

도시 및 산업환경 분진 및 토양중의 중금속 원소들의 분산에 관한 지구화학적 연구

전효택* · 최완주*

A Geochemical Study on the Dispersion of Heavy Metal Elements in Dusts and Soils in Urban and Industrial Environments

Hyo-Taek Chon* and Wan-Joo Choi*

ABSTRACT: The garden soils, main road dusts, residential road dusts, and playground soils/dusts of Seoul, Geumsan, Onsan, and Taebaek areas were analyzed in order to investigate the level of heavy metal pollution by urbanization and industrialization.

The soil pH is in the range of 5.48~8.40 and was generally neutral. The color of soils and dusts is mainly Raw Umber to dark greyish Raw Umber. Some samples from Taebaek city, a coal mining area, showed a deep black color due to contamination by coal dusts. Major minerals of the dusts and soils are quartz, feldspars, and micas, reflecting the composition of the parent rocks. However, pyrite was found as a major mineral in the samples of industrial road dusts of Onsan, a smelting area, and residential road dusts of Taebaek. Thus, the high level of heavy metals in mining and smelting areas can be explained with the sulfide minerals. The mode of occurrences of heavy metals in Seoul, a comprehensive urbanized area, were related to the metallic pollutants and organic materials through observation by scanning electron microscopy.

In main road and residential road dusts of Onsan area, Cd, Zn, and Cu were extremely high. Some industrial road and residential road dusts of Seoul area showed high Cu, Zn, and Pb contents, whereas some garden soils and residential road dusts of Taebaek area were high in As content. In general, the heavy metal contents in dust samples were two to three times higher than those in soil samples. Main road dust samples were the most reflective from the discriminant analysis of multi-element data. Cadmium, Sb, and Se in Onsan area, As in Taebaek area, Pb and Te in Seoul area were most characteristic in discriminating the studied areas. Therefore, Cd in smelting areas, As in coal mining areas, and Pb in metropolitan areas can be suggested as the characteristic elements of each pollution pattern.

The dispersion of heavy metal elements in urban areas tends to originate in main roads and deposit in garden soils through the atmosphere and residential roads. The heavy metal contamination in Seoul is characteristic in areas with high population, factory, road, and traffic facility densities. Heavy metal contents are high in the vicinity of smelters in Onsan area and are decayed to background levels from one kilometer away from the smelters.

서 언

암석이나 토양중에 부존하는 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 원소들로는 Cd, Cu, Hg, Zn,

Pb, As, Mo, Se, Sb, Tl 및 Cr 등을 들 수 있다. 이들 중금속류의 주요 오염원은 광산 및 제련소이지만 이외에도 자동차 배기가스 및 각종 산업 폐수와 폐기물에서도 배출되고 있다.

국내에서 환경 오염과 관련된 최근의 연구들로는 서운수 (1985), 유순호 등 (1985), 이서래, 송기준 (1986), 홍사육, 박승희 (1984), 김영미, 고영수 (1986) 등이 있다. 또한 토양내 원소들의 분포와 화학적 거동에 관하여는 엄석원 등 (1985), 전성환 (1984), 김홍제 등 (1986), 김교봉 등 (1985)의 연구가 있다. 그리고 분진에 관한 연구의 예로는

* 서울대학교 공과대학 자원공학과 (Dept. of Mineral and Petroleum Engineering, College of Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

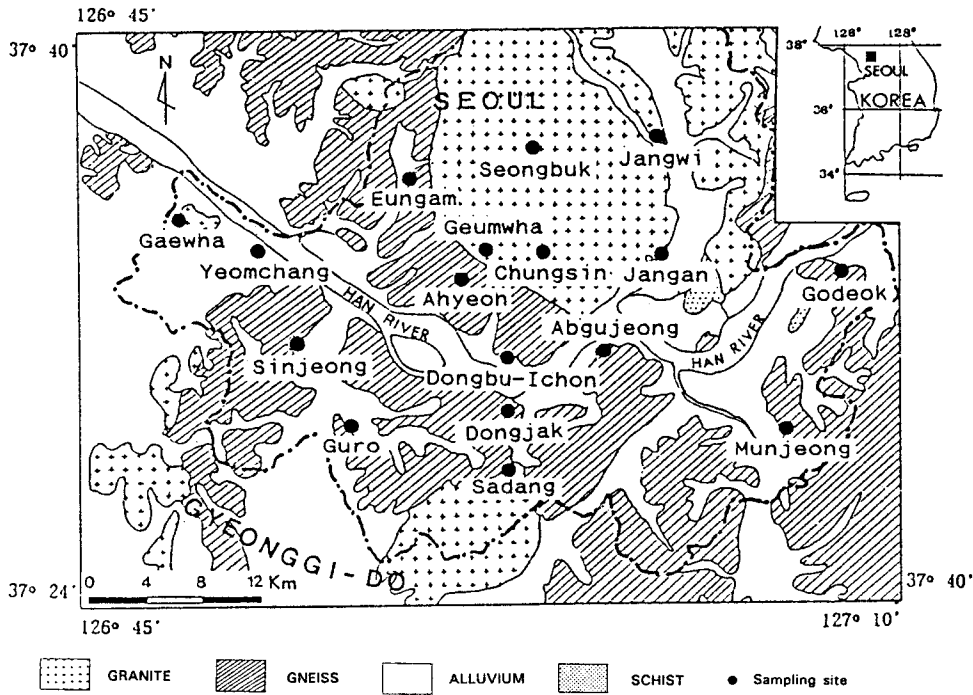


Fig. 1. Geologic map of Seoul area showing the location of sampling sites.

허문영 등 (1986), 정용 등 (1987), 이민희 등 (1985), 이찬수 등 (1985)이 있다. 그러나 지금까지의 연구들은 해당 지역의 지질학적 정보 및 지리적 특성과 관련한 유독성 중금속 원소들의 거동 특성자료가 부족하고 또한 도시 환경의 토양과 분진중에 존재하는 전형적인 금속 원소에 대한 체계적인 정보를 제시하지 못하고 있기 때문에, 유독성 원소들이 동식물과 인체에 축적되는 환경지구화학적 기구를 규명하기에는 미흡하다고 할 수 있다.

외국의 경우 환경지구화학적 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 영국에서는 이미 1978년에 England와 Wales 지방의 광역 지구화학지도 (Pb, Cd, Mo 등 24개 원소 대상)가 완성 (Webb et al., 1978)되어 광물 탐사뿐만 아니라 환경 문제와 농업 및 목축에 응용되고 있다. 또한 70년대 초부터 중금속 오염에 대한 연구가 이루어진 결과, 토양 및 분진중의 중금속 함량은 매년 증가하고 있으며 육내분진중의 금속 함량이 정원토양보다 높을 뿐만 아니라 어린이들에게 유입되는 Pb의 주요 매체중 하나임을 밝히고 있다 (Watt et al., 1983, 1987; Culbard et al., 1983; Thornton et al., 1985, 1990; Davies et al., 1987, 1990; Hunt et al., 1989).

본 연구에서는 서울시를 주연구 대상지역으로 하여 토

양시료 및 강하분진 (이하 분진이라 함)을 채취하여 시료들간의 중금속 함량의 상관성을 조사함으로써 유독성 원소들의 분산 양상을 규명하고자 하였다. 또한 비교지역으로 경남 온산 공단과, 강원도 태백시, 전원지역인 충남 금산읍에서 토양 및 분진을 채취하여 중금속 원소들의 분산 양상을 조사함으로써 도시화 및 산업화에 따른 중금속 원소들의 분포특성과 분산패턴을 알아 보고자 하였다.

지질 및 도시 특성

중금속에 의한 환경오염은 자연 환경중에 중금속이 원래부터 부화되어 있는 일차적인 경우와 인간 활동에 의해 환경이 오염되는 2차적인 경우로 대별된다. 이 중 전자에 대하여는 전효택, 정명채 (1991)의 함우라늄 흑색 세일 분포 지역에서의 유독성 원소들의 분산에 관한 연구가 있으며, 후자의 경우, Siegel (1974)이 도시화와 산업 기술의 발전을 오염의 주요 요인으로서 강조한 바 있다. 본 장에서는 조사 지역들의 지질 및 도시의 특성을 통해 광화작용에 의한 오염 가능성과 도시화 및 산업화에 의한 오염의 가능성을 찾아보고자 하였다.

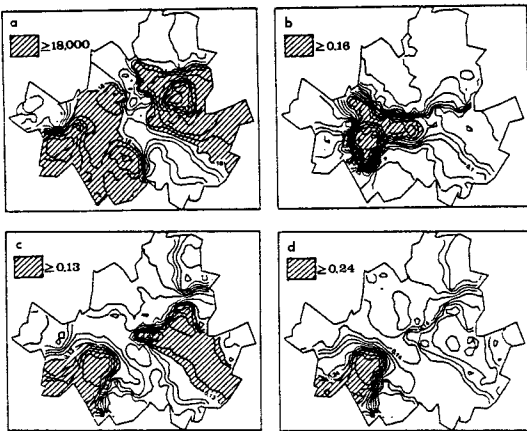


Fig. 2. Characteristic maps of Seoul area. a; Population Density, b; Factory Density, c; Industrialization and Urbanization Index 1, and d; Industrialization and Urbanization Index 2.

서울지역

서울지역의 지질 및 시료채취 지점을 Fig. 1에 나타내었다. 가장 널리 분포하는 호상흑운모 편마암은 북서부와 중앙부, 그리고 동부에 분포된다. 주구성 광물은 석영, 사장석, 흑운모이고 부구성 광물은 정장석, 백운모, 녹니석, 견운모, 인회석, 저어콘, 규선석 등이다. 동부에 나타나는 운모편암류의 주구성 광물은 흑운모, 백운모 및 석영이다 (홍승호 등, 1982). 북부에 나타나는 대보화강암의 주구성 광물은 석영, 사장석, 정장석, 미사장석 및 흑운모이며, 부구성 광물은 백운모, 녹니석, 인회석, 스피넬, 각섬석, 휘석 등이다 (홍승호 등, 1982). 남부의 대보화강암은 암주상으로서 호상흑운모 편마암을 관입하고 있으며, 석영, 사장석, 정장석, 미사장석, 흑운모 및 미량의 불투명 광물로 구성되어 있다 (김남장, 홍승호, 1975).

서울시는 1990년말 현재 면적 605.43 km², 인구 10,576,794명 (인구밀도 17,470명/km²), 시가지 면적 374.55 km²의 초대형 도시이다 (내무부, 1990). 서울통계연감 (서울시, 1991)을 기초로 작성한 도시화 특성을 Fig. 2에 도시하였다. 인구밀도 (Fig. 2-a)는 동대문구와 양천구가 가장 높다. 각 구에 존재하는 공장수를 구별 면적으로 나눈 공장 밀도 (Fig. 2-b)는 구로구와 영등포구에서 높다. 공장, 도로, 교통시설 등이 차지하는 면적을 각 구별 면적으로 나눈 도시화 및 산업화지수1 (Fig. 2-c)과, 여기에 산업오염강도지수 (화학, 기계, 비금속, 1차금속 기업수를 총기업수로 나눈 값)를 가중시킨 도시화 및 산업화지수2 (Fig. 2-d)는 모두

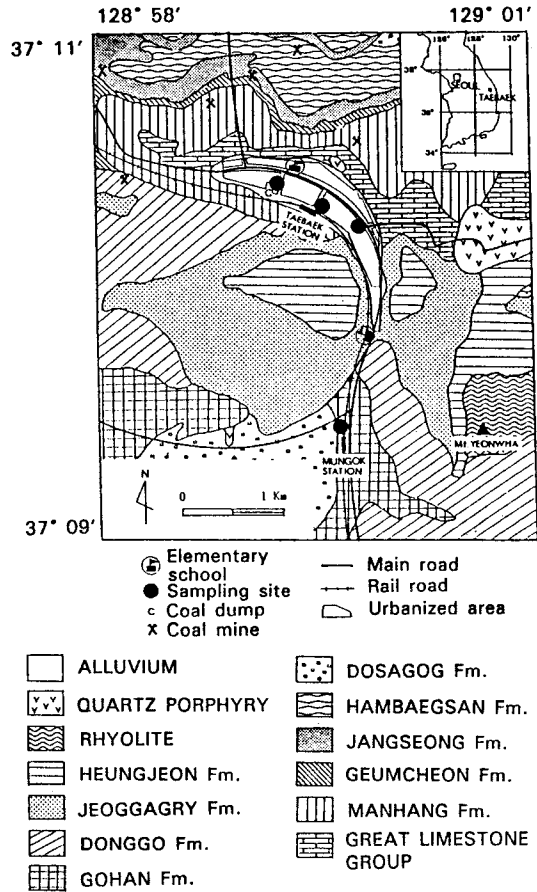


Fig. 3. Geologic map and the location of sampling sites of Taebaek area.

