

維鳩-廣川 金銀鑛化帶地域에서의 土壤 및 農作物의 重金屬污染

金景雄* · 白成熙* · 李鉉具**

Heavy Metal Contamination of Soils and Crop Plants in the Yugu-Kwangcheon Au-Ag Metallogenic Province

Kyoung-Woong Kim*, Sung-Hee Paik* and Hyun Koo Lee**

ABSTRACT: Yugu-Kwangcheon Au-Ag Province is connected to the southwestern part of the Cheonan Province and includes the Gubong (one of the biggest gold mine in past), Daebong and Samgwang mines. Cadmium concentrations in sphalerite of Yugu-Kwangcheon Province is higher than those of other Au-Ag provinces and could be the source of the heavy metal contaminations. Heavy metals are present in rock-soil-plant-human system from natural geological materials, and dietary intake through this system makes a significant contribution to the ingestion of heavy metals by man.

In order to examine the degree and extent of heavy metal contaminations in the Gubong, Daebong and Samgwang mine areas of Yugu-Kwangcheon Province, soil, stream water, sediment and crop plant samples were taken and analyzed for Cd, Cu, Pb and Zn by Atomic Absorption Spectrometry (AAS) and Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES). Cadmium and Pb concentrations in paddy/farm soils and stream sediments from the Gubong and Samgwang mine areas are higher than those in uncontaminated soils. Lead concentrations in crop plants cultivated in these soils are high up to 0.38 $\mu\text{g/g}$ in rice grain and 4.5 $\mu\text{g/g}$ in sesame. In these mine areas, regular consumption of crop plants by the local population would seem to pose a potential health problems from long-term Pb exposure. The biological absorption coefficient in rice grain for heavy metals varies in the order $C_d = \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb}$ and the relationship between Cd concentrations in soils and crop plants is expressed by the equation $C_{d, \text{plant}} = 0.11245 \text{ Log } C_{d, \text{soil}} + 0.13472$.

序 論

우리나라에 등록되어 있는 金銀鑛의 鑛區수는 4000여개에 달하고 있으며, 1930년대 말에는 300여개의 鑛山이 稼行된 적도 있으나 현재는 대부분의 鑛山이 廢鑛, 休鑛 또는 간헐적인 작업을 실시하고 있다 (大韓鑛業振興公社, 1987). 韓國의 金銀鑛床을 成因의으로 大別하면 熱水층진 脈狀鑛床, 接觸交代鑛床, 砂金鑛床으로 分類되는데 70~80%의 鑛床이 熱水층진 脈狀鑛床에 속하는 舍金石英脈으로 發達되어 있고, 이에 隨伴되는 鑛物은 微量의 黃銅石, 方鉛石, 閃亞鉛石, 黃鐵石, 硫砒鐵石등이다 (김옥준, 1982).

維鳩-廣川鑛化帶는 天安鑛化帶의 西南部에 連續되는 鑛

化帶로서, 과거 南韓 最大規模의 金鑛床으로 알려졌던 九峯鑛山을 中心으로 三光, 大鳳鑛山등이 位置하는 金銀鑛化帶이다 (Fig. 1). 특히 본 鑛化帶는 國內의 어떤 鑛化帶의 金銀鑛床보다도 閃亞鉛石중의 Cd含量이 이상적으로 높아 이에 의한 重金屬污染 可能性이 높은 것으로 나타나고 있다 (이현구의, 1991; 이현구의, 1992).

現在까지 國內에서는 金銀鑛床과 關聯된 鑛物學的, 地球化學的인 研究 (Kaneda *et al.*, 1986), 同位元素에 대한 研究 (So *et al.*, 1988; Shimazaki *et al.*, 1985) 와 維鳩-廣川 鑛化帶地域의 몇몇 鑛山에 대한 鑛床學的인 研究 (이현구의, 1991; 이현구의, 1992; 이현구, 홍동표, 1993; 문건주, 1986; 전찬규, 오민수, 1970; Lee *et al.*, 1995)가 행하여 졌다. 이외에도 國內 金屬鑛山產 閃亞鉛石의 組成變化를 產出狀態 및 地質環境에 따라 比較한 研究 (Chon *et al.*, 1981)가 있었으나 國內 金銀鑛山產 岩石중의 높은 重金屬含量에 기인한 土壤 및 農作物의 污染에 관한 研究는 全無한 실정이다. 따라서 본 研究에서는 維鳩-廣川鑛化帶의 代表的인 九峯, 大鳳, 三光鑛山

