

휴폐광산 지역에서 폐석의 중금속 존재 형태와 지화학적농축계수 평가

김휘중^{1*} · 박병길² · 공성호² · 이재영³ · 옥용식⁴ · 전상호¹

¹강원대학교 자연과학대학 환경과학과, ²한양대학교 화학공학과, ³서울시립대학교 환경공학부, ⁴강원대학교 생물환경학부

Fraction and Geoaccumulation Assessment Index of Heavy Metals in Abandoned Mines wastes

Hee-Joung Kim^{*1} · Byung-Kil Park² · Sung-Ho Kong² · Jai-Young Lee³ · Yong-Sik Ok⁴ · Sang Ho Jun¹

¹Department of Environmental Science, Kangwon National University

²Department of Chemical Engineering, Hanyang University

³Department of Environmental Engineering, University of Seoul

⁴Division of Biological Environment, Kangwon National University

ABSTRACT

Several metalliferous including Guedo mine, Manjung mine and Joil mine located at the upper watershed of Namhan river, were abandoned or closed since 1988 due to the mining industry promotion policy and thus disposed an enormous amount of mining wastes without a proper treatment facilities, resulting in soil pollution. In this research, total and fractional concentrations of heavy metals in mining wastes were analyzed and accordingly the degree of soil pollutions in the abandoned mine area were quantitatively assessed employing the several pollution indices. The mining waste samples from Guedo mine, Manjung mine and Joil mine recently abandoned were collected for the evaluation of the potential of water pollution by mining activities. Index of geoaccumulation fractional composition and removal efficiency of some heavy metals by different concentration of HCl treatment were analyzed. Index of geoaccumulation of Cd, Pb, Zn, Cu, Ni and Cr are 6, 4~6, 0~6, 4~5, 2 and 0 respectively. The index of geoaccumulation of Cd, Pb, Zn and Cu reveals the mining wastes has high pollution potential in the area. According to sequential extraction of metals in the mine wastes organic fraction of Cu, reducible fraction of Pb, residual fraction of Ni and Zn were the most abundant fraction of heavy metals in mining wastes.

Key words : Abandoned mines, Mining waste, Index of geoaccumulation, Fractional composition, Pollution potential

요 약 문

남한강 상류지역의 금속광산인 거도, 만정, 조일광산은 1988년 석탄광산합리화 사업과 더불어 폐광되었으며, 휴·폐광된 이후 다량의 광산 폐기물을 방치하여 주변환경을 오염시키고 있는 실정이다. 그러나 광미, 폐석 등의 이동에 의한 주변의 토양오염에 대한 정량적 평가가 없기 때문에 이들 광산폐기물에 의한 오염정도를 확인하기 어렵다. 따라서 폐광된 거도, 만정, 조일 광산의 광산 폐석에 의한 수질 오염 가능성 평가를 위해 각 광산에서 폐석 시료를 채취하였으며, HCl 처리 농도에 따라 지화학적 농축 계수(Index of geoaccumulation), 중금속 존재 형태와 이동성에 관하여 조사하였다. 카드뮴, 납, 아연, 구리, 니켈 그리고 크롬의 지화학적 농축 계수는 각각 6, 4~6, 0~6, 4~5, 2, 0을 나타냈다. 광산 폐석에서 카드뮴, 납, 아연, 구리의 지화학적 농축계수 분석을 통하여 이러한 지역이 상당한 오염 가능성을 알 수 있었다. 광산 폐석에서 중금속의 존재 형태는 구리의 경우 유기물 형태, 납은 탄산염 형태, 니켈과 아연은 잔류상 형태로 나타났다.

