

송천광미 내 비소의 거동특성 평가를 위한 광물학적 지구화학적 연구

김순오^{1)*} · 정영일¹⁾ · 조현구¹⁾ · 김건기¹⁾

1. 서 론

비소는 광화지역에서 주로 원소광물, 비소화 광물, 황화물, 산화물, 비산염 또는 아비산염 형태를 포함하는 약 200 여종의 광물에서 나타나고 다양한 중금속 원소들과 지구화학적 수반 관계를 가지며 출현하며, 이러한 광물 중에서 유비철석 (FeAsS)이 가장 주된 비소를 함유한 광석광물이지만, 천열수 금은광화지역에서는 함비소 황철석이 보다 풍부하게 존재하여 주요한 비소 기원광물로 나타난다 (안주성 외, 2003). 송천광산은 강원도 강릉시 연곡면 삼산리에 위치하고 있는 금, 은 광산으로 1939년 처음 광업권이 등록되어 1962년 본격적인 채광이 실시되었고 1970년 후반에 실제 채광이 중단된 후 1995년에 광업권이 소멸되어 현재는 폐광된 상태이며, 광상은 함금은 석영맥으로, 산출되는 주요 광석광물들로는 황철석, 섬아연석, 방연석, 엘렉트럼 등이다 (대한광업진흥공사, 1973; 임혜숙 외, 2004). 본 연구는 송천광미 내 높은 함유량을 나타내는 비소의 거동특성을 파악하기 위하여 광물학적 연구와 지구화학적 조사를 병행하여 수행하였다. 송천광미 내 일차 황화광물들과 그들의 이차 생성물들에 대한 광물 조성과 각 광물 내 원소조성을 고찰하기 위하여 채취한 광미를 비중선별과 자력선별을 통하여 농축한 후 반사현미경, X선 회절분석 (XRD), 주사선 현미경 (SEM)과 에너지분산분광기 (EDS), 전자현미분석 (EPMA) 등을 이용하여 분석하였다. 이러한 광물학적 광학적 분석들과 더불어 광미 내 함유된 비소의 존재형태별 함량을 분석하기 위하여 Force et al. (2000)이 제안한 연속추출법을 이용하여 분석하였다.

2. 본 론

비중과 자력을 이용한 선별작업 전 광미는 석영, 일라이트, 백운모, 카올리나이트와 같은 맥석광물로 구성되어 있었으며 (Figure 1A), 선별작업 후 광석광물을 농축시킨 후 분석한 결과, 비자성 광물들로는 황철석, 섬아연석 등과 같은 일차 황화광물들과 스코로다이트 (scorodite, $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)가 주된 이차광물로 나타났으며 (Figure 1B), 자철석, 적철석, 침철석 등이 자성광물들로 관찰되었다 (Figure 1C). SEM-EDS으로 분석된 황철석과 방연석의 원소조성을 살펴보면 철, 납, 황 등 주 원소 외에 비소가 함유되어 있는 사실을 알 수 있었다 (Figure 2). 광미 내 비소의 존재형태별 농도를 분석하기 위한 연속추출법 방법과 각 단계별로 분석된 비소의 존재형태별 농도를 살펴보면, 잔류성 규산염형태 > 결정질 (수)산화물 형태 ≈ 유기화합물 형태 ≈ 비정질 (수)산화물 > 황철석 형태 > 수용성 및 이온교환 형태 ≈ 탄산화합물 및 흡착 형태 등의 순으로 높게 존재하는 것으로 나타났다 (Table 1.) 이러한 화학적 분석결과와 광물학적 (광학적) 연구결과를 종합적으로 분석 평가함으로써 비소의 환경오염 잠재성과 거동특성 등을 해석할 수 있다.

주요어 : 송천광미, 비소, 광물학, 지구화학

1) 경상대학교 지구환경과학과 및 기초과학연구소 (sokim@gnu.ac.kr)

