

# 장풍광산 폐광석의 중금속 존재형태 연구

이평구<sup>1)</sup>, 이인경<sup>2)</sup>, 최상훈<sup>2)</sup>, 신성천<sup>1)</sup>

## 1. 서론

폐광석에 함유되어 있는 중금속 원소는 물리·화학적 환경의 변화에 따라서 안정화되어 자연적으로 정화가 진행되거나 혹은 재 용출될 수 있어 중요한 오염원으로 작용할 수 있다. 따라서 폐광석에 함유된 중금속이 흡착된 상태로 존재하는지, 광물형태(탄산염광물, 산화광물, 황산염광물 및 황화광물)로 존재하는지, 산화환경 혹은 환원환경에서 안정한 다른 광물의 결정 내에 치환된 형태로 존재하는지를 규명하는 것은 물리화학적 환경변화에 따른 중금속의 거동(흡착반응, 탈착반응, 용해반응, 침전반응)을 예측할 수 있는 매우 유용한 평가 방법이라고 할 수 있다. 이번 연구는 장풍광산의 폐광석을 광물조성에 따라 두 가지 형태로 나누어 광물 조합에 따른 중금속의 존재형태의 차이를 규명하고자 한다.

## 2. 시료채취 및 실험

장풍광산의 중금속 원소의 분산특성과 오염수준을 조사하기 위해 2002년 3월, 폐광석더미 위를 비슷한 간격으로 하여 9개 지점에서 심도별 및 색깔별로 구분된 25개의 풍화잔류시료와 두개의 배경토양을 채취하였다. 장풍광산의 폐광석 시료를 주요 산출 광물에 따라 두 가지 형태로 구분하였다(Table 1). 첫 번째 유형은 석영, 장석류, 점토광물 및 녹니석으로 구성되어 있으며, 산화철광물인 jarosite와 적철석을 함유하기도 한다(carbonate-free waste rock, Type 1). 두 번째 유형은 상당량의 방해석과 함께 석영 운모 등이 산출된다(carbonate-rich waste rock, Type 2). 이들 광물 조합에 따른 중금속의 존재 형태의 차이를 규명하고자 Tessier et al. (1979)이 제시한 연속 추출법에 의해 As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn의 8개 원소에 대하여 각 원소의 존재 형태별 비율을 계산하여 나타냈다.

## 3. 결과

As : Type 1에서는 대부분 잔류형태(fraction V: 전체함량의 90%)로 존재하고, 산화철망간광물의 형태(fraction III)로는 전체비소함량의 8.9%가 존재한다. Type 2에서도 역시 대부분 잔류형태(전체 함량의 80.2%)로 존재하고, 산화철망간의 형태로는 14.9%가 존재하는 것으로 나타났다. 두 가지 경우 모두 폐광석에 함유된 As는 산화환경에서 상대적으로 매우 안정한 형태인 fraction III와 fraction V의 형태로 존재하는 것이 전체 함량의 95-99%를 차지하고 있으며, 산화환경에서 비교적 불안정한 존재형태인 이온교환, 탄산염광물 및 황화광물형태로 존재하는 것은 매우 미약한 것으로 나타났다.

---

**주요어 : 연속추출, 존재형태, 산화환경**

- 1) 한국지질자원연구원 환경지질연구부 환경지구화학연구팀 (pklee@kigam.re.kr)
- 2) 충북대학교 지구환경과학과

Co : Type 1과 Type 2에서의 Co는 전체함량 중 71.7%와 68.5%가 잔류형태로 존재하는 것으로 나타났다. 산화철망간의 형태로 존재하는 함량은 각각 27.5%, 24.7%로 잔류형태 다음으로 우세한 것으로 검출됐다. As와 마찬가지로 Co도 산화환경 및 약산성환경에서 안전한 형태로 존재하고 있다. 황화광물로 존재하는 함량은 각각 0.53%와 6.76%이며, 양이온교환 형태와 탄산염광물의 형태로 존재하는 함량은 0.2% 이하이거나 검출한계이하였다.

Table 1. Mineralogical composition of waste rocks in Jang-pung Cu mine.

Sample No.	Primary minerals	Secondary minerals	Remarks	
Type1	JP2-3	quartz, microcline, albite, rectorite, clinochlore, muscovite	jarosite, montmorillonite	
	JP3-2	quartz, microcline, albite, rectorite, clinochlore, muscovite	jarosite	carbonate-free waste rock
	JP12-1	quartz, clinochlore, moscovite, microcline, albite	hematite, montmorillonite	
	JP12-2	quartz, clinochlore, muscovite, microcline, albite		
	JP4-2-1	calcite, clinochlore, quartz, muscovite		carbonate-rich waste rock
Type2	JP4-2-2	calcite, clinochlore, quartz, muscovite, pyrite		

Fe : Fe의 존재형태 역시 As와 Co에서처럼 탄산염광물의 유무에 관계없이 Type 1과 Type 2에서 잔류형태로 존재하는 함량은 각각 70.3%, 65.1%로 가장 우세하며, 산화철망간 형태와 수반된 것은 전체함량의 각각 28.4%, 26.7%였다. 즉 산화환경에서 안정한 형태로 존재하는 함량이 각각 98.1%, 91.8%를 차지하고 있어 대부분 안정하게 고정화되어 있는 것임을 지시한다. 또한, 황화광물의 형태로 존재하는 함량은 각각 0.82%, 8.3%였고, 양이온 교환 형태와 탄산염광물의 형태로 존재하는 철의 함량은 0.3%이하로 매우 미약하였다.

