

# 난분해성 금속광물의 미생물 침출에 관한 연구

김동진<sup>1)</sup> · 조경숙<sup>2)</sup> · 박경호<sup>1)</sup> · 손정수<sup>1)</sup> · 정헌생<sup>1)</sup> · 이상덕<sup>1)</sup>

## 1. 서론

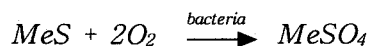
미생물 침출법은 미생물의 직·간접 반응기구에 의해 금속광석의 물리·화학적 성질을 변화시켜 금속을 이온상태로 침출시키는 공정으로 금속함량이 낮아 기존의 건식 및 습식 공정으로 처리하기에 부적합한 저품위 광석이나 소량의 금속이 분산되어 있는 난용성 광물로부터 유가금속을 회수할 수 있는 경제적인 처리법으로 평가되고 있다. 또한 에너지 사용량이 적고, SO<sub>2</sub>가스가 방출되지 않기 때문에 환경문제를 일으키지 않으며, 초기 투자비가 적고 공정/조업이 간단하고 고도의 기술적 지식을 필요로 하지 않는 특징을 갖고 있다.

본 연구에서는 미생물 침출법을 사용하여 칠레산 황동광으로부터 구리 침출시 *Thiobacillus ferrooxidans*의 접종효과와 미생물에 의한 구리 침출시 반응인자의 영향을 알아보고자 하였다.

## 2. 이론적 고찰

현재 대부분의 미생물 침출공정은 용해성 금속황화물을 생화학 산화반응을 통하여 수용성의 금속 황산염으로 변화시키는 균주의 활동에 주로 의존하며 일반적으로 금속들은 직접 또는 간접 미생물 산화반응에 의하여 침출된다.

직접 미생물 침출반응에서는 미생물 균과 황화물 광석표면 사이에 물리적인 접촉으로 인하여 광석표면에서 산화반응이 일어나게 되며, 미생물에 의한 직접 침출반응은 다음 식으로 표시할 수 있다.



간접침출반응에서 미생물 균은 황화물광석을 화학적으로 산화시키는 침출성분 3가 철을 생성시키며 이것에 의한 미생물의 간접 용출반응은 다음 식으로 나타낼 수 있다.



## 3. 실험방법

본 연구에서는 천연광석 CuFeS<sub>2</sub>를 시료로 균주는 *Thiobacillus ferrooxidans*(ATCC19859)를 그리고 배지는 Silverman의 9K 배지를 사용하였다.

---

주요어: 황동광, 9K 배지, 미생물 침출, *Thiobacillus ferrooxidans*, pH, ORP

1) 한국지질자원연구원 자원활용연구부(djkim@kigam.re.kr)

2) 이화여자대학교 환경학과

250ml의 플라스크에 9K 배지 100ml를 넣고, 일정량의  $\text{CuFeS}_2$ 를 첨가한 후 균주를 접종하였다. 이를  $30^\circ\text{C}$ , 180rpm에서 배양하면서 일정시간 간격으로 시료를 채취하여 pH, ORP, 철 및 구리의 농도를 측정하였으며 모든 실험은 2회 반복 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 1) 균주 접종효과 및 생물학적 침출기구

$\text{CuFeS}_2$  광석으로부터 구리를 침출하는 과정에서 균주의 접종 효과를 비롯하여 생물학적 침출기구를 규명하기 위하여 각 조건에 대하여 실험을 행하였다. Fig. 1를 보듯이 배지에 광석만을 첨가한 경우에는 구리의 침출율은 15.1%로 매우 낮으며, 이 조건에서는 생물학적 기작 없이 물리·화학적인 조건에 의해서만 광석으로부터 구리가 침출된다. 배지에 광석을 첨가하고 *T. ferrooxidans*를 접종한 조건에서는 광석으로부터의 구리 침출율이 18.6%로 균주를 접종하지 않은 경우에 비하여 다소 증가하였으나, 여전히 낮은 침출율이 관찰되었다. 이는 균주가 광석에 접촉하여 일련의 촉매 반응에 의하여 구리를 침출시키는 직접 산화기작에 의해 구리의 침출율이 다소 향상되는 것으로 사료된다. 광석과 함께 균주의 기질인  $\text{FeSO}_4$ 를 첨가하고 *T. ferrooxidans*를 접종한 경우에는 구리의 침출율이 75.5%로 크게 증가하였다. 이는 첨가된  $\text{FeSO}_4$ 가 철산화 세균인 *T. ferrooxidans*에 의해  $\text{Fe}^{3+}$ 로 산화되고, 산화된  $\text{Fe}^{3+}$ 가 강한 화학적 촉매로 작용함으로써 광석내의 불용성 구리를 가용성의  $\text{Cu}^{2+}$  이온으로 산화시키기 때문으로 사료된다.

#### 2) 구리의 침출율에 미치는 pulp density의 영향

광석의 첨가 농도에 따른 균주의 활성 및 광석으로부터의 구리 침출율을 조사하기 위하여  $\text{CuFeS}_2$ 의 첨가 농도를 각각 1%(10g/L), 5%(50g/L), 10%(100g/L), 20%(200g/L)로 변화시켜 광석으로부터의 구리 용출 특성을 조사하였다.