*培材大學校 國際資源開發學科 (Department of International Resources Development, Paichai University, Taejon 302-735, Republic of Korea)

**忠南大學校 自然科學大學 地質學科 (Department of Geology, College of Natural Sciences, Chungnam National University, Taejon 302-764, Republic of Korea)

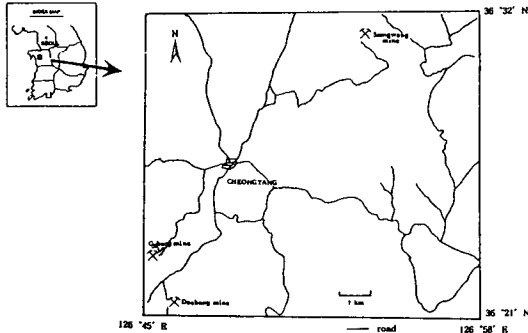


Fig. 1. Location map of several Au-Ag deposits in Korea.

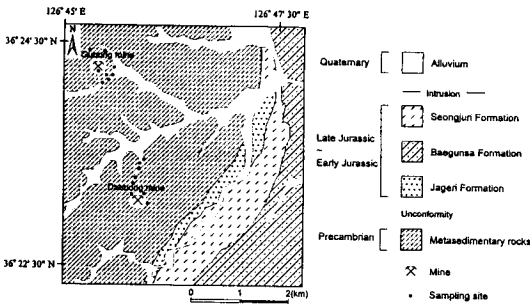


Fig. 2. Geologic map of the Gubong and Daebong mine area (Lee et al., 1992).

에서의 重金屬汚染정도를 파악하기 위해 논밭土壤, 河川水, 河上堆積物 및 農作物試料를 採取하여 Cd, Cu, Pb와 Zn의 含量을 調査하고 이에 의한 地域住民의 健康에 대한 影響을 豫想할 것이다. 또한 土壤 및 農作物에 存在하는 重金屬元素 含量사이의 關係를 규명할 것이다.

地形 및 地質

九峯鑛山은 忠南 靑陽郡 南陽面 九峯里에 位置하고 있으며, 附近의 地質은 下部로부터 變成堆積岩類, 大同系 堆積岩層, 鹽基性岩 등으로 構成된다 (Fig. 2; 島村新兵衛, 1931). 鑛床은 變成岩類에 發達되는 양쇄대중에 충진되는 舍金銀石英脈으로 이에 隋伴되는 鑛石鑛物은 微量의 黃銅石, 方鉛石, 閃亞鉛石, 黃鐵石, 硫砒鐵石등이다 (大韓鑛業振興公社, 1987). 九峯鑛山은 過去 南韓最大의 金鑛山으로 年間 1 ton 以上의 金을 生産한적도 있으나 1970년 8월 休鑛이래 現在까지 鑛業活動이 再開된바 없이 廢鑛狀態에 놓여있으며 넓은 地域에 걸쳐 鑛尾가 放置된 狀態로 있다.

大鳳鑛山은 忠南 靑陽郡 南陽面 大鳳里에 位置하고 있으며

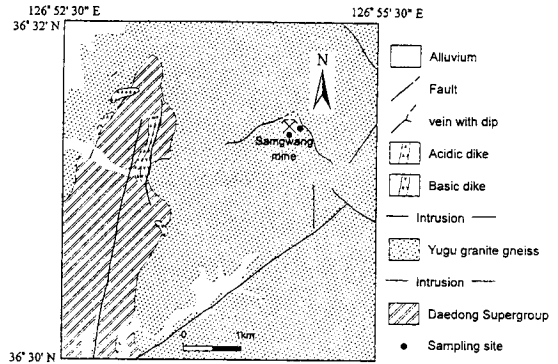


Fig. 3. Geologic map of the Samgwang mine area (So et al., 1988).

周邊地質은 선캠브리아기의 變成堆積岩類가 넓게 分布하고 있으며 이를 트라이아스말기- 주라기초의 大同系 堆積岩類가 否整合으로 被服하고 있다 (Fig. 2). 鑛床은 무수한 舍金石英脈이 分布하는 열극충진 熱水鑛床으로 黃鐵石, 方鉛石, 閃亞鉛石, 黃銅石등이 隋伴된다 (이현구의, 1991; 이현구의, 1992). 본 鑛床은 1908년 最初로 露頭가 發見된 이후 계속 開發이 進行되다가 1990년 休業申告를 낸 狀態에 있다. 구체굴적에서 採取된 試料의 品位가 32.6 g/t에 이르며 (大韓鑛業振興公社, 1990) 現在는 坑內接近이 不可能한 狀態이다.

