

동일과 옥동광산 주변지역의 비소 및 중금속원소들의 환경오염 특성

이지민 · 전효택 · 이진수¹⁾

1. 서론

산업이 발달하고 도시화가 진행됨에 따라 다양한 형태의 유독성 중금속원소를 비롯한 오염물질들이 인위적으로 생성, 배출되어 물, 대기, 토양 등의 이동매체를 통하여 지구화학적 환경으로 분산됨에 따라 잠재적으로 인간을 비롯한 유기생명체에 치명적인 피해를 입힐 수 있다(Thornton, 1983; Alloway, 1990; Jung, 1995). 폐광산지역의 과거 채광이나 선광·제련과정 등의 광산활동으로 인하여 배출된 광산폐기물들(폐석, 광미, 광산폐수 등)은 이러한 유독성 중금속원소의 인위적 오염원으로 오염방지시설이 갖추어지지 않은 채 광산주변에 그대로 방치되어 있어 집중 강우나 강풍에 의해 하부로 분산되어 광산하부의 농경지와 수계의 유독성 중금속오염을 계속적으로 일으키고 있다(민정식 등, 1997). 특히 휴·폐금속광산에서는 이러한 지역의 환경오염은 여타의 환경오염원과는 달리 그 진행 초기단계에서는 자각하기 어려우나, 오염이 장기적으로 진행되었을 때 그 정화 및 복원에는 지대한 노력과 막대한 경비가 소요된다. 따라서 본 연구에서는 선정된 2개의 폐금속광산 지역에 대한 환경오염조사를 통해 금속광산에서 유출되는 유독성 중금속 원소들의 지하수, 지표수, 토양, 농작물내의 오염수준과 이동경로 및 분산패턴을 파악하는 환경오염평가를 실시하였다.

2. 연구지역

동일광산은 경북 의성군 사곡면 토현리에 소재하는 금, 은, 동, 아연 광산이다. 본 광산은 1975년부터 금, 은, 동, 비소를 대상으로 가행되다 휴광 상태이나 기타 개발이나 생산에 관한 자료는 확인되지 않는다. 본 광산은 열수용액에 의한 열극충진형 광산이며 광석광물은 황동석, 섬아연석, 방연석, 황철석, 유비철석, 자류철석 등이다. 본 광산의 본갱 입구부에서 산사면을 따라 막대한 양의 폐석과 폐광석이 방치되어 있고 그 하부 사면 개활지에는 제2적치장이 보다 광범위하게 분포하며 본갱에는 정체된 갱내수가 소량 확인되나 직접적으로 하천으로 유입되지는 않고 있다.

옥동광산은 경북 의성군 옥산면 감계리에 소재하는 동, 연, 아연 광산이다. 본 광산의 광상은 상기 퇴적암 중에 발달된 열극을 충진한 함동, 연, 아연 석영맥이고, 주광석광물은 황동석, 방연석, 섬아연석, 황철석, 공작석 등이다(대한광업진흥공사, 1981). 옥동광산은 일제강점기인 1936년부터 1979년까지 집중적으로 광산물을 개발하였으며 이 기간 중 생산된 총정광량은 총 1,850여 톤에 이르는 것으로 보고되었다(대한광업진흥공사, 1978). 그러나 1988년 이후 폐광상태이며, 광미로 추정되는 막대한 적치물이 감계리 계곡 상부의 새곡지땀을 완전히 충진한 상태로 노출되어 있고 경구로부터 갱내수가 지속적으로 유출되어 직접적으로 계곡수로 유입되어 부분적으로 철수산화물의 침전에 의한 yellow boy 현상이 관찰된다.

주요어: 폐금속광산, 비소, 중금속 원소, BAC(biological Absorption coefficient), 화학적형태

1) 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부(chon@snu.ac.kr)

3. 시료채취 및 분석

동일 및 옥동광산과 주변 지역에 대한 시료채취는 2001년 9월과 10월의 2차례에 걸쳐 광미, 논토양, 밭토양, 농작물 및 물시료에 대해 이루어졌다. 광미 및 토양시료는 토양오염공정시험법(0.1 N HCl)과 왕수로 분해하여 ICP-AES(Thermo Jarrel Ash)로 As 및 중금속 원소들의 함량을 측정하였고, 식물시료는 휘발성질산, 질산 및 과염소산으로 분해하여 AAS(Perkin-Elmer AAnalyst 100)를 이용하여 Cd, Cu, Pb 및 Zn의 함량을 측정하였다. 자연수 시료는 시료채취 후 현장에서 pH, Eh를 비롯한 물리적 특성을 측정하고, 양이온은 AAS와 ICP-AES로 음이온은 IC(Dionex)를 이용하여 함량을 분석하였다.

