

연화광산 주변 수계의 지표수 오염도 평가

강민주^{1),2)*} · 이평구¹⁾ · 이육종¹⁾ · 최상훈²⁾

1. 서 론

2002년 태풍 “루사”와 2003년 태풍 “매미”로 인하여 제2 연화광산 광미적치장으로부터 유출되었던 광미찌꺼기와 지금까지 흘러나오는 침출수의 환경오염 확산문제는 강원도 지역에서 직면한 중요한 환경문제가 되고 있으며, 복원여부 및 기법을 선정하기 위하여 사전에 광산주변 수계의 중금속 오염 유형 및 정도와 공간적 오염 분산형태에 대한 기본 자료의 수집이 시급한 상태이다. 일반적으로 광산으로부터 유출되는 침출수와 이에 의하여 영향을 받은 수계의 지표수는 매우 낮은 산도(pH)와 황산염(SO_4^{2-})과 미량금속 함량이 높은 특성이 관찰되고 있으나(강민주 외, 2006), 제2연화광산의 광상형태가 스카른광상이며 모암이 석회암이므로 기존 연구결과와는 상이할 것으로 기대되어 연구되었다. 이번 연구는 연화광산 광미장으로부터 유출되는 침출수와 이에 영향을 받는 수계를 대상으로 상부에서 하부로 거리에 따라 침출수 및 지표수를 채취하여 침출수가 집수유역 수계의 미량원소 오염에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

2. 시료채취 및 화학분석

2.1. 연구지역

제2 연화광산은 강원도 삼척시 원덕면 풍곡리에 위치하는 스카른 연·아연광상으로 풍촌석회암과 묘봉점판암에 발달된 단층면을 따라 관입한 석영몬조니암과의 접촉부에 발달된 광산이다. 주요 광석광물은 섬아연석, 방연석, 황동석이 산출되며, 기타 황화광물로는 자류철석이 주로 산출되고 황철석, 유비철석과 능망간석 및 자철석도 수반된다(윤석규, 1979; 제영건와 이은재, 1987).

2.2. 시료 채취 및 분석

하천수계 지표수 및 침출수를 대상으로 2005년 7월과 8월 및 2006년 8월 2차례 등 우기에 4회 채취하였으며, Ca, Mg, Na, K, Si, Fe, Mn, Al, Zn, Cd, Cu, Pb 및 As 등 양이온과 HCO_3^- , Cl^- , NO_3^{2-} , SO_4^{2-} 등 음이온을 분석하였다. 침출수가 유출되는 지점과 유출된 침출수와 하천수계가 혼합되어진 곳 3개 지점 등 4개 지점에서 침전물을 채취하였다. 이 침전물은 실내에서 냉동 건조하여 구성광물을 동정하였으며 미량원소 함량을 분석하였다. 침전물에 대한 전함량 분석 방법은 전처리를 거친 시료 1 g을 왕수법으로 처리하였다. 화학분석 시료와 물시료의 양이온 분석은 고려대학교 전략광물센터 ICP-AES(Perkins-Elmer Optima 3000XL), 물시료의 음이온(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})는 한국지질자원연구원의 IC(Model Dionex 120), 수계 침전물은 강원대학교의 산업광물은행의 X-선 회절분석(Rigaku model D/Max-2200)을 이용하였다.

주요어: 연화광산, 침출수, 하천수, 미량원소, 자연저감

1) 한국지질자원연구원 (pklee@kigam.re.kr, 28251wj@hanmail.net)

2) 충북대학교 지구환경과학과(1nanikka@hanmail.net, cshoon@chungbuk.ac.kr)

3. 연구 결과 및 토의

3.1. 연화광산의 주요 오염원 및 오염 확산 경로

3.1.1. 오염원 : 침출수

우기에 연화광산 광미적치장으로부터 유출되는 침출수의 pH는 6.1-6.4, Eh -10-56 mV 및 SO_4^{2-} 함량 552-3,496 mg/l 이었으며, Fe 함량은 1.8-256.7 mg/l, Zn 0.232-10.214 mg/l, 및 Cd n.d.-0.034 mg/l 이었다. 이외, Cu, Pb 및 As가 검출되지 않았다.

3.1.2. 오염확산 경로: 지표수 오염

연화광산 광미적치장으로부터 유출되는 침출수에 영향을 받은 수계의 지표수의 오염도를 평가하기 위하여 광산갱도를 통하여 지하수(?)가 수계로 유입되는 지점을 경계로 하여 상류와 하류로 구분하였다. 상류의 수질은 pH 6.0-7.5, Eh -116-80 mV 및 SO_4^{2-} 503-1,758 mg/l 이었으며, Fe 1.6-81.3 mg/l, Zn 0.094-6.637 mg/l, 및 Cd n.d.-0.020 mg/l 이었고, Cu, Pb 및 As가 검출되지 않았다. 광산갱도를 통하여 수계에 유입되는 지하수는 pH 7.2-7.8, Eh 13-70 mV 및 SO_4^{2-} 27-192 mg/l 이었으며, Fe 0.01-0.15 mg/l, Zn 0.019-0.195 mg/l 이었으며, Cd, Cu, Pb 및 As는 검출되지 않았다. 하류의 수질은 pH 6.9-8.21 Eh -88-147 mV 및 SO_4^{2-} 27-462 mg/l 이었으며, Fe n.d.-4.97 mg/l, Zn 0.019-0.657 mg/l 및 Cd n.d.-0.003 mg/l 이었고, Cu, Pb 및 As가 검출되지 않았다.

