

## 임기광산 주변 수질특성 변화 연구

임길재, 정영욱, 지상우, 홍성규

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부 (gyim@kigam.re.kr)

### <요약문>

임기납석광산 폐석적치장 상부의 계곡수로부터 폐석적치장 하부인 수영강 합수지점까지 수계를 따라 물시료 12개 지점을 대상으로 수질 및 안정동위원소 분석을 수행하였다. 폐석적치장으로부터 pH가 2.83이고 Fe, Al, Mn 등으로 심하게 오염된 산성배수가 유출되어 계곡수를 오염시키며 수계의 수질은  $Ca^{2+}$ - $SO_4^{2-}$  형태로 변화되고 폐석적치장 주변 수로에 적화현상을 유발하고 있다. 또한 안정동위원소 분석결과 임기납석광산 인근 수계에 가장 큰 오염부하를 유발하는 요소인 침출수(산성배수)의 기원은 강수기원으로 판단된다. 이는 폐석침출수 오염원 평가 및 처리에 유용한 자료로 이용 될 수 있을 것이다.

**key words** : 납석, 폐석적치장, 산성배수, 안정동위원소

### 1. 서론

부산시 회동저수지 상류에 있는 임기납석광산은 수영강 수계에 직접적으로 영향을 줄 수 있으나 폐석적치장에 오염방지시설이 없는 상태로 장기간 방치되어있는 상태이다. 폐석적치장로부터 오염가능성을 확인해 보고 오염의 주원인을 파악하여 향후 오염원의 처리 및 방지를 위한 자료를 제공하기 위하여 연구가 수행되었다. 폐석적치장 상부의 계곡수로부터 폐석적치장 하부인 수영강 합수지점까지 수계를 따라 시료의 채취를 수행했으며 임기납석광산의 수질 및 안정동위원소 자료는 폐석침출수 오염원 평가 및 처리에 유용한 자료로 이용 될 수 있을 것이다.

### 2. 시료채취 및 분석 방법

임기납석광산 폐석적치장은 상부 쪽에 복토 및 식재조성이 된부분(폐석적치장 A)과 하부 쪽의 비복토 부분(폐석적치장 B)로 구분되어 있다. 폐석적치장과 인접한 계곡수 및 이와 합수되는 수영강 수계에서 12개 지점을 대상으로 수질 및 황, 산소 및 수소 안정동위원소 분석이 수행 되었다(Fig. 1).

현장에서 pH(Hanna pH meter), Eh(Toa Eh meter), 전기전도도 및 수온(Orion 130 conductivity meter), 탁도(Hach사 2100P) 등을 현장에서 측정하였다. 중탄산이온( $HCO_3^-$ )은 현장에서 적정법으로 구하였다. 분석용 시료는 0.45 $\mu$ m 필터로 여과하여 Fe, Al, As, Ca, Cd, Cu, K, Mg, Mn, Na, Pb, Si, Zn, Se 등 성분은 Inductively Coupled Plasma Spectrometer에 의하여 분석하였고  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$  등은

Ion Chromatography에 의해 분석하였다.

황동위원소 분석은 한국기초과학지원연구원 대전본원의 안정동위원소 질량분석기(Stable Isotope Mass Spectrophotometer; PRISM II / 영국 VG Isotech사)를 이용하여 분석하였다(정밀도  $\pm 0.2\%$ ). 산소-수소 동위원소 분석은 한국지질자원연구원의 안정동위원소 질량분석기(Stable Isotope Mass Spectrophotometer; Finnigan MAT252)를 이용하여 분석하였다. 산소-수소 동위원소의 표준시료는 VSMQW (Viena standard mean ocean water)를 사용하였고, 분석정밀도는 산소  $\pm 0.07\%$  및 수소  $\pm 1.6\%$ 이다.

### 3. 연구결과 및 고찰

Stiff diagram 형태를 비교하면 상부의 물이 폐석적치장 A와 폐석적치장 B를 통과하면서 pH는 6.09에서 2.83으로 급격히 변화를 가져오고  $\text{SO}_4$  (2.95~430mg/l), Fe (0~4.26mg/l), Ca (3.63~58.8mg/l), Mg (0.88~12.9mg/l) 등의 성분이 크게 증가하여 수질의 변화가 있고(Fig. 2) 폐석적치장을 지난 후 다른 사당골계곡수와 합수되고 다시 수영강에 합수되는 과정에서 수질이 회복 되고 있다. 즉 상부의 계곡수가 폐석적치장을 통과하면서 폐석적치장의 침출수에 의해 수질의 오염이 발생되고 있다.