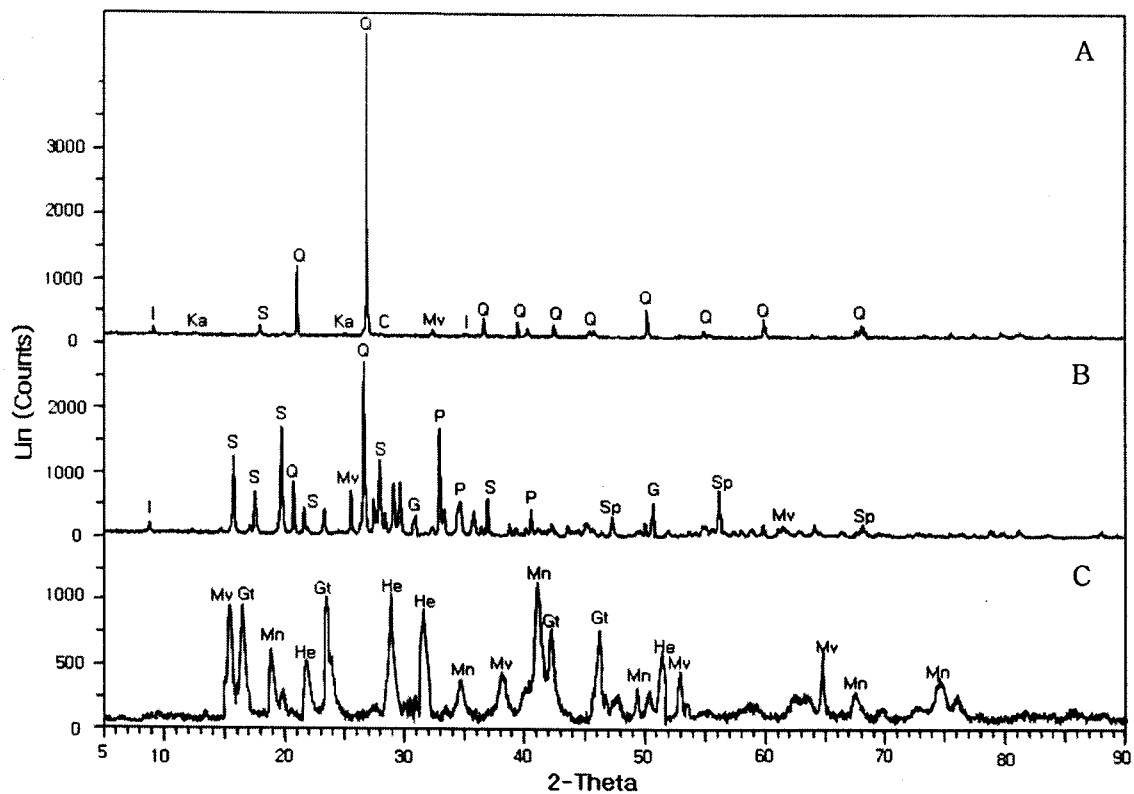


Figure 1. XRD patterns of bulk tailing samples (A), non-magnetic mineral samples (B), and magnetic mineral samples (C). Q: Quartz, Mv: Muscovite, Ka: Kaolinite, I: Illite, S: Scorodite, C: Calcite, G: Galena, P: Pyrite, Sp: Sphalerite, Mn: Magnetite, He: Hematite, Gt: Goethite.

