

화순지역 폐탄광 수계의 지구화학적 연구

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

1. 서론

국내 광물자원의 개발은 풍요로운 삶을 살아가는 현대의 생활구조를 구축하는 밑거름이 되어 왔다. 지속적인 광산의 채굴로 인하여 폐광된 탄광은 자연환경과 일부 그 주위 수계를 산성광산배수(acid mine drainage, AMD)로 심각한 문제를 야기 시켰다.

전남 화순군 한천면에 위치하는 호남탄광, 태백탄광 그리고 이양면의 삼정탄광으로부터 배출되는 광산산성배수와 Yellowboy의 철수산화물은 주변경관과 수계를 오염시키고 있다. 폐탄광에서 배출되는 광산산성배수는 인근 농경지에서 농업용수로 이용되고 있어 농작물의 중금속 오염이 예상되고 있다. 본 연구의 목적은 폐탄광에서 형성되는 산성광산배수와, 황갈 색침전물 그리고 증발광물에 대한 지구화학적 특성을 규명하고자 하였다.

2. 시료채취 및 분석

호남폐탄광, 태백폐탄광 그리고 삼정폐탄광지역에서 배출되는 하천수를 대상으로 하천수 28개를 채취하였다. 모든 물 시료는 현장에서 수소이온농도(pH), 산화환원전위(Eh), 온도, 용존산소량(DO), 전기전도도(EC), 총용존물질(TDS), NaCl %등의 특성을 측정하였다. 물 시료는 현장에서 수동진공펌프에 pore size 0.45 μ m cellulose membrane filter를 이용하여 부유 물질을 제거하고, 양이온시료는 진한 질산을 가해 pH 2 이하가 되도록 하였으며 분석전 까지 4 $^{\circ}$ C이하로 냉장 보관하였다. 양이온 원소 중 Fe 이온은 대전기초과학지원센터의 GFAAS(GF90PLUS)를 이용하고, K 이온은 AAS(UNICAM989)를, Na, Mg, 및 Ca 이온은 ICP-AES(ICP1000-III)를, 그리고 Al, Zn, Cr, Cu, Mn, Cd, Pb, Hg, As, Se, Th 및 U 이온은 ICP-MS(PQ3STE, FISON)를 이용하여 분석하였다. 음이온 이온 중 F, Cl, Br, NO₂, NO₃, PO₄, 및 SO₄ 등의 음이온은 서울대학교 IC(Dionex500)를 이용하여 분석하였으며, HCO₃는 현장에서 페놀프탈레인(Phenolphthalein) 용액과 메틸레드브롬크레졸그린(Methylred bromocresolgreen) 혼합용액을 사용하여 적정법(titration)으로 결정하였다. 하상퇴적물에 대하여 XRD(Rigaku Geigerflex), IR(Nicolet 520P), SEM 및 EDS(JEOL, JSM-840A)를 이용하고, 광주 기초과학지원센터의 DTA(TA instrument, USA)를 이용하여 열적 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

하상퇴적물에 대한 지구화학

폐탄광지역의 하상에 퇴적되어 있는 하상퇴적물은 주로 Fe₂O₃(80.77wt.%, 부산기초과학지원연구소의 XRF, Philips, PW2400로 분석)로 나타나 철수산화물임을 알 수 있고 XRD분석결과에서 비정질로 나타난다. 이 철수산화물에 대한 열적 특성을 알아보기 위하여 온도(100 $^{\circ}$ C~900 $^{\circ}$ C, 가열시간 1 시간)를 가열하여 본 결과 비정질의 철수산화물은 전형적인

hematite로 전이하는 특성을 보였다. 온도를 가열한 철수산화물에 대한 IR분석에서 OH 진동 흡수 peak, H₂O 흡수 peak의 강도(intensity)는 온도가 증가함에 따라 감소하고 OH 흡수 밴드에 해당되는 477cm⁻¹ peak(Lazaroff et al., 1982) 강도는 증가한다.

하천수에 대한 지구화학

폐탄광지역의 하천수에 대한 pH는 4.84에서 7.78로 나타나 약산성에서 약알카리성 특성을 보인다. 하천수에 대한 TDS는 88mg/l에서 656mg/l로 나타나고 전기전도도는 21.2ms/m에서 153.1ms/m으로 나타난다. 하천수 거리에 따른 pH의 변화를 보면 상류지역의 하천수에서 비교적 pH가 낮은 약산성을 보이다가 하류로 갈수록 pH가 증가하여 약알카리 특성을 보인다. TDS는 상류지역에서 어느 정도 일정한 수치를 보이다가 호남탄광 폐수가 합수되는 지점에서 갑자기 증가하다 다시 하류로 감에 따라 감소한다. 그러나 TDI(meq/l)는 상류지역 하천수에서 낮은 함량을 보이다가 하류로 감에 따라 점차 증가하고 있다. 상류지역에서 비교적 높은 함량을 보이다가 하류로 내려감에 따라 감소경향을 보이는 이온들은 Si, Mn, 및 Zn 등이고 이와는 반대로 하류지역에서 높은 함량을 보이는 이온들은 Na, NO₃, SO₄ 등이다. Na 이온과 NO₃ 이온함량이 상류보다 하류지역의 하천수에서 높은 함량을 보이는 원인은 농경활동에 따른 비료와 퇴비의 영향으로 해석된다. 하천수 용존물질 중 Mg, Ca, Al, 및 As 이온은 TDS 함량이 증가함에 따라 증가한다. 폐탄광지역의 하천수를 Piper diagram에 도시하면 Ca 및 Mg와 SO₄ 이온이 우세한 수질특성과 Cl+SO₄와 Ca+Mg가 부화하는 영역에 도시되고 있다.

