Jour. Korean Earth Science Society, v. 27, no. 1, p. 73-82, February 2006

# 전북 고창지역 학교 실내외 환경의 중금속 오염 특성

김용환 · 정덕호 · 조규성*

전북대학교 과학교육학부 · 과학교육연구소, 561-756, 전북 전주시 덕진구 덕진동 664-14

# Contamination Characteristics of Heavy Metals in Indoor, Outdoor and Playground of Schools in the Gochang-Gun, Chonbuk Province of South Korea

**Yong-Hwan Kim, Duk-Ho Chung and Kyu-Seong Cho***

The Institute of Science Education, Division of Science Education, Chonbuk National University, Chonbuk 561-756, Korea

**Abstract:** Dust samples were collected from 10 middle and high schools in the Gochang-Gun, Korea. Heavy metal concentrations were determined for the dry-deposited dusts from indoor and outdoor of classroom and playground of each sampling site. Concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn in indoor's dusts were highly concentrated. Also concentrations of Cu, Ni, Pb and Zn in outdoor's dusts were highly concentrated. Concentrations of Cd, Cu and Zn in the dusts were much higher than the world average contents in soil and environmental orientation value. These levels are similar to those of the dust samples at middle schools and high schools located in Jeonju-city, Korea. Compared with concentrations of heavy metals in soils and dusts in Korea, the environment of indoor and outdoor of classroom is highly concentrated except for Cu, Zn. The concentrations of playground is less than that of residential dust and main road dust and playground in Jeonju-city. Playground dusts in 1 school exhibited the enhanced heavy metal pollution with a pollution index (Kloke, 1979) greater than 1.0, but indoor and outdoor dusts in 7 schools exhibited the enhanced heavy metal pollution with a pollution index (by Kloke) greater than 1.0.

Keywords: dust, school, heavy metal contamination, pollution index

**요 약:** 먼지시료는 전라북도 고창군에 있는 10개 중·고등학교에서 채취하였다. 교실 내의 칠판 위, 전등 반사판 위, 게시판 위, 물품장 위에 쌓인 분진 등의 먼지와 창틀 밖 난간 등에 쌓인 먼지시료, 그리고 운동장에서 총 45개의 시료를 채취했다. 채취한 먼지 시료를 Thompson and Wood(1982)의 방법으로 화학처리 한 후 Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn 등 8개의 원소를 정량 분석했다. 교실 내 먼지 시료 중에 Cd, Cu, Pb, Zn 등의 중금속 함량이 높았다. 또한 교실 외 먼지 시료 중에는 Cu, Ni, Pb, Zn의 함량이 높았다. 먼지 시료 중 Cd(4.6 ppm), Cu(124 ppm), 그리고 Zn (350 ppm)의 농도는 세계 평균 지표 토양과 환경오염기준 보다 매우 높다. 이러한 경우는 전주시 중·고등학교의 먼지 시료 분석과 유사하다. 국내 선행연구와 비교했을 때 교실 내·외 환경은 Cu, Zn을 제외하고 농축이 심하다. 운동장 환경은 전주시의 교통량이 많은 주거 도로와 주 도로변, 운동장에 있는 먼지 중의 중금속 함량 보다 낮았다. 운동장 먼지 시료에서 오염지수가 1.0 이상인 중금속 오염은 1개 학교에서 나타났지만 교실 내·외 먼지 시료에서 오염지수가 1.0 이상인 중금속 오염은 7개 학교에서 나타났다. 산업화가 덜 된 농촌 지역의 학교라 할지라도 교실 내에는 중금속의 오염양상이 도시 지역의 학교와 같았다. 이는 교통량의 상대적 차이나 산업화의 정도와 관계없이 실내에서 중금속 오염이 동일하게 일어나고 있음을 보여준다.

주요어: 먼지, 학교, 중금속 오염, 오염 지수

*Corresponding author: earthcho@chonbuk.ac.kr
Tel: 82-63-270-2805
Fax: 82-63-270-2802

## 서 론

인간은 지구상의 다른 생명체와 마찬가지로 자연이라는 거대하고 신비한 존재 속에서 생존을 위한 끊임 없는 노력을 계속하여 왔다. 인류역사의 시작 이래로 인간은 자연 속에서 에너지를 얻고 살아가야만 하기 때문에 자연을 변화시키지 않을 수는 없었다. 그러나 인간의 무분별한 이기주의는 필연적으로 환경오염문제를 낳았고, 이제 어느 지역을 막론하고 인간 모두에게 고민과 염려를 안겨 주고 말았다. 우리의 장래를 짊어지고 나갈 후손들을 가르치는 교육의 장인 학교 환경은 학생들이 가정에서 보다 더 오래 활동하는 곳임에도 불구하고 산업의 발달, 생활습성의 변화 및 환경 기초시설의 부족 등으로 인하여 많은 환경문제가 제기되고 있으며 그 정도가 점차 심해지고 있는 추세 속에서 학교들의 환경을 실질적으로 점검해 보는 일은 매우 중요하다.

중금속은 소량으로도 인체에 치명적인 영향을 주기 때문에 중금속의 오염정도와 그 영향 및 오염원을 찾는 연구가 많이 이루어지고 있다. 폐 광산 주변 환경오염에 대한 연구는 이진국 외(1989), 김상현과 전효택(1993), 이재영 외(1993), 나춘기와 전서령(1995), 오대균 외(1995), 조규성과 정덕호(1998) 등에 의해 연구된바 있으며, 도로변 인접 토양 중의 Pb, Cu 및 Zn의 함량분포 특성(이군자 외, 1985), 서울시내 고정 배출원의 중금속 배출량 조사연구(이찬수 외, 1985), 서울시 일원의 토양 중금속 오염도 조사(김홍제 외, 1986), 서울 지역의 토양과 분진 중의 중금속 오염 등의 연구(전효택과 최완주, 1992; 김주용과 전효택, 1993), 전주시내 도로변 퇴적물 중금속 오염 특성 연구(조규성, 2003)가 있으며, 학교 환경에 대한 중금속의 분석 연구는 변희옥 외(1996)에 의한 연구, 실내 시료에 대한 연구 자료는 배윤진 외(1998)에 의한 연구가 있으며 전주지역 학교에 대한 실내외 환경 연구는 조규성(2000)에 의한 연구가 수행된바 있다. 그 외에 도시화 및 산업화로 인해 그 지역에서 나타나는 인위적인 오염원에 의한 토양과 분진의 중금속 오염에 관한 연구는 Thornton et al.(1985), Fergusson et al.(1986), Culbard et al.(1988), Thornton (1990), Li et al.(2001), Fakayode and Olu-Owolabi (2003), 박청길 외(1985), Chon et al.(1995, 1998), Kim et al.(2003) 등에 의해 이루어졌으며 이평구 외(1999, 2001)에 의해 서울시 도로변 빗물받이에서 채취한 하수 슬러지와 우수관 퇴적물의 중금속 오염 평가가 실시된바 있다.