주제어 : 휴(폐)광, 광산 폐석, 지구화학적 농축계수, 존재 형태, 오염가 능성

*Corresponding author : hjkim60@kangwon.ac.kr

원고접수일 : 2005. 6. 3 게재승인일 : 2005. 12. 11

질의 및 토의 : 2006. 2. 28 까지

1. 서 론

1980년대까지 국가 기간산업으로 활발히 진행된 강원도 영동지방의 광업 산업은 석유와 가스 소비 증대로 급속히 쇠퇴하기 시작했다. 이러한 휴·폐광, 탄광은 주변 환경에 미치는 영향력이 크기 때문에 현재 정부에서도 광산 폐기물에 의한 토양 및 하천 오염의 영향 평가를 실시하고 있다. 그러나 일반적으로 처리되지 않은 광미나 광재, 퇴적물, 침출수, 유출수 등의 광산 활동에 의한 폐기물에 함유된 유해 중금속의 농도는 우리나라의 토양환경 보전법이나 수질환경보전법의 기준보다 높은 것으로 보고되고 있으며, 광산 폐기물에 의한 농경지의 오염 가능성은 광산 폐기물에 함유된 중금속들의 분포와 주변 환경에 따른 중금속의 용출 및 거동에 관한 지식이 없으면 적절한 접근이 불가능하다(김휘중 등, 2003).

최근에 직면하고 있는 문제 중의 하나는 광산 활동에 의해 발생된 광폐재들에 의한 것으로 광산폐수, 광산폐기물 등 여러 종류의 오염 물질이 지하수, 강, 토양을 포함한 자연 생태계에 유입되면서 유해물질의 양이 자정능력을 범위를 넘으면서 발생하는 환경문제이다. 이렇게 주변 지역의 환경에 영향을 미치는 오염의 주원인은 광산 활동에 의해 발생하는 유해 중금속과 같은 오염물질과 휴·폐광 된 후 광재담, 폐재장, 폐광도, 폐석 등에서 발생하는 침출수와 용출되는 유해 중금속 등이며, 이러한 유해 중금속은 토양 및 수계로 이동하여 하천, 토양 및 농경지를 오염시키고 있다(김휘중 등, 2003).

금속 광산의 폐석은 인체에 유해한 중금속류를 다량 함유하고 있는 경우가 많고 특히 유화광물을 다량으로 함유하고 있어 풍화 시 다량의 수소이온을 방출함에 따라 주변 환경을 강하게 산성화시키고 각종 중금속의 이온화를 촉진시켜 환경 중에 유해 금속원소의 농도를 증가시키는 주된 오염원이 되고 있다(김상현, 전효택, 1993; 나춘기, 이무성, 정재일, 1997; Liu Zaihua, Yuan Daoxian and Shen Zhaoli, 1994).

거도광산, 만정광산, 조일광산의 하부지역에는 대부분 농경지가 발달되어 있고 광산의 폐석 더미를 경유하여 흐르는 물을 농업용수 또는 생활용수로 이용하고 있어 토양 및 지하수의 오염 문제가 심각하게 대두되고 있다. 이에 따라서 폐석에 존재하는 유해 유기오염물질 및 중금속의 처리에 많은 관심이 주어지고 있다(박용하, 1994; Jung, 1995, 1996; Herbert E. Allen, 1995).

본 연구에서는 광산 폐석에 의해 하천과 농경지의 오염 가능성이 높은 거도광산, 만정광산, 조일광산의 폐석을 대

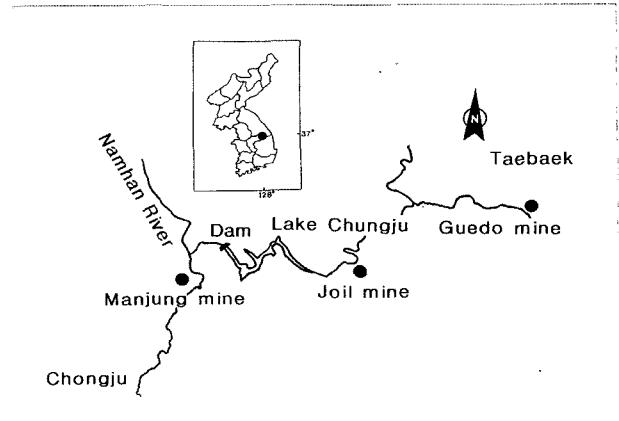


Fig. 1. Location of sampling sites of mining wastes.