영등포구와 구로구가 가장 큰 값으로 묶이고 있다.

태백지역

태백시는 우리나라 육천계의 북동부에 위치하는 지역으로서, 대부분 고생대 지층이 분포하며 중생대 지층이 좁게 나타나는데 (김옥준 등, 1982), 폐름기의 함탄층인 장성층을 따라 주위에 삼척탄전이 형성되어 채탄활동이 수행되어 왔다. 본 연구에서는 가장 도시화가 진행되어 있는 지역인 황지동을 시료채취 대상으로 하였다 (Fig. 3).

이 지역의 지질은 고생대의 대석회암층군과 평안계의 지층들, 그리고 중생대 백악기의 지층들로 구성되어 있다. 평안계의 장성층은 2~3매의 탄층을 협재하는데, 중탄층과 하탄층이 주가행 탄층이다 (대한광업진흥공사, 1990). 백악기의 지층들은 주로 역암으로 구성된 적각리층과 화산

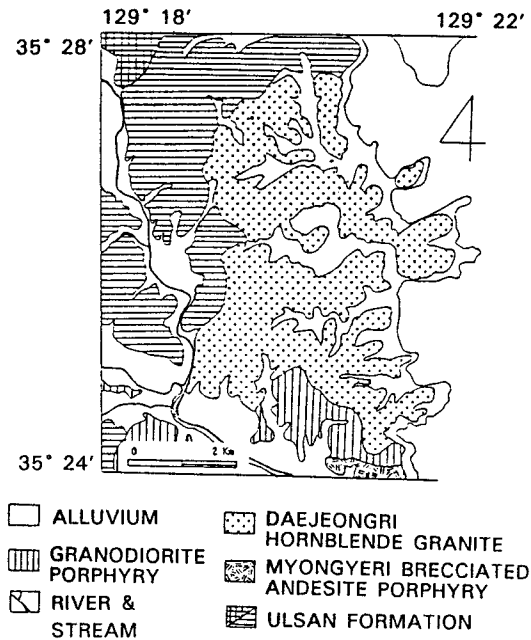


Fig. 4. Geologic map of Onsan area.

암류인 석영반암, 유문암, 응회암으로 구성된 홍전층으로 이루어져 있으며 고생대의 지층들을 부정합으로 덮고 있다.

한국도시연감 (내무부, 1990)에 따르면, 태백시는 서울시의 3분의 1이 넘는 넓은 도시 면적에 비해 총 25,825 가구, 인구 105,858명을 가지며, 이 인구 중 12%가 31개의 광산업체에 근무하고 있어, 지질 및 도시의 특성으로 볼 때 전형적인 광산도시로 판단되며 광산 활동에 의한 환경 오염의 가능성에 관심이 모아진다.

온산지역

이 지역의 지층 (Fig. 4)은 울산층이 최하부에 분포되고, 이들 지층을 관입한 명예리합각력안산암, 그리고 대정리 각섬석화강암, 화강섬록반암의 순서로 구성된다 (박양대, 윤형대, 1968). 북부에서 서부로 넓게 분포되어 있는 울산층의 호른펠스는 석영, 사장석, 녹염석, 녹니석 등으로 구성되며 드물게 석류석과 점상의 철광들이 관찰된다 (박양대, 윤형대, 1968). 가장 넓게 분포하고 있는 대정리 각섬석화강암의 주구성 광물은 석영, 정장석, 각섬석 등이다 (박양대, 윤형대, 1968).

이 지역은 원래 어촌들이었으나 1974년 온산면 일대

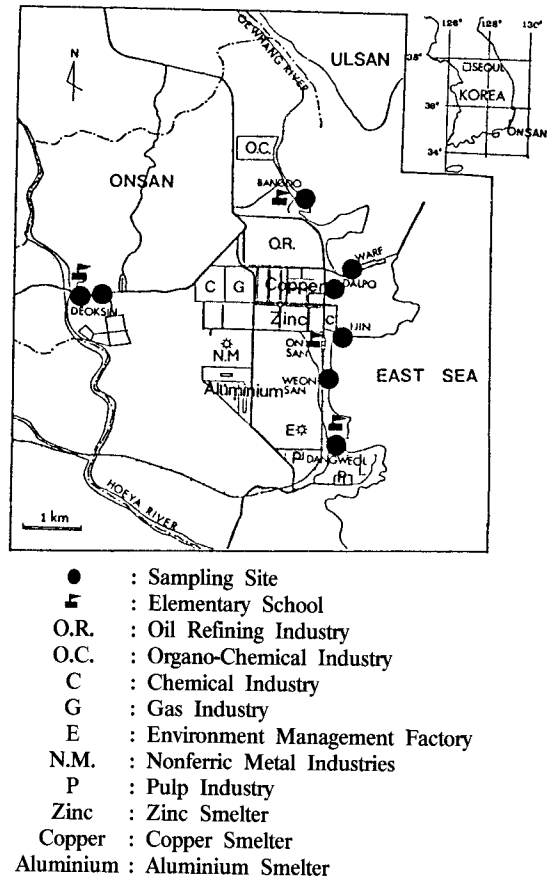


Fig. 5. A map showing the locations of sampling sites and smelters in Onsan area.

19개 부락 5백만평이 비철금속공업단지로 지정되면서 공단으로 변화하였다 (한국공해문제연구소, 1986). 해안을 따라 중금속 제련공장 및 정유, 펄프, 비료, 화학, 유기화학, 염료업체 등이 위치하고 있으며, 서쪽 덕신리 일대에 주거지역이 형성되어 있다 (Fig. 5). 대규모의 동 및 아연제련공장에서 배출되는 중금속류와, 정유 및 제지공장에서 배출되는 산성물질들, 화학공장에서 배출되는 화학물질 등에 의한 토양 및 대기 오염이 예상되고 있다.

금산지역

충남 금산읍 주변의 지질은 선캠브리아기 편마암류, 시대 미상 옥천층군, 주라기 화강암, 백악기 화성암류, 제 4기 충적층 등으로 구성되어 있으며, 주로 주라기 흑운모 화강암과 이를 관입한 백악기 석영반암이 북동부 및 동

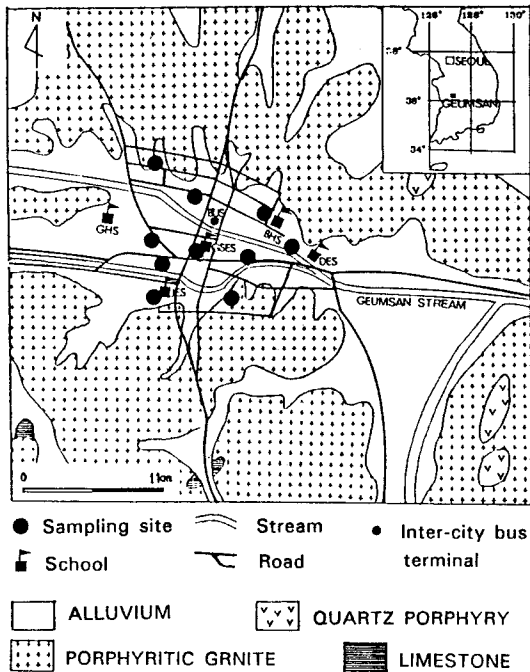


Fig. 6. Geologic map and the location of sampling sites of Geumsan area. GHS; girls' high school, BHS; boys' high school, JES; Jungang Elementary School, GES; Geumsan Elementary School, and DES; Dong Elementary School.

남부에 존재하고, 옥천층군의 일부가 남서부에 소규모로 분포하고 있다 (Fig. 6). 주라기 화강암은 주로 흑운모 화강암으로 구성되어 있으며, 주구성 광물은 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 각섬석 등이다 (홍승호 최위찬, 1978). 백악기 석영반암은 정장석, 석영, 사장석, 각섬석 등이 주구성 광물이다 (홍승호, 최위찬, 1978).

이 지역에서 이루어지는 주요산업은 인삼재배 중심의 농업이며, 인삼가공을 위한 8개의 소규모 식품가공 공장과 3개의 기계 및 화학공장에서 1990년 현재 234명이 종사하고 있다 (내무부, 1990). 도시의 규모 및 산업 활동에 견주어 볼 때, 이 지역은 도시의 특성이 약간 나타나는 전원지역이라고 할 수 있으며, 현장조사 기간 중 환경오염의 증거는 찾기 어려웠다.

시료채취 및 처리

시료채취

현장조사 및 시료채취는 1991년 3월에서 동년 4월에

걸쳐 실시되었다. 서울시의 경우 16개의 가옥과 16개의 국민학교에서 31개의 토양 및 49개의 분진 시료를, 태백시의 경우 4개 가옥과 2개의 국민학교에서 7개의 토양 및 10개의 분진 시료를, 온산공단의 경우 8개의 가옥과 4개의 국민학교에서 16개의 토양 및 13개의 분진시료를, 그리고 금산읍의 경우 10개의 가옥과 3개의 국민학교 및 2개의 고등학교에서 19개의 토양 및 20개의 분진 시료를 채취하여, 총 73개의 토양 및 92개의 분진시료를 채취하였다.

1) 정원토양: 가옥의 정원 혹은 후원에서 0~5 cm 깊이의 표토를 채취하였다. 시료의 대표성을 높이기 위하여, 모종삽으로 25개의 부분시료를 정방형 격자 (격자점간 간격 1 m)의 각 격자점에서 채취하여, 총 1 kg 이상의 하나의 복합시료를 확보하였다.

2) 도로분진: 선정된 가옥과 가장 가까운 주거도로 및 대로를 선정, 차도와 보도 사이의 홈 (gut)에서 일정한 간격 (1 m)으로 붓과 쓰레받기를 이용하여 시료당 25개의 지점에서 분진을 쓸어 모아 하나의 복합시료를 채취하는 방법으로 주거지역 도로와 인근 대로에서 각각 1개씩 채취하였다.

3) 국민학교 운동장: 선정된 가옥의 인근에서 최소한 1개의 국민학교를 선정하여 토양 시료와 분진 시료를 채취하였다. (가) 분진시료: 건물의 영향이 적은 운동장의 중앙에서 1 m 간격으로 25개의 격자점을 구성하여 붓과 쓰레받기를 이용하여 하나의 복합시료를 채취하였다. (나) 토양시료: 분진이 채취된 동일한 지점에서 0~5cm 깊이로 모종삽을 이용하여 25개의 부분 시료를 채취, 하나의 복합시료를 확보하였다.

시료처리

토양시료는 As, Hg, Se 등 휘발성 원소들의 손실을 방지하기 위하여 55°C 에서 완전 건조시킨 후 -10 mesh로 체질하였으며, 이 시료들을 축분, 시료 중 4분의 1을 다시 체질하여 -80 mesh 입도를 분리하였다. 대로 분진과 주거도로 분진, 운동장 분진에 대하여는 자연건조 후 -80 mesh로 체질하였다. 토양시료중 -10 mesh로 체질한 시료는 토양의 pH를 측정하기 위한 것이며, -80 mesh로 체질된 토양 및 분진 시료는 화학분석 및 주사전자원미경 관찰을 위한 것이다. 또한 광물조성을 감정하기 위하여 35개의 토양 및 분진 시료를 선별, -200 mesh 입도로 미분쇄하여 X-선 회절 분석을 실시하였다.

토양 및 분진의 특성 분류

시료의 색 구분

-80 mesh 입도로 분리된 토양과 분진 시료에 습기를 가하여 색을 구분하였다.

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

토양에서 가장 흔하게 나타난 색은 황갈색 계통 (Raw Umber)이며 이러한 색은 대부분의 정원토양에서 두드러졌다. 그러나 운동장 토양은 주로 황색 (Medium/Light Yellow, Golden Curry) 내지 황록색 (Fern Green Light, Light Green)의 색을 띠었다. 정원토양은 시료중에 포함된 철이 산화되어 주로 갈색을 나타내는 것으로 판단되며, 운동장 토양의 밝은 색은 심한 용탈의 결과라고 생각된다. 시료의 색중 특징적인 것은 태백지역에서 나타나는 암흑색 (Carbon Black)으로서, 특히 저탄장 부근의 정원토양에서는 가장 진한 흑색이 관찰되었는데, 이는 토양의 성분에 석탄분진이 많이 포함된 결과라고 생각된다.