학교주변의 분진이나 운동장 토양은 학생들에게 노출되어 있어 호흡기나 음식물을 통해 또는 직접접촉을 통해 인체 내에 유입되므로 청소년의 건강에 나쁜 영향을 미칠 가능성이 크다. 그러나 학교 환경에 대한 중금속의 분석 연구는 대부분이 도시환경에 집중되어 있었기 때문에 농어촌지역의 실내·외 학교환경에 대한 연구 자료가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 비교적 산업화의 피해가 적을 것으로 예상되는 전라북도 고창군 지역에 소재한 10개 학교를 선정해 학교 실내·외의 먼지시료에 들어있는 Cd, Co. Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn 등의 중금속 함량을 측정함으로써 평균함량과 오염지수 등을 통해 오염 정도를 파악하고 지역별 분포 특성, 원소 간 상관성, 중금속 원소의 존재 형태 등의 오염 특성을 고찰하였다.

## 연구 방법

### 시료 채취

고창지역 중학교 8개 학교, 고등학교 2개 학교를 지역별로 고르게 선정했다. 선정된 학교에서 교실 내 먼지시료(19개), 교실 외 먼지시료(16개), 운동장 먼지시료(10개)를 채취하였다. 교실 내 먼지시료는 여러 개의 교실에서 칠판 위, 전등 반사판 위, 게시판 위, 물품장 위에 쌓인 분진을 채취해 각 층별로 시료를 얻었다. 교실 외 먼지시료는 교실 창문 밖 창틀이나 난간 등에 쌓인 먼지를 붓으로 채취했으며 운동장 먼지시료는 10m 간격으로 격자점을 정하고 붓과 종이를 이용해 채취하여 학교별로 만들었다. Fig. 1은 시료를 채취한 학교의 위치를 표시한 것이다.

### 화학처리 및 분석

채취한 먼지 시료를 -100 mesh 입도로 체질해 얻은 후 Thompson and Wood(1982)의 방법으로 화학처리 했다. 즉 먼지시료 0.25 g에 $HNO_3$ 4 mL와 $HClO_4$ 1 mL의 혼합산을 넣어 분해하며 시약이 모두 증발하도록 24시간 동안 건조시키고 여기에 5 M HCL 2 mL를 넣어 용탈시킨 후 탈이온수를 가해 10 mL의 분석 용액을 얻었다. 이렇게 만들어진 용액 시료를 원자흡수분광기(Perkin Elmer2380)를 이용하여 Cd, Co. Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn 등 8개의 원소를 정량 분석했다. 분석 결과를 바탕으로 중금속이 많이

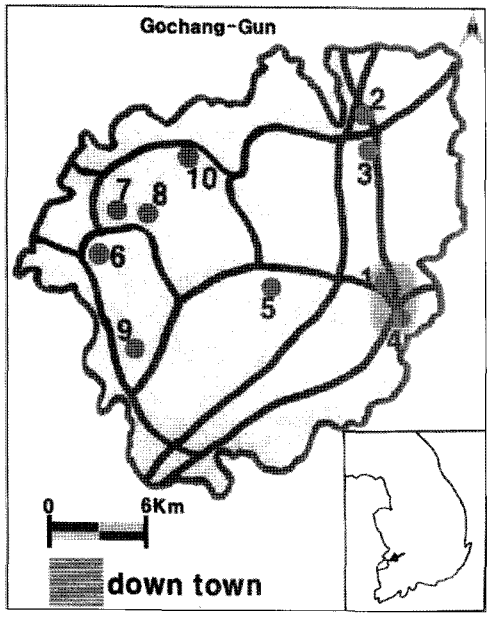


**Fig. 1.** A map of sampling locations in the Gochang-gun.

함유된 학교에서 채취한 시료에 대해 선택적 연속 추출법(Tessier et al., 1979)을 이용하여 중금속의 존재 형태를 고찰했다.

## 분석결과 및 논의

### 중금속 원소의 함량

시료의 화학분석 결과를 10개 학교 모두 합쳐 교실 내, 교실 외, 운동장 시료로 구분해 Table 1에 나타냈다. 실내 시료 19개, 실외시료16개, 운동장 시료는 10개로 총 45개에 대한 종합자료이다. 교실 내 시료 19개를 평균한 원소별 함량은 Cd 4.6 ppm, Co 14 ppm, Cr 71 ppm, Cu 124 ppm, Ni 38 ppm, Pb 291 ppm, Zn 350 ppm, Mn 176 ppm 으로서 Pendias (1984)가 밝힌 캐나다, 영국, 일본, 미국의 평균지표토양(various soil)중에 있는 중금속의 함량과 비교해 볼 때 분석한 8개 원소 중 Mn을 제외하고 7개 원소가 초과되는 것으로 나타났다. Table 2에는 캐나다, 영국, 일본, 미국의 평균지표토양(various soil)중에 있는 중금속의 함량(Pendias, 1984)을 포함해 각 나라별 토양에 대한 환경오염 기준(NIER, 2000)을 국내자료와 비교하기 위해 나타냈고 우리나라 토양환경보전법(1999)에 제시된 토양오염 대책기준도 함께 나타냈다.

Cd은 캐나다를 제외하고 6개 나라에서 제시한 토양 오염 물질의 최대 허용 오염농도나 오염 토양 복원 기준 등을 모두 초과 하고 있어서 교실 내에서 Cd의 농축이 심함을 알 수 있다. Co는 대부분 나라의 복원 기준에는 다다르지 않았지만 주의가 요망된다. Cr은 독일의 기준치를 넘어 서고 있으며 Cu는 우리나라의 토양오염 대책기준에 거의 다다랐고 영국을 제외한 대부분 나라에서 초과하고 있다. Ni은 영국, 미국, 캐나다의 토양에 대한 환경오염기준에는 미치지 않았지만 독일, 네덜란드, 스위스의 토양 환경오염기준을 넘어서고 있다. Pb은 영국, 캐나다, 한국을 제외하고 나머지 나라의 토야 환경오염기준을 초과 하고 있으며, Zn은 미국과 캐나다를 제외하고는 대부분 나라에서 토양 환경오염기준을 초과하고 있으며 네덜란드의 토양 환경오염기준 보다 2배가량 높

