

## 삼산제일광산 폐광석의 황화외 2차광물의 침전에 관한 광물학적 연구

연규훈, 이평구, 최상훈\*, 박성원, 염승준

한국지질자원연구원 지질환경재해부 환경재해연구실, \*충북대학교 지구환경과학과  
e-mail : pain-killer@hanmail.net

### <요약문>

산화환경에 노출된 폐광석에 포함되어 있는 황화광물은 산소와 물과의 화학반응을 통해 산화작용을 받게 되고, 이로 인하여 Fe, Mn, Pb, Zn, Cu 및 As 등의 원소의 용해반응이 발생할 것으로 예상된다. 그러나 이와 같이 용해된 금속이온은 pH 등 환경의 변화에 따라 2차광물(산화광물 및 황산염광물)로 침전되거나 흡착되어 수용액으로부터 제거되어 자연적으로 고정화 될 수 있다. 이처럼 황화광물의 산화작용에 의해 형성된 2차광물에 대한 광물학적 연구는 광산복원을 결정하는데 직접적인 지구화학적 자료로 활용될 수 있다. 삼산제일광산에 방치된 폐광석을 대상으로 XRD, SEM/EDS를 이용하여 광물학적 연구를 수행한 결과 침전과 공침, 흡착 등의 화학반응을 통하여 현재 고정화되고 있는 것이 확인되었다.

**key word:** 삼산제일광산, 2차광물, EDS, 침전, 공침, 흡착

### 1. 서론

휴/폐금속 광산에서 중금속오염의 주체가 되고 있는 황화광물의 산화과정에 관한 연구가 아직 미비하다고 할 수 있다. 폐광석과 광미에 함유된 황화광물이 산화 혹은 용해되어 지표수나 지하수를 오염시키는 것으로 알려져 있지만 이와 같은 과정에 대한 직접적인 연구결과는 국내외적으로 매우 미약한 실정이다(1,2). 이번 연구는 삼산제일광산의 폐광석 내 용해된 중금속원소들의 이동을 제어하는 요인으로서 2차 산화광물의 침전 및 용해된 중금속 원소들의 흡착 가능성을 광물학적으로 연구하였다.

### 2. 시료 채취 및 실험

폐광석 내에 함유되어 있는 황화광물의 산화작용에 대한 연구를 위하여 폐광석 적치장 상부에서 폐광석을 채취하였으며, 연마편을 제작하여 반사현미경으로 관찰하였고, 정확한 광물감정을 위하여 X-선 회절분석을 실시하였다. X-선 회절분석은 PHILIPS X'PERT MPD Diffractometer를 이용하였다. 또한 폐광석 시료의 주요 금속광물과 산화작용에 따른 황화광물의 변질특성 및 침전된 2차 산화광물을 동정하기

위해 SEM/EDS 분석을 실시하였다. SEM/EDS 분석은 충남대학교 공동실험실습관의 JEOL(JXA-8800R) 전자현미경분석기(EPMA)를 이용하여 선분석과 면분석을 실시하였다.

### 3. 결 과

#### 1) 황동석(chalcopyrite, $CuFeS_2$ )의 산화작용과 2차광물의 침전

황동석의 입자가장자리와 입자표면에 전반적으로 산화가 진행되어 2차광물로 변질되는 것이 관찰되었다. EDS 정성분석 및 X-선 회절분석결과,  $CuSO_4$  계열의 광물이 침전되어 있는 것이 확인되었다. 입자가장자리에서 산화가 진행 중인 것은 Fe가 입자 가장자리로 가면서 함량이 줄어드는 것이 관찰되었다 (Fig. 1.).