상으로 입도분석 및 Tessier 등(1979)에 의한 중금속 존재형태에 따른 이동성을 평가하고, Index of geoaccumulation(Igeo)을 이용, 각 광산폐석의 오염정도를 평가, 복원 우선순위 결정을 위한 자료로 활용하려고 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지점

본 연구 대상 지역인 남한강 수계에 위치한 거도광산, 만정광산, 조일광산은 과거에 모두 Sodium ethyl xanthate 나 Oleic acid와 같은 유기 포수제(collecting agent)를 이용하는 부유선광법으로 광석으로부터 목적 광물을 추출하였으며 선별 공정에서 나오는 폐석은 건조시켜 방치하고 있다. 방치된 폐석은 폭우 등에 의하여 하천이나 농경지로 유입되고, 폐석을 씻은 물은 하천으로 유입되어 수질 오염과 토양 오염의 원인이 되고 있다.

폐석 위에는 식생이 전혀 없어 오염도가 심각함을 나타내고 있었다. 폐석 더미 표면에는 물이 흐른 흔적이 남아 있어 우기에 많은 양의 폐석이 하천과 농경지로 유입되었을 것으로 추정된다.

2.2. 시료의 분석 방법

본 연구에 사용된 시료는 2003년 5월10일부터 9월7일까지 거도광산, 만정광산, 조일광산을 대상으로 폐석 집적장의 여러 지점에서 채취하여 원추 4분법으로 시료를 균질화하여 사용하였다.

중금속의 존재형태 분석을 위해 위의 시료를 40°C에서 건조시켜 망 눈의 크기 2 mm인 비금속 체(nylon bolting cloth sieve)로 체질하여 사용하였고 입도 분석용 시료는 40°C에서 건조시킨 시료를 그대로 사용하였다. 입도 분석

Table 1. Class of Index of geoaccumulation

Igeo	Igeo-class	Designation of mining waste quality
>5	6	very highly polluted
4-5	5	highly to very highly polluted
3-4	4	highly polluted
2-3	3	moderately to highly polluted
1-2	2	moderately polluted
0-1	1	unpolluted to moderately polluted
0	0	unpolluted

은 체 분석(sieving)과 침강 분석(pipette method)을 병행하여 실시하였다(박용안, 1983; Folk, 1954). 64 µm 이상의 입경을 갖는 입자는 체 분석을 하고 64 µm 이하의 입경을 갖는 입자는 침강분석을 실시하였다. 토양의 토성(Texture)은 미국 농무부 법에 따라 분류하였고, 입도 분석은 Shepard, 평균 입도는 Folk의 분류 방법을 따랐다.

폐석 내 중금속의 존재 형태는 Tessier 등(1979)의 방법에 따라 흡착태형태(adsorbed form), 탄산화합물과 결합된 형태(carbonate form), 철 및 망간산화물과 결합된 형태(reducible form), 유기물과 결합된 형태(organic form), 잔존물형태(residual form)로 분류하여 추출하였으며, 중금속의 농도는 ICP(Perkin Elmer XL 3100, USA)를 이용하여 측정하였다.

폐석의 지화학적 농축계수(Index of geoaccumulation)는 Müller(1979)에 의해 제시된 Index of geoaccumulation(Igeo)을 기준으로 하여 평가하였다(Table 1).