분진의 색은 주로 암갈색 (dark Raw Umber) 및 회갈색 (dark greyish Raw Umber), 암갈색 (Burnt Umber), 또는 밝은 황록색 계통을 나타냈다. 분진의 색이 어둡게 나타난 시료는 대로분진 및 주거도로 분진이었으며, 밝게 나타난 시료는 운동장 분진이었다. 대로분진과 주거도로의 어두운 색은 자동차에서 배출되는 배기가스와 자동차 타이어의 마모로 인해 유입된 유기물질에서 기인된 것으로 판단된다. 태백 지역의 주거도로와 대로에서는 석탄 및 광석분진이 유입된 결과 가장 어두운 색이 나타났다.

토양의 pH 측정

73개 토양시료의 pH를 측정하였다. 측정 방법은 Hoffman (1987)이 제안한 현장 측정 방법과 엄석원 등 (1985)이 이용한 실험실 측정 방법을 참고하여 예비실험을 거친 후, -10 mesh의 건조 시료 20g에 50 ml의 증류순수를 가하고 30분간 자동진동기에서 진탕시킨 다음 30분간 방치시켜 Orion SA-720 pH meter로 안정화된 값을 측정하였다. 중금속 원소들은 대개 산성 산화환경에서는 이동도가 큰 반면, 알칼리성 환원 환경에서는 이동성이 제한되어

광물상태로 침전되거나 음이온들과 착물을 형성하여 침전되므로 (Fortescue, 1980), 환경지구화학에서 pH측정은 매우 중요하다.

측정 결과 시료들은 주로 중성 영역에 가깝게 나타났다. 그러나 운동장 토양에서 pH가 약간 높게 (서울신용산국교 8.39; 서울염창국교 8.01; 서울성북국교 8.40; 금산중앙국교 8.03), 화단 토양과 정원토양은 약한 산성 (서울연은국교 화단 6.0, 온산덕신국교 화단 5.0, 성북동 정원 6.51, 태백 저탄장 부근 정원 6.83, 온산 이진리 후원 6.18, 금산 상리 정원 5.48)을 나타내었다. 전자의 경우 주기적인 마사토와 소금의 살포에 기인한 것으로 생각되며, 후자의 경우 유기물질을 많이 포함하는 산성환경이기 때문인 것으로 판단된다.

화학분석 결과 및 고찰

토양 및 분진 시료중 지역의 대표성을 고려한 136개 시료에 대하여 캐나다의 ACTLAB (Activation Laboratories Ltd.)에 의뢰하여 각 시료의 15g을 분석하였다. 분석된 원소는 Ag, As, Au, Bi, Cd, Cu, Ga, Hg, Mo, Pb, Sb, Se, Tl, Te, Zn 등이며, 이 중 Au는 graphite furnace system을 부착한 원자흡광 분광 광도계 (AAS)로, 기타의 원소들은 전함량분해법에 의해 시료용액을 만들어 유도 분극 아르곤 플라즈마 분광 광도계 (ICAP)로 분석하였다. 분석 결과의 지역별 통계량을 Table 1에 나타내었다.

As의 경우 정원토양의 평균 함량은 16.8 ppm으로 Levinson (1974)이 제시한 토양중 평균 함량 1.5 ppm에 비해 11배 이상 높으며, Rose et al. (1979)이 제시한 7.5 ppm, Pendias (1984)가 제시한 11.3 ppm보다도 높다. Rose et al. (1979)에 의하면 As의 함량은 석탄에서 특히 높아서 석탄의 연소에 따라 대기중에 휘발됨으로써 오염을 야기시킨다고 알려져 있다. 분석결과 As의 함량은 온산의 정원토양이 평균 25 ppm으로 가장 높고, 태백지역은 19.6 ppm이었으며, 금산지역과 서울지역은 Pendias (1984)가 제시한 함량과 유사한 각각 11.3 ppm, 12.7 ppm으로 분석되었다. 운동장 토양에서는 평균 6.5 ppm으로 정원토양에 비해 낮다. 그러나 태백지역의 운동장 토양은 17.2 ppm으로 석탄분진에 의한 오염을 반영하고 있다. 분진시료의 경우 태백지역의 대로 및 주거도로 분진에서 주로 높게 나타났으며, 각각 47 ppm, 59.7 ppm의 평균 함량을 보였다.

Cd의 경우 Levinson (1974)은 1 ppm을, Rose et al.

Table 1. Mean, standard deviation, median, minimum and maximum values of the analyzed samples in studied areas. Numbers in parentheses denote the number of the samples analyzed. AVG; average content, STD; standard deviation, MED; median, MIN; minimum, and MAX; maximum.

ELEMENTS UNITS	Ag	Au	As	Bi	Cd	Hg	Sb	Se	Te	Cu	Mo	Pb	Zn	Ga	Tl
DETECTION LIMITS	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
GARDEN	AVG	148.33	12.50	11.32	0.98	0.57	1.09	0.73	0.13	39.63	2.48	48.03	234.67	8.67	2.45
	STD	39.72	5.53	1.69	0.08	0.14	0.77	0.30	0.01	3.09	1.19	6.34	12.50	0.80	0.28
	MED	144.00	11.00	11.30	1.02	0.56	0.23	1.11	0.53	38.30	1.86	47.40	243.00	8.46	2.44
	MIN	102.00	6.60	9.25	0.87	0.40	0.15	1.03	0.50	36.70	1.44	40.60	217.00	7.82	2.12
	MAX	199.00	19.90	13.40	1.06	0.74	1.83	1.12	1.16	43.90	4.15	56.10	244.00	9.74	2.80
U PLAY-	AVG	48.80	6.42	2.57	0.44	0.14	0.28	n.d.	0.09	7.88	0.34	17.43	80.97	5.55	2.50
	STD	15.98	8.12	1.34	0.12	0.05	0.09	n.d.	0.01	1.41	0.11	6.22	29.74	2.26	0.36
	MED	49.90	1.04	3.44	0.39	0.15	n.d.	0.28	n.d.	8.69	0.35	15.90	61.20	5.08	2.52
	MIN	28.70	0.33	0.68	0.33	0.08	n.d.	0.18	n.d.	5.90	0.21	10.70	58.70	3.05	2.05
	MAX	67.80	17.90	3.59	0.60	0.19	n.d.	0.39	n.d.	9.05	0.48	25.70	123.00	8.52	2.93
A FLOWER-	AVG	136.33	7.90	7.27	0.42	0.17	0.19	0.46	0.06	19.13	0.85	32.77	265.33	8.53	0.30
	STD	57.28	4.03	1.04	0.07	0.04	0.21	0.20	0.18	4.91	0.28	8.62	190.98	2.13	0.42
	MED	131.00	5.20	8.00	0.42	0.18	0.04	0.41	0.37	19.60	0.91	37.30	155.00	7.90	n.d.
	MIN	69.00	4.90	5.80	0.34	0.12	0.04	0.24	n.d.	12.90	0.48	20.70	107.00	6.30	n.d.
	MAX	209.00	13.60	8.00	0.50	0.21	0.48	0.72	0.41	24.90	1.17	40.30	534.00	11.40	0.90
PLAY- A GROUND	AVG	46.03	8.03	3.32	0.57	0.14	n.d.	0.41	0.46	9.56	0.61	17.30	79.53	5.03	4.81
	STD	7.04	5.00	0.43	0.14	0.02	n.d.	0.02	0.08	3.46	0.19	5.22	31.77	2.38	1.98
	MED	50.40	5.56	3.47	0.64	0.13	n.d.	0.43	0.47	9.56	0.55	14.60	62.90	4.45	4.42
	MIN	36.10	3.53	2.74	0.39	0.12	n.d.	0.38	0.36	5.33	0.42	12.70	51.70	2.46	2.60
	MAX	51.60	15.00	3.75	0.70	0.17	n.d.	0.43	0.56	13.80	0.87	24.60	124.00	8.19	7.40
E RESID- ENTIAL	AVG	242.33	70.13	12.26	0.82	0.55	0.59	1.36	0.53	59.83	3.79	65.83	451.33	4.13	1.10
	STD	22.43	17.52	5.63	0.32	0.17	0.34	0.35	0.63	24.42	1.46	13.67	91.08	0.09	0.81
	MED	228.00	69.50	8.67	0.71	0.47	0.50	1.15	0.85	57.60	3.03	75.30	506.00	4.13	1.36
	MIN	225.00	49.00	7.90	0.50	0.38	0.23	1.08	0.46	31.10	2.52	46.50	323.00	4.02	n.d.
	MAX	274.00	91.90	20.20	1.26	0.78	1.04	1.86	1.96	90.80	5.83	75.70	525.00	4.24	1.94
MAIN ROAD	AVG	291.00	66.53	8.58	0.53	0.33	0.46	1.21	0.74	57.37	2.97	103.27	227.67	3.21	1.06
	STD	156.66	38.40	1.20	0.10	0.06	0.44	0.22	0.21	11.05	0.44	14.01	62.45	0.22	0.24
	MED	244.00	73.00	8.49	0.52	0.30	0.23	1.43	0.63	62.60	3.36	95.00	245.00	3.11	1.09
	MIN	127.00	16.60	7.16	0.41	0.28	0.08	0.91	0.55	42.00	2.36	91.80	144.00	3.00	0.76
	MAX	502.00	110.00	10.10	0.65	0.42	1.08	1.43	1.03	67.50	3.37	123.00	294.00	3.52	1.34

Table 1. Continued.

ELEMENTS UNITS	Ag ppb	Au ppb	As ppm	Bi ppm	Cd ppm	Hg ppm	Sb ppm	Se ppm	Te ppm	Cu ppm	Mo ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ga ppm	Tl ppm	
DETECTION LIMITS	3.00	0.20	0.20	0.05	0.10	0.02	0.25	1.00	0.05	0.01	0.02	0.05	0.20	0.10	0.50	
GARDEN SOIL (7)	AVG 979.86 STD 839.10 MED 532.00 MIN 144.00 MAX 2443.00	58.41 35.93 48.90 14.70 122.00	25.00 13.76 20.10 10.30 48.60	2.27 1.07 1.45 1.04 3.74	6.98 7.50 2.93 0.80 22.70	0.59 0.50 0.71 n.d. 1.49	0.59 0.50 0.71 n.d. 1.49	5.39 3.46 3.17 2.29 11.60	1.33 0.78 1.12 0.27 2.58	0.67 0.47 0.51 0.15 1.59	1032.27 1463.78 357.00 65.60 4406.00	5.33 2.84 4.05 2.11 10.90	115.13 69.75 70.50 52.40 252.00	1392.71 1375.90 725.00 211.00 4423.00	5.86 1.14 5.70 4.60 7.87	1.18 1.09 0.70 n.d. 3.14
FIELD SOIL(1)	406.00	34.20	10.20	1.58	2.76	1.03	3.53	0.35	0.38	167.00	2.02	51.00	549.00	3.30	n.d.	
O PLAY- GROUND SOIL (4)	AVG 256.03 STD 328.47 MED 88.75 MIN 23.60 MAX 823.00	4.92 4.91 3.04 0.39 13.20	6.74 5.49 5.83 n.d. 15.30	0.84 0.74 5.52 0.24 2.10	3.66 5.74 0.44 0.16 13.60	0.08 0.14 n.d. n.d. 0.32	0.08 0.14 n.d. n.d. 0.32	1.95 2.03 1.07 0.25 5.41	0.47 0.33 0.47 n.d. 0.92	0.26 0.29 0.15 n.d. 0.76	128.43 178.63 36.10 4.51 437.00	1.98 2.00 1.06 0.39 5.42	46.99 54.52 19.75 7.44 141.00	589.85 861.01 98.80 80.80 2081.00	3.21 0.63 3.01 2.56 4.24	1.21 0.31 1.25 0.78 1.56
A FLOWER- BED SOIL (3)	AVG 863.33 STD 1016.00 MED 253.00 MIN 42.00 MAX 2295.00	17.97 20.06 5.10 2.50 46.30	21.37 18.48 8.80 7.80 47.50	2.08 2.05 0.89 0.38 4.96	8.94 11.71 1.05 0.27 25.50	0.38 0.46 0.11 n.d. 1.02	0.38 0.46 0.11 n.d. 1.02	6.26 6.34 2.83 1.19 15.20	0.36 0.51 n.d. n.d. 1.09	0.16 0.13 0.17 n.d. 0.31	304.23 354.92 83.50 24.20 805.00	5.64 6.49 1.51 0.61 14.80	126.37 144.85 32.30 15.80 331.00	1446.97 1812.93 250.00 81.90 4009.00	6.40 1.50 6.80 4.40 8.00	n.d. n.d. n.d. n.d. n.d.
A PLAY- GROUND DUST (4)	AVG 176.75 STD 163.18 MED 108.35 MIN 36.30 MAX 454.00	11.02 13.33 3.50 2.98 34.10	9.93 9.52 5.77 1.99 26.20	1.27 1.15 0.74 0.37 3.22	4.81 7.56 0.56 0.21 17.90	0.13 0.22 n.d. n.d. 0.50	0.13 0.22 n.d. n.d. 0.50	3.42 4.13 1.44 0.32 10.50	0.51 0.70 0.33 n.d. 1.70	0.27 0.36 0.10 n.d. 0.88	199.04 272.44 60.60 5.97 669.00	2.00 1.84 1.13 0.58 5.16	73.21 92.48 24.95 9.92 233.00	103.93 37.34 85.35 77.00 168.00	3.11 0.99 3.03 1.96 4.43	2.30 0.68 2.24 1.45 3.27
A RESID- ENTIAL ROAD DUST (6)	AVG 1162.50 STD 1126.75 MED 627.00 MIN 171.00 MAX 3233.00	115.40 150.87 34.20 7.90 423.00	28.75 26.72 19.85 9.28 87.80	2.41 1.52 2.09 0.75 5.15	8.15 8.10 4.02 0.95 20.20	0.99 1.31 0.27 n.d. 3.10	0.99 1.31 0.27 n.d. 3.10	7.62 5.88 5.61 1.72 18.70	1.60 1.58 0.90 n.d. 4.75	0.71 0.54 0.41 0.34 1.83	982.55 1688.51 160.50 50.90 4727.00	6.15 3.55 5.74 2.23 12.90	173.78 121.22 139.50 46.90 373.00	1259.50 1568.13 436.00 86.00 4527.00	3.95 1.25 3.52 2.99 6.70	2.02 1.70 1.19 0.50 5.30
MAIN ROAD DUST (3)	AVG 473.33 STD 291.16 MED 367.00 MIN 182.00 MAX 871.00	37.13 17.63 41.20 13.80 56.40	36.21 27.58 25.70 8.94 74.00	5.88 4.43 5.22 0.81 11.60	37.27 47.94 5.83 0.97 105.00	5.14 3.70 6.89 n.d. 8.54	5.14 3.70 6.89 n.d. 8.54	14.12 11.01 10.30 2.96 29.10	1.61 0.96 1.60 0.43 2.79	1.95 2.13 0.63 0.26 4.96	343.33 81.83 385.00 229.00 416.00	5.47 2.30 5.67 2.55 8.18	321.13 221.79 244.00 96.40 623.00	504.00 229.63 426.00 270.00 816.00	2.99 0.13 3.00 2.83 3.15	2.12 0.56 1.90 1.56 2.89