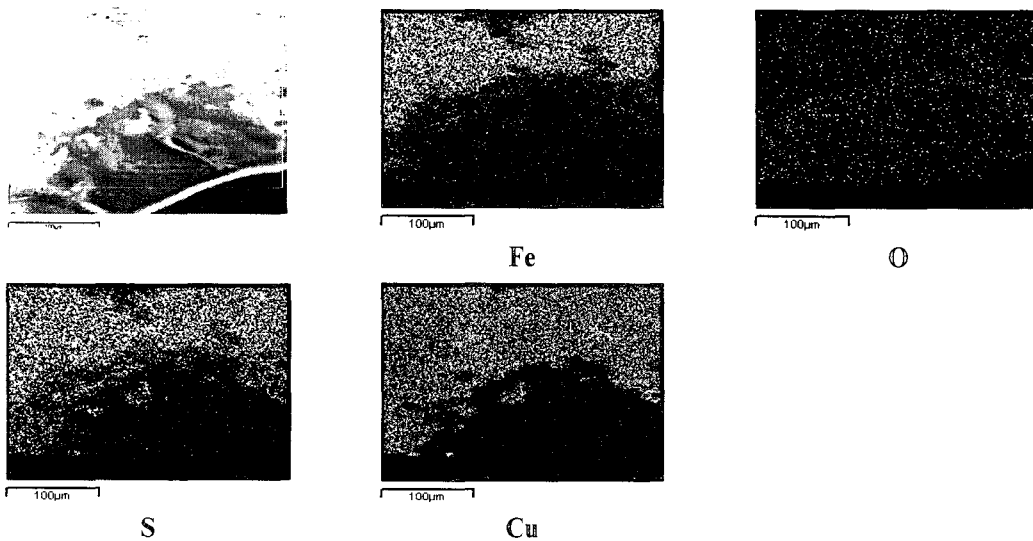


Fig. 1. Back-scattered electron image of weathered Chalcopyrite in waste rock from the Samsanjeil mine. Corresponding X-ray map shows the distribution of Fe, O, S and Cu.

#### 2) 방연석(galena, $PbS$ )의 산화작용과 2차광물의 침전

방연석은 광물 입자가장자리를 따라  $PbSO_4$ 로 예상되는 황산염광물과 철-수산화광물이 확인되었으며, 철-수산화광물에는 구리가 흡착되어 있다. 방연석 가장자리에 침전된 2차광물을 EDS 분석한 결과  $PbSO_4$ 로와 Cu-S(covillite)가 관찰되었으며,  $PbSO_4$ 광물에는 소량의 Cu가 흡착되어 있다(Fig. 2).

#### 3) 섬아연석(sphalerite, $ZnS$ )

섬아연석 산화작용 또한 입자가장자리를 따라 진행되면서 입자 균열부나 입자 안쪽까지 진행되는 것이 관찰된다. 섬아연석 가장자리를 따라 covillite과 철-수산화광물이 침전되어 있으며, 철-수산화광물에는 Cu와 Zn이 흡착되어 있다 (Fig. 3).

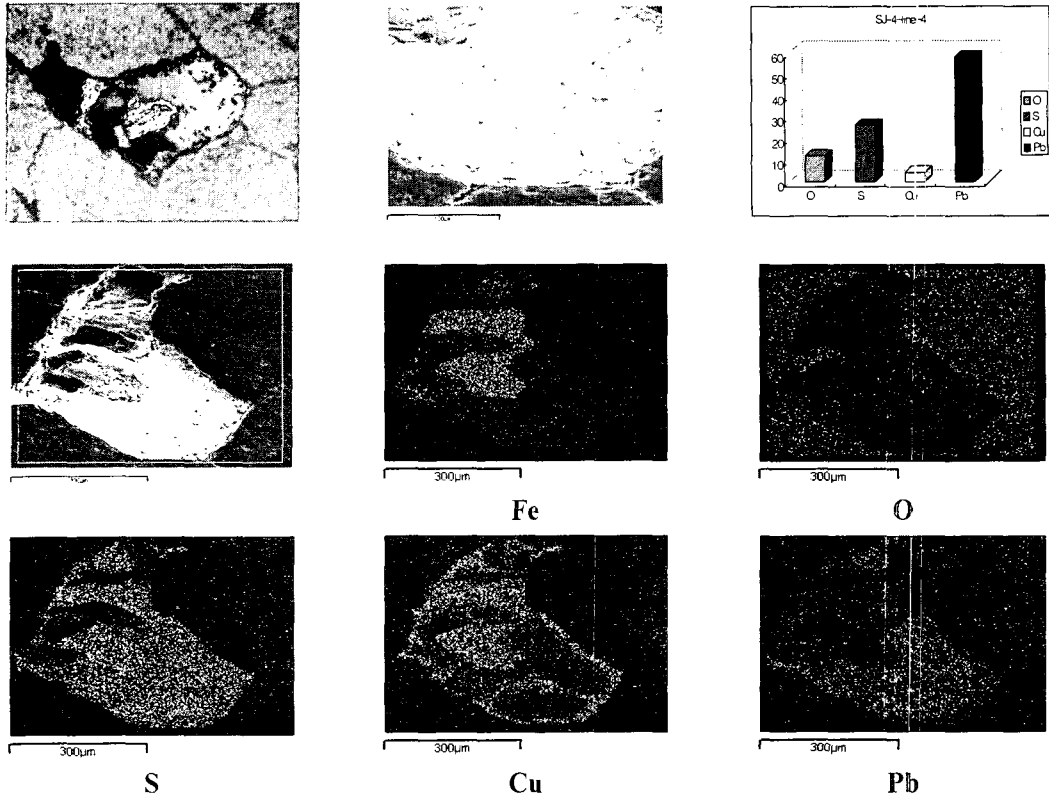


Fig. 2. Back-scattered electron image and the results of energy dispersive spectroscopy spectrum of secondary minerals of weathered Chalcopyrite and Galena in waste rock from the Samsanjeil mine Corresponding X-ray map shows the distribution of Fe, O, S, Cu and Pb.