三光鑛山은 忠南 靑陽郡 雲谷面 新岱里에 位置하고 있으며 鑛山附近의 地質은 선캠브리아기의 花崗片麻岩과 이에 捕獲되어 있는 變質堆積岩 및 後期에 貫入한 페그마타이트 및 鹽基性 岩脈類로 構成된다 (Fig. 3; 엄상호, 이민성, 1963; 이현구, 홍동표, 1993; Lee et al., 1995). 鑛床은 片麻岩에 發達하는 열극을 충진한 舍金銀石英脈이며 硫砒鐵石, 黃鐵石, 方鉛石, 黃銅石, 閃亞鉛石등을 脈石鑛物로 隋伴한다 (大韓鑛業振興公社, 1987; 문건주, 1986; So et al., 1988). 본광산은 현재까지 일신광업의 하청업체에 의해 平均含量 5~60 g/ton의 金を 生産중이다.

試料採取 및 化學分析

鑛山周邊의 河川에서 河川水試料를 採取한 후 現場에서 pH meter를 이용하여 水素이온濃度(pH)를 측정하였고, 양이온 分析用 試料는 pore size 0.45 μm의 Nitrocellulose Membrane Filter를 이용하여 부유물질을 제거한후 농질산을 가해 pH 2이하로 조정하여 폴리에틸렌 試料用器에 保管하였다. 河上堆積物 試料는 광산 주변 水系의 主要 地點에서 0~5 cm 깊이의 堆積物을 모종삼을 이용하여 採取한후 乾

Table 1. Average Cd, Cu, Pb and Zn concentrations in stream waters (mg/l).

Mine	No. of sample	Cd	Cu	Pb	Zn
Gubong	3	0.028	n.d.	0.053	0.182
Daebong	12	0.020	0.010	0.043	0.022
Samgwang	2	0.018	n.d.	0.015	0.030

Table 2. Average Cd, Cu, Pb and Zn concentrations in tailing and stream sediments(µg/g).

Mine	Sample type	No. of samples	Cd	Cu	Pb	Zn
Gubong	tailing	2	33	156	1510	926
Daebong	tailing	2	13	50	377	316
	stream sediment	17	1.1	33	53	112
Samgwang	stream sediment	1	7.6	66	243	276

燥시켜 -80 mesh의 시료를 시료봉투에 保管하였다.

土壤은 表土(0~15 cm 깊이)와 深土(15~30 cm 깊이) 試料로 構成되었으며, 채취후 自然光에서와 전기오븐에서 40°C로 乾燥시켰다. 그 중 약 50 g 정도의 시료를 4분법에 의하여 취한후, -80 mesh (180 µm) 까지 粉碎한후 시료봉투에 넣어 봉하였다. 하나의 표토시료는 2×2 meter의 格子위에서 채취한 9개의 副試料로 구성되었으며, 심토는 적어도 3개의 副試料를 가진다. 하상퇴적물과 토양시료는 질산/과염소산으로 처리한 후에 (Thompson and Wood, 1982), 하천수시료와 함께 원자흡광분석기 (Atomic Absorption Spectrometer)로 Cd, Cu, Pb, Zn 등의 중금속원소를 측정하였다. 모든 분석결과는 Quality control system을 이용하여 평가된후 사용되어졌다 (Ramsey et al., 1987).

한편 식물시료는 영국 런던대학교 Imperial College에 보내 질산/과염소산으로 처리한 후 유도분극 플라즈마 원자분광 분석기(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer)로 25가지 元素를 測定하였다.

結果 및 論議

豫備調査에 의한 富化指數 計算

汚染可能 地域을 찾아내기 위한 概略의인 調査로써 九峯, 大鳳, 三光鑛山 周邊의 河川水, 河上堆積物과 鑛尾에 存在하는 重金屬元素의 含量을 測定하였다. 河川水내의 元素含量을 測定한 結果 九峯鑛山地域의 河川水에서의 Cd, Pb와 Zn 含量이 다른 地域보다 높은 것으로 나타났다 (Table 1). 이를 河川水의 水質環境基準과 比較할 때 Cd는 세 지역에서 그 기준치인 0.01 mg/l 를 超過하는 것으로 나타났으나 Pb는 0.1 mg/l 보다 낮은 값을 보였다 (환경처, 1977). 河上堆

Table 3. Enrichment index of geological materials in the Gubong, Daebong and Samgwang mine areas.

