1994) 연·아연 금속광산 주변 농경지 토양중 중금속의 수직분포와 토양특성과의 관계. *지하수 환경* 1권, 2호, p. 80-84.
- 이서래, 송기준 (1986) 온산공단 주변 농작물의 중금속 농도 조사. *한국환경농학회지*, 5권, p. 43-47.
- 이재영, 이인호, 이순영 (1996) 금속폐광산 주변의 토양, 식물 및 하천의 중금속오염에 대한 지구화학적 연구-달성 및 경산광산-. *자원환경지질*, 29권, p. 597-613.
- 전동진 (1995) 신예미광산과 거도광산에서의 토양, 하상퇴적물 및 하천수의 중금속오염 연구. *서울대학교 공학 석사학위논문*.

- 전효택, 정명채 (1991) 함우라늄 흑색세일 분포지역에서의 유독성 원소들의 분산에 관한 지구화학적 연구. 광산지질, 24권, p. 245-260.
- 전효택, 최완주 (1992) 도시 및 산업환경 분진 및 토양중의 중금속 원소들의 분산에 관한 지구화학적 연구. 광산지질, 25권, p. 317-336.
- 환경부 (1996a) 토양환경 보전업무편람, 환경부, p. 358.
- 환경부 (1996b) 토양환경 보전법령, 65p.
- Adriano, D.C., (1986) Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag, New York, 533p.
- Brook, R.R. (1983) Biological methods of prospecting for minerals. John Wiley and Sons Inc., 321p.
- Culbard, E., Thornton, I., Watt, J., Moorcroft, S., Books, K. and Thompson, M. (1983) Metal contamination of dusts and soil in urban and rural households in the United Kingdom 2: A nationwide reconnaissance survey of the United Kingdom to determine metal concentrations in urban dusts and soils. In D.D. Hemphill (Ed.), Trace substances in environmental health, X VII. University of Missouri, Columbia. p. 236-241.
- Davies, D.J.A., Watt, J.M. and Thornton, I. (1987) Lead levels in Birmingham dusts and soils. In The science of the total environment, v. 67, p. 177-185.
- Davies, D.J.A., Thornton, I., Watt, J.M., Culbard, E.B., Harvey, P.G., Delves, H.T., Sherlock, J.C., Smart, G.A., Thomas, J.P.A and Quinn, M.J. (1990) Lead intake and blood lead in two-year-old U.K. urban children. In: The science of the total environment, v. 90, p. 13-29.
- Fergusson, J.E. (1990) The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Health Effect. Pergamon Press, p. 329-375.
- Fortescue, J.A.C.F (1980) Environmental geochemistry. Springer-Verlag, p. 123-132.
- Hoffman, S.J. (1987) Geochemical exploration-The soil survey. In Exploration geochemistry: Design and interpretation of soil surveys. Reviews in Economic Geology, v. 3, p. 19-78.
- Hunt, A., Johnson, D.L., Thornton, I. and Heasman, I.N. (1989) determining the sources of lead in house dust: A particle class balance receptor model approach (Ed. by Vernet, J.P.), v. 2, p. 500-503.
- Jennett, J.C. (1989) Transport and distribution from mining milling, and smelting operations in a forest ecosystem. Global pollution and health, p. 135-178.
- Jung, M.C. (1995) Heavy metal contamination of soils, plant, waters and sediments in the vicinity of metalliferous mines in Korea. unpublished PhD thesis, University of London. 455p.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (1984) Trace Elements in soil and plants. CRC Press, Florida, 315p.
- Levinson, A.A. (1974) Introduction to Exploration Geochemistry. Applied Publishing Ltd., Calgary, 889p.
- Purves, J.D., 1985 Trace-element Concentration of the Environment. Elsevier Science Publishing Co., 243p.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E. and Webb, J.S. (1979) Geochemistry in mineral exploration. Academic Press, p. 549-581.
- Siegel, F.R. (1974) Applied geochemistry. John Wiley and Sons, p. 276-316.
- Thornton, I., Culbard, E.B., Moorcroft, S., Watt, J.M., Wheatley, M. Thompson, M. and Thomas, J.F.A. (1985) Metals in urban dusts and soil. In Environ. Technol. Lett., v. 6 p. 137-144.
- Thornton, I. (1990) Soil contamination in urban areas. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 82, p. 121-140.
- Watt, J.M., Moorcroft, S., Brooks, K., Culbard, E., and Thornton, I. (1983) Metal contamination of dusts and soils in urban and rural households in the United Kingdom 1: Sampling and analytical technique for household and external dusts. In D.D. Hemphill (Ed.), Trace substances in environmental health, X VII. University of Missouri, Columbia. p. 229-235.
- Watt, J.M. and Johnson, D.L. (1987) Characterization of dusts by scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy. In I. Thornton and E. Culbard (Ed.), Lead in the home environment. Northwood, U.K.
- Webb *et al.* (1978) The Wolfson geochemical atlas of England and Wales. Clarendon Press, Oxford, 70p.
- Xingfu Xian (1989) Effect of pH on chemical forms and plant availability of cadmium, zinc and lead in polluted soils. Water, air, and soil pollution, 45, p. 265-273.
- Yoon, C.H., Oh, K.C., Yun, Y.H. and Park, D.H. (1999) Content variation of toxic and heavy metal elements in the soils of KwangyangYocheon area, Korea. 2nd Asia Pacific Symposium on Environmental Geochemistry.
- Yoon, C.H., Seo, C.H., Park, D.H., Kim, Y.W., Cho, W.H., and Park, C.Y. (2000) Heavy metal contamination in dusts and soils in the Yochon Heavy Chemical Industrial Complex area and around the Yosu City. Geosystem Engineering (in press).