

납석광상에서 발생하는 환경지질학적 문제: 부산 회동수원지 상류지역의 수질오염 원인

박맹언 · 성규열*
부경대학교 지구환경과학부

1. 서론

부산 회동수원지 상류수원 지역에는 화산암류의 열수변질작용에 의해 형성된 납석광화대가 광역적으로 분포한다. 납석광화대는 낮은 N^+ , K^+/H^+ 비를 갖는 열수용액에 의한 일련의 반응산물로서, 생성과정에서 다량의 중금속을 함유하는 황화광염대를 수반한다. 이들 황화광염대는 풍화작용의 화학반응(산화반응 및 가수분해반응 등)에 의해 산성배수를 형성하나 광물조성의 특성에 의해 산성용액에 대한 완충능력이 매우 낮기 때문에, 금속광상에서 보다 높은 산성배수가 지속적으로 조성된다.

납석광상 풍화작용에 수반되는 환경지질학적 문제를 규명하기 위하여 자연수의 화학조성과 납석-강우 상호반응 모델링을 실시하였다.

2. 본론

납석광화대의 풍화작용에 수반되는 하천수(용출수 포함)의 오염현황을 파악하기 위하여 광산주변의 단일수계로부터 회동수원지 상류까지 시료를 채취하였다. 물 시료는 현장에서 pH를 측정하고, 부유물질은 $0.45\mu m$ 여과지를 이용하여 현장에서 여과한 후, 양이온 측정용 시료는 산화 및 침전과 흡착을 방지하기 위하여 염산을 가해 pH를 2이하로 유지하여 $5^\circ C$ 이하의 저온에서 분속전까지 운반·보관하였다. 위와 같은 방법으로 처리한 시료용액은 양이온 및 중금속은 ICP-AES, 음이온은 IC를 이용하여 화학분석을 실시하였다.

납석광산의 상류지역의 하천수(비광화대에서 형성)의 pH는 6.2~7.2로서 일반적인 하천수의 pH 값을 나타내나, 납석광산에 가까워질수록 pH는 점차 감소하여 납석광화대를 통과해 직접 용출되는 산성광산배수의 경우 최하 2.07까지 감소되어 타지역에 비해 강산성의 광산배수를 형성한다. 납석광산기원의 강산성 배수는 하류로 이동함에 따라 주변 비광화대에서 기원된 하천수(수~수십 배의 유량)의 유입으로 인해 상당히 희석됨에도 불구하고 하류 약 10km까지 그 영향

을 미치고 있다.

하천수내 중금속의 함량은 시료채취 시기에 따라 다소 차이가 있으나, Al=0.2~430ppm, Zn=0.02~10.27ppm, Cu=2~1163ppm, Cd=2~816ppm, Pb=1~1096ppm, Mn=0.013~213.8ppm이다. 납석광화대에서 직접 유출되는 산성배수는 대부분의 중금속이 수질환경보전법(1996)에 의한 먹는 샘물 수질기준의 수~수백 배를 초과하고 있다.

반응 모델링은 질량작용방정식(Mass-action equation) 및 질량보존방정식(Mass-valance equation)을 이용하여 음이온과 양이온의 전기적 부하를 계산하여 음이온종과 양이온종의 총부하값이 일치하도록 하였으며, 주어진 조건(온도, 압력, 수용액상의 농도 등)에서 열역학적으로 안정한 이온 및 2차 생성물(광물, 기체 등)의 양을 계산하였다.

납석-강우 모델링의 경우 납석을 강우에 단계적으로 적정하였으며, 각각의 단계가 완전한 화학적 평형상태에 도달할 수 있도록 연속적으로 실행하였다. 각 반응광물의 적정단계에서, 하나의 반응광물이 용액 내에서 포화될 때, 그 광물의 적정은 중지되나 다른 광물종의 적정은 지속되는 조건으로 실행하였다.

3. 결론

납석-강우간의 반응에 의한 중금속의 거동과 산성수의 성인을 정량적으로 파악하기 위한 지화학 수치모델링의 결과, 황화광물의 산화가 진행됨에 따라 pH는 5.7에서 2.0 이하로 감소되어 높은 산성용액이 조성됨이 파악되었으며, 이때 H⁺ 농도는 황산염 성분종의 농도 증가와 밀접한 관련성을 가진다. 탄산염 성분종은 H⁺ 농도 증가와 함께 감소되는 양상을 보여준다. 이러한 결과는 납석-강우 산화반응 결과 납석 내에 함유된 유화광물의 산화작용이 pH 감소를 지배한 것임을 의미한다.

반응모델링 결과 H⁺ 농도 증가와 함께 양이온 Mg²⁺, Fe²⁺, K⁺, Mn²⁺, Al³⁺, SiO₂(aq) 등은 증가되며, Na⁺, Ca²⁺ 등은 별다른 변화특성을 나타내지 않는다. Al³⁺과 Mn²⁺, Fe³⁺ 농도는 반응이 진행됨에 따라 2차 생성물의 침전(김사이트, 카오리나이트, 망간산화물, 철산화물)에 의해 소모됨에도 불구하고 지속적으로 증가된다. 이러한 결과는 황화광물의 산화작용에 의해 pH 감소와 함께 이들 성분들의 용해도가 증가되어 과포화될 수 있음을 의미한다. 한편 2차 생성물의 침전이 진행되지 않은 중금속 원소들 (Zn, Cu, Pb, Hg, As)은 pH가 감소함에 따라 지속적인 증가양상을 나타낸다.

수치모델링에 의한 2차 침전광물은 김사이트, 철산화광물, 카오리나이트, 망간산화물 등으로 납석/강우비와 pH 및 금속이온의 농도변화에 의해 침전함량이 지배된다. 높은 pH 조건에서는 김사이트가 침전되며, pH 감소와 함께 카오리나이트와 비정질 실리카 등이 침전된다. 금속 산화광물은 pH 감소와 함께 침

전함량이 증가된다.

납석 광화작용의 풍화작용에 의한 산성배수 및 중금속 발생의 메커니즘 규명과 현황 파악은 산성배수 처리기술의 설정에 필요한 기초자료를 제시하였다. 또한 납석-강우반응을 모델링함으로써 지질환경 특성에 기인한 오염의 발생과 지구화학적 진화를 예측하고 평가할 수 있는 방안을 체계화하였다.