Table 1. Continued.

ELEMENTS UNITS	Ag	Au	As	Bi	Cd	Hg	Sb	Se	Te	Cu	Mo	Pb	Zn	Ga	Tl
DETECTION LIMITS	3.00	0.20	0.20	0.05	0.10	0.02	0.25	1.00	0.05	0.01	0.02	0.05	0.20	0.10	0.50
GARDEN	284.54	25.49	12.66	1.28	0.65	0.39	1.75	1.29	0.23	65.38	1.65	108.49	284.88	8.33	1.56
SOIL	197.83	19.25	9.43	1.14	0.42	0.69	1.69	2.30	0.16	38.50	0.74	91.28	153.10	2.24	1.25
(12)	271.00	20.85	9.75	0.85	0.47	0.12	1.25	0.46	0.23	54.55	1.58	65.00	235.50	7.78	0.95
	90.50	4.60	2.00	0.35	0.22	n.d.	0.34	n.d.	n.d.	13.70	0.40	24.90	96.60	5.70	n.d.
	867.00	71.30	39.50	4.72	1.49	2.62	7.05	8.66	0.64	169.00	3.22	309.00	664.00	12.90	3.95
FLOWERPOT S.	197.00	78.50	16.60	1.00	0.33	0.29	1.30	n.d.	0.64	69.90	2.96	37.60	204.00	11.70	n.d.
S	97.54	20.63	5.84	0.28	0.18	0.04	0.44	0.06	0.03	18.02	0.68	27.95	80.10	5.28	0.54
PLAY-	70.65	22.28	10.73	0.11	0.09	0.05	0.14	0.13	0.04	8.77	0.61	11.80	21.35	2.14	0.88
E GROUND	67.00	13.25	2.62	0.26	0.17	0.04	0.45	n.d.	n.d.	14.45	0.51	23.05	76.00	4.59	n.d.
SOIL	29.80	2.60	1.30	0.14	0.09	n.d.	0.26	n.d.	n.d.	7.26	0.27	15.60	53.50	2.90	n.d.
O (16)	265.00	94.40	47.10	0.57	0.46	0.20	0.76	0.38	0.12	36.60	2.80	63.60	127.00	9.30	3.40
FLOWERBED S.	115.00	10.90	12.50	0.65	0.29	0.09	0.66	n.d.	0.07	40.10	1.19	39.20	135.00	8.80	0.80
U	101.93	25.34	12.29	0.32	0.20	0.01	0.52	0.08	0.16	20.82	1.05	31.24	82.10	4.60	1.10
PLAY-	80.39	23.36	31.73	0.20	0.09	0.02	0.21	0.18	0.11	13.62	1.02	16.81	23.29	2.13	1.38
L GROUND	82.00	17.30	3.90	0.25	0.17	n.d.	0.45	n.d.	0.15	13.75	0.70	25.00	79.65	4.12	0.50
DUST	29.70	1.50	1.21	0.13	0.06	n.d.	0.24	n.d.	n.d.	10.70	0.37	14.70	49.20	2.00	n.d.
(16)	370.00	76.90	135.00	0.82	0.44	0.06	1.05	0.71	0.39	63.80	4.66	76.90	130.00	9.90	5.43
A RESID-	700.44	306.24	16.32	1.17	0.79	1.00	2.52	0.97	0.34	216.19	6.31	133.38	517.81	4.13	0.51
ENTIAL	498.99	255.11	7.93	0.59	0.38	1.40	1.64	0.78	0.21	253.02	5.04	52.48	514.23	0.74	0.97
R ROAD	581.50	278.50	14.85	0.99	0.66	0.59	2.17	0.62	0.24	117.50	4.55	138.50	378.00	3.91	n.d.
DUST	204.00	30.20	6.93	0.44	0.37	0.10	0.89	n.d.	0.10	39.90	1.55	60.30	199.00	2.77	n.d.
E (16)	2020.00	833.00	42.70	2.46	1.69	4.75	6.82	2.70	0.71	1083.00	18.20	219.00	2393.00	5.70	3.28
A	913.20	568.62	10.84	1.09	1.04	0.46	3.18	0.34	0.34	580.59	42.63	270.60	726.60	3.61	0.63
MAIN	1023.65	1148.59	2.35	0.94	1.22	0.63	1.55	0.33	0.19	1440.66	136.18	115.28	884.89	0.77	0.75
ROAD	674.00	201.00	10.70	0.86	0.58	0.27	2.75	0.42	0.29	188.00	5.33	291.00	481.00	3.84	0.50
DUST	209.00	18.40	8.38	0.47	0.22	n.d.	1.23	n.d.	0.17	80.60	2.32	112.00	186.00	2.45	n.d.
(15)	3513.00	4756.00	18.60	3.90	4.26	2.59	6.39	1.07	0.86	5954.00	552.00	538.00	3959.00	4.90	2.04

Table 4. Continued.

ELEMENTS	Ag	Au	As	Bi	Cd	Hg	Sb	Se	Te	Cu	Mo	Pb	Zn	Ga	Tl
UNITS	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
DETECTION LIMITS	3.00	0.20	0.20	0.05	0.10	0.02	0.25	1.00	0.05	0.01	0.02	0.05	0.20	0.10	0.50
T	AVG	115.77	19.33	19.63	1.15	0.42	1.75	1.36	0.20	28.23	2.06	170.50	157.83	3.73	3.31
	STD	29.42	12.06	5.65	0.28	0.11	0.63	0.31	0.08	2.86	0.29	167.96	49.39	0.72	2.32
A	MED	100.00	20.10	19.10	1.03	0.40	1.47	1.20	0.22	28.10	1.89	54.80	164.00	4.25	2.08
	MIN	90.30	4.19	13.00	0.88	0.30	n.d.	1.09	0.10	24.80	1.83	48.70	94.50	2.71	1.28
E	MAX	157.00	33.70	26.80	1.53	0.56	2.62	1.80	0.29	31.80	2.47	408.00	215.00	4.25	6.56
	AVG	111.45	4.72	17.22	0.46	0.38	0.67	0.15	0.14	27.70	0.62	33.05	71.10	3.91	1.12
E	STD	32.55	0.06	8.68	0.11	0.23	0.04	0.15	0.02	15.90	0.09	18.35	23.70	1.94	0.48
	MIN	78.90	4.65	8.54	0.35	0.16	0.62	n.d.	0.12	11.80	0.53	14.70	47.40	1.97	0.64
A	MAX	144.00	4.78	25.90	0.56	0.61	0.71	0.31	0.16	43.60	0.71	51.40	94.80	5.85	1.59
	AVG	99.50	7.82	15.55	0.58	0.37	0.65	0.34	0.04	30.45	0.79	34.95	72.15	4.29	2.58
E	STD	57.50	1.16	6.55	0.02	0.22	0.14	0.08	0.04	12.85	0.08	18.65	23.35	1.51	0.53
	MIN	42.00	6.66	9.00	0.55	0.15	0.51	0.25	n.d.	17.60	0.71	16.30	48.80	2.77	2.05
K	MAX	157.00	8.97	22.10	0.60	0.59	0.79	0.42	0.08	43.30	0.87	53.60	95.50	5.80	3.11
	AVG	436.00	41.40	59.70	1.30	1.22	2.03	1.77	0.44	60.43	2.88	163.03	349.33	3.28	1.55
A	STD	382.55	43.61	44.25	0.40	0.76	0.80	0.70	0.09	36.48	1.09	119.55	276.25	0.90	0.51
	MED	168.00	13.20	33.70	1.10	0.69	1.58	1.31	0.43	35.80	2.51	83.70	157.00	3.69	1.33
R	MIN	163.00	8.00	23.40	0.94	0.67	1.35	1.25	0.33	33.50	1.77	73.40	151.00	2.03	1.07
(3)	MAX	977.00	103.00	122.00	1.85	2.30	3.16	2.76	0.56	112.00	4.37	332.00	740.00	4.13	2.25
E	AVG	443.33	62.92	47.00	0.95	1.38	2.84	1.10	0.21	53.80	2.65	157.23	337.00	1.77	1.10
	STD	284.18	49.51	13.85	0.21	0.40	0.17	0.20	0.07	14.78	1.38	80.57	175.91	0.28	0.36
A	MED	254.00	57.70	39.60	0.82	1.36	2.74	0.96	0.18	43.80	1.92	115.00	230.00	1.85	0.88
	MIN	231.00	5.07	35.00	0.78	0.90	2.69	0.95	0.14	42.90	1.45	86.70	196.00	1.39	0.81
(3)	MAX	845.00	126.00	66.40	1.25	1.87	3.08	1.38	0.31	74.70	4.59	270.00	585.00	2.07	1.60

(1979)은 0.1~0.5 ppm, Pendias (1984)의 경우 0.62 ppm을 토양중 Cd의 평균 함량으로 제시하였다. 그러나 정원토양의 경우 금산지역에서 0.98 ppm, 온산지역에서 2.27 ppm, 서울지역에서 1.28 ppm, 태백지역에서 1.15 ppm으로 전반적으로 높은 함량 범위를 보이고 있다. 이러한 값들은 영국 도시들의 정원토양중 평균 함량인 1.6 ppm (Culbard et al., 1983)과 유사하다. 그러나 온산지역의 정원토양에서 최고치인 22.7 ppm이 분석되어 영국 정원토양의 최고치인 17 ppm (Culbard et al., 1983)보다도 훨씬 높은 함량을 나타내고 있으며, 김교봉 등 (1985)이 조사한 서울시내 공업지역 토양중 평균함량 1.54 (0.17~4.17)ppm에 비해 서도 15배 이상 높은 함량이다. 운동장 토양에서는 온산지역에서 평균 3.7 ppm 및 최고치 13.6 ppm으로 가장 높고, 다른 지역들은 1 ppm 이하의 평균값을 보이고 있다. 분진시료의 경우 모든 지역에서 토양에 비해 증가된 함량을 보이고 있다. 특히 온산지역의 대로분진에서 최고치인 105 ppm이 나타나 심한 오염을 보이고 있다. 서울과 태백지역의 분진에서는 평균 1.0 ppm 내외의 값을 보여 영국의 도로 (1.7 ppm, Thornton et al., 1985) 및 운동장 분진 (1.8 ppm, Thornton et al., 1985)과 전반적으로 유사하다.