Area	Sample type	Ratio					Enrichment index
		Cd	Cu	Pb	Zn	Mean	
Gubong	stream water	2.8	0	0.5	0.2	0.88	1.19
	tailing	1.4	1.5	1.6	1.5	1.50	
Daebong	stream water	2.0	0	0.4	0	0.60	0.52
	tailing	0.6	0.5	0.4	0.5	0.50	
	stream sediment	0.2	0.7	0.3	0.6	0.45	
Samgwang	stream water	1.8	0	0.2	0	0.50	0.90
	stream sediment	1.3	1.3	1.2	1.4	1.30	

Table 4. Average Cd, Cu, Pb and Zn concentrations in soils(µg/g).

Mine	Sample type	No. of samples	Cd	Cu	Pb	Zn
Gubong	surface soil	4	8.2	32	78	108
	subsurface soil	8	2.7	41	192	126
Daebong	surface soil	8	0.8	33	40	104
	subsurface soil	7	0.8	33	38	102
Samgwang	surface soil	2	5.2	48	102	147
	subsurface soil	2	5.0	40	133	135

Table 5. Average Cd, Cu, Pb and Zn concentrations in crop plants (µg/g).

Mine	Sample type	No. of samples	Cd	Cu	Pb	Zn
Gubong	rice grain	2	0.16	3.2	0.38	17.4
	rice stalk	2	0.50	3.2	2.78	29.0
	sesame	2	0.26	16.4	4.50	57.8
Daebong	rice grain	3	0.12	3.4	0.35	20.6
	rice stalk	3	0.40	3.7	1.55	34.2

積物의 경우 三光鑛山 주변이 大鳳鑛山地域보다 많은 重金屬元素를 含有하고 있으며 EPA의 퇴적물 독성분류 (Baudo and Muntau, 1990)에서 심한오염에 해당되는 기준치인 6 µg/g Cd, 50 µg/g Cu, 200 µg/g Pb와 200 µg/g Zn을 모두 넘는것으로 나타나 汚染源으로서의 可能性을 보여주었다 (Table 2). 한편 鑛山活動으로 인해 放置된 鑛尾에서의 重金屬含量은 九峯鑛山에서의 鑛尾가 大鳳鑛山에서의 鑛尾보다 3~5배의 重金屬을 含有하고 있는 것으로 나타나 土壤 및 河川水의 重金屬汚染源으로서의 可能性을 보여주었다 (Table 2). 위의 廣域調査 結果를 綜合해볼때 大鳳鑛山보다는 九峯 및 三光鑛山에서 土壤 및 農作物에 重金屬汚染이 나타날 可能性이 있는것으로 豫想된다.

人類活動에 기인한 堆積物내의 汚染정도를 나타내는 汚染指數(Pollution index)는 여러 文獻에서 論議된 바 있으나

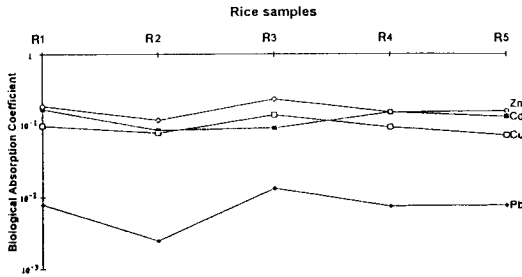


Fig. 4. Biological absorption coefficient (BAC= C_p/C_s) of five rice grain samples from the Gubong (R₁ & R₂) and Daebong (R₃, R₄ & R₅) mine areas (C_p : heavy metal concentration in plants, C_s : heavy metal concentration in soils).

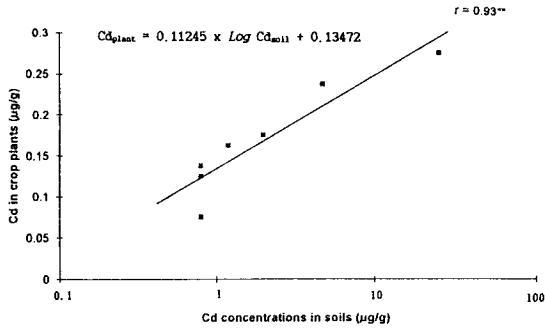


Fig. 5. Cadmium concentrations in soils and crop plants (µg/g) (**: significant at P=0.01).