4. 결과 및 결론

동일광산의 광미내 As, Cu 및 Pb의 중금속 원소들의 평균함량은 As 8,718 mg/kg, Cu 3,609 mg/kg 및 Pb 5,846 mg/kg로 나타났으며, 옥동광산은 As의 함량이 As 72 mg/kg로 동일광산에 비해 낮은 반면 Cd와 Zn은 각각 54 mg/kg과 5718 mg/kg로 함량이 매우 높게 나타났다. 동일광산의 토양의 경우 As와 Cu의 함량이, 옥동광산 광미장 하부의 사과밭 토양은 Cd, Cu 및 Pb의 함량이 Kloke(1979)에 의한 토양에 대한 최대허용기준치를 초과하였다. 연구지역의 광미 및 농경지 토양에서의 As 및 중금속 원소들간의 상관관계를 조사한 결과, 광미의 경우 As-Pb를 비롯한 Cd-Cu, Cd-Zn가 유의한 양의 상관관계를 보였으며, 경작지 토양 시료에서는 As-Pb($r=0.967$, 동일광산), Cu-Zn($r=0.908$, 옥동광산)이 가장 높은 상관도를 도시하였으며 그 외에도 Cu-Pb, Pb-Zn 및 Cd-Zn은 통계적으로 유의한 양의 상관성을 보여, As와 Pb의 유입경로가 유사함을 지시하였다. 토양 내 중금속 원소들의 오염수준 및 오염범위를 평가 결과, 동일광산은 As, Cd, Cu가 넓은 범위까지 오염이 심화되어 있고, 옥동광산은 Cd, Cu가 오염정도가 심화되어 있는 것으로 나타났다.

농작물 시료의 화학분석 결과, 동일과 옥동광산 모두 벼이삭의 Cd, Cu 및 Pb 함량이 높으며 특히, 동일광산 지역의 팔잎에 Cu와 Pb가 독성을 보일 정도로 부화되어 있었다. 폐광산 지역의 농작물 내의 중금속 함량은 Zn을 제외하고는 농경지 토양 내의 함량이 증가함에 따라 증가하나, 특히 Cu의 경우 $r=0.67$ 로 유의한 양의 상관관계를 보였다. 또한 농작물 내의 중금속 원소간의 상관계수는 Cd-Zn($r=0.779$), Pb-Cu($r=0.605$)와 Cu-Zn(0.518)으로 유의한 양의 상관관계를 나타내었다. 식물체 내 원소의 흡수정도에 대한 평가를 위한 식물의 생물학적 흡수계수(Biological Absorption Coefficient, BAC)는 Cd와 Cu가 비슷한 흡수 정도를 보였으며 콩잎=팔 < 배추=팔잎 < 벼이삭 < 열무잎=고추 < 벼줄기 순으로 감소한 반면, Pb와 Zn는 벼이삭 < 고추 < 콩잎 < 배추 < 팔=벼줄기 < 열무잎 < 팔잎의 순으로 감소하는 특징을 보였다. Cd는 열매에서보다 줄기 및 잎에서의 흡수가 월등하게 높게 나타남을 확인할 수 있어 잎과 식물에 Cd의 농축도가 높은 반면, Cu와 Pb는 식물 내 기관에 따른 BAC의 차이를 거의 보이지 않아 이들 중금속의 식물 내에서의 이동이 크지 않음을 알 수 있다.

동일광산 지역의 물시료는 pH는 7.4~8.3의 중성 내지 약 알칼리성의 범위를 보이며, 이는 Ca, Mg의 함량비가 높아 갯내에서 탄산염광물의 용해에 의한 산도의 완충작용에 의한

것으로 추론된다. 옥동광산은 pH는 3.3~7.4의 산성 내지 중성의 범위와 갯내수가 1112~2136 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 전기전도도를 보여 전형적인 산성광산배수의 영향을 나타내었다. 동일광산의 갯내수는 음이온의 경우 HCO_3^- 의 함량이 매우 높게 나타나는 특징을 보였으며 옥동광산은 SO_4^{2-} 의 함량이 높은 특징을 보였다. 양이온의 경우 동일광산의 갯내수는 As의 오염 특징을 옥동광산은 Mn(13~23 mg/L), Cd(0.2~0.4 mg/L), Cu(5.4~5.9 mg/L), Pb(1.1~1.2 mg/L) 및 Zn(34~84 mg/L)의 오염을 보였다. 하천수의 경우 As가 하천수질환경 기준치를 초과하였고 옥동광산은 Cd의 함량이 기준치를 초과하였다. 옥동 광산의 식수로 사용되고 있는 지하수 시료들은 질산성 질소 항목에서 먹는 샘물 기준치를 초과하였으며 동일광산 지역의 지하수는 SO_4^{2-} 의 함량도 기준치를 초과하였다.

토양내의 중금속원소의 존재형태를 규명하기 위하여 연속추출법(Sequential Extraction)을 실시한 결과, 동일과 옥동광산의 광미에서는 As, Pb와 Cu는 대부분 잔류상으로 존재하고 있었으며 Cd와 Zn는 환원성 형태로 Pb는 토양내에서는 산화성 형태로 주로 황화물이나 유기물과 결합하는 형태로 존재하였다. 특히 옥동광산의 광미에서 Cd의 교환성 형태가 74%로 이들의 용탈에 의한 토양 및 수계의 오염이 예상된다.

참고문헌

- 대한광업진흥공사, 1978, 옥동광산 매장량 조사보고서.
 대한광업진흥공사, 1981, 한국의 광상 제8호 금속편.
 민정식, 정영욱, 이현주, 이동남, 1997, 휴폐광산지역 광해조사 및 대책연구, 한국자원연구소, KR-97(C)-32, 470p.
 Alloway, B.J., 1990, Heavy Metals in Soils, Blackie and Son Ltd.
 Jung, M.C., 1995, Environmental contamination of heavy metals in soils, plants, waters and sediments in the vicinity of metalliferous mine in Korea, unpublished PhD thesis, Univ. of London.
 Thornton, I., 1983, Applied Environmental Geochemistry, Academic Press, London, 501p.