

# 태백지역 폐탄광 수계의 지구화학적 연구

정연중, 최낙철, 강지성, 박신숙, 김성구, 박천영  
(조선대학교 자원공학과)

## 1. 서 론

현재 국내에는 석탄 합리화 사업에 의해 많은 지역의 탄광들이 폐쇄되어졌고, 이런 폐광들은 적절한 오염방지시설을 갖추지 못하고 방치되어 있어 이러한 폐광산들로 인해 주변의 토양과 수계가 오염되어가고 있다.

강원도 태백시에 위치한 황지천과 소도천 주변에는 가행이 중단된 동해탄광과 함백탄광들이 존재하며, 이들 폐광산들로부터 발생하는 광산산성수들은 계곡의 지류와 주변 하천인 소도천과 황지천을 오염시키며, 하상에는 황갈색 침전물과 백색 침전물로 피복되어 있다. 그러나 최근에 수계 정화사업의 일환으로 동해탄광이 위치한 소도천 유역에 석탄합리화 사업단이 폐수정화시설을 시공중에 있다.

본 연구는 산성광산배수(AMD)로 인하여 주변 수계인 황지천과 소도천의 하천수에 대한 오염 정도와 WATEQ4F를 통한 지구화학적 모델링을 파악하고, 하상 퇴적물인 황갈색 침전물과 백색 침전물의 광물화학적 특징과 결정 형태등을 파악하여 본 수계의 오염수준과 지화학적 특징을 밝히고자 한다.

## 2. 하천수와 산성광산배수 시료의 지화학적인 고찰

하천수 시료는 황지천과 소도천 그리고 광산산성수와 발생하는 사내골과 지지리골의 지류를 대상으로 하류에서부터 상류로 거슬러 올라가면서 하천수 및 산성광산배수 시료 34개를 채취하였다. 현장에서 물리적 성질인 수소이온농도(pH), 산화환원전위(Eh), 전기전도도(EC) 및 용존산소(DO)등을 측정하였다. 하천수 시료는 부유물질을 제거하기 위해 0.45 $\mu$ m의 cellulose membrane filter를 이용하여 필터링을 실시하였고, 화학분석을 위해 양이온시료는 진한 질산을 첨가하여 pH 2이하로 유지하여 음이온 시료와 함께 아이스박스에 냉장 보관하였다. 분석된 양이온은 Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Mn, Fe, Sr, Cr, Cu, Zn, As, Se, Cd, Ba, Pb, Th, U Sb 및 Hg으로 대전 기초과학 지원연구소에 의뢰하여 GFAAS, AAS, ICP-AES 및 ICP-MS로 분석하였으며, 음이온은 F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 및 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>등을 서울대학교에서 IC로 분석하였다.

황지천에서 채취한 하천수에서 pH의 경우 약 7정도의 중성을 나타내고 있는 반면 소도천에서 채취한 시료들의 경우 하부에서는 pH 4~5정도의 약산성을 보이며 상부로 갈수록 pH 3정도의 강산성을 나타내고 있다. Garrels and Christ(1965)에 의한 pH와 Eh의 관계도에서는 산화환경과 전이환경에 속하며 광산산성수시료는 mine water영역에 도시된다.

황화광물들의 산화로 인해 발생하는 Fe, Al 및 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>이온들은 산성광산배수가 배출되는 동해탄광이 있는 사내골 지류가 소도천과 만나면서 급격히 감소하고 있음을 보여주고 있다. Brady et al.(1986)에 의하면 대체로 하천수중의 양이온 성분들의 함량은 상류지역에서 높지만 하류지역으로 가면서 낮아지는데 이는 희석에 의하여 감소하는 특성을 가지고 있는 것으로 해석하였다.

동해탄광이 위치한 사내골주변의 지질구조인 막동석회암층등의 조선계지층들로 인하여 하

천수의 Ca함량이 증가되기도 하지만, 석탄합리화 사업단에서 오염방지시설을 설치하기 위해 갯내에 석회석을 충전함으로써 하천수의 Ca함량이 더욱 증가하고 있으며, 함백탄광이 위치한 지지리골의 지류와 소도천에 유입되는 계곡의 지류에서는 낮은 Ca함량을 보이고 있다.

하천수의 Piper diagram의 결과 양이온에서는 Ca가 지배적인 원소이고, 음이온에서는  $\text{SO}_4^{2-}$  이온이 지배적인 원소이며, 양이온과 음이온의 분포를 함께 도시한 부분에서는 Noncarbonate hardness의 영역에 해당한다.

pH와 Eh의 상관도에서 산성광산배수 시료는  $\text{Fe}^{2+}$ 의 안정영역에 속하고, 하천의 하류와 계곡의 지류 시료는  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 의 영역에서 속하는 것으로 나타났다. 산성광산배수와 하천수 시료에 대해 WATEQ4F를 이용한 수리지구화학적 모델링을 실시한 결과, Al의 활동도와 pH와의 관계를 도시하여 보면 산성광산배수 시료는  $\text{Al}^{3+}$ 의 영역에 속하고 하류로 이동한 소도천 지역의 시료는 gibbsite영역에 도시되며 계곡의 지류와 황지천 지역의 시료들은  $\text{Al}(\text{OH})_3$ 의 영역에 속해 산성광산배수가 하천에 유입되면서 pH와 관련하여 안정영역이 이동되고 있음을 보여준다.