$\text{CuFeS}_2$  농도가 1%인 조건에서 구리의 침출율은 44.3%이었으나, 광석 첨가 농도가 5, 10, 20%로 증가함에 따라 18.6%, 13.2%, 9.7%로 감소하였다.(Fig. 2)

이같이 고농도의 pulp density에서 *T. ferrooxidans*의 제련 활성이 다소 감소하는 것은 제련 미생물의 성장에 필요한 탄소원인  $\text{CO}_2$ 와  $\text{O}_2$ , 그리고 그 외 영양 물질의 전달이 원활하지 못하기 때문으로 사료된다. 또한 배양 중에 침출되는 광석 내의 금속성분 역시 제련 활성을 감소하는 요인으로 판단된다.

#### 3) 구리의 침출율에 미치는 광석 입자크기의 영향

$\text{CuFeS}_2$ 로부터의 구리 침출율은 광석의 입자 크기에 영향을 받을 것으로 예상되어 이에 대한 조사를 하였다. 광석을 입자 크기에 따라 네 그룹( $\sim 63\mu\text{m}$ ,  $63\sim 212\mu\text{m}$ ,  $212\sim 425\mu\text{m}$ ,  $425\mu\text{m}\sim$ )으로 분류하였으며, 광석 5%에  $\text{FeSO}_4$ 를 함께 첨가하여 실험을 행하였다.

광석으로부터 침출된 수용상의 구리 농도를 분석한 결과, 입자의 크기가  $63\mu\text{m}$  이하인 실험조건에서 45.6%로 가장 높았다(Fig. 3). 이는 일반적으로 알려진 사실과 같이 광석의 입자 크기가 감소할수록 표면적이 증가하기 때문으로 사료된다.

### 4. 결 론

광석으로부터 친환경적이고 경제적인 방법으로 유가금속을 회수할 수 있는 미생물 침출법

을 이용하여 천연 황동광( $\text{CuFeS}_2$ )으로부터 구리를 회수하기 위한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 제련미생물인 *T. ferrooxidans*를 이용하여 구리의 생물학적 침출기구를 규명한 결과, 직접적인 산화과정 보다는 기질로 첨가한  $\text{FeSO}_4$ 를 균주가 산화시켜서 생성된  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 에 의한 간접적인 산화과정에 의하여 구리가 침출되는 기여율이 높았다.
2. *T. ferrooxidans*를 이용하여  $\text{CuFeS}_2$ 로부터 구리 침출시 광석의 pulp density 영향을 조사한 결과 pulp density가 증가할수록  $\text{CO}_2$ 와  $\text{O}_2$  및 영양물질의 전달이 원활하지 못하여 침출율이 감소하였다.
3. *T. ferrooxidans*를 이용하여  $\text{CuFeS}_2$ 로부터 구리 침출시 광석의 입자크기 영향을 조사한 결과 입자 크기가 작을수록 구리의 침출율이 높았다.

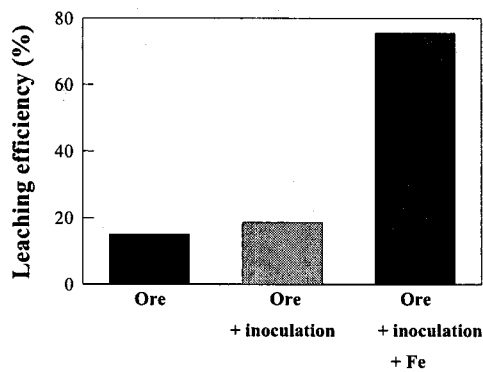


Fig. 1. Leaching efficiency of Cu at various conditions.

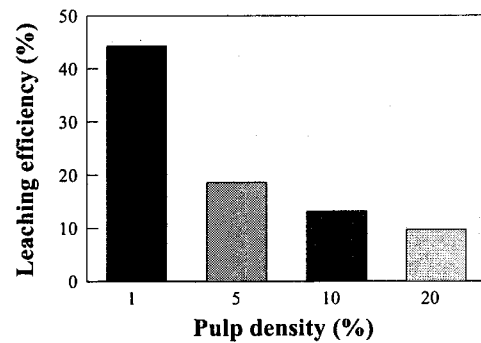


Fig. 2. Leaching efficiency of Cu at various pulp density.

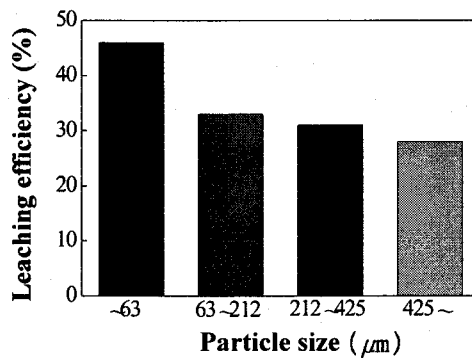


Fig. 3. Leaching efficiency of Cu at various particle size.