

노화납석광산 일대 자연수의 지구화학과 산성광산배수의 처리

차종문¹⁾ · 전효택²⁾ · 전용원³⁾

1. 서 론

급증하는 광물자원의 수요를 충족하기 위한 광산개발은 이미 오래 전부터 활발히 이루어져 왔다. 그러나 그간 채광 및 선광 과정에서 발생하는 갱내 폐수, 폐석, 제련소 폐수 및 굴뚝 분진 등은 다량의 유독성 중금속원소를 함유한 채 배출되어 주변 수계, 토양, 농작물 및 대기를 오염시켜 왔다.

노화납석광산은 1973년 광구권을 획득한 후 납석(pyrophyllite) 정광을 월당 약 10,000톤 정도로 생산, 판매하고 있어 국내외로 상당한 규모를 차지하는 광산이다. 노화납석광산의 경우 황철석 등 황화광물이 맥석으로 산재하고 있어, 채광 활동으로 인하여 주변 수계에 산성광산배수를 유입시키고 있는 실정이다.

2. 지질 및 지형

지질은 중생대 경상계에 속하는 옹희암류가 광구 전역에 광범위하게 분포하고 유문암이 관찰되며 이를 후기에 관입한 염기성 암맥이 소규모로 발달한다. 노화도의 바로 옆에 위치하는 보길도에는 중생대 경상계 후기의 흑운모화강암이 관입되어 있다(박홍봉 등, 1988).

선광장과 폐석더미는 광산 바로 옆에 위치하며, 약 4만톤으로 추정되는 광미는 광미땀을 설치하지 않고 계속 아적된 채로 급경사 지역에 방치되어 있다. 수계는 산성광산배수로 오염된 하천이 광미 하부에서 시작하여 구석저수지로 유입되는 형태의 단일 수계로 구성되어 있다. 하천 주위로 논과 밭이 위치하고 구석저수지 하부에도 대규모의 논들이 위치하고 있으며 이들은 구석저수지의 물을 농업 용수로 사용하고 있다.

3. 시료 채취 및 화학 분석 결과

자연수 시료는 계절적 변화 양상을 고려하여 세 차례에 걸쳐 채수하였다. 시료채수 장소는 제 1현장 갱내수(IM), 제 1현장 지표수(S), 제 5현장 갱내수(5M), 노화광업소 식수(DW), 노화도 해수(SW)로 구분된다. 그리고 채취한 암석 시료는 박편과 연마편으로 제작하여 편광현미경 관찰을 실시하였고 일부 시료는 미분쇄하여 X-선 회절분석을 수행하였다.

암석내에 황화광물의 존재 여부를 파악하기 위하여 15개 암석시료에 대해 X-선 회절분석과 현미경 관찰을 수행한 결과, 일부 폐석시료에서 세립질 황철석의 존재가 관찰되며 이 중에는 작은 황철석 결정들이 군집상을 보이고 있어 육안으로도 황철석이 관찰되는 시료도 존재한다.

주요어: 산성광산배수, 황철석, 중화처리

- 1) 광주과학기술원 환경공학과 연구원
- 2) 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수
- 3) 서울대학교 공과대학 명예교수

연구지역 자연수의 평균 pH는 4.2(범위 2.5-7.3)로서 강산성을 띠고 있으며 Eh는 평균 373mV(범위 102-590mV)로서 산화환경임을 나타낸다. 제 1현장 지표수에서 S2 시료가 가장 낮은 pH와 가장 높은 TDS를 보여주고 있는데 이 지점은 광미 하부의 지하수 용출부로서 폐석과 물이 오랫동안 반응한 결과로 생각된다. pH가 2.8인 S2가 하류에 있는 구석저수지(S5)에서는 4.0~5.1로 상당히 복구되었으나, 저수지 물의 pH는 농업용수의 pH 기준인 6.0~8.5보다는 낮아서 농업용수로 사용하기에는 부적합한 것으로 나타났다.

산성광산배수의 특징을 가장 현저하게 보여주는 시료는 S2로서 Al, Fe, Mn, SO_4^{2-} 의 경우 WHO 기준치에 비해 수백~수천배의 높은 함량값을 나타내고 있다. 특히 Cd, Cr, Cu, Mn, Mo, Pb, Zn 등 중금속원소들도 S2에서 모두 WHO 기준치를 수십~수백배를 초과하고 있으나, S1과 합류 후 S3에서 그 함량이 급격히 감소된다. 이것은 회석작용 및 그에 따른 pH 상승에 따라 대부분의 중금속원소들이 침전되어 감소하고 있음을 나타낸다.

1M, S, 5M 등 자연수 시료를 대상으로 WATEQ4F를 이용하여 용존물질의 화학종을 예측한 결과 연구 지역 자연수 중에 존재하는 Fe 성분은 대부분 Fe^{2+} 와 $FeSO_4^0$ 형태로 존재하는데 Fe^{2+} 보다는 $FeSO_4^0$ 형태로 더욱 많이 존재하고 있다. Fe의 침전물은 일반적으로 $Fe(OH)_3$ 으로 알려지고 있으나(Sengupta, 1993) 일부 연구에 의하면 $FeO(OH)(am)$ 이 제시되기도 하였다(김정엽 등, 1995). $Fe(OH)_3$ 와 $FeO(OH)$ 는 전 시료에서 포화 지수가 0보다 작은 비슷한 경향을 나타내어 pH가 상승함에 따라 침전될 가능성이 있다.