#### 4) 철-수산화광물의 침전

삼산제일광산의 현미경 관찰에서 가장 많이 관찰되는 것으로 철-수산화광물이다. 산화철의 침전은 입자의 가장자리 및 균열을 따라 관찰되었다. EDS 분석을 실시한 결과 이런 철-수산화광물에는 Cu가 검출된다.

#### 4. 결론

- (1) 황동석, 황철석, 방연석 및 섬아연석의 산화작용은 입자가장자리와 입자표면에서만 일어나는 것으로 관찰되었다. 2차 광물로는  $\text{CuSO}_4$ , covellite 및 anglesite( $\text{PbSO}_4$ ) 등이 확인되었으며, 이들 광물의 침전은 용해된 Fe, Cu 및 Pb 원소가 고상(solid-phase)으로 제어되고 있음을 지시한다. 이와 같은 광물은 X선 회절분석에서도 확인되었다.
- (2) 그 외에도 용해된 Zn, Cu 및 Pb 등 원소는 Fe-hydroxides와 공침 혹은 흡착되어 제거되는 것으로 확인되었다.

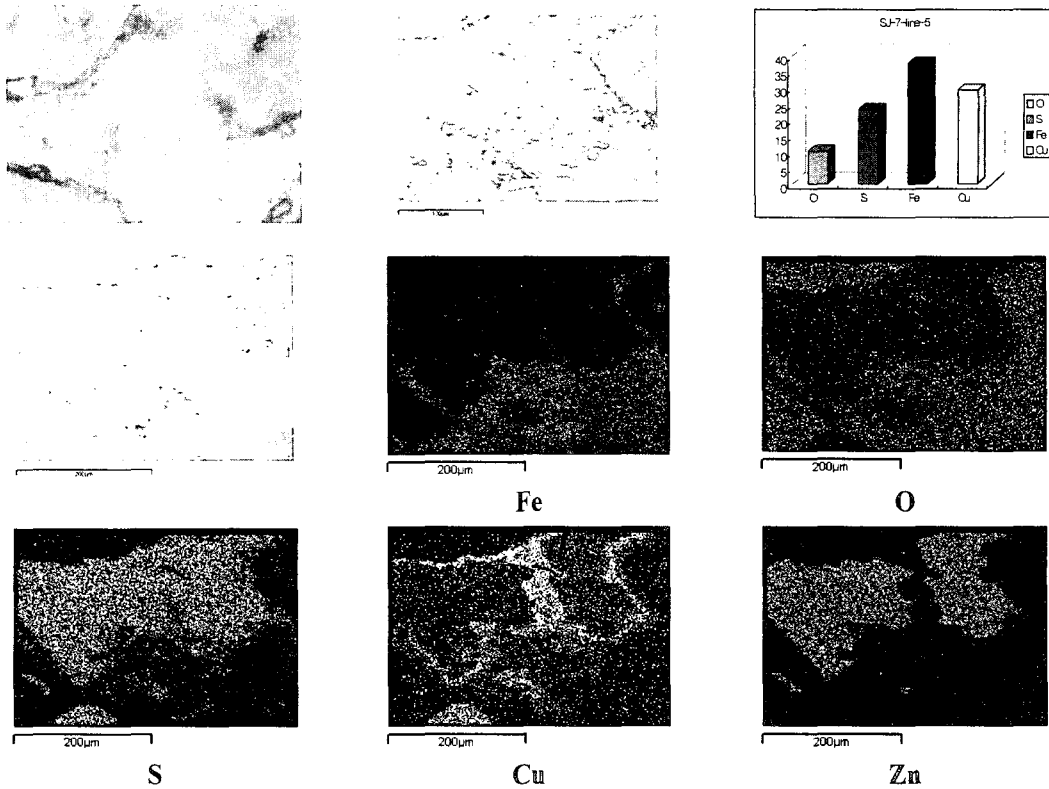


Fig. 3. Back-scattered electron image and the results of energy dispersive spectroscopy spectrum of secondary minerals of weathered sphalerite in waste rock from the Samsanjeil mine Corresponding X-ray shows the distribution of Fe, O, S, Cu and Zn.

(3) 폐광석에 함유되어 있는 황화광물의 산화작용으로 용해된 중금속 이온들이 흡착, 침전 및 공침 등 화학반응을 통하여 현장에 고정화 되어 이동과 확산이 억제되므로, 지금까지 사용되는 매립복원 방법보다는 폐광석이 유실되는 것을 방지하는 경제적이고 단순한 시설만으로도 폐광석에 의한 오염확산을 방지하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 1) 강민주, 이평구, 최상훈, 신성천, 서보광산 폐광석 내 2차 광물에 의한 중금속 고정화, 자원환경지질 36권 3호, 177~189p., 2003
- 2) 이평구, 강민주, 박성원, 최상훈, 청양광산 폐광석 더미 내 황화광물의 산화작용과 중금속 저감화, 지질학회지 39권 4호, 445~459p., 2003