

광산폐기물의 지구화학적 특성과 유독성 원소의 화학적 형태

점명채¹⁾ · 안주성²⁾ · 전효택²⁾ · 정영욱³⁾ · 민정식³⁾

1. 서론

이 연구에서는 국내에 분포되어 있는 900개 이상의 휴광 또는 폐광된 금속광산 중에서 비교적 환경오염이 진행되고 있는 11개 광산을 대상으로 광산폐기물의 지구화학적 특성을 조사하고자 한다. 그리고 이들 광산폐기물내 주요한 오염원소인 As 및 중금속원소들(Cd, Cu, Pb 및 Zn)의 화학적 형태를 조사하여 이들의 화학적 거동과 지표노출 및 산화현상에 따른 변화양상을 파악하며 향후 지구화학적 처리에 있어 타당한 지침을 고려해 본다.

2. 시료채취 및 분석

휴·폐광 지역 중에서 비교적 광산폐기물에 의한 환경영향이 발생되고 있는 11개 광산을 대상으로 광미장 또는 폐석더미에서 1~4개의 광산폐기물을 채취하였다(Fig. 1). 채취된 시료는 실험실에서 자연건조한 후, paste pH와 석회시용량을 측정하였으며 중금속 함량은 공정시험분석법과 왕수분해법을 적용, AAS를 이용하여 분석하였다. 유독성 원소들의 화학적 결합형태를 조사하기 위하여 광미시료에 대해 Tessier *et al.*(1979), Davidson *et al.*(1984), Harrington *et al.*(1998)의 방법을 응용하여 단계별 추출을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

광미시료의 paste pH값은 모암의 성분과 대상 광종에 따라 차이를 보였다(Table 1). 즉, 청양, 은치, 다락, 금정, 울진, 쌍진, 송천광산의 광미는 황화물의 영향으로 4.5이하의 낮은 값을, 삼광, 금장, 기린광산, 제2연화광산 등은 탄산염의 영향에 의해 높은 값을 보였다. 이러한 결과는 광미를 중화하기 위해 필요한 양을 결정해 주는 석회시용량과 밀접한 관계를 보였다. 비교적 낮은 pH에서는 중화를 위해 다량의 미분쇄된 석회가 필요하며, 중성에 가까운 시료에서는 낮은 석회량이 요구되었다. 공정시험법과 왕수를 이용한 중금속 추출결과에 의하면 삼광, 청양, 은치, 금장, 제2연화 등의 광산에서 다량의 중금속이 검출되었다. 물론 광산폐기물은 지정폐기물로 분류되며 폐기물 용출실험(염산으로 pH 5.8~6.3으로 조절한 물과 시료를 1:10으로 혼합하여 중금속을 측정) 결과는 토양에 대한 공정시험법보다는 함량이 낮으리라 판단되지만 대부분의 광미에서 비교적 높은 함량이 검출되었다. 이러한 결과는 이들 광미가 주변의 토양과 수계의 중금속 오염을 일으키는 원인물질임을 시사해 준다.

광산폐기물내 단계별 추출분석은 As 및 중금속원소들에 대해 실시되었다. As의 경우 특히 금은광산과 텅스텐 광산에서 최고 12.9%의 함량을 보이며 주로 산화성 형태와 잔류상으로 존재하였으며 황비철석과 같은 황화광물기원을 나타내고 지표 산화환경에서 유출정도는 상대적으로 낮은 것으로 판단된다. 중금속원소들은 다양한 형태로 존재하고 있으며 Cd, Cu 및 Zn가 주로 황화광물과 연관되어 있음을 보여준다(Fig. 2). 보다 이동성이 높은 교환성 형

주요어: 광산폐기물, 지구화학적 특성, As 및 중금속, 화학적 형태

- 1) 세명대학교 자원환경공학과
- 2) 서울대학교 지구환경시스템공학부
- 3) 한국자원연구소 자원연구부

태는 광산폐기물의 물리화학적 특성에 따라 변하지만 Cd, Pb 및 Zn에서 상대적으로 높게 나타났다. As 및 중금속원소들의 화학적 형태와 주요 지구화학적 특성과의 상관성 조사결과, 일반적으로 교환성형태의 비율이 pH와 음의 상관성을 보여 산성환경에서 원소들이 주로 이동성이 높은 형태로 존재함을 나타내었으며 pH가 높은 환경에서는 주로 탄산염 결합 형태로 침전되고 있음을 보였다. 또한 0.1N HCl로 추출한 함량은 중금속원소들의 교환성, 탄산염 결합 및 환원성(철·망간 산화물 결합) 형태와 주로 관련이 있는 것으로 나타났다.