**Table 1.** Metal concentrations in the dust from the 10 schools in the Gochang-gun (unit in ppm)

| | | Cd | Co | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn | Mn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Indoors (n=19) | Mean | 4.6 | 14 | 71 | 124 | 38 | 291 | 350 | 176 |
| | S.D | 3.4 | 5 | 40 | 85 | 24 | 216 | 114 | 70 |
| | Max | 13.6 | 27 | 185 | 388 | 105 | 1037 | 640 | 357 |
| | Min | 1.4 | 4 | 18 | 39 | 2 | 1007 | 9 | 74 |
| Outdoors (n=16) | Mean | 4.3 | 16 | 69 | 113 | 59 | 238 | 399 | 215 |
| | S.D | 1.7 | 4 | 44 | 85 | 55 | 184 | 165 | 69 |
| | Max | 8.6 | 23 | 216 | 361 | 245 | 779 | 608 | 353 |
| | Min | 1.9 | 8 | 16 | 12 | 11 | 65 | 45 | 98 |
| Playground (n=10) | Mean | 1.4 | 9 | 34 | 26 | 15 | 98 | 106 | 146 |
| | S.D | 1.8 | 6 | 25 | 16 | 18 | 168 | 58 | 57 |
| | Max | 6.4 | 17 | 78 | 60 | 54 | 598 | 225 | 248 |
| | Min | 0.1 | 1 | 12 | 6 | 0 | 6 | 28 | 90 |

n = Number of samples
S.D = Standard Deviation

**Table 2.** Average contents and environmental intervention values of heavy metals in soils of different countries (unit in ppm)

| | | Cd | Co | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn | Mn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Average contents[1] | Canada | 0.56 | 12.4 | 50 | 22 | 20 | 20 | 57 | 325 |
| | Britain | 1.00 | 17.7 | 69 | 23 | 23 | 29 | 80 | 1055 |
| | Japan | 0.44 | 10 | 50 | 34 | 28 | 35 | 86 | - |
| | U.S. | 0.41~0.57 | 10.5 | - | 26 | 18.5 | 26 | 73.5 | 490 |
| Environmental intervention values | Britain[2] | 3.0 | - | -1 | 30 | 70 | 500 | 300 | - |
| | U.S.[3] | 1.0 | - | - | - | 250 | 100 | 1500 | - |
| | Germany[4] | 2.0 | 100 | 50 | 50 | 40 | 200 | 300 | - |
| | Holland[5] | 0.8 | 20 | 100 | 36 | 35 | 85 | 140 | - |
| | Switzerland[6] | 0.8 | 25 | 75 | 50 | 50 | 502 | 00 | - |
| | Canada[7] | 5.0 | 50 | 250 | 100 | 100 | 500 | 500 | - |
| | Korea[8] | 4.0 | - | - | 125 | - | 300 | - | - |

[1]Metal contents surface various soils (Pendias, 1984). [2]Guidance concentration of garden in Britain. [3]New Jersey cleanup standards of residential surface soil. [4]Orientation value of soil at playground for children in Germany. [5]Intervention values of soil in Holland. [6]Maximum allowable pollution contents of soil in Switzerland. [7]Interim Canadian environmental quality criteria for contaminated sites in residential soil (NIER, 2000). [8]Countermeasure criterion of contaminated soil for park and school area in Korea (Ministry of Environment, 1999).

다. 따라서 교실 내 먼지는 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 등 대부분 중금속에 오염돼 있으며 특히 Cd, Cu, Pb, Zn의 농축이 심하다. 교실 외 먼지 시료 16개를 평균한 원소별 함량은 Cd 4.3 ppm, Co 16 ppm, Cr 69 ppm, Cu 113 ppm, Ni 59 ppm, Pb 238 ppm, Zn 399 ppm, Mn 215 ppm이다. 분석한 8개 원소 중 Mn을 제외하고 7개 원소가 세계의 평균 지표 토양 중의 중금속 농도를 초과한 것으로 나타났으며 특히 Cu는 캐나다의 토양 환경오염기준의 5배, Ni은 3배, Pb은 12배, Zn은 3배로 나타나 농축이 아주 심함을 알 수 있다. 운동장 먼지 시료 10개를 평균한 값은 Cd 1.4 ppm, Co 9 ppm, Cr 34 ppm, Cu 26 ppm, Ni 15 ppm, Pb 98 ppm, Zn 106 ppm, Mn 146 ppm 이다. 각 나라의 토양 환경오염기준과 비교했을 때 Cd만 미국, 네덜란드, 스위스의 토양 환경오염기준 보다 약간 초과 했을 뿐 각 나라의 토양 환경오염기준 보다 낮았다.

국내 도시지역과 비교하기 위해 선행 연구 자료를 Table 3에 나타냈다. 고창지역 중·고등학교 운동장 먼지 시료 중에 함유된 중금속 원소는 전효택과 최완주(1992)에 의해 조사된 서울 지역의 교통량이 많은 주거도로나 주도로 변에 있는 먼지 중의 중금속(Cu, Pb, Zn)보다 낮았다. 그리고 전효택과 안주성(1996)에 의해 조사된 의정부시 토양이나 먼지 중의 중금속 농도 보다 낮게 나타났으며, 조규성(2000)에 의해 조사된 전주지역 중·고등학교 운동장 먼지와의 비교에서도 중금속 원소 함량이 모두 낮게 나타나고 있다. 이는 비교적 대기 환경이 깨끗한 농촌지역 학교 운동장 환경은 도시 보다 오염의 정도가 낮은 것으로 해석 된다. 그러나 실외 먼지 시료 중에 함유된 중금속 원소는 1992년에 조사된 서울시의 주거 도로변 먼지 중의 중금속(Cd, Pb)함량 보다 높았으며 전주지역과의 비교에서는 Cu, Zn은 낮게 나타났으나, 다른 원소는 비슷하게 나타나고 있다. 선행 연구에서 교통량과 밀접한 관련이 있는 것으로 밝혀진 Pb, Zn의 함량을 전주지역과 비교했을 때 Pb의 함량은 거의 차이가 없으나 Zn의 함량은 현저하게 낮은 것으로 보아 전주 지역보다 자동차 배기가스로 인한 오염이 적다고 볼 수 있다. 또한 실내 먼지 시료 중에 함유된 중금속 원소는 전주 지역에 소재한 중·고등학교의 교실 실내먼지와 경기도 고양시와 의정부시의 토양과 영등포구와 구로구의 실외먼지 시료의 함량과 비교할 때, Cu, Zn의 함량은 비교적 낮으나 다른 원소는 대동소이 한 것으로 봐서 자동차 배기가스로 인한 오염의 영향은 적다고 판단되나(변희옥 외, 1996) 고창지역 소재 중·고등학교의 교실에서도 중금속의 농축이 진행되고 있다. 따라서 환기가 제대로 이루어지지 않고 있는 폐쇄된 실내 환경의 중금속 농축에 대한 대책이 필요하다고 본다.