광물의 포화지수에서 alunite, gibbsite 및 kolinite등은 산성광산배수에서는 용해가 활발히 되고 있음을 보여주고 있으나, 소도천, 황지천 그리고 계곡의 지류등에서는 포화가능성이 있는 것으로 보여주고 있다. 광물상안정도에서는 모든 시료들이 kaolinite의 안정영역에 속하는 것으로 나타났다.

### 3. 하상퇴적물의 지화화학적 고찰

하상퇴적물 시료는 하천수와 산성광산배수를 채취한 동일 지점에서 하상퇴적물 시료 19개를 채취하였다. 본 역의 하상퇴적물 시료인 황갈색침전물과 백색침전물은 필터링을 실시한 후 실내에서 자연 건조시키고 분석을 위해 입도별 체질을 실시하였다. 하상퇴적물 시료의 화학분석은 주성분원소와 미량원소에 대해 영국런던대학에, 중금속원소는 캐나다 Activation Laboratories Ltd에 의뢰하여 분석하였다. 하상퇴적물의 광물화학적 특성을 파악하기 위해 XRD, IR 및 SEM-EDS등의 분석을 실시하였다.

하상퇴적물의 주성분원소인  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 는 71.91~5.07wt.%로 나타나며, 국부적으로 나타나는 백색침전물의  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 는 1.75wt.%로 낮게 나지만  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 는 32.97wt.%로 S는 3.80wt.%로 높게 나타나고 있다. 이러한 국부적인 백색침전물과 소도천과 황지천에서 나타나는 백색침전물의 경우 하천수의 pH가 4~5의 값을 보이는데, 이는 Nordstrom(1982)에 보고된 바에 의하면 산성광산배수에서 pH가 4에서 6으로 증가되면 수용액내의 aluminum과 sulfate의 함량이 현저하게 감소하게 되고, Al, Fe 및 S등으로 구성된 비정질의 백색침전물이 형성하였는데 본 연구지역의 분석결과와 유사한 경향을 보이고 있다.

하상퇴적물인 황갈색침전물과 백색침전물의 광물성분을 관찰하기 위해 XRD분석을 실시한 결과 quartz, copiapite, jarosite, gypsum 및 ferroxahydroxide가 관찰되고, 퇴적물의 존재 형태를 규명하기 위한 IR 분석으로 OH,  $\text{H}_2\text{O}$  및  $\text{SO}_2$ 의 흡수밴드가 나타난다. IR 분석은 분자내의 구조와 결합특성에 대한 정보를 제공해주며 비정질 혹은 결정도가 미양한 광물규명에 매우 유용하다(Bowell and Bruce, 1995). 광물의 결정형태를 파악하기 위해 SEM-EDS 분석을 실시한 결과 광물의 결정형태는 관찰할 수 없었으며, 비정질분석인 EDS결과 황갈색 침전물에서는 Fe의 atmoic%가 50.66%로 나타나며, 백색 침전물에서는 Al이 72.86 atmoic%가 나타난다.

#### 4. 결론

- 1) 산성광산배수는 약 pH 3정도의 강산성을 보이고 황지천은 pH 6~7로 증가되어 나타나는데, 이는 지류의 유입량이 증가하는 희석의 결과로 생각된다. pH가 증가함에 따라 원소들의 함량은 감소하는 경향을 보이나, Na, Mg 및 K원소는 증가한다.
- 2) 사내골지류에서의 하상퇴적물은 산성광산배수의 직접적인 영향으로 황갈색 침전물이 형성되고, 소도천과 합류되면서 산성광산배수의 pH가 4~5로 증가하면서 백색침전물이 나타났다. 이는 하천수의 pH에 따라 퇴적물의 조성이 달라진다고 생각되며, 퇴적물의  $Fe_2O_3$ 의 함량은 사내골에서 높은 반면, 소도천에서 부리는 상대적으로  $Al_2O_3$ 의 함량이 증가한다.
- 3) 황갈색침전물과 백색침전물의 XRD분석결과 quartz, copiapite, jarosite, gypsum 및 ferroxahydrate가 관찰되고, IR분석으로 OH,  $H_2O$  및  $SO_4$ 의 흡수밴드가 나타났다.
- 4) 수리지구화학적인 모델링에서 광물 상안정영역은 kaolinite으로 나타나고, Al활동도에 의한 영역구분에서는 산성광산배수와 소도천 그리고 황지천과 계곡의 지류들로 구분되어진다. 포화지수에서 alunite와 gibbsite광물들은 산성광산배수에서는 계속 용해가 일어나고 있을 것으로 보여지며, 하천수와 계곡의 지류등에서는 포화가능성을 보이고 있다.