지화학적 농축계수 계산은 다음과 같이 정의된다.

$$Igeo = \log_2[(M)sample/1.5 \times (M)background]$$

(M)sample : 폐석에 함유된 금속 함량

(M)background : shale에 함유된 농도를 이용

1.5 : 보정을 위한 상수

3. 결과 및 고찰

3.1. 입도 분포

조사 지역 폐석에 대한 입도분석 결과 입도 조성

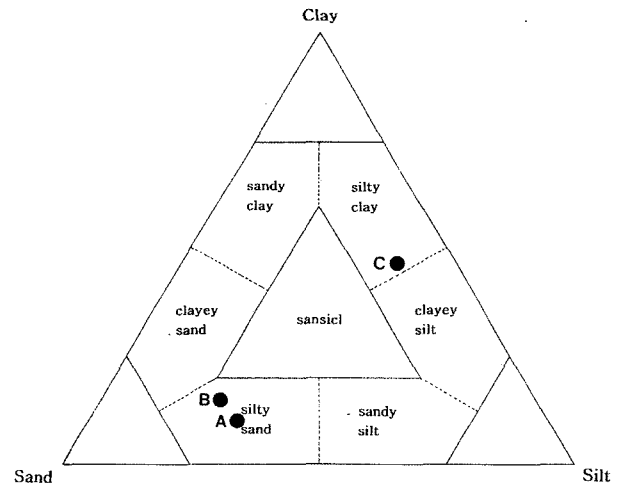


Fig. 2. Diagram showing the texture of the mining wastes in study areas(A : Guedo mine, B : Manjung mine, C : Joil mine).

(Texture)은 거도광산 Sand 59.9%, Silt 31.7%, Clay 8.4% 만정광산 Sand 63.6%, Silt 25.9%, Clay 10.5% 조일광산 Sand 7.1%, Silt 45.67%, Clay 47.3%로 조일광산을 제외하고는 두 광산에서 Sand가 우점 하였다. 조사 지역의 입도 분석 결과를 Table 2에 입도분포(textural composition)를 Fig. 2에 제시하였다.

3.2. 폐석의 지화학적 농축계수(Index of geoaccumulation)

폐석에 함유된 중금속의 지화학적 농축계수는 지화학적 농축계수(Index of geoaccumulation(Igeo)을 이용하여 평가하였고 분류는 비오염(Unpolluted), 근접오염(Unpolluted to Moderately Polluted), 중간오염(Moderately Polluted), 주위오염(Moderately to Highly Polluted), 경보오염 Highly Polluted, 대책오염(Highly to Very Highly Polluted), 위험오염(Very Highly Polluted)로 나누었다.

거도광산, 만정광산, 조일광산에서 채취한 폐석에 대한 지화학적 농축계수 평가 결과 구리는 4~5의 분포를 보여 대책오염상태를 나타냈으며, 납은 4~6의 분포를 보여 심하게 오염되어 있는 것으로 나타났다. 니켈은 연구 대상 전 지역에서 2의 값을 나타내어 중간오염이었으며, 아연은 조일광산에서 6을 나타내 대책오염상태를 나타내고 있

Table 2. Texture characteristics of mining wastes from Geudo mine, Manjung mine, Joil mine

Mine	sand	silt	clay	mean	sorting	skewness	kurtosis	texture
Guedo	59.9	31.7	8.4	3.40	2.67Φ	0.41	1.06	siltysand
Manjung	63.6	25.9	10.5	3.58	2.38Φ	0.43	1.40	siltysand
Joil	7.1	45.6	47.3	7.80	2.27Φ	-0.10	0.86	siltyclay

Table 3. Summary of the indices of geoaccumulation of trace metals in mining wastes

Mine	Copper	Lead	Nickel	Cadmium
Guedo	5	4	2	6
Manjung	4	4	2	6
Joil	4	6	2	6

다. 카드미움은 연구 대상 전 지역에서 6으로 경보오염을 나타냈다. 크롬은 연구 대상 전 지역에서 0으로 비오염 상태를 나타냈다.

김경웅(1996)등에 의해 달성 광산 주변 지역의 토양에 함유된 구리, 납, 이연, 비소 함량은 생육피해 한계농도를 초과하고 있는 것으로 보고 된 바 있으며, 거도광산, 조일광산, 만정광산에서 채취한 폐석에 대하여 지화학적 농축계수를 조사하여 본 결과 크롬에 의한 오염은 나타나지 않았으나 구리, 납, 카드미움의 경우 폐석에서 매우 높은 함량을 나타내 폐석이 광산 지역의 허부에 발달된 농경지로 유입될 경우 중금속에 의한 오염이 나타날 것으로 생각된다.