### 지역별 분포상태

학교별 위치에 따른 지역별 차이를 알아보기 위하여 각 원소의 함량을 시료 채취한 학교의 위치에 원의 크기로 구분해 표시했다. Fig. 2는 교실 내 먼지

**Table 3.** Concentrations of heavy metals in soils and dusts in Korea (unit in ppm)

| | | Cd | Co | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn | Mn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Seoul | A | 0.2 | | | 18 | | 28 | 80 | |
| | B | 0.2 | | | 21 | | 31 | 82 | |
| | C | 1.4 | | | 216 | | 133 | 518 | |
| | D | 1.6 | | | 581 | | 271 | 727 | |
| Uijeongbu | E | 1.4 | 10 | 27 | 41 | 23 | 65 | 204 | |
| | F | 1.2 | 9 | 41 | 124 | 29 | 534 | 334 | |
| Koyang | G | 2.1 | 24 | 47 | 59 | 47 | 88 | 238 | |
| | H | 1.8 | 16 | 43 | 83 | 39 | 86 | 265 | |
| Youngdungpo-gu and Kuro-gu | I | 2.5 | | | 172 | | 173 | 465 | |
| | J | 0.5 | | | 22 | | 26 | 83 | |
| Kangseogu and Yangchon-gu | K | 3.0 | 16 | 69 | 640 | 75 | 252 | 1269 | 344 |
| | L | 2.4 | 15 | 93 | 292 | 73 | 273 | 1282 | 483 |
| Jeonju City | M | 6.3 | 22 | 107 | 715 | 71 | 268 | 866 | 231 |
| | N | 5.1 | 21 | 115 | 765 | 58 | 223 | 926 | 265 |
| | O | 3.0 | 16 | 94 | 87 | 42 | 107 | 364 | 245 |

Playground soil (A), playground dust (B), residential road dust (C), and main road dust (D) in seoul (Chon and Choi, 1992). Soils (E), dusts (F) from the Uijeongbu city (Chon and Ahn, 1996). Soils (G) , dusts (H) from the Koyang city (Chon and Ahn, 1996). Outdoor dusts (I), playground soils (J) from the Youngdungpo-gu and Kuro-gu (Byun et al., 1996). Indoor dusts (K) and outdoor dusts (L) from the Kangseogu and Yangchon-gu (Bae et al., 1998). Indoor dusts (M), outdoor dusts (N), playground soils (O) from the Jeonju City (Cho, 2000).

시료에 대한 것이고 Fig. 3은 교실 외 먼지시료, Fig. 4는 운동장 먼지 시료에 대한 분포도 이다. 그림에서 원의 크기는 최저값과 최고값 사이를 다섯 단계로 나누어 구분한 것이다. 따라서 이 그림은 원소별로 지역에 따른 상대적 함량의 차이를 보여준다.

Fig. 2를 보면 교실 내 먼지 중의 중금속 함량은 학교 위치에 따라 뚜렷한 차이를 보이지 않으나 2, 3, 4, 7번 학교에서는 산업지역에 많이 나타나는 Cd 이 다른 학교에 비해 4~8배 높게 나타나며 전주지역 및 서울지역보다 높게 함유되어 있다. 교실 외 먼지

