

석회석을 활용한 폐금속광산 광미와 폐석의 As 제거

지한구¹⁾ · 정명채²⁾ · 정문영²⁾ · 최연왕³⁾ · 이문현¹⁾ · 이재영⁴⁾

1. 서 론

국내에는 906여개의 금속광산이 있으며, 이들 중에서 약 98.7%에 해당되는 894개소는 휴광 또는 폐광된 광산이지만 적절한 환경복원시설이 설치되지 않아 주변 생태계가 위협받고 있다. 특히 폐금속광산에서는 과거 채광이나 선광·제련과정 등의 광산활동으로 인하여 배출된 광산폐기물들(폐석, 광미, 광석광물, 광산폐수 등)이 광산주변에 그대로 방치되어 있어 집중 강우나 강풍에 의해 하부로 분산되어 광산하부의 농경지와 수계의 환경오염을 계속적으로 일으키고 있다. 이렇게 오염된 토양이나 하천수는 농작물의 성장에도 영향을 미쳐 궁극적으로는 이를 섭취하는 인간의 건강에 심각한 문제를 야기한다.

이에 본 연구에서는 국내의 대표적인 광산을 대상으로 광미와 주변 토양의 효과적인 처리 방안을 조사하고자 하였다. 즉, 미국 Superfund site에서 가장 많이 적용되었던 S/S에 대한 적용성을 column test를 통해 연구하였고, 이를 통한 소석회의 As 처리효율을 알아보고 현장적용성에 대한 검토를 실시하였다. 특히, 토양안정화 공법을 적용하여 오염토양으로부터 용출되는 비소의 저감효과를 조사하기 위하여 배치실험을 수행하였다.

2. 연구방법

연구대상지역은 경북 봉화군의 장군광산(연-아연), 강원 삼척시의 제2연화광산(연-아연), 경북 김천시의 지시광산(금-은), 강원 영월군의 상동광산(텅스텐) 등의 4개 지역을 선정하였다. 조사대상광산들의 위치는 Fig. 1에 도시하였으며, 실험에 사용된 column test 제원은 다음과 같다(Fig. 2).

8×24cm(D×H)인 아크릴 컬럼을 사용하였으며, 컬럼 아래부분은 아크릴망과 나일론 mesh membrane을 깔고 10mesh로 체질된 시료를 균일하게 채웠다. 광미(1kg)와 소석회(0%, 1%, 5%, 10%)를 혼합한 후 컬럼에 넣고 pH 5.8~6.5으로 조정된 탈이온수를 정량펌프를 이용하여 분당 0.3ml의 유속으로 컬럼하부부터 주입하였다. 이는 용출액이 상부로부터 유입될 경우 수로가 형성(flow channeling)될 수 있기 때문이다. 시간별로 pH(Thermo Orion 250), TDS(Thermo Orion 115A+)를 측정하였으며, 시료 60ml를 채취하여 농질산을 첨가한 후 분석전까지 4℃로 냉장보관하였다.

토양오염공정시험법에 의하여 대상지역의 시료를 2004년 7~9월에 채취하였고, 채취된 시료는 자연건조하여 표준체(10mesh)를 이용하여 체질한 것을 사용하였다. 실험에 사용된 소석회는 (주)백광소재(충북 단양군)에서 생산된 것으로 수처리용(CaO 70%, 100Mesh)을 사용하였다. As 함량의 분석은 HG-AAS(AA-6200, Shimadzu Co., Japan)을 이용하였다.

주요어 : column test, As, 안정화, 용출특성

1) 동명엔터프라이즈 토양지하수사업팀(chk771221@hanmail.net)

2) 세명대학교 자원환경공학과(jmc65@semyung.ac.kr)