Cu의 토양중 평균 함량은 2~100 ppm (Levinson, 1974), 15 ppm (Rose et al., 1979), 1~100 ppm (Pendias, 1984)이, 우리나라에서는 15.71 ppm (서운수 등, 1982)으로 보고되었다. 일반적으로 Cu 함량이 100 ppm 이상일 때 오염되었다고 판단 (Pendias, 1984)하는데, 온산의 정원토양에서는 평균 1032 ppm이 분석되어 심한 오염을 반영하고 있다. 한편, Thornton et al. (1985)은 영국의 정원토양중 Cu의 함량 범위를 5~16800 ppm으로 보고한 바 있다. 분진의 경우 모든 지역에서 토양에 비해 높게 나타나는데, 특히 서울지역의 경우 주거도로에서 0.1% 이상, 대로분진에서는 약 0.6%에 이르는 최고 함량을 나타내고 있어 심한 오염 결과를 나타내고 있다. 대로 분진의 경우 영국에서 보고된 최고 함량인 0.3% (Thornton et al., 1985) 보다도 높은 함량이다. 온산지역에서도 주거도로에서 0.5%에 가까운 값이 최고 함량으로 분석되었다.

Pb의 경우 2~200 ppm (Levinson, 1974), 17 ppm (Rose et al., 1979), 1 888 ppm (Pendias, 1984)이 토양중 평균 함량으로, 19.27 ppm (서운수 등, 1982)이 우리나라 토양의 중금속 자연 함유량으로 보고된 바 있다. 일반적으로 100 ppm 이상이면 역시 오염에 의한 결과라고 판단하는데, 정원토양의 경우 서울 (108 ppm), 온산 (115 ppm), 태백 (170 ppm)에서 모두 높은 함량을 나타내고 있다. 이러한

함량은 엄석원 등 (1985)이 조사한 서울시 일원 표토의 평균 함량 51.13 ppm에 비해 2~3배 증가된 함량이다. 그러나 운동장 토양에서는 모두 100 ppm 이하의 평균값을 나타낸다. 분진시료의 경우 온산의 주거도로와 대로 분진에서 173 ppm, 321 ppm이 각각의 평균 함량이었다. 서울 지역의 주거도로와 대로에서는 133 ppm, 271 ppm이, 태백지역에서도 163 ppm, 157 ppm이 각각 평균값으로 분석되었다. 운동장 분진에서는 모든 지역에서 100 ppm 이하의 평균값을 보였다. 영국 (Thornton et al., 1985)에 비해 도로 및 운동장에서 높은 평균 함량을 보이고 있다.

Zn의 경우 20 ppm (Levinson, 1974), 36 ppm (Rose 등, 1979)이 토양중 평균 함량으로, 40.41 ppm (서운수 등 1982)이 우리나라 토양의 자연함유량으로 보고되었다. Pendias (1984)는 100 ppm 이상을 오염의 결과로 보았는데, 금산 (234 ppm), 서울 (284 ppm), 태백 (157 ppm)지역의 정원토양에서 모두 이보다 높은 함량을 나타내며, 온산지역에서는 평균 1932 ppm으로 극심한 오염을 나타내고 있다. 그러나 이 함량은 영국의 정원토양에서 나타난 13~14568 ppm의 함량 범위 (Thornton et al., 1985)에 비해서는 낮은 편이다. 운동장 토양에서는 온산지역에서 평균 589 ppm으로 가장 오염된 결과를 나타내고 있다. 분진시료의 경우 온산의 주거도로에서 0.12%에 이르는 높은 평균값이 나타났으며, 최고치는 0.45%에 이른다. 또한 서울지역의 주거도로 및 대로에서도 각각 0.2%와 0.4%에 이르는 최고값과, 평균값은 각각 518 ppm, 727 ppm으로 나타났다. 태백지역에서도 주거도로와 대로에서 각각 349 ppm, 337 ppm이, 금산지역에서도 451 ppm, 227 ppm이 평균값으로 나타나 비교적 높은 값을 보인다. 운동장 분진에서는 전지역에서 100 ppm 내외의 평균값을 보이고 있다. 전반적인 함량을 Thornton et al. (1985)의 자료와 비교할 때 도로 분진의 오염 정도 (영국 386 ppm)는 유사하며, 운동장 분진에서는 영국 (402 ppm)에 비해 낮은 함량을 나타내고 있다.

Sb, Se, Te, Tl 등의 함량도 유사하여, 온산지역에서 특히 높게 나타나고 서울과 태백지역에서도 약간씩 높게 나타나고 있다. 이를 통해서 볼 때, 대로 및 주거도로 분진중 유독성 중금속은 모든 지역에서 토양에 비해 증가된 함량을 보이고 있으며, 특히 온산지역과 서울지역 일부의 분진중 중금속 오염은 심각한 편이므로, 보다 정밀한 환경지구화학적 연구와 지질전염병학적 조사가 필요하다고 판단된다.

Table 2. Mineralogical composition of soils and dusts determined by X-ray diffraction analysis.

No. Site (type) ¹⁾	Minerals ²⁾
GEUMSAM AREA	
405D44 BUS TERM.(MD)	Qtz Pl Mus (Cal) (Ser)
405D06 GEUMSAN (RD)	Qtz Pl Mus (Cal)
405S06 JUNGANG (PS)	Qtz Pl (Cal)
405D21 JUNGANG (PD)	Qtz Pl Mus
405S07 JUNGANG (FS)	Qtz Pl Mus (Ser) (Kao)
405S10 JUNGDO-2(GS)	Qtz Pl Mus
ONSAN AREA	
403D32 DALPO (RD)	Qtz Pl (Mus)
403S10 DALPO-W (GS)	Qtz Pl
403D27 DALPO-W (MD)	Qtz Pl Py (Cal) (Mus)
404S05 DEOKSIN (FS)	Qtz Pl (Ser) (Chl) (Kao)
403D16 ONSAN (PD)	Qtz Pl
403S06 ONSAN (PS)	Qtz Pl (Mus) (Ser)
403S07 ONSAN (FS)	Qtz Pl (Ser)
403D17 ONSAN (RD)	Qtz Pl (Kao) (Ser) (Amp) (Gyp)
SEOUL AREA	
423D14 ABGUJEONG (MD)	Qtz Pl Mus (Cal) (Amp)
331D19 CHUNGSIN (PD)	Pl Qtz Mus (Ser)
430S03 GEUMWHA (PS)	Pl Qtz Mus (Cal) (Ser)
430D08 GEUMWHA (PD)	Pl Qtz Mus (Cal)
430S04 GEUMWHA (GS)	Qtz Pl Mus (Cal) (Amp)
330S02 GODEOK (PS)	Pl Qtz Mus (Cal)
330D09 GODEOK (MD)	Pl Qtz Mus Hal
330D10 GODEOK (RD)	Qtz Pl Mus (Ser) (Cal) (Amp)
330D08 GODEOK (MD)	Qtz Pl Mus Cal (Kao) (Amp)
430D06 GURO (MD)	Qtz Pl Mus (Cal) (Dol)
430D05 GURO (RD)	Qtz Pl Mus Cal
306D01 SADANG (PD)	Qtz Pl Mus
306S01 SADANG (PS)	Qtz Pl Mus (Chl or Kao)
331S02 SEONGBUK (PS)	Pl Qtz Mus (Dol) (Ser) (Cal)
331S01 SEONGBUK (GS)	Pl Qtz Mus (Ser)
326D12 YEOMCHANG (RD)	Qtz Pl Mus Cal (Sid) (Dol)
TAEBAEK AREA	
401S03 NEAR COAL (GS)	Qtz Pl Mus Prp (Kao or Chl)
402D05 WHANGJI (MD)	Qtz Cal Pl Mus (Prp) (Kao)
402D06 WHANGJI (RD)	Qtz Pl Cal Py Mus (Dol)
401D07 WHANGJI-J (PD)	Qtz Pl Mus
401S02 WHANGJI-J (PS)	Qtz Pl Mus (Amp)

¹⁾Type: GS; Garden soil, PS; Playground soil, PD; Playground dust, FS; Flowerbed soil, RD; Residential road dust, and MD; Main road dust.

²⁾Minerals: Qtz; Quartz, Pl; Plagioclase, Mus; Muscovite, Cal; Calcite, Chl; Chlorite, Amp; Amphibole, Dol; Dolomite, Ser; Sericite, Py; Pyrite, Prp; Pyrophyllite, Sid; Siderite, Kao; Kaolinite, Hal; Halite, and Gyp; Gypsum. () ; minor and < >; rare.

오염물질의 존재 특성

토양 및 분진의 X-선 회절분석

비교대상 지역에서 정상적인 함량을 보이는 6개의 시료와 각 관심지역에서 특별히 높은 원소함량을 나타내는 29개의 시료를 선정하여 X-선 회절분석을 실시하였다

(Table 2).

광물조성을 종합해 볼 때 토양과 분진은 대개 그 지역의 지질을 반영하여 모암과 유사한 광물조성을 가지고 있으나, 제련활동지역 온산과 광산활동 지역인 태백의 분진시료에서는 외부로부터 유입되었을 황철석이 존재하고 있으며, 서울지역은 제철작업과 관련되어 있을 암염이 나타나고 있다. 따라서 온산지역 및 태백에서 시료중에 높게

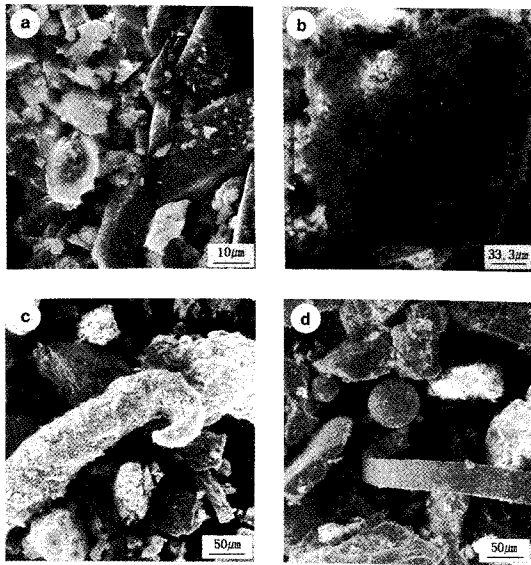


Fig. 7. SEM images showing the well-crystallized mineral phases (a and b) and the metallic fragments (c and d). Sample No.; (a) 403D16, (b) 403D5, (c) 423D14, and (d) 430D5.

나타나는 유독성 미량원소의 존재형태는 황화광물과 관련되어 있을 것으로 보인다. 이러한 황화광물들은 견고한 결정구조속에 미량원소들을 함유하므로 인체에 직접 독성을 미치지지는 않으나, 주변환경으로 이동되어 풍화됨에 따라 원소들이 지표로 분산되게 되므로 잠재적 위험성을 내포하고 있다. 서울지역의 시료들에서는 황화광물형태의 광물들이 분석되지 않으므로 유독성 미량원소들은 금속성 오염물질, 또는 기타 다른 형태의 물질로 존재할 것이다.

토양 및 시료의 주사전자현미경 (SEM) 관찰

16개의 시료에 대하여 주사전자현미경 (JEOL JSM-35)에 의한 관찰을 실시하였다. 시료는 금산지역에서 4개, 온산지역에서 4개, 서울지역에서 6개, 그리고 태백지역에서 1개의 시료를 선정하여 관찰하였다. 분석에 이용된 시료는 -80 mesh 입도를 사용하였으며, 시료의 표면처리에는 Pt와 Pd의 합금을 이용하였다.