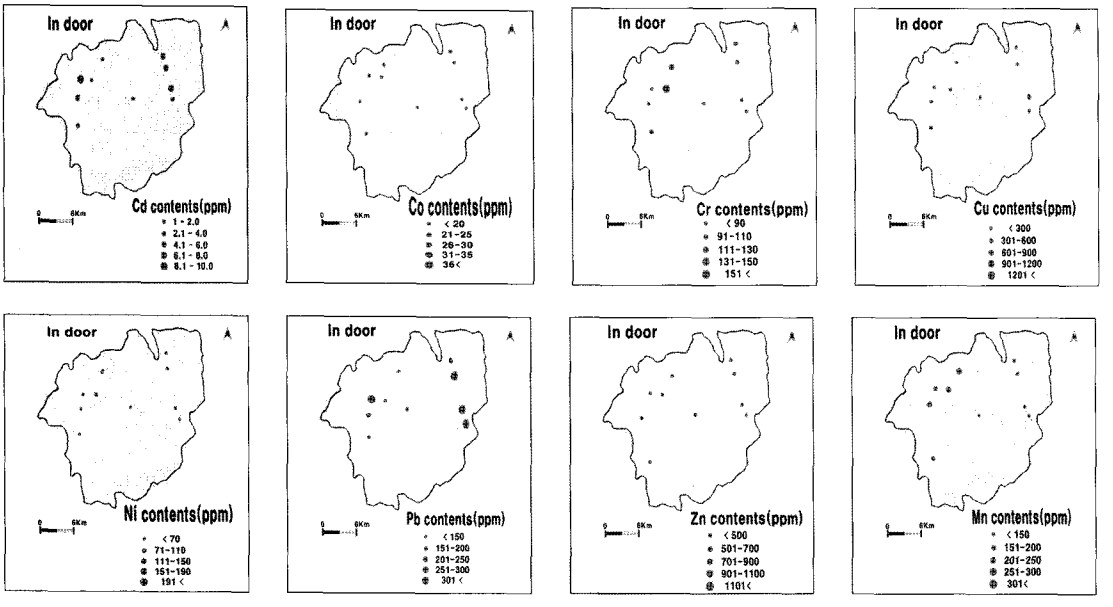


**Fig. 2.** A map of distribution of analyzed elements in dust samples from indoor of the 10 schools in Gochang-gun.

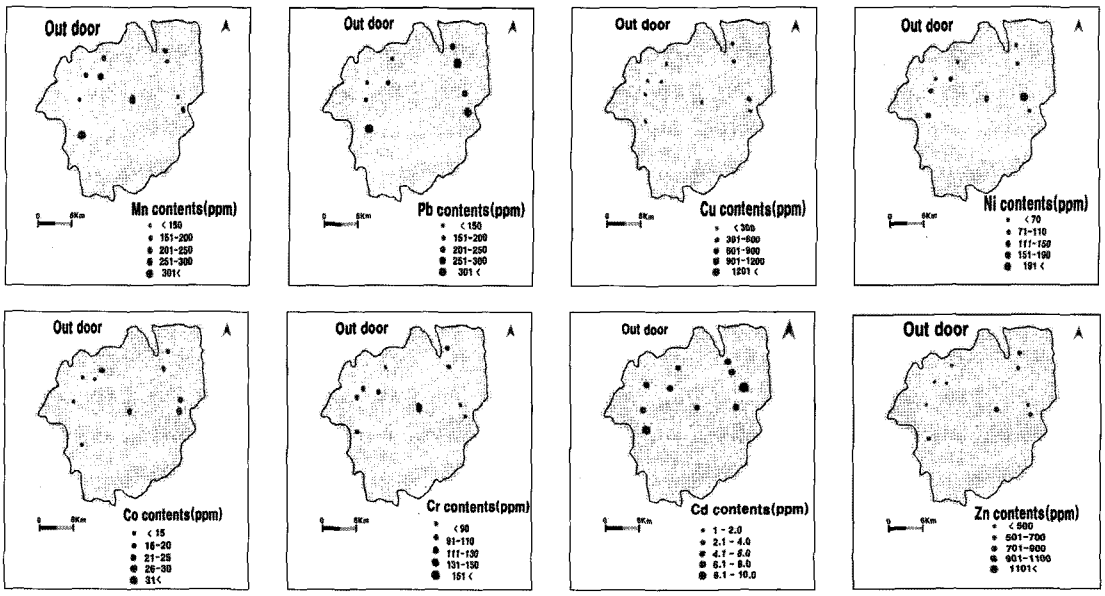


**Fig. 3.** A map of distribution of analyzed elements in dust samples from outdoor of the 10 schools in Gochang-gun.

시료에 대한 원소별 함량 분포는 Fig. 3에서 보는 것처럼 교실 내 먼지 시료에서의 특징과 거의 비슷하나 7번 학교는 다른 학교에 비해서 낮게 나타났다. 운동장 먼지 시료는 Fig. 4에서 보는 것처럼 6번 학교에서 Pb의 함량이 다량 함유되어 있는 것으로 나타났다. 그러나 읍내 소재와 관계없이 일정한 양상을 보여주지 않았다.

### 중금속 원소 간 상관성

토양이나 분진 중에 함유된 중금속은 자연적으로 유입되기도 하지만 일반적으로 인간 활동에 기인해 오염되기 때문에 원소들 간의 상관성을 살펴봄으로써 원소들의 배출원에 대한 정보를 얻을 수 있는데 상관성이 높은 것은 두 원소들 간의 배출원이 유사한 것으로 볼 수 있다. Table 4에 교실 내 외 먼지 시료

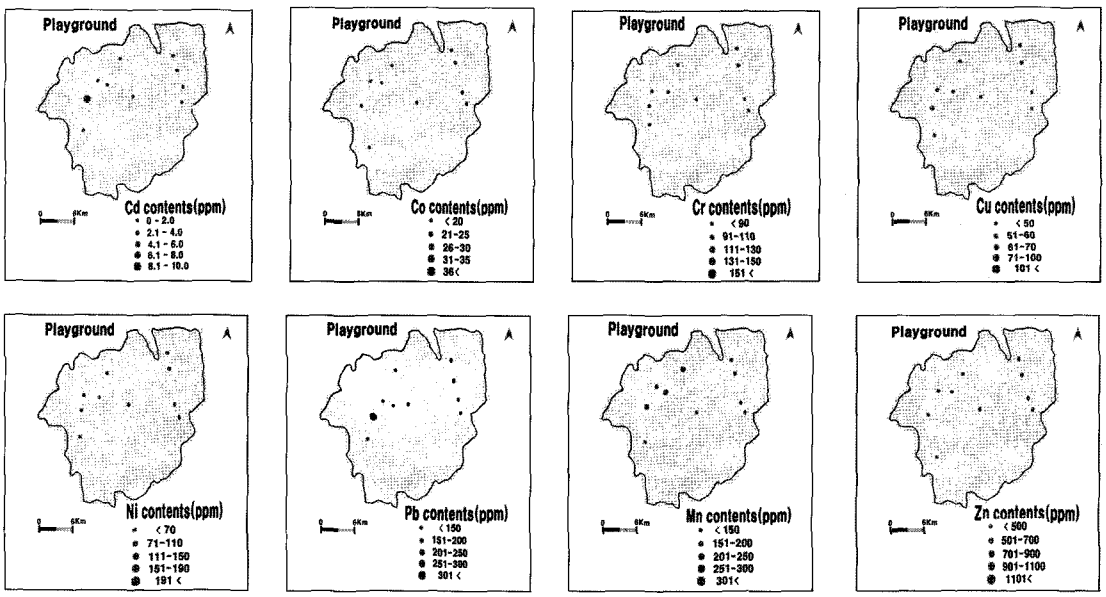


**Fig. 4.** A map of distribution of analyzed elements in dust samples from playground of the 10 schools in Gochang-gun.

**Table 4.** Correlation coefficients between analyzed elements in the dust from studied area

| Indoors | Cd | Co | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn | Mn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cd | 1.00 | | | | | | | |
| Co | 0.44 | 1.00 | | | | | | |
| Cr | -0.21 | 0.12 | 1.00 | | | | | |
| Cu | 0.07 | 0.02 | -0.17 | 1.00 | | | | |
| Ni | -0.06 | 0.15 | 0.86 | -0.34 | 1.00 | | | |
| Pb | 0.16 | -0.18 | -0.41 | 0.33 | -0.50 | 1.00 | | |
| Zn | 0.73 | 0.74 | -0.11 | 0.40 | -0.04 | 0.02 | 1.00 | |
| Mn | 0.24 | 0.63 | 0.36 | -0.37 | 0.48 | -0.03 | 0.26 | 1.00 |
| Outdoors | Cd | Co | Cr | Cu | Ni | Pb | Zn | Mn |
| Cd | 1.00 | | | | | | | |
| Co | 0.16 | 1.00 | | | | | | |
| Cr | 0.32 | 0.32 | 1.00 | | | | | |
| Cu | 0.21 | 0.04 | 0.03 | 1.00 | | | | |
| Ni | 0.43 | 0.24 | 0.16 | -0.08 | 1.00 | | | |
| Pb | 0.19 | 0.29 | -0.07 | 0.17 | -0.12 | 1.00 | | |
| Zn | 0.46 | 0.36 | 0.29 | 0.58 | 0.10 | 0.60 | 1.00 | |
| Mn | 0.51 | 0.26 | 0.58 | 0.08 | -0.16 | 0.24 | 0.30 | 1.00 |

에 대한 원소 간 상관 계수를 각각 나타냈다. 실내 먼지의 경우, 도료나 단열재 등에 포함된 원소인 Zn과 Cd, Zn과 Co, Ni과 Cr 등의 상관계수가 높게 나타나는데 비해 Zn과 Pb의 상관계수가 매우 낮은 것으로 보아 교실 내 먼지는 실내 기원의 오염이 높은 것으로 생각된다. 한편 실외 먼지의 경우는 Zn과 Pb의 상관계수가 제일 높아 주변 도로의 교통량의 영향을 받은 것으로 생각된다.