(Nimick and Moore, 1991; Chon *et al.*, 1995) 이는 堆積物이나 土壤 등 하나의 地質媒介體에 포함된 중금속정도를 나타낸 것이다. 그러나 자연적인 根源 및 人類活動에 기인한 오염은 複合的으로 여러 媒介體에서 나타나므로 (Adriano, 1986) 여러 지구물질내의 重金屬汚染정도를 함께 나타낼수 있는 定量化된 指標가 必要하다. 본 연구에서는 金은광상지역에서의 採鑛活動 및 周邊地質에 의한 중금속오염정도를 예상할수 있는 지표로서 광미, 하상퇴적물과 하천수등의 각 지질매개체내의 중금속함량과 기준값과의 비를 이용한 富化指數(enrichment index)를 제안하고자 한다.

$$\text{富化指數} = \frac{\sum \frac{\text{地質媒介體內的 重金屬元素含量/毒性分類基準值}}{\text{重金屬的 數}}}{\text{地質媒介體的 數}}$$

부화지수계산에 이용된 독성분류 기준치는 하천수의 경우 環境處(1977)에서 제시한 河川水 또는 飲用水 水質環境基準인 0.01 mg/l Cd, 1 mg/l Cu, 0.1 mg/l Pb, 1 mg/l Zn을 이용하였고, 퇴적물의 경우는 앞에서 언급한 미국의 Environmental Pro-

tection Agency에서 제시한 원소함량에 따른 堆積物의 毒性基準에서 심한오염으로 분류되는 기준값을 이용하였다 (Baudo and Muntau, 1990). 광미의 경우 국내 金은광산중 광미에 대한 분석자료가 전무하여 임시적으로 九峯 및 大鳳鑛山 광미의 平均값을 이용하였으나 연구진행에 따라 결과가 축적되는 데로 새로운 기준을 제시하고자 한다.

예비조사에 의한 Table 3의 富化指數 계산결과에서도 알수 있듯이 維鳩-廣川 鑛化帶 産光산에서의 重金屬汚染정도는 九峯, 三光, 大鳳의 순서로 나타났으며, 가장오염이 심한 九峯鑛山을 중심으로 토양 및 농작물의 중금속오염정도를 조사하였다.

土壤 및 農作物의 重金屬汚染

調査地域에서 土壤중의 重金屬元素含量은 여러 文獻상의 조사결과와 平均인 0.35 µg/g Cd, 30 µg/g Cu, 35 µg/g Pb, 90 µg/g Zn (Bowen, 1979) 보다 높은 것으로 나타났다 (Table 4). 특히 九峯鑛山의 경우는 富化指數의 결과로 부터 豫想되었듯이 토양중의 중금속원소함량이 가장 높은 값을 보였고 Cd의 경우는 토양중의 自然背景값의 최대치인 1 µg/g을 훨씬 초과하는 것을 보여 (Plant and Raiswell, 1983) 이지역의 토양에서 경작된 농작물이 지역주민에 영향을 줄수 있는 것으로 예상된다. 또한 九峯鑛山지역 심토내의 Pb함량이 다른 지역보다 높아 농작물에서의 蓄積이 예상된다. 이와같이 토양의 오염이 표토에만 나타난 것이 아니고 심토에까지 이른 것으로 보아 중금속원소의 起源이 土壤母材이거나 放置된 光尾에 기인하여 지표수 및 지하수의 흐름을 따라 이동되어진 것으로 생각된다.

九峯鑛山지역 土壤에서 耕作된 쌀, 벳짚과 깨의 Cu, Pb, Zn함량은 Kabata-Pendias & Pendias (1984)가 제시한 植物내의 平均함량의 상한값인 30 µg/g Cu, 10 µg/g Pb, 150 µg/g Zn보다 작은 것으로 나타났으나 Cd의 경우 깨와 벳짚에서 그 기준인 0.2 µg/g을 넘는 것으로 나타났다 (Table 5). Pb의 경우 깨에서 平均 4.5 µg/g이 존재하고 있어 FAO/WHO (1972)에서 제시한 食品물내 허용량 0.3 µg/g을 훨씬 초과하여 이를 계속적으로 소비하는 지역주민과 가족에게 영향을 미칠수 있는 것으로 나타났다.