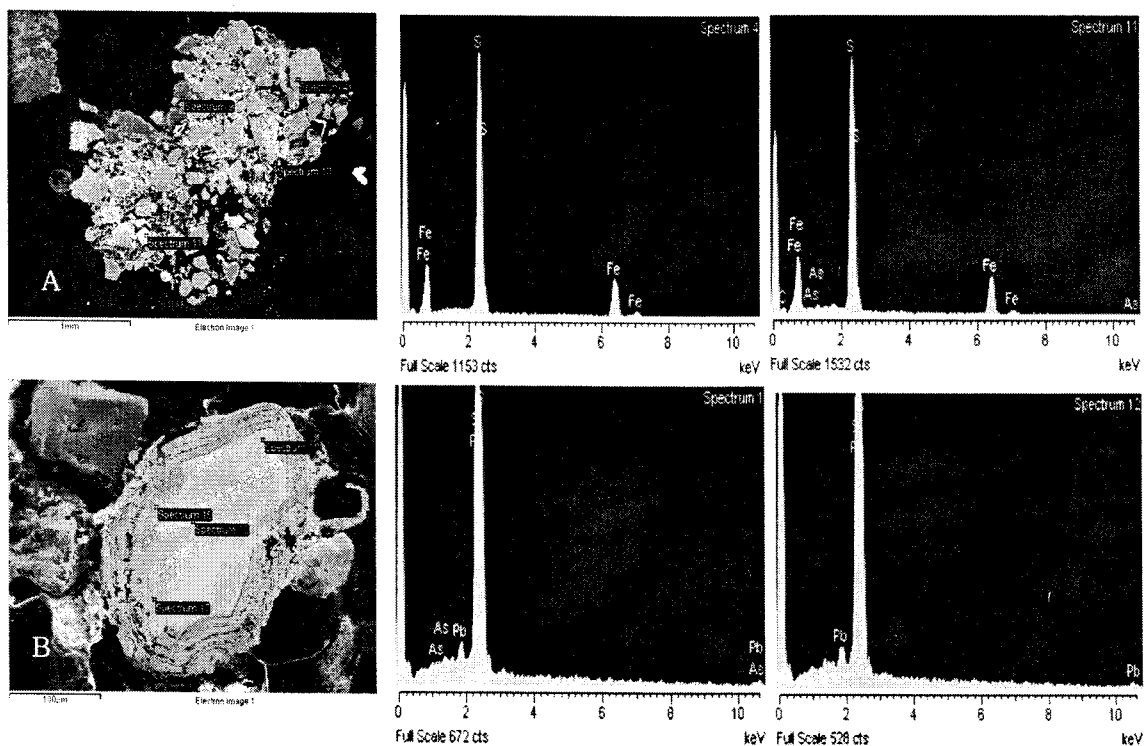


Figure 2. SEM-EDS analyses for pyrite (A) and galena (B).

Table 1. Sequential extraction for As analyses

Step (Target phase)	Extractant	As concentration (mg/kg)
I. Water-soluble and exchangeable fraction	1 M MgCl ₂ , pH 7, 1 h, 25 °C	255
II. Carbonate and specifically adsorbed fraction	1 M NaOAc, pH 5 (adjusted with HOAc), 5 h, 25 °C	190
III. Acid volatile sulfides (ASV) and noncrystalline (hydro)oxides	1 N HCl, 12 h, 25 °C	11,846
IV. Organic matter associated	5.3 % NaOCl, 95 °C, 1 h occasional agitation, 3 repet.	13,951
V. Crystalline (hydro)oxides	1 M hydroxylamine hydrochloride (NH ₂ OH HCl) in 25 % HOAc, 95 °C, 6 hr, occasional agitation	16,247
VI. Residual silicates	10 M HF, 1 and 24 h, added 2.5 g boric acid at 16 h one repetition of each time	49,213
VII. Pyritic fraction	Conc. HNO ₃ , 2 h	1,411

3. 결 론

광산 주변 환경오염을 유발하는 다양한 오염원들 중 적절한 조치 없이 방치되어 있는 광미가 환경오염 잠재성이 가장 큰 오염원이라 할 수 있다. 이러한 광미는 비소와 중금속들을 다량 함유하고 있으며, 이러한 오염물질들의 산화, 용해, 침전, 재용출 등과 같은 지표환경 내 복잡한 지구화학적 반응들에 의하여 주변 환경에 대한 오염 가능성이 좌우된다. 특히, 황화광물과 같은 1차 광석광물들의 유형과 상대함량 그리고 이들 1차 광석광물들의 풍화와 변질로 생성되는 2차 침전물 또는 광물의 유형과 상대함량 등과 같은 광물학적 요인들이 오염물질들의 거동특성에 지대한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 광미의 환경위해성을 평가하기 위해서는 지구화학적 연구와 더불어 광물학적 조사가 필수적으로 병행되어야 할 것이며 이러한 연구결과들을 종합하여 해석 평가함으로써 광미에 의한 주변 환경오염 가능성 및 잠재성을 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 사 사

본 연구는 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원 (KRF-2005-041-D00447)을 받아 수행되었다.

참고문헌

- 안주성, 김주용, 전철민, 문희수 (2003) 풍화광미 내 고상 비소의 광물학적·화학적 특성 및 용출 가능성 평가. *자원환경지질* 36, 27-38.
- 대한광업진흥공사 (1973) 한국의 광상 제 5호 금은편. 76p.
- 임혜숙, 이진수, 전효택 (2004) 송천 Au-Ag 폐광산 주변 지역의 중금속 오염과 인체 위해성 평가. *대한자원환경지질학회 2004년도 춘계학술발표회집*, 202-207.
- La Force, M.J., Hansel, C.M., and Fendorf, S. (2000) Arsenic speciation, seasonal transformations, and co-distribution with iron in a mine waste-influenced Palustrine Emergent Wetland. *Environ. Sci. Technol.* 34, 3937-3942.