### 중금속 원소의 분산 양상

교실 내외 환경의 차이를 알아보기 위해 교실 내 먼지와 교실 외 먼지 중의 중금속 원소들의 함량 차이와 Table 1에 있는 자료를 살펴보면 교실 내외 및 운동장 먼지 중의 중금속 원소의 분산 양상은 Cd, Cr, Cu, Pb 등의 원소가 운동장 < 교실 외 < 교실 내의 순서로 증가 하는 경향을 보이고 나머지 원소 등은 교실 내외간 큰 차이가 없는 것으로 보이며 운동장은 다른 지역과 비교했을 때 현저하게 낮은 것으로 나타나 교실 내에서 이들 원소의 축적이 상당히 진행되고 있음을 알 수 있다. 건물의 1층과 2층을 구분해 시료를 채취해 분석했으나 층별에 따라 특별한 차이가 없었다.

### 오염지수

교실 내·외 환경의 중금속 오염은 여러 중금속들의 복합적인 현상 이므로 Pb, Cu, Zn 및 Cd 네 가지 중금속 원소들을 결합시켜 복합된 오염 양상을 설명할 수 있는 오염 지수(Pollution index)를 구해 Fig. 5와 같이 나타냈다.

계산에 사용된 문턱 값은 Kloke(1979)가 계산을 통하여 FAO/WHO에서 지정하는 음식물 중의 중금속의 허용 한도를 넘지 않을 토양의 문턱값(Pb 100

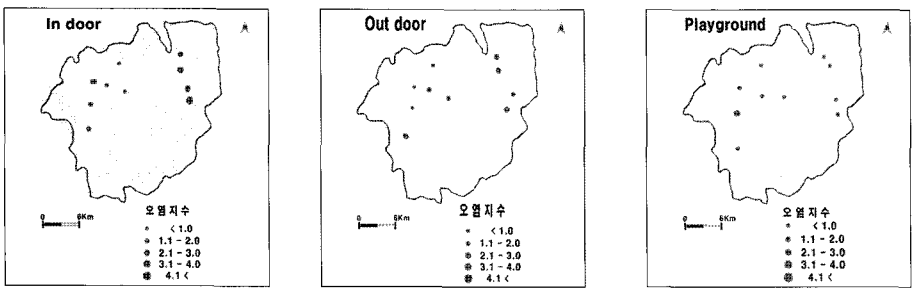


**Fig. 5.** A Map of pollution index using dust-bound metal concentrations from the school in the Gochang-gun.

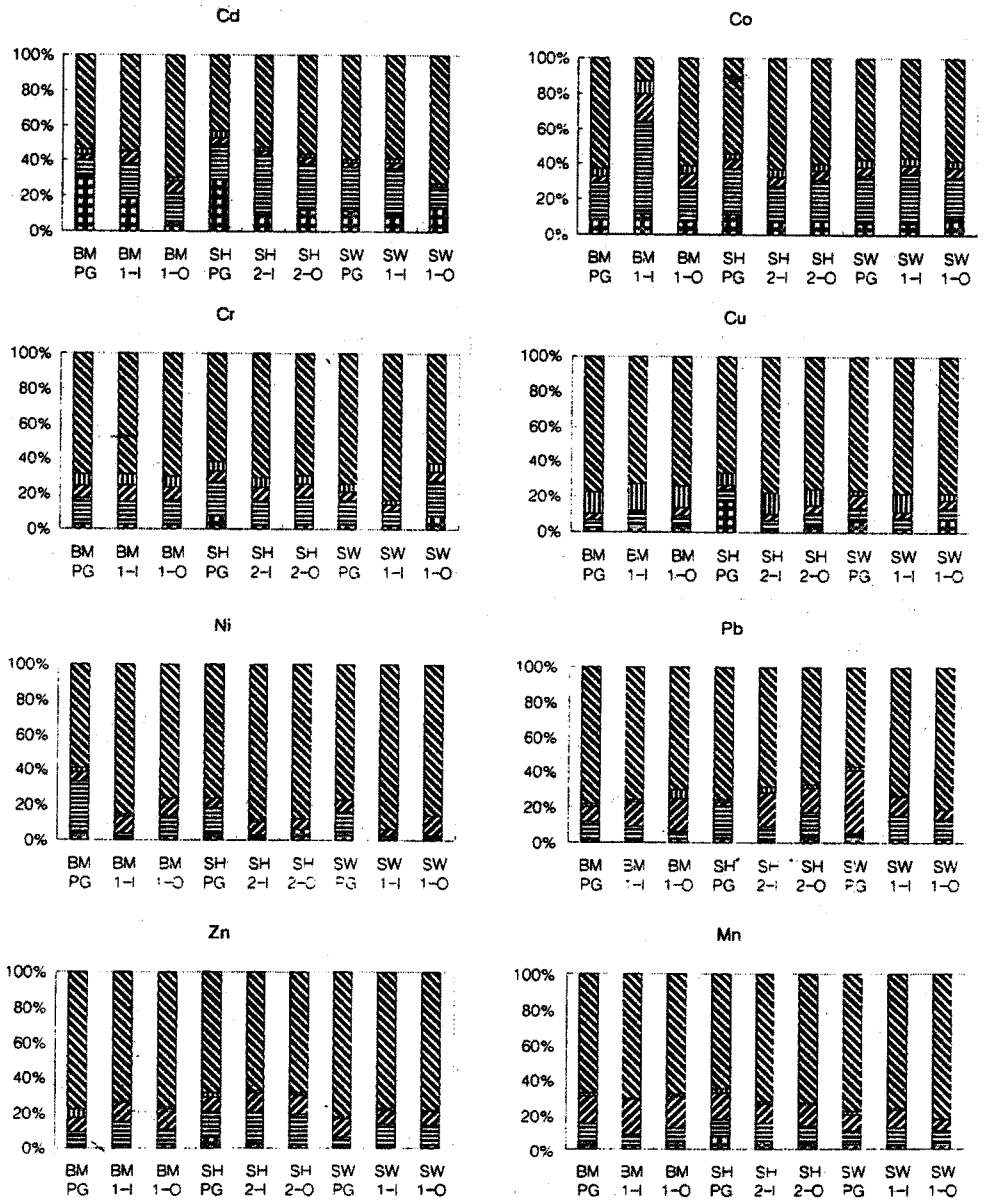


**Fig. 6.** The variation of existence form in the dusts by sequential extraction method (▦ residuals, ▤ organic, ▨ Fe & Mn oxides, ▥ carbonates, ▧ exchangeable. BM, SH, SW are abbreviation of selected schools).