土壤중의 높은 重金屬元素含量에 기인한 농작물중의 원소함량을 비교하기 위하여 두값의 비인 각각의 원소의 이동도, 즉 植物吸着係數 (Biological Absorption Coefficient)를 비교할때 (Brooks, 1983) Cd는 Pb보다 식물로의 이동도가 높아 Cd와 Pb가 같이 富化된 토양에서 자란 농작물에서 Cd의 축적이 심하게 나타날수 있다 (Fig. 4). 한편 조사지역 토양중의 Cd함량과 식물중의 Cd함량사이의 관계는 토양중 함량을

로그함수로 치환한 후 線形關係式的 형태로 표현할 수 있어 (Browne *et al.*, 1984) 토양내의 함량이 약 2 µg/g 까지는 선형적인 관계가 존재하다가 그 이상에서는 둔화되는 모양의 曲線(curvilinear)관계를 보여준다 (Fig. 5). 토양중의 Cd함량과 식물에 존재하는 Cd함량사이에는 $Cd_{plant} = a \text{ Log } Cd_{soil} + b$ 의 관계가 존재하며 ($a=0.11245$, $b=0.13472$), 위의 식으로 식물내 함량변화의 83%가 토양중의 함량으로 설명된다. 따라서 토양이 오염되었을때 농작물은 人體로의 중금속원소이동의 중요한 媒介體이므로 토양에서 농작물로의 이동을 제어하는 것이 重金屬元素의 人體에 대한 影響을 減少시키는 한 방법이 될 수 있을 것이다.

結 論

1) 九峯, 大鳳 및 三光鑛山周邊의 河川水, 河上堆積物과 鑛尾에 존재하는 重金屬元素의 含量과 그 基準值와의 比를 이용한 富化指數의 값은 九峯 > 三光 > 大鳳의 順序로 나타나 九峯 및 三光鑛山地域 土壤 및 農作物에 重金屬汚染의 可能性이 있는것으로 나타났다.

2) 九峯 및 三光鑛山地域에서의 논밭토양에서 Cd, Cu, Pb와 Zn 함량은 비오염지역의 평균값을 초과하였으며 구봉광산 지역 토양에서 자란 芻草과 깨의 Cd함량은 0.5 µg/g, 0.26 µg/g으로 높게 나타났다. 또한 조사지역의 쌀과 깨에서 평균 0.38 µg/g 및 4.5 µg/g의 Pb가 檢出되어 이를 계속적으로 소비하는 주민의 인체에 蓄積된다면 疾病을 야기할수 있을것으로 예상된다.

3) 土壤중의 元素含量에 대한 植物중의 元素含量의 比를 나타내는 각각의 원소에 대한 植物吸着係數는 $Cd = Zn > Cu > Pb$ 의 순서로 나타나 여러 중금속원소가 함께 부화된 토양에서 자란 농작물에서 Cd의 축적이 가장 두드러지게 나타나며, 토양과 식물중의 Cd함량사이에는 $Cd_{plant} = a \text{ Log } Cd_{soil} + b$ ($a=0.11245$, $b=0.13472$)의 형태를 가지는 曲線관계를 가진다.

謝 辭

本 研究는 1994년도 韓國學術振興財團의 공모과제 研究費 支援 (課題番號 01-D-0317: 維鳩-廣川 鑛化帶의 金銀鑛化作用 및 資源開發에 따른 有毒性元素의 環境汚染特性)과 戰略鑛物資源研究센터의 研究費 支援으로 이루어졌다. 研究修行시 分析作業에 도움을 준 서울大學校 資源工學科의 全孝澤教授와 應用地球化學實驗室의 大學院生에게 感謝의 마음을 전하며, 植物分析에 도움을 준 영국 Imperial College의 정명채 박사에게도 고마움을 전합니다.