Zn : Zn의 존재형태는 Fe, As 및 Co의 존재형태와 차이가 있는 것으로 나타났으며, Cd, Mn과 유사하였다. Type 1은 잔류형태로 존재하는 것이 전체 함량의 50.3%로 가장 우세하였고, 산화철망간광물형태로 존재하는 것이 전체 함량의 23.1%이었으나, 탄산염광물 형태로는 8.0%이었다. 그러나 Type2의 경우 전체함량의 3.2%만이 잔류형태로 존재하였으며, 전체 함량의 65.7%가 산화철망간광물의 형태로 나타났으며, 탄산염광물 형태로 수반된 것은 전체의 23.2%로 Type 1과 대조적이다. Type1에서 황화광물의 형태로 존재하는 함량은 전체 Zn 함량의 18.3%, 이온교환의 형태로는 0.3%로 나타났다. Type2에서 황화광물의 형태로는 7.9%, 이온교환형태로 존재하는 함량은 검출한계이하로 나타났다.

Cd : Type 1에서 Cd는 전체 함량의 70.1%가 잔류형태로 존재하고, 다음으로 산화철망간광물의 형태가 24.2%를 차지하였다. 이외에 황화광물의 형태로는 3.3%, 탄산염광물은 1.9%, 이온교환의 형태로는 0.5%로 나타났다. Type2에서 Cd는 전체함량의 34.5%, 41.2%각각 탄산염광물과 산화철망간광물의 형태로 존재하며, 12.8%만이 잔류형태로 존재하는 것으로 나타났다. 이온교환형태나 황화광물로 존재하는 Cd는 각각 6.0%와 5.6%이다. 따라서 Type 1의 경우, 전체함량의 94.3%가 산성환경이나 산화환경에 안정한 형태로 존재하고 있지만,

Type 2에서는 54%만이 산화환경에서 안정하게 존재할 수 있어 산성비와 같은 산성환경이 장기간 지속될 경우 쉽게 용해되어 오염이 확산될 우려가 있다.

Mn : Type 1에서의 존재형태는 잔류형태가 64.6%로 가장 우세하며, 산화철망간광물의 형태는 25.4% 존재하는 것으로 나타났다. 탄산염광물의 형태로는 3.0%, 이온교환형태는 5.0%, 황화광물의 형태는 2.0%로 나타났다. Type 2의 망간의 존재형태는 산화철망간광물의 형태(59.9%)가 가장 우세하였으며, 다음으로는 전체 Mn의 32.4%를 차지하는 탄산염광물 형태로 나타났다. 그 밖의 잔류형태, 황화광물형태, 이온교환형태로는 각각 3.5%, 1.0%, 0.1%로 검출되었다. 따라서 Mn도 Cd와 Zn과 마찬가지로 Type 2의 폐광석은 산성환경이 지속될 경우 쉽게 용해될 수 있음이 확인되었다.

Cu : Type 1에서 Cu는 잔류형태로 존재하는 비율이 전체 구리 함량의 53.6%로 가장 우세하였고, 황화광물의 형태로는 26.4%로 나타났다. 또한 산화철의 형태로 존재하는 함량은 15.3%, fraction I 과 II에서는 각각 1.2%와 3.5%로 나타났다. Type 2의 Cu의 존재형태 중 가장 우세한 것은 황화광물형태(48.9%)이며, 다음으로는 탄산염광물, 산화철망간의 형태가 각각 27.4%, 16.5%를 차지했다. 그 밖의 잔류형태로는 7.2%, 양이온교환형태로는 0.1%로 미약했다. 위 결과에서 Type1경우보다 Type2의 경우가 약한 산성환경에서 Cu가 용해되어 이동할 가능성이 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

Pb : Type 1에서 Pb의 존재형태는 잔류형태가 전체 납 함량의 86.6%를 차지하여 가장 우세한 형태로 나타났다. 황화광물로 존재하는 Pb는 6.1%, 산화철망간형태는 1.8%로 미약하며, 탄산염광물로 존재하는 Pb는 검출한계이하이다. Type 2에서 산화광물형태로 수반된 함량이 53.3%이었으며, 잔류형태로는 37.7%가 검출되었다. 탄산염광물과 황화광물의 형태로 존재하는 것은 각각 3.9%, 5.1%이며, 양이온교환형태의 Pb함량은 검출한계이다. Pb는 두 가지 경우에서 일반적인 약한 산성환경에서 비교적 안정한 상태로 존재할 것을 밝혀졌다.

#### 4. 결론

- 1) 장풍광산의 폐광석에 대한 연속추출분석결과, As, Fe, Co는 탄산염광물의 유무에 관계없이 대부분 안정한 형태인 잔류형태가 우세한 반면, Cd, Cu, Mn, Pb, Zn 등은 Type에 따라 다른 형태로 존재하고 있음이 나타났다.
- 2) Type 1의 Cd, Cu, Mn, Zn의 존재형태는 잔류형태가 가장 우세하여 약산성의 산화환경에서는 안정한 형태로 고정화되어 있다. 그러나, Type 2에서는 탄산염광물형태가 중요한 존재형태이다.
- 3) 탄산염광물에 의한 중화능력이 없어질 경우 Cd, Cu, Mn 및 Zn의 용해작용이 발생하게 될 것으로 추정되며, 따라서 장기적으로 볼 때, pH5.0이하의 산성환경에서 이들 원소의 오염확산이 우려된다.

#### 5. 참고문헌

- Tesseer A., Campell P. G. C. and Bisson M., 1979, Sequential Extraction procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. Anal. Chem., v.51, pp.844 ~ 851.

Fig. 1 The chemical partitioning mean value of trace and heavy metal within different fraction(FI -FV) in waste rocks from the Jangpung Cu mine.