ppm, Cu 100 ppm, Zn 300 ppm, Cd 3 ppm)을 택했다. 오염지수는 [(Cu의 함량/100)+(Pb의 함량/100)+(Zn의 함량/300)+(Cd의 함량/3)]/4로 구한다. 그림 Fig. 5에서 보면 교실 내 먼지는 7개 학교에서 1.0 이상이며 교실 외 먼지도 7개 학교에서 1.0 이상으로 나타나고 있다. 운동장에서는 1개 학교에서만 1.0 이상으로 나타났다. 오염의 축적이 실내에서 상당히 진행된 것을 알 수 있으며 교통량이 적고 공단이 없는 농촌 지역에 있는 학교의 교실도 중금속으로부터 자유로울 수 없음을 보여준다. 이는 교실의 먼지는 환경구성에 필요한 도색작업, 천정 단열재 작업, 분필가루, 겨울철의 난방 등에서 발생되는 환경오염물질의 축적에 기인하기 때문에 도시와 농어촌 간에 많은 차이가 없음을 알 수 있다.

**중금속 원소의 존재 형태**

중금속 원소의 함량이 비교적 많은 3개 학교(BM, SH, SW)를 선정해 각각 운동장, 교실 내, 교실 외 먼지시료 9개에 대해 Davidson등(1994)이 제시한 방법을 실험실 여건에 맞게 응용해 연속 추출 분석 했다. 이와 같은 방법은 국내 선행 연구에서도 많이 이용되고 있으며 연속 추출 분석 결과를 각 단계가 차지하는 비율로 나타낸 것이 Fig. 6이다. 대부분의 시료에서 중금속이 잔류 상을 제외한 형태가 월등히 많이 차지하는 양상을 띠고 있어 인위적인 오염원에 의해 영향을 받고 있음을 알 수 있다. Cr과 Cu 등은 탄산염 결합 형태가 우세하게 나타남으로써 선행연구에서와 마찬가지로 분진 내 탄산염 구성물질과 주로 결합하는 특징을 보여주는데 이는 분필가루와도 관계있는 것으로 여겨진다.

## 결 론

선행 연구에서는 도시화 및 산업화가 진행된 도시지역에서 중금속원소들의 분산양상과 오염의 특성을 조사하였지만 본 연구에서는 농촌 지역 10개 학교 중·고등학교를 선택해서 채취한 교실 내 먼지와 교실 외 먼지 및 운동장 먼지 시료 중에 포함된 중금속 원소를 분석해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

연구지역 10개 중·고등학교에서 채취한 교실 내 먼지시료의 중금속 평균 함량은 Cd 4.6 ppm, Co 14 ppm, Cr 71 ppm, Cu 124 ppm, Ni 38 ppm, Pb 291 ppm, Zn 350 ppm, Mn 176 ppm이고, 교실 외 먼지 시료의 중금속 평균 함량은 Cd 4.3 ppm, Co 16 ppm, Cr 69 ppm, Cu 113 ppm, Ni 59 ppm, Pb 238 ppm, Zn 399 ppm, Mn 215 ppm이며, 운동장 먼지 시료의 중금속 평균 함량은 Cd 1.4 ppm, Co 9 ppm, Cr 34 ppm, Cu 26 ppm, Ni 15 ppm, Pb 98 ppm, Zn 106 ppm, Mn 146 ppm이다.

교실 내 먼지 중의 중금속 평균 함량 중 Cd은 캐나다를 제외하고 6개 나라에서 제시한 토양 복원 기준 등을 초과 하고 있어서 교실 내에서 Cd의 농축이 심해지고 있음을 알 수 있다. Zn은 미국과 캐나다를 제외하고는 대부분 나라에서 제시한 환경기준을 초과하고 있으며 네덜란드 보다는 2배가량 높다. 교실 내 먼지 중에는 Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn 등의 중금속이 농축되어 있으며 특히 Cd, Cu, Pb, Zn이 심하다. 교실 외 먼지 중의 중금속 평균 함량은 분석한 8개 원소 중 Mn을 제외하고 7개 원소가 초과되는 것으로 나타났으며, 특히 Cu는 캐나다 환경기준의 5배, Ni은 3배, Pb은 12배, Zn은 3배로 나타나 농축이 아주 심함을 알 수 있다. 운동장 먼지 시료 중의 중금속 평균 함량은 각 나라의 환경기준과 비교했을 때 Cd만 미국, 네덜란드, 스위스에서 제시한 토양 환경 기준에 약간 초과 했을 뿐 대부분 기준치를 밑돌아 운동장에서의 농축은 덜 심각 한 것으로 나타났다.

국내 선행연구(서울, 전주)와 비교했을 때 실·내외 먼지 시료 중에 함유된 Cd, Pb는 서울시의 주거 도로변 먼지 중의 함량보다 높았고, 의정부시 도로변에서 채취한 먼지와의 비교에서는 Cd이 높은 함량을 나타내고 있다. 또한 전주지역과의 비교에서는 Cu, Zn의 함량이 전주에서 보다 낮았으나, 다른 원소는 비슷한 함량을 보였다. 따라서 실내 환경의 경우 원소별로 약간의 차이는 있지만 지역과 관계없이 중금속의 오염이 상당히 진행된 것으로 보인다. 선행 연구에서 교통량과 밀접한 관련이 있는 것으로 밝혀진 Pb, Zn의 함량을 전주지역과 비교했을 때 Pb의 함량은 거의 차이가 없으나 Zn의 함량은 현저하게 낮은 것으로 보아 전주 지역보다 자동차 배기가스로 인한 오염이 전주보다 적다고 볼 수 있으며 폐쇄된 실내 환경인 교실 내에서 이들 원소의 축적이 진행되고 있음을 알 수 있다.

Kloke의 기준에 의한 오염지수는 교실 내 먼지는 7개 학교에서 1.0 이상이며 교실 외 먼지도 7개 학교에서 1.0 이상으로 나타나고 있어서 서울지역이나 전주지역 교실 내외 환경과 별 차이를 보이지 않으나 운동장에서는 1개 학교에서만 1.0 이상으로 나타나는 것으로 보아 운동장에서는 오염의 정도가 덜한 것으로 나타났다.