Cu, Pb, Ni, Zn, Cd, Cr의 Igeo-class값을 Table 3에 나타내었다.

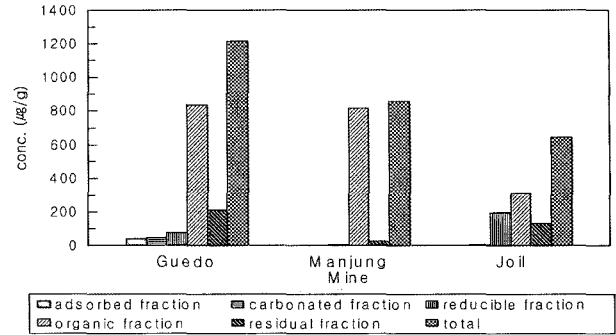
3.3. 중금속의 존재형태(Fractionation)

현재 시행되고 있는 토양의 분석 방법은 중금속의 총 함량만을 측정하게 되어 있다. 이러한 분석 방법은 토양에 분포하고 있는 중금속의 이동 형태나 용출 가능성에 대한 예측이 어려운 실정이다. Alloway 등(1988)에 의하면 중금속의 존재형태를 분석하는 것이 더욱 유용한 토양 오염의 정보를 얻을 수 있다고 보고하고 있다.

중금속이 민감한 환경 변화에서 생물학적 이용효능(Bioavailability)과 토양중 이동성에 가장 영향을 미칠 수 있는 형태는 흡착태(Adsorbed fraction)이다. 그러나 토양 내에서 조건 변화에 의해 토양이 혐기성 형태나 혹은 유기물 분해에 의한 수소이온 농도 증가에 의한 pH 감소와 같은 다양한 환경 변화가 나타날 수 있다. 따라서 토양의 중금속의 존재 형태 중 탄산염과 결합된 형태나 철 또는 망간 산화물과 결합된 형태는 수용태나 치환태로 변화될 가능성이 높다.

3.3.1. 구리(Copper)

거도광산, 만정광산, 조일광산의 폐석에 함유되어 있는 구리 총량은 각각 1214.5 $\mu\text{g/g}$, 857.6 $\mu\text{g/g}$, 642.0 $\mu\text{g/g}$ 로 거도광산이 제일 높은 농도를 보였으며(Fig. 3) 이를

**Fig. 3.** Fractional composition of copper of mining wastes.

평균 shale의 구리 함량 45 $\mu\text{g/g}$ (Förstner, Wittmann, 1981; Wedepohl, 1961)과 비교해 보면 세 곳 광산 모두 매우 높은 농도를 나타냈다.

폐석에 함유된 구리의 존재형태 분석 결과 거도광산, 만정광산, 조일광산에서 모두 유기물과 결합된 형태인 organic fraction의 함량비가 높게 나타났다. 이는 유화광물로 존재하고 있던 부분이 산화되었기 때문으로 사료된다.

Müller(1979)에 의해 제시된 지화학적 농축계수(Index of geoaccumulation)을 이용하여 거도광산, 만정광산, 조일광산 폐석의 지화학적 농축계수를 구한 결과 class 4~5(Highly polluted 이상)로 폐석이 강우에 의하여 하천과 농경지로 유입 될 경우 구리에 의한 오염이 나타날 것으로 사료된다.

거도광산, 만정광산, 조일광산 폐석의 pH 측정 결과 각각 7.8, 7.3, 7.7로 측정되었으나 이 지역의 경우 침출수의 pH가 2.7에서 3.8사이로 나타남에 따라(김휘중 등, 2003) 침출수에 의해 폐석이 영향을 받을 경우 pH가 낮아짐에 따라 중금속의 용해는 증가하기 때문에 폐석 내에 존재하는 중금속 중 이 용출되어 하류지역의 토양이나 하천으로 유입되면 각각의 생태계에 영향을 줄 것으로 판단 된다.