3) 세명대학교 토목공학과

4) 서울시립대학교 환경공학과

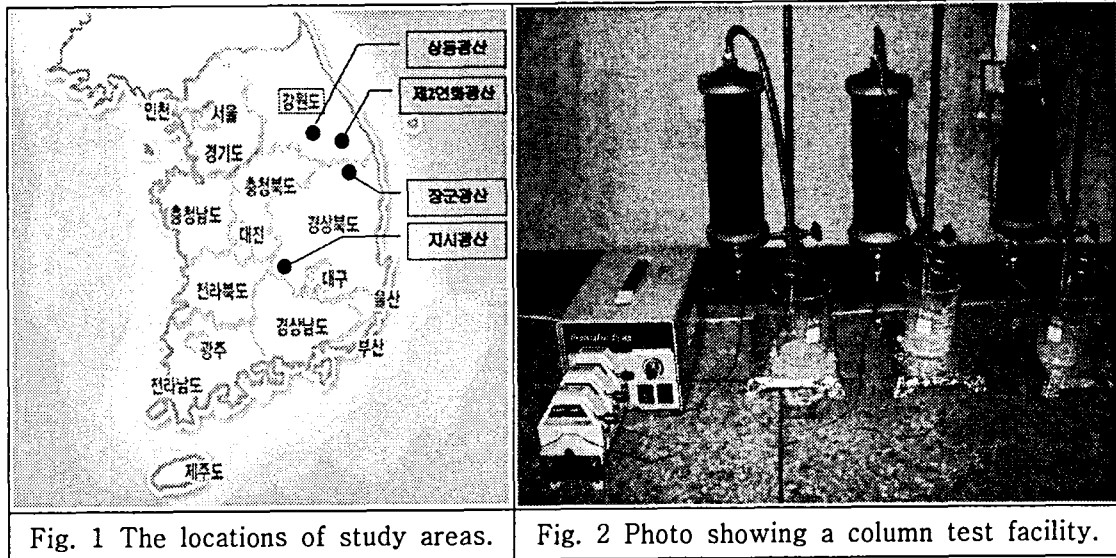


Fig. 1 The locations of study areas.

Fig. 2 Photo showing a column test facility.

3. 연구결과

3.1. pH 변화

광미에 소석회를 혼합한 결과 높은 pH상승을 볼 수 있었다. 즉, Ca(OH)₂ 첨가 후 각 광산에서의 pH변화는 장군, 제2연화, 상동광산의 경우, Ca(OH)₂ 1wt% 첨가 후 대폭 상승하는 것을 확인할 수 있었으며, 지시광산의 경우, 광미 자체가 매우 산성시료(pH=2.5)이기 에 Ca(OH)₂ 첨가 후 소폭 상승을 확인 할 수 있었으며, 특히 Ca(OH)₂ 5wt% 첨가 후 가장 중성에 가까운 pH=6.5에서 안정화되었다.(Fig. 3)

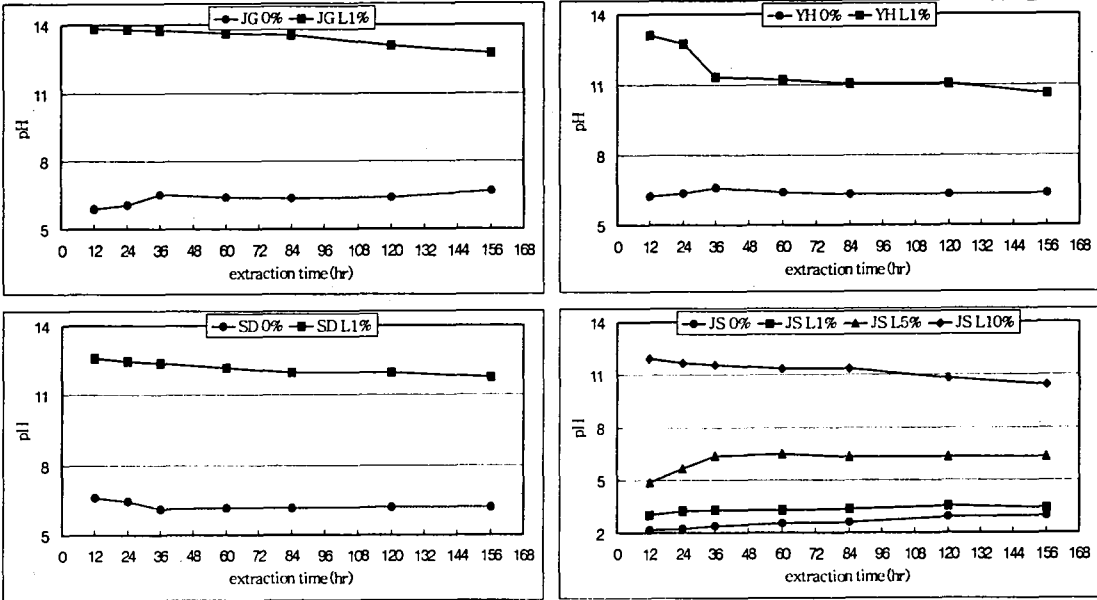


Fig. 3 Variation of pH values of tailings from the various mines by extraction time
 * JG : Janggung mine, JS : Jisi mine, YH : The second Yeonhwa mine, SD : Sangdong mine L : Ca(OH)₂