4. 폐석-물 반응

폐석이 수질에 미치는 영향 및 폐석으로부터의 원소 용출특성을 파악하기 위하여 증류수 1ℓ에 <0.180mm와 <5mm 크기의 폐석을 각각 10g씩 넣어 자연 반응시킨 후 용액에 대한 물리·화학적 특성을 조사하였다.

pH의 경우 <0.180mm 입도에서 수 분 내에 감소하다가 다시 증가하는 양상을 보여주고 있고, <5mm 입도에서는 점차 감소하는 경향을 보여주고 있다. Fe와 SO_4^{2-} 의 함량은 6일 후에 <0.180mm 입도에서 각각 1.52, 85.0mg/ℓ로 나타나므로써 음용수 기준에 비해 매우 높은 함량을 보였다. 이것은 폐석내에 함유된 황철석 등 황화광물이 증류수수와 반응하여 Fe와 SO_4^{2-} 를 용탈시키기 때문으로 판단된다.

5. 산성광산배수의 중화처리 실험

산성광산배수의 처리에 사용될 최적의 중화제를 결정하기 위하여 S3에서 채취한 자연수를 대상으로 실내 중화반응 실험을 하였다. S3의 산도(acidity)를 측정된 결과 560mg $CaCO_3$ /ℓ로 나타났다.

산성광산배수 1ℓ에 공업용 소석회($Ca(OH)_2$), 시약용 탄산나트륨(Na_2CO_3), 시약용 수산화나트륨(NaOH), 시약용 수산화마그네슘($Mg(OH)_2$)을 각각 1g씩 넣고 자연반응시키면서 시간의 변화에 따른 pH, 전기전도도, 양이온과 음이온의 변화를 관찰하였다. 또한 이 실험을 통해 생성된 침전물 중의 중금속 함량을 측정하기 위해 화학분석을 실시하였다.

모두 반응 시작 후 5분 동안 pH를 상승시켰으며 10분 이후부터는 NaOH가 가장 큰 기울기로 pH를 상승시키는 반면에 공업용 소석회는 약간의 pH 상승만 보였다. 공업용 소석회를 사용할 경우의 제거효율을 보면 6시간만에 Fe 63.9%, Al 12.3%, Mn 29.0%, Pb 3.6%, Zn 31.4%를 침전시켰으나 48시간 후에는 Al 70.9%, Pb 39.3%, Mn, Fe, Zn은 100% 침전시키는

것으로 나타났다.

침전물에 대한 화학분석 결과 Pb, Zn 등 유독성 원소들의 함량이 높게 나타나므로 산성광산배수 처리 후 발생하는 침전물을 매립할 때에는 이들에 의한 2차 오염의 가능성을 주의하여야 할 것이다.

6. 결 론

1) 노화납석광산 일대에서 광화대 하부와 폐석에 함유되어 있는 황철석의 산화에 의해 자연수의 pH는 제 1현장 지표수에서 2.5~5.1로서 산성광산배수의 특징을 잘 나타내고 있다. 자연수의 Al, Fe, Mn과 SO_4^{2-} 의 평균 함량은 각각 71mg/l, 301mg/l, 8mg/l, 2,490mg/l로 일반 자연수에 비해 매우 높은 함량을 나타내고 있다.

2) 증류수가 0.180mm 크기보다 작은 폐석과 반응한 후 Fe와 SO_4^{2-} 의 함량은 6일 후에 각각 1.52mg/l, 85.0mg/l로 나타나므로써 음용수 기준에 비해 매우 높은 함량을 보였다.

3) 산성광산배수 처리를 위한 실내 중화반응 실험 결과 공업용 소석회가 48시간 후에 Al은 70.9%, Mn, Fe, Zn은 100%를 침전시켜 다른 고가의 시약보다 처리 효과가 좋아 가장 적절한 중화제인 것으로 나타났다. 따라서 가행중인 노화납석광산은 산성광산배수와 관련된 환경문제를 줄이는데 공업용 소석회를 사용한 중화처리방법을 택하는 것이 적절하다고 판단된다.

참고문헌

1. 김정엽, 오대균, 전효택, 1995, 동해폐탄광 일대 산성광산배수의 중화처리, 지하수환경, Vol. 2, pp. 38-47.
2. 박홍봉, 박배영, 신상은, 허민, 1988, 전남과 하동지역에서 산출하는 요업 및 점토광물 자원과 성인에 관한 연구, 광산지질, Vol. 21, pp. 1-15.
3. Sengupta, M., 1993, Environmental impacts of mining: Monitoring, Restoration, and Control, Lewis publishers, p. 494.