3.3.2. 납(Lead)

거도광산, 만정광산, 조일광산의 폐석에 함유되어 있는 납의 총량은 각각 287.4 $\mu\text{g/g}$, 266.0 $\mu\text{g/g}$, 1820.5 $\mu\text{g/g}$ 로 조일광산이 제일 높은 농도를 보였으며 이를 평균 shale의 납 함량 20 $\mu\text{g/g}$ (Förstner, Wittmann, 1981; Wedepohl, 1961)과 비교해 보면 조사된 광산 모두 13~90배 높은 농도를 나타냈다.

지화학적 농축계수(Index of geoaccumulation(Igeo)을 이용하여 거도광산, 만정광산, 조일광산 폐석의 지화학적 농축계수를 구한 결과 class 4~6(Highly polluted 이상)로

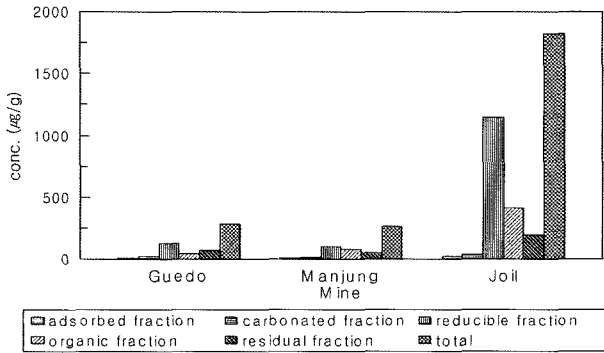


Fig. 4. Fractional composition of lead of mining wastes.

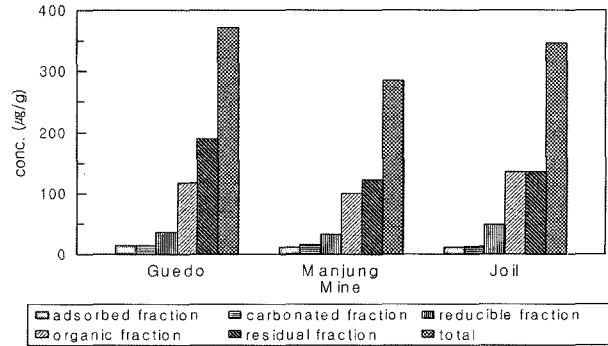


Fig. 5. Fractional composition of nickel of mining wastes.

조일광산 가장 높은 class 6을 나타냈으며 폐석이 강우나 자연 환경 변화에 의해 하천과 농경지로 유입 될 경우 납에 의한 오염이 나타날 것으로 예측된다.

폐석에 함유된 납의 존재형태를 분석한 결과 조사 지역 모두에서 철/망간 산화물과 결합된 부분인 reducible fraction의 함량비가 높게 나타났는데(Fig. 4), 토양이 혐기성 형태나 유기물 분해에 의한 수소이온 농도에 의한 pH 감소와 같은 환경 변화가 발생되면 하천과 농경지에 많은 양의 납이 용출될 것으로 사료된다. 특히, 충주호 상류에 가깝게 위치한 조일광산은 거도광산, 만정광산 보다도 총 함량이 매우 높게 나타났으며 혐기성 상태에서 용출이 쉽게 일어나는 reducible fraction이 대부분을 차지하고 있어 조일광산의 폐석이 충주호로 유입될 경우 심각한 수질 오염을 나타낼 것으로 사료된다.

3.3.3. 니켈(Nickel)

거도광산, 만정광산, 조일광산의 폐석에 함유되어 있는 니켈의 총량은 각각 371.0 µg/g, 284.4 µg/g, 345.2 µg/g 로 거도광산이 제일 높은 농도를 보였으며 이를 평균 shale의 니켈 함량 68 µg/g(Förstner, Wittmann, 1981; Wedepohl, 1961)과 비교해 보면 세곳 광산 모두 4~5배 높은 농도를 나타냈다.