Fig. 7-a는 온산의 Zn 제련소에 인접하여 있는 국민학교의 분진시료이다. 사진은 사장석의 결정이라고 생각되는데, 마모의 흔적이 나타나지 않으므로 오래되지 않은 과거에 외부로부터 유입되어 존재하고 있음을 말해준다. 결정질 광물표면에 미세하게 붙어 있는 입자들의 일부가 이 시료에서 나타나는 Cd 18 ppm, As 26 ppm, Sb 10.5

ppm, Cu 669 ppm의 높은 함량을 설명해주는 중금속 분말로 구성되어 있을 것으로 판단된다. Fig. 7-b는 온산지역 달포부두 근처의 대로에서 채취된 분진시료이다. 이 시료에서는 Cd 105 ppm, As 74 ppm, Cu 416 ppm, Zn 426 ppm이 분석되었으며, XRD자료는 황철석이 주구성 광물중 하나로 나타났다. 사진은 콘베어로부터 유입된 외부물질로 판단되는데, 이 시료가 채취된 지점의 상부에는 부두에서 동제련공장에 이르는 콘베어가 설치되어 있어 이 곳을 통해서 광석이 이동된다. Fig. 7-c, d는 금속성 물질들을 보여주고 있다. 사진 c는 서울 압구정동의 대로에서, 그리고 사진 d는 구로공단의 대로에서 관찰된 사진이다. 광물형태로 존재하지 않는 중금속들은 c, d와 같은 금속성의 물질들로 존재하거나, 기타 유기물체의 흡착 등 다른 형태로 존재할 것이다.

관찰 결과들을 종합해 볼 때 유독성 미량원소들은 결정질 광물형태, 금속성 물질형태, 미세한 분말형태 및 기타 유기물 또는 철망간산화물에의 흡착 등 다양한 존재형태가 상정된다. 결정질 광물형태의 경우 관심 대상이 되는 중금속들은 주로 친동원소들이므로 황화광물로 존재할 것이다. XRD 결과 황철석이 태백과 온산지역에서 발견되었으며, SEM 분석결과 잘 발달된 결정질의 광물이 온산지역시료에서 관찰되므로 외부로부터 유입된 황화물 광석들이 오염원의 하나일 가능성을 뒷받침한다. 금속성 물질 형태의 경우 서울의 구로공단 대로와 주저도로, 압구정동 대로에서 잘 관찰된다. 따라서 이 지역에서 높게 나타나는 Zn, Cu, Au 등의 금속함량을 설명해주고 있는 것으로 판단된다. 그리고 미세한 분말 형태의 경우 제련소 주변과 공단 주변에서 높게 나타나는 중금속원소들의 존재형태를 설명해 줄 수 있으며, 정원토양과 화단토양에서 높게 나타나는 중금속 함량은 유기물이나 철망간산화물에의 흡착 등 기타 다른 형태로 존재할 것이다.

중금속원소들의 분산특성

시료간 분산 특성

다변수분산분석 결과 As, Pb, Cd, Zn에 대한 각 지역별 시료 종류에 따른 원소 함량의 변화 양상을 Boxplot으로 도시하였다 (Fig. 8).

As의 함량은 대로 및 주저도로 분진에서 높으며, 이 중 주저도로에서 일반적으로 높은 경향을 보인다. 다음으로는 정원토양에서 높은 함량을 나타내고, 국민학교에서 채취된

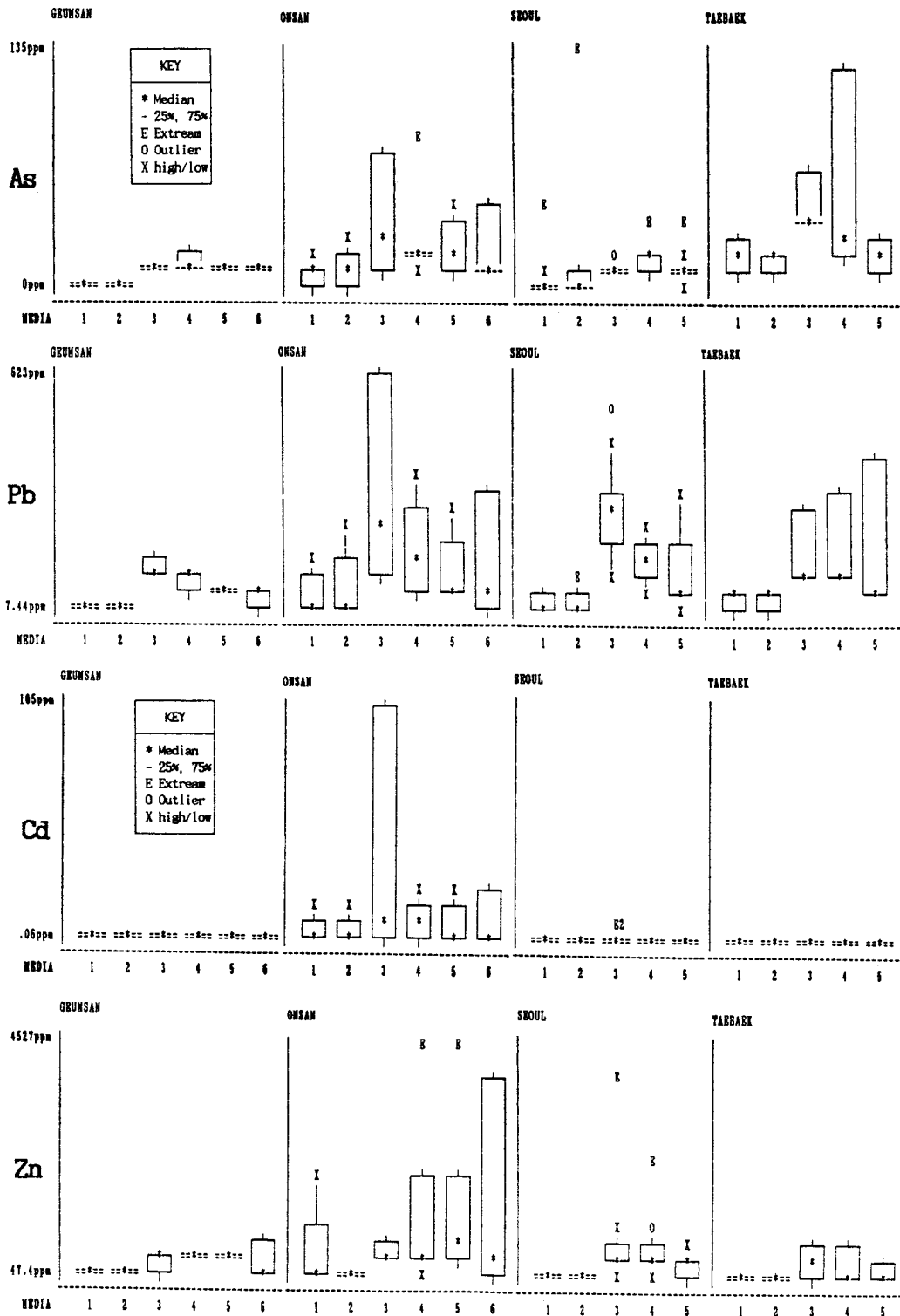


Fig. 8. Box plots of the elemental contents of various sampling media for the studied areas. MEDIA; (1) playground soils, (2) playground dusts, (3) main road dusts, (4) residential road dusts, (5) garden soils, and (6) flowerbed soils.

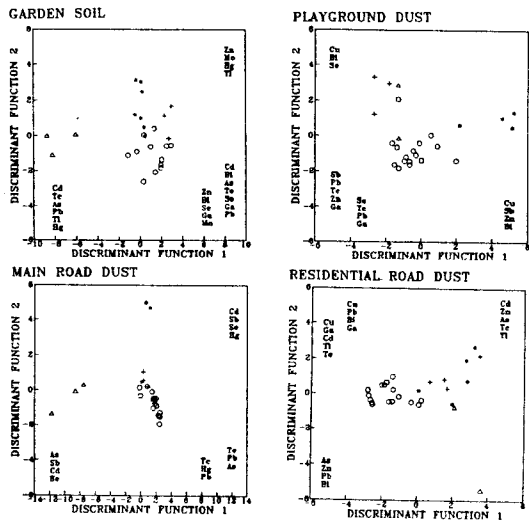


Fig. 9. Scatter diagrams of sampling media by canonical discriminant functions. Cross; Geumsan, asterisk; Onsan, open circle; Seoul, and open triangle; Taebak.

시료는 이들보다 낮게 나타나는데, 화단 토양이 가장 높으며, 운동장에서는 토양에 비해 분진에 높게 나타난다. 이렇게 볼 때 As의 오염은 주로 도로에서 비롯되며, 대로에 비해 주거도로에 축적되고, 분진상의 오염물질은 대기를 타고 인근의 정원토양 및 국민학교의 화단으로 이동되어 축적되는 기구를 상정할 수 있다. As의 오염물질이 대기를 통하여 유입된다는 사실은 운동장의 토양에 비해 분진에서 As의 부화경향이 나타남을 통해 확인할 수 있다.

Pb의 경우 오염원은 대로에서 비롯되어 주거도로로 분산되고, 대기와 사람에 의해 정원으로 이동되어 축적되며, 운동장에서는 축적작용이 비교적 덜 이루어지고 있음을 알 수 있다.

Cd의 경우 모든 시료에서 온산지역이 가장 높은 평균치를 보인다. 금산지역을 제외한 지역들에서, Cd의 주요 오염원이 대로에 존재하고 주거도로를 통해 정원토양에 유입되어 축적되며, 운동장에서는 상대적으로 축적효과가 적은 것으로 판단된다.

Zn도 시료별 함량변화가 같은 양상으로 나타나는데 온산지역에서 가장 높으며, 서울지역의 주거도로와 대로에서 매우 높은 이상치가 나타나는 것이 특징이다. Sb, Se, Te, Tl 등의 원소들도 유사한 경향을 보였다.

지역 특성 분류

분석된 자료를 시료별로 판별분석한 결과와 판별함수를

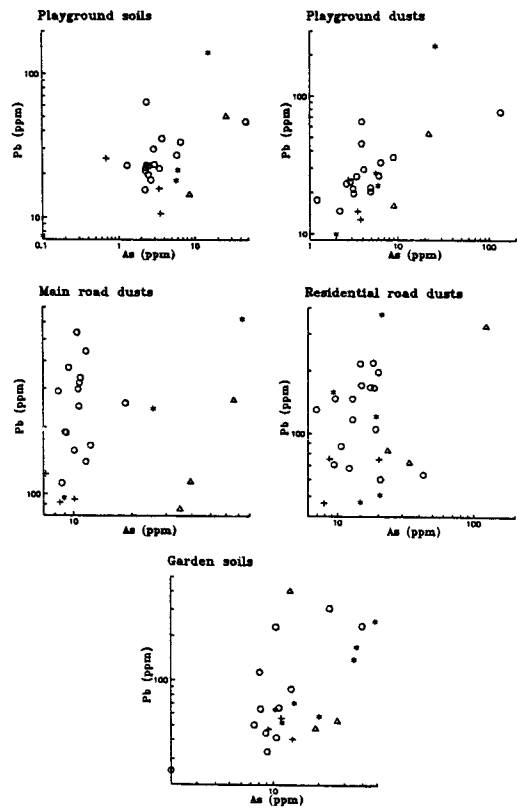


Fig. 10. Scatter diagram of As-Pb for each sampling medium. Symbols are the same as those in Fig. 9.

정리하여 나타내었다 (Fig. 9, Table 3, 4). 분석에 투입된 원소들은 화학분석된 15개 원소들 중 Ag와 Au를 제외한 13개 원소들이다.

국민학교 운동장분진의 지역별 구분에는 Bi, Sb, Te, Cu, Pb, Zn, Ga 등이 설명력을 갖는 것으로 나타났다. 금산지역의 시료의 구분에는 Se가, 온산지역 시료의 구분에는 Cu, Sb, Zn, Bi가 설명력을 갖고 있다. 서울지역과 태백지역의 시료들은 중앙에서 타지역의 시료들과 구분되고 있는데, 두 지역의 시료가 일부 겹쳐보이고 있고, 일부 시료는 금산지역의 영역에 도시되고 있다.

대로분진의 지역별 구분에는 As, Cd, Hg, Sb, Se, Te, Pb 등이 설명력을 갖는다. 온산지역 시료의 구분에는 Cd, Sb, Se, Hg가, 태백지역의 시료의 구분에는 As, Sb, Cd, Se가 상대적으로 큰 설명력을 갖고 있다. 서울지역의 시료는 Pb와 Te가 증가되는 방향에서 구분되고 있다.

주거도로 분진에서는 As, Bi, Cd, Te, Cu, Pb, Zn, Ga, Tl 등이 구별에 유의한 원소로 나타났다. 온산지역 시료들은 Cd, Te, Tl 등이, 서울지역의 시료들은 Pb, Cu, Bi,

Table 3. Eigenvalues, percent of variances, cumulative percent values, and canonical correlations of standard canonical discriminant functions for various samples.