參考文獻

김옥준 (1982) 韓國의 地質과 鑛物資源. 延世大學校 地質學科 同門會, p.257-273.
 大韓鑛業振興公社 (1987) 韓國의 鑛床. 제 10호, 금은편, 1012p.
 大韓鑛業振興公社 (1990) 韓國의 鑛床. 제 12호, 금은편, 644p.
 島村新兵衛 (1931) 青陽地質圖幅 說明書. 朝鮮地質調査所.
 文建柱 (1986) 三光 金鑛床의 鑛化溫度 및 根源에 관한 研究. 鑛山地質, v.19, p.19-24.
 엄상호, 이민성 (1963) 大輿圖幅. 國立地質調査所.
 李鉉具, 庚鳳哲, 문희수 (1991) 大峯鑛山產 에렉트럼의 鑛物共生과 化學組成. 鑛山地質, v.24, p.196.
 李鉉具, 庚鳳哲, 金尚中 (1992) 忠南 大鳳 金銀鑛床에서 產出되는 鑛石鑛物과 鑛床의 生成環境. 鑛山地質, v.25, p.297-316.
 李鉉具, 洪동표 (1993) 忠南 三光 金銀鑛床의 地質構造 규제. 鑛山地質, v.26, p.246.
 전찬규, 오민수 (1970) 九峯鑛山의 地質과 鑛床. 鑛山地質, v.3, p. 169-174.
 環境處 (1977) 環境保全法 施行規則.
 Adriano, D.C. (1986) Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag, 533p.
 Baudo, R. and Muntau, H. (1990) Lesser known in-place pollutants and diffuse source problems. In Sediments: Chemistry and Toxicity of In-place Pollutants (ed. R. Baudo *et al.*). Lewis Pub. Inc., p.1-14.
 Bowen, H.J.M. (1979) Environmental Chemistry of the Elements. Academic Press, 333p.
 Brooks, R.R. (1983) Biological Methods of Prospecting for Minerals. John Wiley & Sons, 321p.
 Browne, C.L., Wong, Y.M. and Buhler, D.R. (1984) A predictive model for the accumulation of cadmium by container-grown plants. J. Environ. Qual., v.13, p.184-188.
 Chon, H.T., Shimazaki, H. and Sato, K. (1981) Compositional variation of sphalerite from some hydrothermal metallic ore deposits in the Republic of Korea. Mining Geol., v.31, p.337-343.
 Chon, H.T., Kim, K.W. and Kim, J.Y. (1995) Metal contamination of soils and dusts in the Seoul area. Environ. Geochem. health, v. 17 (in press)
 FAO/WHO Joint Expert Comm. Food Additives (1972) WHO Tech. Rep. Ser. No. 505, Geneva.
 Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (1984) Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, 315p.
 Kaneda, H., Shimazaki, H. and Lee, M.S. (1986) Mineralogy and geochemistry of the Au-Ag ore deposits of the South Korean Peninsula. Mineral. Deposita, v.21, p.234-243.
 Lee, H.K., Yoo, B.C., Hong, D.P. and Kim, K.W. (1995) Structural controls on the mineralization of Au-Ag bearing quartz veins during the strike-slip fault system in the Samkwang mine, Republic of Korea. Proc. of the 5th Korea-Japan Symposium on the genesis of the ore deposits, p.22-28.
 Nimick, D.A. and Moore, J.M. (1991) Prediction of water soluble metal concentrations in fluvially deposited tailing sediments, Upper Clark Fork Valley, Montana, U.S.A. Appl. Geochem., v.6, p.635-646.
 Plant, J.A. and Raiswell, R. (1983) Principles of environmental geochemistry. In Applied Environmental Geochemistry (ed. I. Thornton), Academic Press, p.1-39.
 Ramsey, M.H., Thompson, M. and Banerjee, E.K. (1987) Realistic assessment of analytical data quality from inductively coupled

- plasma atomic emission spectrometry. *Anal. Proc.*, v.24, p.260-265.
- Shimazaki, H., Sato, K., Kaneda, H. and Lee, M.S. (1985) Sulfur isotopic ratios of the ore deposits associated with Mesozoic felsic magmatism in South Korea, with special reference to gold-silver deposits. *Geochemical Jour.*, v.19, p.163-169.
- So, C.S., Shelton, K.L., Chi, S.J. and Choi, S.H. (1988) Stable isotope and fluid inclusion studies of gold-silver bearing hydrothermal-vein deposits, Cheonan-Cheongyang-Nonsan Mining District, Republic of Korea; Cheongyang area. *J. Korean. Inst. Mining Geol.*, v.21, p.149-164.
- Thompson, M. and Wood, S. (1982) Atomic absorption methods in applied geochemistry. In *Atomic Absorption Spectrometry* (ed. E.J. Cantle), Elsevier, p.261-284.

1995년 7월 1일 원고접수