분석결과를 보면 폐석적치장의 침출수들이  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ 의 함량이 높고 특히  $\text{Ca}^{2+}$ 의 함량이 분석된 수계에서 높게 나타난다. 오염되지 않은 계곡수들은 상대적으로  $\text{Ca}^{2+}$ 가 작다. 광산에 직접적으로 관련된 폐석적치장 주변이나 침출수들은  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ 형의 특성을 갖는다(Fig. 3). 폐석적치장의 폐석으로부터의 거리에 따라 pH가 변화하고  $\text{SO}_4^{2-}$ 가 증가하는 변화를 보인다(Fig. 4).

임기납석광산 수계에서 채취된 시료의 산소-수소 동위원소 조성을 Craig (1961)가 제시한 Global Meteoric Water Line (GMWL)과 이광식과 이창복(1999)이 제시한 남한지역 Local Meteoric Water Line (LMWL)에 도시하면(Fig. 5), 임기납석광산 물시료들의 산소-수소 동위원소 조성은 거의 이들 선상에 위치한다. 오염부하가 가장 커서 인근수계에 미치는 영향이 큰 침출수(W-R1 & 2)의 경우도 이 선상에 도시되며, 침출수의 기원이 강우에 의한 것임을 알 수 있다.

무거운 동위원소로 구성된 물분자의 증기압은 가벼운 것보다 약간 낮아서 증발은 적게 되고 응결은 빨리 되는데, 그 결과 증발이 일어나는 경우 잔류된 물의 동위원소조성비가 (+)방향으로 약간 이동된다(Clark and Fritz, 1997). 폐석적치장 A 침출수(W-R1)의 경우 다른 시료들에 비해 (+)방향으로 약간 이동된 것을 볼 수 있다. 이는 폐석적치장 A 침출수의 유량이 매우 적고 폐석적치장에서 하천까지 약 20여 m를 흘러가면서 증발되는 양이 상대적으로 많으므로 증발의 영향이 나타난 것으로 생각된다. 즉, 가벼운 동위원소가 빠르게 증발되면서 잔류된 물에 상대적으로 무거운 동위원소들이 남게 되었기 때문이다.

임기납석광산 최상류(W-S1)의  $\delta^{34}\text{S}$ 값은 4.4‰로 이 값은 이 지역 강우의  $\delta^{34}\text{S}$ 값을 나타낼 것이다. 폐석적치장 침출수(W-R1&2)의  $\delta^{34}\text{S}$ 값은 상부와 하부 모두 -0.4‰로 같게 나타났다. 용벽침출수(W-L1&2)의  $\delta^{34}\text{S}$ 값은 폐석적치장 A에서는 -1.0‰, 폐석적치장 B에서는 -2.6‰로 나타나 위에서 제시된  $\delta^{34}\text{S}$ 값의 영역에 포함되고 있다. 임기광산 폐석적치장에서 발생하는 침출수는 대기와 접해있는 상태에서 무기적인 산화에 의해 황철석이 산화되는 것으로 보이며, 용벽침출수의 경우 지중에서 침출수가 이동하는 과정에서 미생물의 작용에 의한 산화가 추가되어 폐석적치장 침출수 보다 더 작은 값을  $\delta^{34}\text{S}$ 값을 갖는 것으로 생각된다. 인접한 하천수(W-S13)의  $\delta^{34}\text{S}$ 값은 최상류(W-S1)에서 가장 높고 용벽침출수의 유입에 의해 하천의 흐름을 따라 점차 가벼운 원소가 증가하는 경향을 보인다(Fig.6).

## 4. 결론

폐석적치장으로부터 pH가 2.83이고 Fe, Al, Mn 등으로 심하게 오염된 산성 침출수가 유출되면서 수계는  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$  형태의 수질 특성을 나타내며 Fe, Al, Mn 등의 수질의 변화를 가져오고 결국 폐석적치장 주변에 적화현상을 유발하고 있다.

안정동위원소 분석결과 임기 납석광산 인근 수계에 가장 큰 오염부하를 유발하는 요소인 침출수의 기원은 강수기원이다. 따라서 오염부하를 줄이기 위해서는 강수의 침투를 제어하는 것이 매우 중요함을 알 수 있다.