거도광산, 만정광산, 조일광산의 폐석을 존재형태 분석한 결과 광물 성분과 관련된 residual fraction의 형태가 가장 높고 유기물과 관련된 organic fraction의 형태의 함량비가 높았다(Fig. 5). 이는 부유 선풍기 사용한 유기물과 결합되었던 니켈이 추출되어진 것으로 보여진다. 또한 자연 환경에서 용출되기 쉬운 부분은 낮은 함량비를 나타내고 있어 pH가 낮은 광산 폐수의 유입과 같은 특수한 경우가 아니면 잘 용출되지 않기 때문에 자연 환경에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

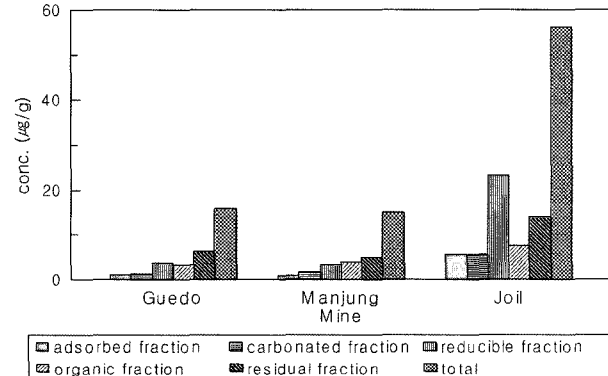


Fig. 6. Fractional composition of cadmium of mining wastes.

지화학적 농축계수 (Index of geoaccumulation)을 이용하여 거도광산, 만정광산, 조일광산 폐석의 지화학적 농축계수를 구한 결과 class 2(Moderately polluted)로 오염이 진행되어 있음을 알 수 있었다.

3.3.4. 카드뮴(Cadmium)

거도광산, 만정광산, 조일광산의 폐석에 함유되어 있는 카드뮴 총량은 각각 16.0 µg/g, 14.9 µg/g, 56.0 µg/g 로 조일광산이 제일 높은 농도를 보였으며 이를 평균 shale의 카드뮴 함량 0.3 µg/g(Förstner, Wittmann, 1981; Wedepohl, 1961)과 비교해 보면 세곳 광산 모두 매우 높은 농도를 나타냈다.

지화학적 농축계수(Index of geoaccumulation)을 이용하여 거도광산, 만정광산, 조일광산 폐석의 지화학적 농축계수를 구한 결과 가장 높은 class 인 6으로 폐석이 강우에 의하여 하천과 농경지로 유입 될 경우 카드뮴에 의한 오염이 나타날 것으로 보여지며, 충주호의 상류에 가깝게 위치한 조일광산의 경우 용출이 쉬운 형태의 함량비가 총량의 65.0%를 차지하고 있어 조일광산의 폐석이 충

주호로 유입 될 경우 카드미움에 의한 수체의 오염 기여도가 나타날 것으로 예상된다.

Fig. 6에 폐석에 함유된 카드미움의 존재형태를 나타내었다.

4. 결 론

거도광산, 만정광산, 조일광산에서 채취한 폐석에 대한 지화학적 농축계수, 존재형태, 용출실험 후 존재형태의 변화를 분석한 결과와 토의를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폐석에 대한 입도분석 결과 조일광산을 제외하고는 거도광산, 만정광산에서 Sand가 우점 하였다.
2. 폐석의 지화학적 농축계수를 이용하여 분류한 결과 연구 대상 전 지역 에서 구리, 납, 니켈, 카드미움의 농축 정도가 높게 나타났으며 특히, 카 드미움은 가장 높은 6 으로 매우 심한 농축 정도를 나타내었다.
3. 연속추출법에 의해 폐석에 함유된 중금속의 존재형태를 분석 결과 연구 대상 전 지역에서 구리는 유기물과 결합된 형태, 납은 철 및 망간 산화 물과 결합된 형태, 니켈은 잔류상 형태, 아연은 잔류상 형태의 함량이 높고 카드미움, 크롬은 거도광산, 만정광산에서 잔류상 형태, 조 일광산에서 철 및 망간 산화물과 결합된 형태의 함량이 높은 것으로 나타났다.
4. 자연 상태에서 용출이 용이한 흡착태 형태, 철 및 망간 산화물과 결합된 형태와 유기물과 결합된 형태 합인 함량 비율이 높게 나타나 폐석이 농경지나 하천으로 유입 될 경우 토양오염과 수질오염을 유발시킬 것으로 판단된다.