4. 결론

광산폐기물의 paste pH는 구성광물에 따라 변화하며, 황화광물을 수반하는 경우는 낮은 값을, 탄산염 광물을 함유한 경우는 높은 값을 나타내었다. 산성광미를 중화하기 위해서는 다량의 석회석이 필요하였으며 이는 강산성을 띠는 시료에서 잘 나타났다. 광산폐기물의 중금속 함량은 광산에 따라 다소 차이는 있지만 대부분 다량의 유독성 금속을 함유하고 있었다. 광산폐기물내 As 및 중금속원소들은 주로 pH 조건에 의존하여 다양한 형태로 존재하며 산성환경에서 용해성 성분의 비율이 높게 나타났다. 따라서 향후 광산폐기물의 처리를 위해서는 pH 조절문제와 황화물 결합형태의 산화방지를 고려할 필요가 있다.

참고문헌

1. Davidson, C.M., Thomas, R.P., Mcvey, S.E., Perala, R., Littlejohn, D. and Ure, A.M., 1994, "Evaluation of sequential extraction procedure for the speciation of heavy metal in sediments", *Analytica Chimica Acta*, Vol. 291, pp. 277-286.
2. Harrington, J.M., Laforce, M.J., Rember, W.C., Fendorf, S.E. and Rosenzweig, R.F., 1998, "Phase associations and mobilization of iron and trace elements in Coeur d'Alene lake, Idaho", *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 32, pp. 650-656.
3. Tessier, A., Campell, P.G.C. and Bisson, M., 1979, "Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals", *Anal. Chem.*, Vol. 51, pp. 844-851.

Table 1. Paste pH, lime requirement and concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn (mg/kg) in mine wastes from some metalliferous mines in Korea.

Mine (sample name)	Paste pH	Lime req.	Cd (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Pb (mg/kg)		Zn (mg/kg)	
			0.1N HCl	AR	0.1N HCl	AR	0.1N HCl	AR	0.1N HCl	AR
Sam-Kwang(SK)	7.59	0.00	13.2	27.4	7.6	35	510	720	500	1,050
Chung-Yang(CY)	4.33	0.54	47.3	986	52	2,130	103	35,160	1,520	28,960
Eun-Chi (EC)	4.23	0.75	58.0	142	239	876	126	18,080	10,400	24,320
Keum-Jang (KJ)	5.94	0.10	20.8	58.4	1,240	4,220	51	10,000	3,880	14,920
Da-Rak (DR)	3.50	0.84	1.34	2.90	24.4	83	73.5	13,080	187	394
Geum-Jung (GJ)	2.12	1.55	0.35	0.50	13.0	740	2.5	225	331	500
Wool-Jin (WJ)	2.38	1.12	0.84	2.60	6.0	121	51	3,100	127	1,184
Ssang-Jun (SJ)	2.47	0.83	0.08	0.70	69.5	1,124	7.1	58	10	25
Ki-Rin (KR)	7.00	0.0	0.13	0.40	0.2	10	1.0	11	2	116
Yeun-Hwa (YH)	5.66	0.20	3.96	84.8	0.1	404	4.3	7,480	97	9,640
Song-Chun (SC)	1.80	1.32	2.08	8.50	106	456	52	17,200	990	2,900

Lime req. = lime requirement (ton of pulverized CaCO₃/1,000 tons of mine wastes)