중발광물에 대한 지구화학

화순 폐탄광지역의 하천수를 실험실에서 자연 건조시켜 gypsum, ferrohexahydrate, 및 quenstedtite등과 같은 중발광물을 얻었다. Fitzpatrick 등(1992)에 의하면 광산산성배수가 토양층에서 모세관현상에 의하여 토양층 상부로 이동하면 토양층 상부에서 중발작용이 일어나 중발광물이 형성된다고 하였다. Wagner 등(1982)에 의하면 폐탄광수계의 광산산성배수 지역에서 rozenite, szomolnokite, copiapite, gypsum 및 jarosite, 등과 같은 중발광물이 형성될 수 있는데, 이는 중발작용이 진행됨에 따라 SO₄의 농도함량이 증가되기 때문인 것으로 해석하였다. 중발광물에 대한 DTA 곡선에서 흡열반응(endothermic reaction)이 JS-19번 시료에서 99°C와 154°C에서, JS-25번 시료에서는 107°C와 155°C 그리고 JS-26 시료에서는 99°C와 154°C에서 일어나고 있다. 이들 온도에서 일어나는 흡열반응 peak는 gypsum에 해당되는 것으로 해석된다. Doner과 Lynn(1989)는 gypsum의 흡열반응은 주로 낮은 온도인 100°C와 150°C에서 일어나는데 이는 gypsum에 결합수로 형성되어 있는 H₂O의 deformation에 의한 것으로 해석하였다.

4. 결론

화순지역 폐탄광 수계의 지구화학적 특징을 요약하면 다음과 같다.

1. 폐탄광 수계에 형성되어 있는 하상퇴적물은 비정질로 되어 있으며, Fe₂O₃ 함량이 80.77wt.%로 나타나는 철수산화물임을 알 수 있다. 철수산화물은 가열온도가 증가함에 따라 hematite로 전이되고, 가열온도가 증가할수록 OH 흡수 밴드, H₂O 흡수 밴드의 강도(intensity)는 감소하고 OH 흡수 밴드에 해당되는 477cm⁻¹ 흡수 peak는 증가한다.

2. 화순지역 폐탄광 수계의 상류지역에서 높은 함량을 보이다가 하류지역으로 갈수록 감소하는 이온성분은 Si, Mn, 및 Zn 등이고 이와는 반대로 하류지역에서 높은 함량을 보이는 이온들은 Na, NO₃, SO₄등이다. Na 이온과 NO₃ 이온함량이 상류보다 하류지역의 하천수에서 높은 값을 보이는 것은 농경활동에 따른 비료와 퇴비의 영향으로 해석된다.
3. 폐탄광 하천수를 자연건조 시킨 결과 gypsum, ferroxahydrate, 및 quenstedtite등과 같은 증발광물을 얻었다. DTA분석에서 100℃와 150℃ 부근에서 흡열반응 peak가 관찰되는데 이는 gypsum에 해당되는 흡열 peak로 해석된다.

참고문헌

- Lazaroff, N., Sigal, W. and Wasserman, A., 1982, Applied and Environmental Microbiology, Apr. p. 924-938.
- Fitzpatrick, R. W., Naidu, R. and Self, P. G., 1992, Iron deposits and microorganisms in saline sulfidic soils with altered soil water regimes in South Australia, In: Skinner, H. C. W. and Fitzpatrick, R. W.,(eds), Biomineralization processes of Iron and Manganese-Modern and Ancient Environments-, CATENA SUPPLEMENT 21, p. 263-286.
- Wagner, D. P., Fanning, D. S., Foss, J. E., Patterson, M. S. and Snow, P. A., 1982, Morphological and mineralogical features related to sulfide oxidation under natural and disturbed land surfaces in Maryland, In; Kittrick, J. A., Fanning, D. S. and Hossner, L. R., (eds), Acid sulfate weathering, SSA special Publication Number 10, 109-125.
- Doner, H. E. and Lynn, W. C., 1989, Carbonate, halide, sulfate, and sulfide minerals, In; Bigham, J. M., Dixon, J. B., Milford, M. H., Roth, C. B. and Weed, S. B., (eds), Minerals in Soil Environments, SSSA Book Series: 1, p. 279-330.