	Eigenvalue		Pct of variance		Cum. Percent		Canonical Corr.	
	func.1	func.2	func.1	func.2	func.1	func.2	func.1	func.2
PG Soil	1.1926	0.5866	67.03	32.97	67.03	100.00	0.7375	0.6081
PG Dust	4.6270	1.7725	70.55	27.03	70.55	97.58	0.9068	0.7996
MR Dust	15.1108	2.1750	83.01	11.95	83.01	94.96	0.9685	0.8277
RR Dust	4.2913	1.2856	67.99	20.37	67.99	88.36	0.9006	0.7500
GD Soil	10.2633	1.6601	79.81	12.91	79.81	92.72	0.9546	0.7900

PG; Playground, MR; Main Road, RR; Residential Road, and GD; Garden

Table 4. Standard canonical discriminant function coefficients for each sampling media.

	Function 1	Function 2
PG Soil	0.93 Se-0.91 Tl	0.58 Se+0.61 Tl
PG Dust	0.21 Bi+1.93 Sb-2.57 Se -1.63 Te+3.33 Cu-1.32 Pb +1.52 Zn-0.85 Ga	2.94 Bi-4.86 Sb+0.96 Sb -0.52 Te+3.42 Cu-1.72 Pb -0.02 Zn+0.01 Ga
MR Dust	-2.95 As-1.40 Cd+2.22 Hg -2.93 Sb-0.98 Se+5.71 Te +0.56 Pb	-0.48 As+1.94 Cd+0.21 Hg +1.29 Sb+0.57 Se-1.12 Te -0.75 Pb
RR Dust	1.26 As-1.32 Bi+2.67 Cd +1.07 Te-3.41 Cu-1.62 Pb +1.85 Zn-0.98 Ga+0.87 Tl	-1.11 As-0.20 Bi+0.57 Cd +0.25 Te+0.93 Cu-0.26 Pb -0.33 Zn+0.73 Ga+0.46 Tl
GD Soil	-4.11 As+3.55 Bi-6.88 Cd -0.32 Hg+1.74 Se-6.14 Te +1.18 Mo-1.52 Pb+13.74 Zn +1.42 Ga-0.42 Tl	-0.72 As-0.90 Bi-2.55 Cd +0.65 Hg-0.26 Se-0.34 Te +1.75 Mo-0.16 Pb+3.36 Zn -0.26 Ga+0.63 Tl

PG; Playground, MR; Main Road, RR; Residential Road, and GD; Garden

Ga 등이, 태백지역의 시료들은 As, Zn이 증가되는 방향에서 도시되고 있다.

정원토양을 지역별로 구분해내는 데에는 As, Bi, Cd, Hg, Se, Te, Mo, Pb, Zn, Ga, Tl 등의 원소들이 유의하다. 태백지역 시료들은 As 등이, 온산지역의 시료들은 Zn, Mo, Tl 등이 증가하는 방향으로 전개되고 있다. 금산지역의 시료들과 서울지역, 태백지역의 시료들은 100% 구분되어 정원 토양중의 중금속 오염의 형태가 세 지역에서 차이를 말해준다. 서울과 온산의 시료가 일부 겹쳐지는 것은 온산의 일부 시료들은 서울과 오염경향이 유사함을 나타낸다.

원소간 특성

다변수분산분석과 판별분석 결과 각 지역의 특성을 뚜렷하게 구분해 주는 As-Pb와 Cd-Zn의 분산특성은 다음과 같다 (Fig. 10, 11).

1) As-Pb : As는 태백지역을 타지역과 구분해주는 원

소로 나타났고, Pb는 서울지역을 타지역과 구별해 주는 원소로 나타났다. 두 원소에 의한 scatter diagram에서 대로분진에 의한 지역 구분이 가장 뚜렷하였다 (Fig. 10). 금산지역은 두 원소에 대하여 모두 가장 낮은 함량을 보이며, 서울지역은 Pb 함량이 넓은 범위에 걸쳐 나타나지만 As의 변화폭은 낮은 범위에서 넓게 나타나고 있으며, 태백지역은 전반적으로 높은 수준의 As 함량과 함께 Pb 함량의 범위는 서울에 비하여 낮은 수준의 변화를 보이고 있다. 그러나 온산지역의 경우 As와 Pb가 1에 가까운 상관관계를 보이면서 낮은 값에서 최고 함량에 이르기까지 넓은 폭으로 변화하고 있다. 이러한 경향은 제련소와의 거리와 관계가 있다.

2) Cd-Zn : 이 두 원소는 지화학적 수반관계가 뛰어난 원소들로서, 정원토양에서 가장 상관관계가 높게 나타나고 있으며 온산지역의 시료에서 두 원소가 모두 높은 함량을 보이고 있다 (Fig. 11). 도로분진에서는 서울지역의 시료에서 Zn의 함량이 큰 폭으로 변화하며, 온산지역의 시료에서 Cd의 최고 함량을 나타내고 있다. 국민학교 운동장

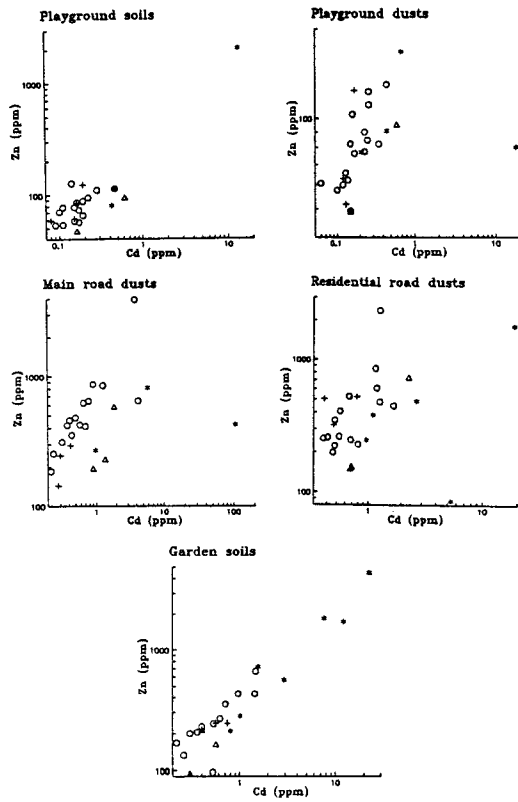


Fig. 11. Scatter diagram of Cd-Zn for each sampling medium. Symbols are the same as those in Fig. 9.

시료에서는 함량이 낮게 나타나고 있다.

지역별 분산특성

각 지역에서 분석된 중금속 원소들의 함량은 대도시인 서울과 제련공업도시인 온산공단에서 가장 심한 오염이 진행되고 있음을 보여주고 있다. 따라서 도시의 오염특성에 따른 중금속 원소들의 분포패턴을 서울과 온산지역을 통하여 알아보았다.

서울지역

서울지역에서 채취된 시료들의 Cd, Zn, Pb 함량을 contouring하여 그림으로 나타내었다 (Fig. 12). 서울지역은 초대형 도시로서 매우 넓은 지역이므로 소수의 시료로써 전체를 대표하는 그림을 만들기는 무리가 있으나, 지역별 원소함량의 차이를 가시적으로 알 수 있었다.

Cd의 경우 구로공단, 신정동, 염창동의 대로분진에서 함량이 높다. 공단지역을 제외하면, 염창동의 경우 인근의 난지도에서 건너오는 폐기물 소각에 의한 낙진의 영향이 반영된 것으로 판단된다.

Zn도 도로분진 시료에서 구로공단 부근에 가장 높은 함량이 나타나 산업활동에 의한 오염효과를 반영하고 있다.

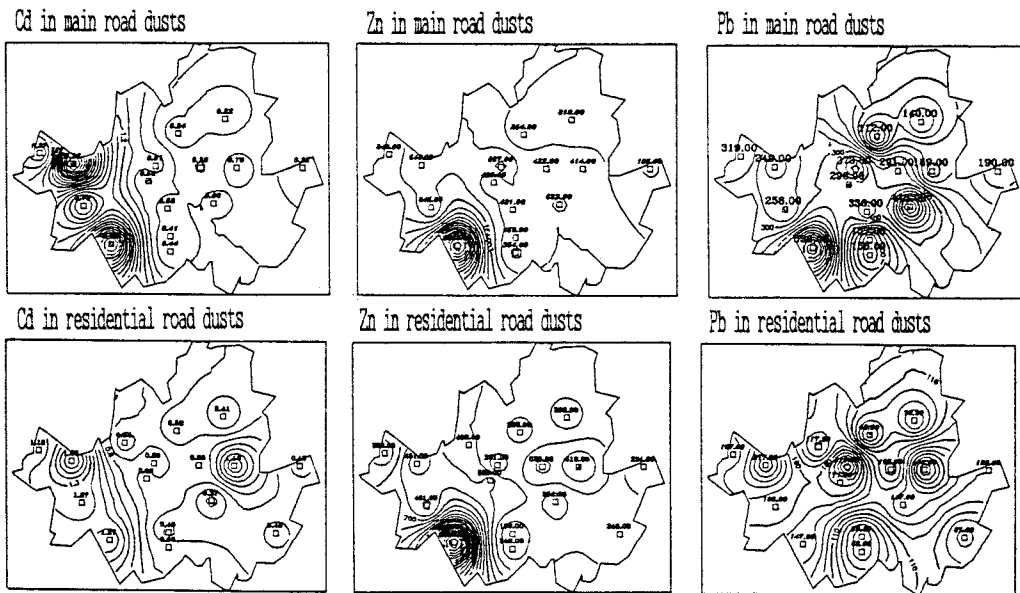


Fig. 12. Contour maps of the elemental contents in main and residential road dust samples in Seoul area.

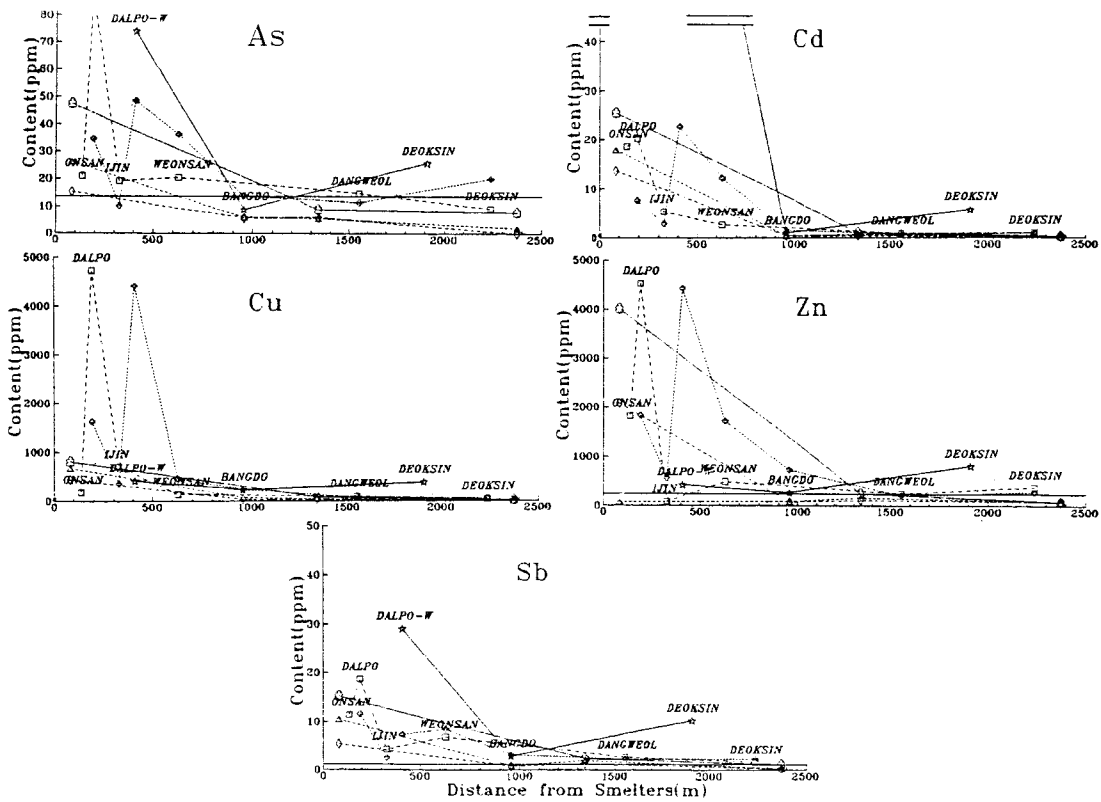


Fig. 13. Variations of elemental contents in Onsan area as a function of distance from the smelters.