#### 참고문헌

- Brady, K. S., Bigham, M., Jaynes, W. F. and Logan, T. J., 1986, "Influence of sulfate on Fe-oxide formation: comparisons with a stream receiving acid mine drainage", Clays and Clay Minerals, vol. 34, No. 3, p. 266-274.
- Garrels, R. M. and Christ, C. L., 1965, Solutions Minerals and Equilibria. Harper & Row, New York, 450 pp.
- Nordstrom, D. K., 1982, The effect of sulfate on aluminum concentrations in natural water: some stability relations in the system  $Al_2O_3$ - $SO_3$ - $H_2O$  at 298K. Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 46, p. 681-692.
- Bowell, R. and Bruce, I., 1995, "Geochemistry of iron ochres and mine waters from Levant Mine, Cornwall", Applied Geochemistry, vol. 10, p. 237-250.

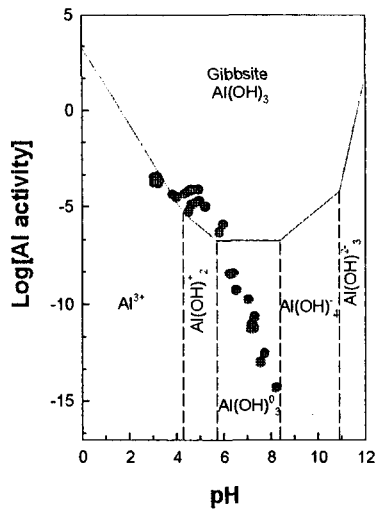


Fig. 1. Stability field of dissolved Al species by plotting log[Al activity] against pH in the Taebaek area.

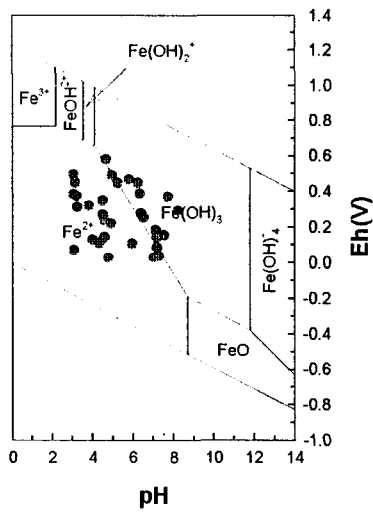


Fig. 2. pH-Eh diagram showing the stability fields of the dissolved Fe redox species in the Taebaek area.

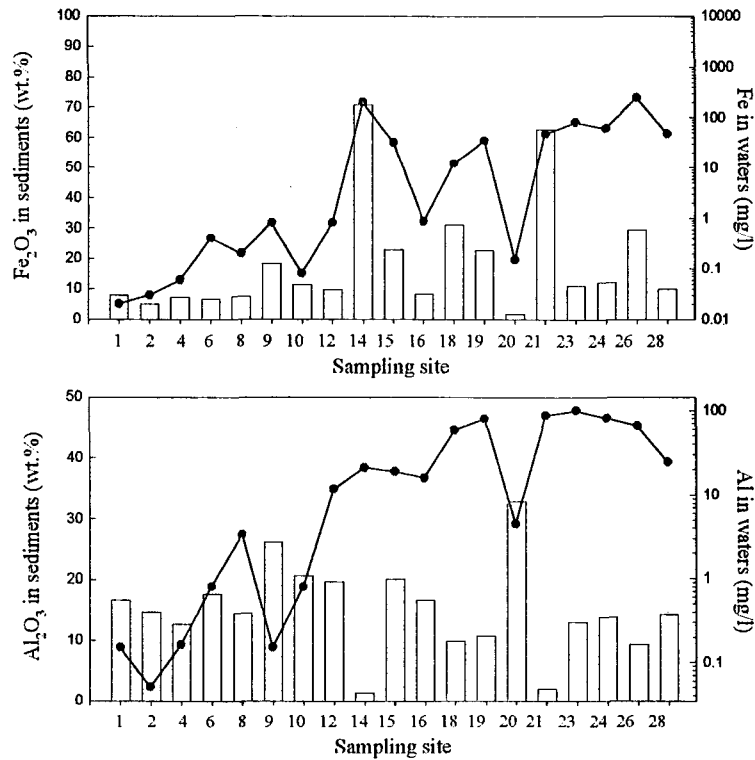


Fig. 3. Comparison of Fe and Al contents between waters and sediments in the Taebaek area.