AR = aqua regia extraction

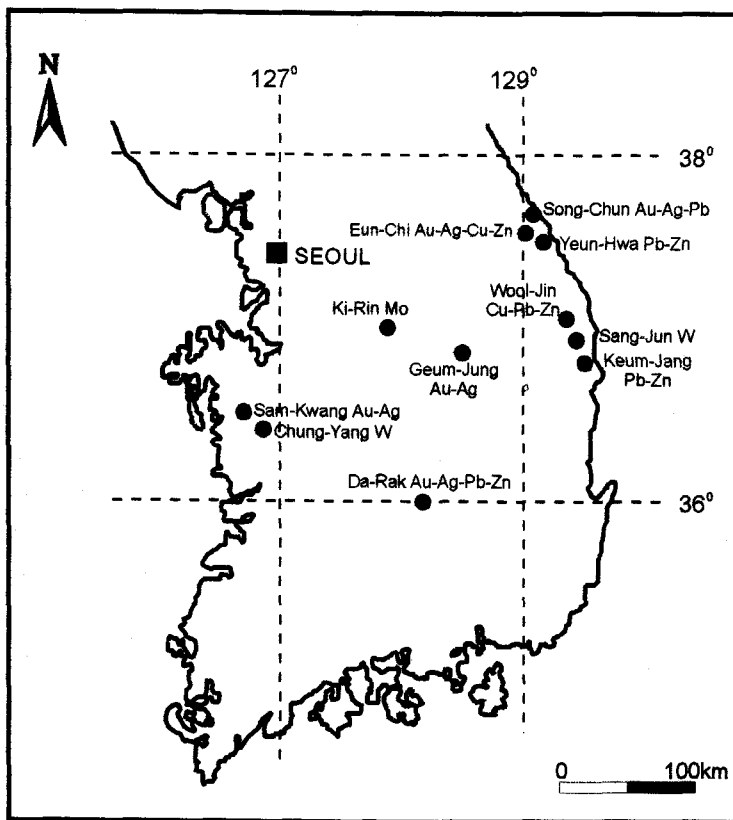


Fig. 1. Sampling locations of 11 metalliferous mines in Korea.

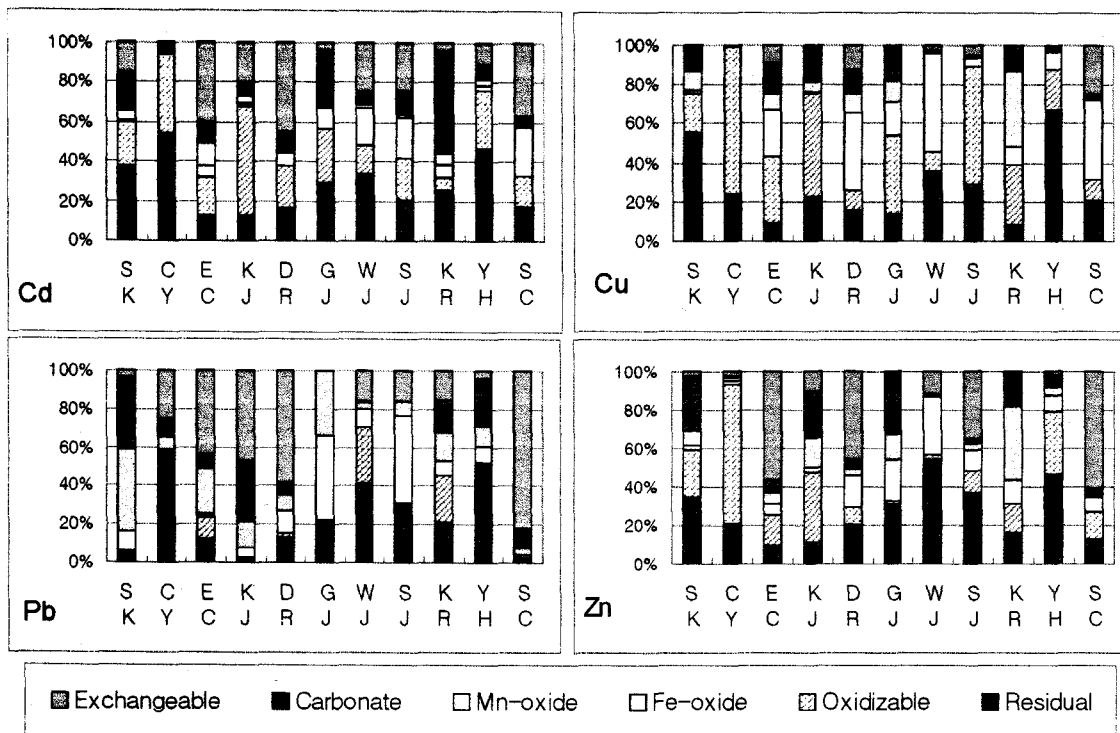


Fig. 2. Chemical partitionings of heavy metals in mine wastes.
(Refer to Table 1 for sample abbreviations)