Pb는 시내 전역에서 높은 함량치를 보이고 있는데, 대로분진의 경우 교통량과 함께 공장이 많은 지역에서 높으며, 주거도로 분진의 경우 동서방향을 있는 지역에서 높아 강변도로 주위의 교통량의 급증에 따른 주변오염을 반영하고 있다.

Cu, Sb, Te, Tl 등의 원소들도 유사한 경향을 보였는데, 주로 구로공단 주위에서 높은 이상치를 나타내었다.

원소들의 분포경향을 정리해보면, 도로분진의 경우 각 원소들에 대하여 구로공단을 중심으로한 서울의 서쪽지역에서 높게 나타나며, 이러한 경향은 Fig. 2의 산업화 및 도시화지수 2와 잘 부합된다. 특히 산업화 및 도시화지수 2가 0.24 이상인 지역은 정확하게 구로공단을 구분해내고 있다. 또한 중금속 함량이 높게 나타나는 지역들은 주로 인구밀도가 18,000 명/km²인 지역내에 도시되며, 공장밀도가 0.16 이상인 지역과 관련되고 있음을 알 수 있다.

은산지역

전반적으로 제련소로부터 가까운 거리에 있는 시료들

에서 가장 높은 원소함량을 보이고 있으며 거리가 멀어짐에 따라 기하급수적으로 감소하고 있다 (Fig. 13). 비교를 위하여 전원지역인 금산지역의 정원토양중 원소 함량을 가로축과 평행한 선으로 나타내었는데, 함량이 낮아 가로축과 거의 일치하는 경우 세로축에 * 표시를 하였다.

As의 경우 약 1 km의 거리에서 금산지역 함량과 비슷한 값으로 감소되므로 제련소 주변에서의 분산은 약 1 km까지 이르고 있음을 알 수 있다. 이는 Beavington (Purves, 1985)의 연구 결과와 유사한 것이다. 그러나 멀리 떨어져 있는 신주거지역인 덕신리에서 함량이 약간 높아지고 있어 사람의 왕래에 의해 중금속이 유입되고 있음을 말해준다.

Cu의 함량은 달포와 달포부두에서 가장 높은 함량을 보이고 있으며, 제련소에서 멀어짐에 따라 완만한 감소추세를 보이고 있어 상당히 먼 거리까지 Cu의 분산이 이루어지고 있음을 알 수 있다. Cu는 온산공단에서 제련되고 있는 주요 금속이므로 오랜 오염의 역사를 반영하고 있는 것으로 판단된다.

Zn의 함량은 제련소 주변에서 특히 높고 거리가 멀어

집에 따라 기하급수적인 감소를 나타내고 있다.

Pb의 경우도 제련소로부터 멀어짐에 따라 감소하는 경향을 보이고 있어 온산지역에서의 Pb의 함량은 교통량이 아닌 제련활동의 부산물임을 알 수 있다. 그러나 덕신리의 대로와 주거도로 분진에서 높게 나타나는 것은 교통량의 영향일 것으로 판단된다.

Cd의 경우에도 마찬가지로 경향을 보이고 있는데, 달포부두의 대로분진에서 타 원소들에 비해 매우 높은 함량을 보이고 있음이 특징적이다.

원소들의 분산 패턴을 종합해 볼 때 온산공단의 경우 제련소로 유입되는 광석의 통로인 콘베이어에서 직접 유래된 물질들이 그 주변을 가장 심하게 오염시키고 있으며, 제련활동으로부터 유래된 물질들이 주변의 대기 및 토양을 오염시키고 있음을 알 수 있다. 이러한 오염물질들의 분산은 제련소로부터 1km이내의 거리에서 가장 높게 나타나고 있으며, 제련소로부터 멀어짐에 따라 기하급수적으로 감소하는 경향을 보인다. 한편 신도시인 덕신리 일대에서도 일부 원소들의 함량이 높게 나타나는데, 이는 제련소의 굴뚝에서 비롯된 대기오염의 영향과 아울러 주거 밀집에 따른 차량 배기물 또는 생활 쓰레기의 영향 등이 반영되었으리라고 판단된다.

결 론

도시화 및 산업화의 특징에 따른 환경의 중금속 오염 실태를 알아보고, 중금속의 이동 경로 및 분산 상태를 파악하기 위하여 서울, 금산, 온산, 태백 지역을 대상으로 토양 및 분진을 채취하여 pH 측정, 색 구분, 화학분석, XRD, SEM 및 다변량 통계분석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

토양의 pH는 주로 중성에 가깝게 나타났는데, 국민학교 운동장 토양은 약한 알칼리성을, 정원 및 화단 토양에서는 약한 산성을 나타내었다. 토양과 분진의 색은 주로 황갈색에서 회갈색을 나타내었다. 특히 태백지역 시료들은 암흑색을 나타내었는데, 이는 석탄분진에 의한 오염의 결과이다.

화학분석 결과 제련소에 인접한 온산 지역의 대로 및 주거도로 분진에서 Cd, Zn, Cu 등이, 서울지역의 구로공단 대로 및 주거도로 분진에서 Cu, Zn, Pb 등이, 태백지역의 정원 토양 및 주거도로 분진에서는 As가 특히 높게 나타났다. 이러한 중금속함량은 토양에 비해 분진에서 주로 2~3배 증가된 함량을 보이고 있다.

XRD 분석 결과 광물조성은 각 지역 모암의 조성을 반영하고 있으나, 온산지역의 산업도로와 태백지역의 주거도로에서 황철석이 발견되어 광산 및 제련도시에서의 높은 중금속 함량은 황화광물과 관련되어 있음을 추정할 수 있다. 그러나 서울지역에서 높게 나타나는 중금속 함량은 금속 오염물질 상태 또는 유기물에의 흡착 등 다른 상태로 존재할 것이다. 금속 오염물질 상태의 경우 SEM 관찰결과가 이를 뒷받침하고 있다.

판별분석 결과 가장 뚜렷하게 지역이 구별되는 시료는 대로분진으로서 온산공단의 시료는 Cd, Sb, Se가, 태백시의 시료는 As가, 그리고 서울지역의 시료는 Pb와 Te가 부화되는 영역에 도시된다. 이로부터 각 도시들의 오염을 특징지우는 원소로서, 온산과 같은 제련활동 도시는 Cd, 태백과 같은 광산활동 도시는 As, 서울과 같은 복합적인 대도시는 Pb를 제시할 수 있다.

다변수분산분석 결과, 도시지역에서 중금속 원소들의 오염원은 주로 대로에서 비롯되어 대기의 이동과 주거도로를 통해 정원으로 유입되어 축적되는 경향을 보인다.

서울지역의 중금속 오염은 산업화 및 도시화에 의한 것으로서, 공장밀도가 0.16이상, 산업화 및 도시화 지수 2가 0.24이상, 인구 밀도가 18,000명/km²인 지역에서 특징적이며, 이러한 경향은 대로 분진에서 가장 잘 나타난다. 온산지역에서의 중금속 원소들의 분산은 제련소와의 거리가 주요한 요소로서, 제련소와 가까울수록 원소함량이 높게 나타나며, 거리가 멀어짐에 따라 함량이 기하급수적으로 감소되는 경향을 보인다. 이러한 오염의 영향권은 제련소를 중심으로 반경 1km에 이르고 있다.

사 사

본 연구는 1991년도 서울대학교 발전기금 포항제철 학술연구비에 의하여 이루어졌으며, 연구 진행중 일부는 한국과학재단 전략광물자원 연구센터의 연구비로 이루어졌다.

참고문헌

- 김교봉, 황동진, 성시경, 손병목, 이정자, 박상현 (1985) 서울시 일원의 토양 중금속오염도 조사(II). 서울특별시 보건환경연구소보, 21권, p. 128-135.
- 김남장, 홍승호 (1975) 지질도폭설명서, 안양 1:50,000. 국립지질광물연구소.
- 김영미, 고영수 (1986) 중금속에 의한 토양오염과 그 작물내

- 함량에 관한 연구. 한국식품위생학회지, 1권, p. 55-56.
- 김옥준 등 (1982) 한국의 지질과 광물자원, 김옥준교수 정년 퇴임 기념 논문집. 연세대학교 지질학과 동문회, p. 33-44.
- 김홍제, 김연천, 이정자, 성시경, 최한영, 이승주, 박상현 (1986) 서울시 일원의 토양 중금속 오염도 조사. 서울특별시 보건환경연구소보, 22권, p. 168-173.
- 내무부 (1990) 한국도시연감. p. 23-65, 370-393, 678-733.
- 대한광업진흥공사 (1990) 탄전지질 및 시추조사보고. 제14호, p. 81-132.
- 박양대, 윤희대 (1968) 지질도폭설명서, 방어진 1:50,000. 국립지질조사소.
- 서울시 (1991) 서울통계연보 (1990). p. 43-47, 54-55, 138-139, 214-219, 236-237.
- 서운수, 문화회, 김인기, 김학엽, 전성환, 지달현 (1982) 토양 중의 중금속 자연함유량에 관한 조사. 국립환경연구소보, 제 4호, p. 189-198.
- 서운수 (1985) 토양 및 농작물 오염. 한국환경농학회지, 4권, p. 126-138.
- 엄석원, 김명희, 박성배 (1985) 토양중 중금속의 수직분포도 조사. 서울특별시 보건환경연구소보, 21권, p. 136-140.
- 유순호, 김계훈, 현해남 (1985) 아연광산 주변 토양중 아연, 구리 및 연의 화학적 형태별 함량. 한국환경농학회지, 3권, p. 71-77.
- 이민희, 심응기, 김양균, 한의정, 원양수, 신찬기, 정해동, 한자경 (1985) 대기중 부유분진의 성분에 관한 조사연구(IV). 국립환경연구소보, 7권, p. 165-176.
- 이서래, 송기준 (1986) 온산공단 주변 농작물의 중금속 농도 조사. 한국환경농학회지, 5권, p. 43-47.
- 이찬수, 정권, 김진곤 (1985) 서울시내 고정배출원의 중금속 배출량 조사연구. 서울특별시 보건환경연구소보, 21권, p. 256-263.
- 전성환 (1984) 도시 쓰레기매립지 토양중 중금속함유량에 관한 조사연구. 연세대학교 산업대학원(석사학위논문), 36p.
- 전효택, 정명채 (1991) 함우라늪 흑색세일 분포지역에서의 유독성 원소들의 분산에 관한 지구화학적 연구. 광산지질, 24권, p. 245-260.
- 정용, 장재연, 주의조 (1987) 도시대기중 중금속에 관한 연구. 한국대기보전학회지, 3권, p. 18-16.
- 한국공해문제연구소 (1986) 한국의 공해지도. 일원서각, p. 86-119.
- 허문영, 김형춘, 손동현 (1986) 입자상 물질중 금속성분의 밀도분포. 한국대기보전학회지, 2권, p. 9-18.
- 홍사육, 박승희 (1984) 토양 및 채소중의 중금속 오염에 관한 연구. 한국환경위생학회지, 10권, p. 33-45.
- 홍승호, 이병주, 황상기 (1982) 지질도폭설명서, 서울 1:50000. 한국동력자원연구소.
- 홍승호, 최위찬 (1978) 지질도폭설명서, 금산 1:50,000. 자원개발연구소.
- Brooks, R.R. (1983) Biological methods of prospecting for minerals. John Wiley and Sons Inc., 321p.
- Culbard, E., Thornton, I., Watt, J., Moorcroft, S., Brooks, K. and Thompson, M. (1983) Metal contamination of dusts and soils 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.
- 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.
- Levinson, A.A. (1974) Introduction to exploration geochemistry. Applied Publishing Ltd., Calgary.
- Pendias, A.K. (1984) Trace elements in soils and plants. CRC Press, 315p.
- Purves, D. (1985) Trace element contamination of the environment. Elsevier, p. 48-65.
- 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 soils. In: Environ. Technol. Lett., v. 6, p. 137-144
- Thornton, I. (1990) Soil contamination in urban areas: Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology. v. 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 techniques 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.

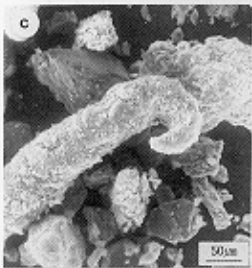
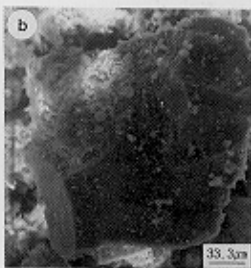
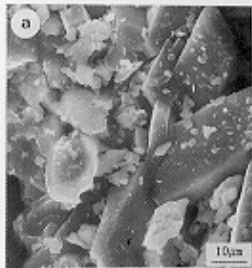


Fig 7 SEM images showing the well crystallized mineral