Acknowledgements

This work was supported by grant from Environmental Research Institute Kangwon National University

참 고 문 헌

- 강선홍, 최상일, 1995, Thiobacillus ferrooxidans를 이용한 광산 폐기물 내의 중금속 용해에 관한 기초 연구, 한국수질보전학회 11(2), 123-128.
- 김경웅, 1997, 달성광산지역 토양의 중금속 함량 분석결과의 평가 한국 지하수토양환경학회 4(1) 20-26.
- 김상현, 전효택, 1993, 삼보 연.아연-중정석 광산 주변 하상 퇴적

물에서 의 중금속 오염연구, 광산지질, 26, 217-226.

김휘중, 양재의, 이재영, 김정호, 전상호, 2003. Fraction and mobility of heavy metals in the abandoned closed mine near Okdong stream sediments. 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회, 제주대학교, 56-62.

김휘중, 양재의, 이재영, 전상호, 2003, 휴 · 폐광산지역에서 폐재내 중금속의 존재형태 및 용출 특성에 관한 연구, 한국지하수토양 환경학회, 8(4), 45-55.

나춘기, 이무성, 정재일, 1997, 폐금속 광산 하부 농경지 토양의 중금속 오염과 그 복구방법으로서 반전객토의 효율성, 자원환경지질학회, 30(2) 123-135.

박용안, 1983, 해양 지질학 및 퇴적학 실험, 집문당, p. 38.

박용하, 1994, 휴 · 폐광된 금속광산 지역의 오염 관리대책.

Alloway, B.J., Thornton, I., Smart, G.A., Sherlock, J.C., and Quinn, M.J., 1988, Metal availability special issue the Shipham report : an investigation into cadmium contamination and its implications for human health, *Sci. Tot. Environ.*, 75, 41-69.

Park, B.Y. and Shin, H.M., 1996, Cadmium adsorption and exchangeable cations desorption in soils : effects of pH organic matter content, 한국환경과학회지 5(2), 243-252.

Frstner, W., 1981, Metal pollution in the aquatic environment, Springer-Verlag, 486.

Förstner, U. and Salomon, W., 1991, Mobilization of metals form Sediments, Metals and Their compound in environment, Ed. by E, Merian, 379-398.

Folk, R. L., A Review of grain-size Parameters, *Sedimentology*, 6, 77-93.

Herbert, E., Allen Chin, P.H., George, W.B., Alan, R. B., 1995, Metal speciation and contamination of soil, Lewis, 358.

Jung, M.C., 1995, Heavy metal contamination of soil, plants, waters and sediments in the vicinity of malliferous mine in Korea, Ph.D thesis, University of London, 455.

Liu, Z.H., Yuan, D.X., and Shen, Z.I., 1994, Effect of coal mine waters of variable pH on springwater quality: a case study, *Environ geol water sci*, 219-225.

Park, Y.A., 1996, Designing and applicability of soil pollution induces for estimating quality of soil polluted with heavy metals and arsenic, *Korean Society of Soil and Ground Water Environment*, 1(1), 47-54.

Shepard, F.P., 1954, Nomenclature Based on sand-silt-clay ratios, *J. Sed.Pet.*, 24, 151-158

Tessier, A., Campbell, P.G.C., and Bisson, M., 1979, Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals, *Analytical Chemistry*, 51, 844-851