운동장에서 중금속원소의 함량은 도시 지역보다 낮지만 교실 내외의 먼지 중 중금속 함량은 도시 지역과 큰 차이가 없다. 이는 교실내의 환경구성에 필요한 도색작업, 천정 단열재 작업, 분필가루, 겨울철의 난방 등에서 발생되는 환경오염물질의 축적으로 보인다. 따라서 실내 환경에 대한 관심이 요구된다.

## 사 사

이 연구는 전북대학교 2003학년도 해외연구년제 연구교수 지원에 의해 이루어졌습니다. 논문의 심사 과정에서 세심한 검토와 지적으로 도움을 주신 익명의 심사자들께 감사드립니다.

## 참고문헌


국립환경연구원, 2000, 선진국과 폐기물·토양기준 비교, 84 p.

김상현, 전효택, 1993, 삼보 연 · 아연 · 중정석 광산주변 하상 퇴적물에서의 중금속 오염연구, 대한광산지질, 26(2), 217-226.

김주용, 전효택, 1993, 서울 지역 토양과 분진 중의 Cu, Pb, Zn, Cd의 지구화학적 분산, 한국자원공학회지, 30, 163-176.

김홍제, 김연천, 이정자, 성시경, 최한영, 이승주, 박상현, 1986, 서울시 일원의 토양 중금속 오염도 조사, 서울특별시 보건환경연구소보, 22, 168-173.

나춘기, 전서령, 1995, 모악 금 · 은 광산에 방치된 폐석이 주변 수계 및 생태계에 미치는 환경적 영향, 자원환경지질, 28(3), 221-229.

변희옥, 김규한, 전효택, 1996, 서울시 영등포구와 구로구에 소재한 중학교 운동장의 토양과 옥외 분진의 중금속 오염, 한국지구과학회지, 17(2), 192-204.

배윤진, 김규한, 전효택, 안주성, 1998, 실내 · 외 환경의 분진 중 중금속 농도에 대한 연구, 한국지구과학회지, 19(5), 449-460.

오대균, 김정엽, 전효택, 1995, 동해탄광 주변 산성 광산폐수와 하상퇴적물의 지구화학, 자원환경지질, 28(3), 213-220.

이군자, 박청길, 유선재, 1985, 도로변 인접 토양 중의 납, 구리, 아연의 함량분포, 대한환경공학회지, 7(1), 26-37.

이진국, 최욱진, 이재영, 1989, 달성 폐광산 하류천의 중금속 오염에 관한 지구화학적 연구, 경북대학교 환경과학연구소 논문집, 3, 71-77.

이재영, 김종근, 이인호, 이진국, 1993, 경북지역 폐금속 광산이 환경에 미치는 영양, 광산지질, 26(4), 465-472.

이찬수, 정 권, 김진권, 1985, 서울시내 고정 배출원의 중금속 배출량 조사 연구, 연세대학교 산업대학원 석사학위 논문, 36.

이평구, 윤성택, 최상훈, 최병영, 1999, 서울시 도로변의 빗물받이에서 채취한 하수 슬러지의 중금속 오염평가. 자원환경지질, 32(6), 633-644.

이평구, 김성환, 소칠섭, 2001, 서울시 우수관 퇴적물의 중금속 오염평가 및 연속추출방법을 이용한 중금속 유동도 평가. 지질학회지, 37(4), 629-652.

전효택, 최완주, 1992, 도시 및 산업 환경 분진 및 토양 중의 중금속 원소들의 분산에 관한 연구, 광산지질, 25, 317-336.

전효택, 안주성, 1996, 수도권 위성도시의 토양과 분진의 중금속 오염에 대한 연구, 자원환경지질, 29, 87-100.

조규성, 정덕호, 1998, 전주일광산 주변의 환경오염에 관한 연구, 한국환경과학회지, 7(5), 623-631.

조규성, 2000, 전주시내 중고등학교 실내 · 외 환경의 중금속 오염에 대한 연구, 한국환경과학회지, 9(6), 495-503.

조규성, 2003, 전주시 도로변 퇴적물의 중금속 오염 특성. 한국지구과학회지, 24(8), 711-720.

Alina Kabata-Pendias and Henryk Pendias, 1984, Trace elements in soils and plants, CRC Press, 315.

Chon, H.T., K.W. Kim and J.Y. Kim, 1995, Metal contamination of soils and dusts in Seoul metropolitan city, Korea, Environmental Geochemistry and Health, 17, 139-146.

Chon, H.T., J.S. Ahn and M.C. Jung, 1998, Seasonal variations and chemical forms of heavy metals in soils and dusts from the satellite cities of Seoul, Korea, Environmental Geochemistry and Health, 20, 77-86.

Culbard, E. B., I. Thornton, J. Watt, S. Wheatly, S. Moorcroft and M. Thompson, 1988, Metal contamination in British urban dusts and soils, Journal of Environmental Quality, 17, 226-234.

Davidson, C.M., R.P. Thomas, S.E. Mcvey, R. Perala, D. Littlejohn and A.M. Ure, 1994, Evaluation of sequential extraction procedure for the speciation of heavy metal in sediments, Analytica Chimica Acta, 291, 277-286.

Fakayode, S.O. and Olu-Owolabi, B.I., 2003, Heavy metal contamination of roadside topsoil in Osogbo, Nigeria: its relationship to traffic density and proximity to highways. Environmental Geology, 44, 150-157.Fergusson, J.E., E.A. Forbes, R.J. Schroeder and D.E. Ryan, 1986, The Elemental Composition and Sources of Home Dust and Street Dust. Science Total Environment, 50, 217-221.

Kim, DS, An, KG and Kim, KH, 2003, Heavy metal pollution in the soils of various land use types based on physicochemical characteristics. Journal of Environmental Science and Health Part A, 38, 839-853.

Li, X., Poon, C. and Liu, P.S., 2001, Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. Applied Geochemistry, 16, 1361-1368.

Pendias, A. K., 1984, Trace elements in soils and plants, CRC Press, 315.

Tessier, A., Campell, P.G.C. and Bisson, M., 1979, Sequential Extraction Procedure for the Speciayion of Particulate Trace Matals. Analytical Chemistry, 51, 844-851.

Thompson, M. and Wood, S. 1982, Atomic absorption methods in applied geochemistry; in Cantle, E.J. (ed.), Atomic absorption spectrometry, Elsevier, Amsterdam, 261-284.

Thornton, I., 1990, Soil contamination in urban areas, Ploaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 82, 121-140.

Thornton, I., Culbard, E., Moorcrofts, S., Watt, J., Wheatly and Thompson, M., 1985, Metals in urban dusts and soils, Environmental Technology Letters, 6, 137-144.


2005년 12월 1일 접수
2006년 1월 3일 수정원고 접수
2006년 1월 18일 원고 채택