3.2 추출방법에 따른 함량 변화

광산폐기물의 중금속함량을 추출방법에 따라 알아보기 위하여 토양오염공정시험법, 폐기물용출시험법(KSLT), 미국 폐기물용출시험법(TCLP, SPLP)등을 실험하였다. 먼저 건조한 시료의 화학분해는 국내 토양오염공정시험법에 따라 1N HCl(As)을 이용하여 추출하였으며, 폐기물용출실험 또한 폐기물용출시험법에 근거하여 실험하였다. 분석된 결과를 Fig. 4에 도시하였다.

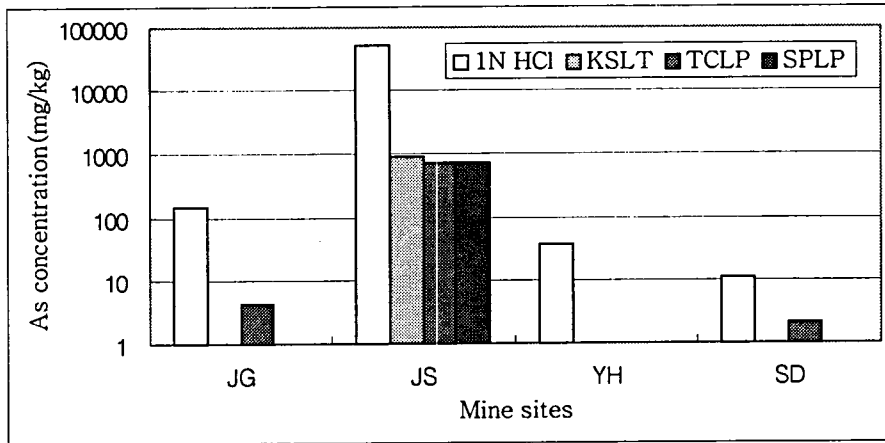


Fig. 4 Variation of As concentration by various extraction methods
 * JG : Janggum mine, JS : Jisi mine, YH : The second Yeonhwa mine, SD : Sangdong mine

3.3 As 농도변화(지시광산을 중심으로)

지시광산에서 column test 결과 소석회 미첨가시 193mg/kg에서 19mg/kg으로 감소하였으며, Ca(OH)₂ 첨가시 11mg/kg에서 0.5mg/kg, 지시광산을 제외한 광산에서의 농도변화는 (Fig. 5)에 나타내었다.