## 5. 참고문헌

- 박맹언, 김근수, 1998, 납석광산에서 발생하는 토양 및 수질오염 실태 : 부산광역시 회동저수지 상류 지역, 한국환경과학회지, 7(2), pp.149-155.
- 박맹언, 성규열, 고용권, 2000, 비금속광상의 황산염광염대에 수반되는 산성광산배수의 형성과 지질 환경의 오염 : 동래납석광산 산성광산배수의 형성에 관한 반응경로 모델링, Econ. Environ. Geol., Vol. 33, No. 5, p.405-415.
- 염승준, 윤성택, 김주환, 박맹언, 2002, 동래 납석광산 산성 광석배수의 중화실험 : 중금속의 거동 특성 규명, 한국지하수토양학회지, Vol. 7, No. 4, pp.68-76.
- 이광식, 이창복, 1999, 남한 강수와 하천수의 수소 동위원소 조성, 지질학회지, 35(1), pp.73-84,
- Clark, I. and Fritz, P., 1997, Environmental Isotopes in Hydrogeology, Lewis Publishers, 328p.
- Craig, H., 1961, Isotopic variations in meteoric waters, Science, Vol.133, pp.1702-1703
- Stumm, W. and J.J Morgan, 1981, Aquatic chemistry : An introduction emphasizing equilibria in natural waters. John Wiley and Sons Inc., 780pp.
- Taylor, B.E., Wheeler, M.C. and Nordstrom, D.K., 1984, Isotope composition of sulphate in acid mine drainage as measure of bacterial oxidation. Nature, 308, pp.538-541.

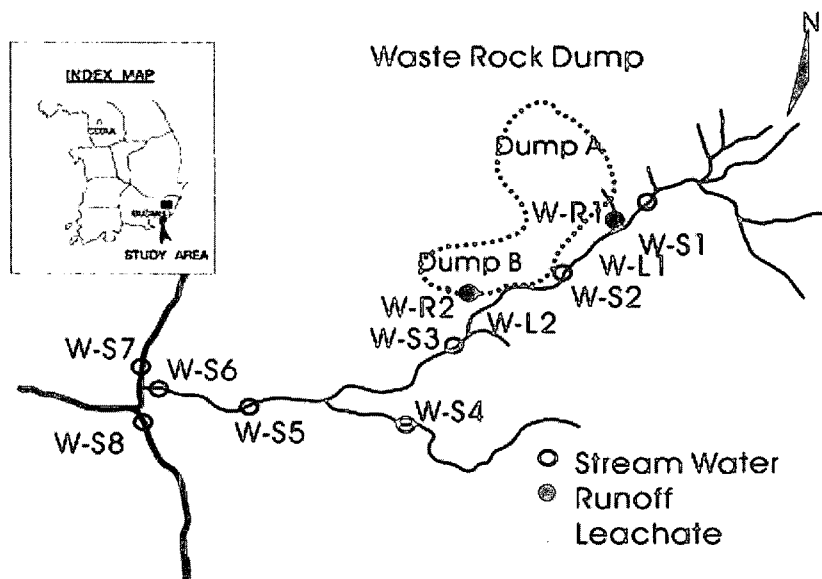


Fig. 1. Sampling site in the Irgi abandoned pyrophyllite mine area.

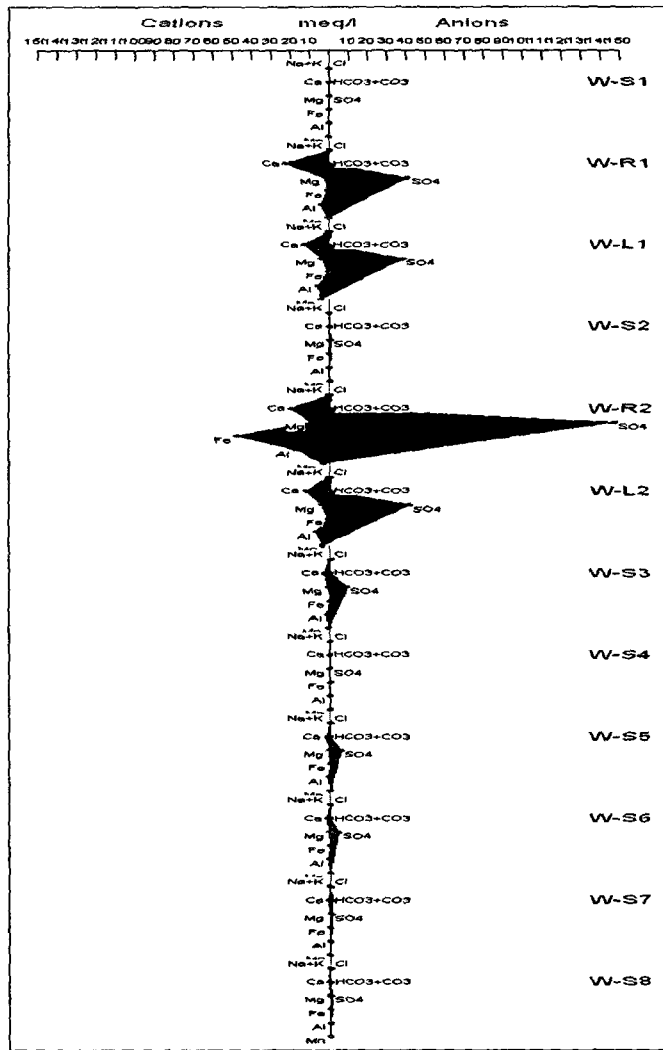


Fig. 2. Stiff diagram of stream waters.