3.2. 하천수 중금속 오염범위 및 자연저감

침출수의 경우 하천수 수질기준(사람의 건강보호 기준: As 0.05 mg/l, Cd 0.005 mg/l, Pb 0.05 mg/l)을 초과하는 원소는 없는 것으로 확인되었으며, 오염물질배출허용기준(청정지역: As 0.1 mg/l, Cd 0.02 mg/l, Cu 1.0 mg/l, Pb 0.2 mg/l, Zn 1.0 mg/l)과 비교한 경우 침출수와 수계 상류 지표수에서 Zn 함량만이 기준을 초과하였다. 광산갱도로부터 지하수로 추정되는 물이 합류된 이후, 수계 하류의 지표수의 경우에는 하천수수질기준(사람의 건강보호기준)과 오염물질배출허용기준(청정지역)을 초과하는 원소가 없는 것으로 확인되었다.

침출수가 유출되는 입구와 하천수계가 혼합되어진 곳에서 침전된 침전물은 모두 비정질의 페리하이드라이트(ferrihydrite)와 침철석으로 구성되었다. 이 침전물에서 검출된 Zn 함량은 1,829-3,321 $\mu\text{g/g}$ 으로 함량이 가장 높은 원소이었으며, 다음으로는 As가 365-3,363 $\mu\text{g/g}$, Cu가 46-97 $\mu\text{g/g}$, Pb가 n.d.-160 $\mu\text{g/g}$, Cd가 n.d.-64 $\mu\text{g/g}$ 이었다. 침출수에 영향을 받은 수계 상류 및 하류에서 채취한 지표수에서 Cu, Pb 및 As가 검출되지 않고 Cd도 거의 검출 한계 이하였던 것은 As는 침전된 철(수)산화광물에 의해 완전하게 흡착되었기 때문인 것으로 확인되었으며, Pb, Cu 및 Cd는 침출수에 Zn보다 낮은 함량만이 용해되었으나 철(수)산화광물에 의해 흡착되어 제거된 것으로 판단된다. 상류와 하류의 수질을 비교하면 광산갱도로부터 유입되는 지하수 및 지류와 합류되면서 SO_4^{2-} 함량은 6배, Fe 함량은 36배, Zn 함량은 11배 희석되는 것으로 확인되었다. 이는 2차 광물의 침전에 의한 화학적인 요인과 광산지대를 경유하지 않은 지표수에 의해서 희석되는 물리적인 요인에 의해 자연적으로 저감되는 것으로 해석된다.

4. 결 론

2005년 및 2006년 우기에 채취한 침출수의 수질은 변화가 없이 일정하였으며, pH 6.1-6.4, SO_4^{2-} 552-3,496 mg/l, Fe 1.8-256.7 mg/l, Zn 0.232-10.214 mg/l, Cd n.d.-0.034 mg/l 이었고, Cu, Pb 및 As는 검출되지 않았다. 침출수의 경우 하천수 수질기준(사람의 건강보호 기준)을 초과하는 원소는 없었으며, 오염물질배출허용기준(청정지역)은 Zn만이 기준을 초과하

였다. 광산갱도로부터 지하수로 추정되는 물이 합류된 이후 하천수수질기준(사람의 건강보호기준)과 오염물질배출허용기준(청정지역)을 초과하는 원소가 없는 것으로 확인되었다. 상류와 하류의 수질을 비교하면 광산갱도로부터 유입되는 지하수 및 지류와 합류되면서 SO_4^{2-} 함량은 6배, Fe 함량은 36배, Zn 함량은 11배 희석되는 것으로 확인되었다. 이는 2차 광물의 침전에 의한 화학적인 요인과 광산지대를 경유하지 않은 지표수에 의해서 희석되는 물리적인 요인에 의해 자연적으로 저감되는 것으로 해석된다.

5. 참 고 문 헌

- 1) 강민주, 이평구, 염승준 (2006) 세창 폐금속광산 수계에서 미량원소의 지구화학적 거동특성 규명. 자원환경지질, v. 39, p. 213-227.
- 2) 제영건, 이은재 (1987) 연화광산의 태백광체탐사와 개발현황. 자원환경지질, v. 20, p. 273-288.
- 3) 윤석규 (1979) 연화-울진광산지대 스카른 연,아연광상의 구조적 및 성분적 특징 Part II :제 2연화광산. 광산지질, v. 12, p. 147-176.