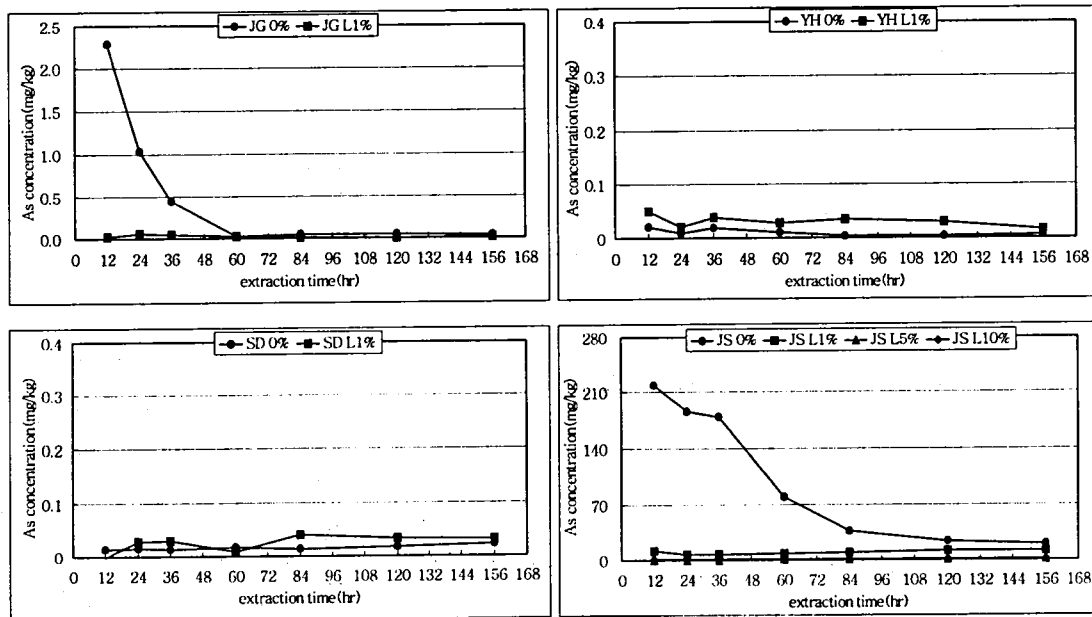


Fig. 5 Stabilized efficiency of As concentration in tailings from the Jisi mine using lime.
 * JG : Janggum mine, JS : Jisi mine, YH : The second Yeonhwa mine, SD : Sangdong mine L : Ca(OH)₂

3.4 소석회 첨가비에 따른 중금속 안정화 효율성 평가(지시광산을 중심으로)

지시광산 광미에서 정화제의 첨가에 따른 중금속의 안정화 효율을 도출하기 위하여 각 원소별로 용출된 누적총량과 각 정화제 첨가에 따른 용출총량을 계산하여 안정화된 중금속의 정량을 알아보았다. 분석에 활용된 소프트웨어는 컴퓨터 상용코드인 Visual Fortran에서 Newton-Cotes 구적법을 적용하여 정적분의 근사해를 구하여 용출총량을 구하였다(Fig. 6). KSLT로 용출을 실시하는 폐기물용출시험법상의 As의 용출농도는 지시광산에서 908mg/kg이며, column test를 통한 총 누적 용출량은 190mg으로 조사되었다. Ca(OH)₂ 첨가에 따라 안정화 처리된 양은 165.2~188.4mg정도로 안정화 되었다.

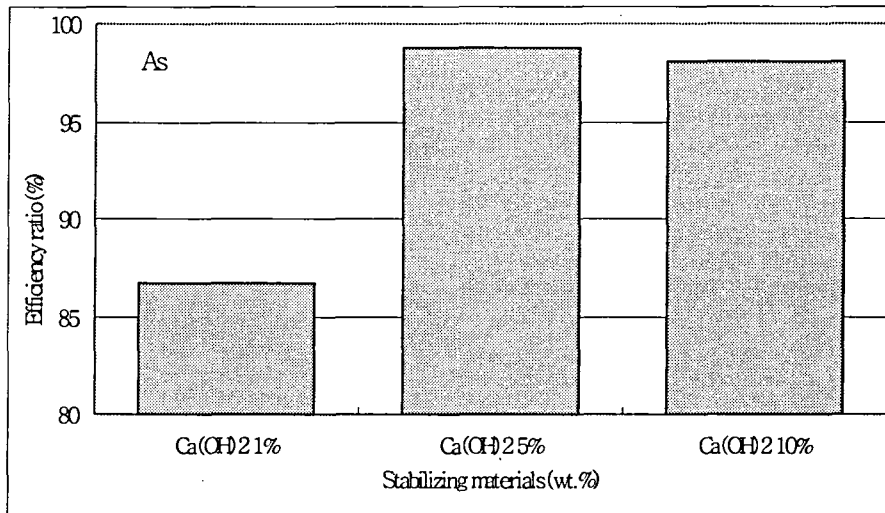


Fig. 6 Stabilized efficiency of As in tailings from the Jisi mine as mixing ratios of lime.

4. 결론

본 연구에서는 토양안정화 공법을 적용하여 폐광산 광미의 중금속처리를 위한 column test를 실시하였으며, 그 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. Ca(OH)₂ 첨가결과, 광미에서의 효율적인 As의 처리 효과를 볼 수 있었으며, 특히 5wt% 이상 첨가된 광미에서 최상의 As 안정화 결과를 보였다.
2. Ca(OH)₂가 지시광산에서 1, 5, 10(wt%) 첨가시 각각 87, 98, 97%의 As 안정화 효율이 나타났다.
3. 현행의 광해방지대책인 격리저장방법만으로는 방지대책이 불충분하며 확실한 독성저감효과가 있는 고형화/안정화 또는 이와 비슷한 처리방법이 요구된다.

5. 사사

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2002-000-00357-0)지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.