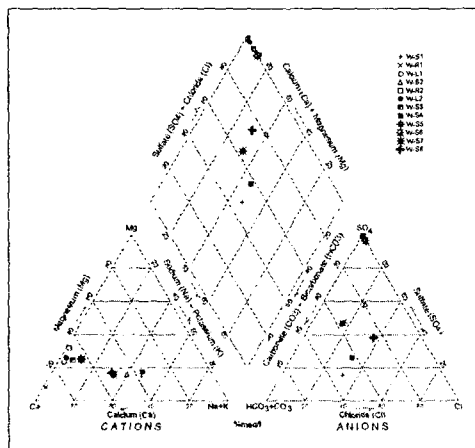


Fig. 3. Piper diagram of stream waters.

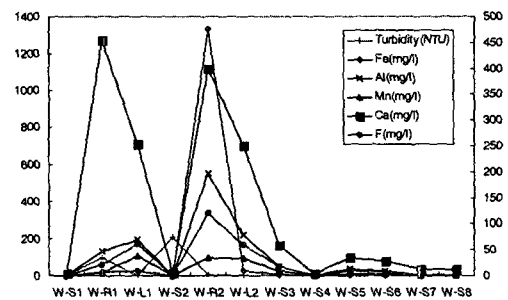


Fig. 4. Concentrations of Turbidity, Fe, Al, Mn, Ca and F in stream waters.

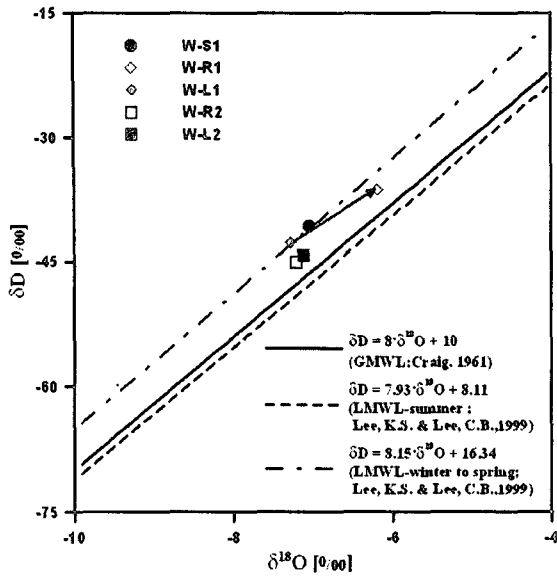


Fig. 5. Plot of  $\delta D$  versus  $\delta^{18}O$  in water samples from the Imgı abandoned pyrophyllite mine. LMWL and GMWL mean the local meteoric water line in South Korea of Lee & Lee (1999) and the global meteoric water line of Craig (1961), respectively. Arrow in the figure indicates shifted line of seepage compare with W-R1 and other samples.

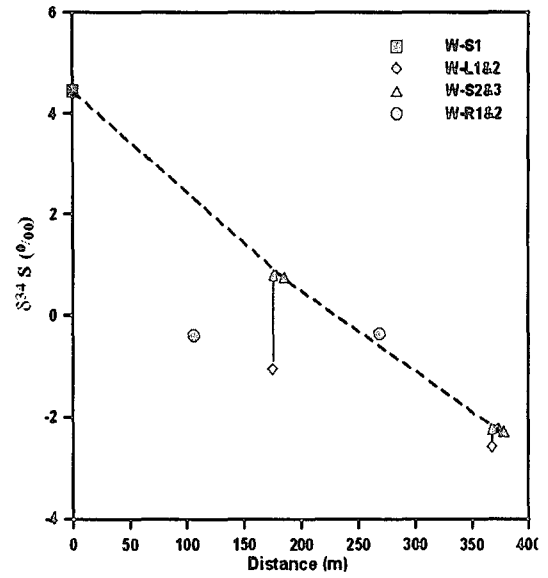


Fig. 6. Plot of  $\delta^{34}S$  in water samples from seepage, run-off and near stream around the Imgı abandoned pyrophyllite mine versus distance from the stream at the start point of the waste rock dump. The solid arrow indicates inflow line of seepage, and the dashed arrow indicates stream line.