

폐광산 광미 재활용을 위한 유리화 처리기술의 적용가능성

- 금왕광산 사례 -

천사호^{1)*} · 이상우²⁾ · 김은희¹⁾ · 이상훈¹⁾ · 이기강³⁾

1. 서 론

현재 전국적으로 약 1,200여개의 휴·폐광산이 분포하며, 이들 주변에는 다량의 광미 및 폐석이 적절한 처리 없이 방치되어 있다. 광미 및 폐석에 함유된 다량의 중금속은 풍화 및 강우에 의해 용출되어 광산 주변의 수계, 토양 및 지하수를 오염시키거나 주변 생태계에 영향을 미치고 있다 (임재명 등, 1995; Jang *et. al.*, 2000; 이상훈 등, 2006). 또한 대부분의 광산은 하천의 상류에 위치하고 있어 이를 상수원으로 이용하는 인근 주민의 건강에 심각한 영향을 미치는 것으로 보고 되어 휴·폐광산에 대한 복원과 복구가 시급히 요구된다.

현재 오염된 토양처리 방법으로는 굴착, 토양 세척/세정, 고형화/안정화 등이 있다. 광미의 경우 중금속이 표면에 흡착된 형태보다 내부 격자에 혼재된 형태가 우세하므로 세척, 세정 등의 방법보다 고형화/안정화 방법이 유리하다고 판단된다(이상우 등, 2007). 고형화는 고화제를 이용하거나 용융점 이상으로 온도를 상승하여 결정구조를 바꾸는 유리화 방법이 있다. 본 연구는 안정성이 뛰어나고 재용출 가능성이 매우 적은 유리화 방법을 적용, 광미내 중금속을 안정화 하는 기술을 적용하고자 한다. 이를 위해 경기도 양평소재의 금왕광산에 존재하는 광미를 재료로 유리화 기술을 적용 인공골재를 제조하였으며, 본 기술 적용 타당성을 평가하기 위하여 가용 용출시험(Dutch availability leaching test - NEN 7341), pH 유지 용출시험(pH-stat leaching test - CEN/TC 292/WG6, EU standard method of pH dependence test) 등을 수행하였다. 이를 통해 유리화한 광미의 용출특성과 환경안정성을 파악하였다.

2. 연구 방법

2.1. 광미 골재의 제조

금왕광산에서 채취한 광미와 점토를 약 7 : 3으로 혼합한 후 15일간 보관하였다. 이 과정에서 수용성 중금속 용출이 일어나며 용출된 중금속은 점토의 양이온 교환능에 의해 점토에 흡착, 일차적으로 중금속이 안정화 된다. 이후 수분조절, 성형 및 건조과정을 거쳐 융합공정을 통하여 최종적으로 골재를 완성하였다. 융합공정간 빠른 속도로 골재를 소결하며 이 때 액상 추출과 발포가 일어나며 이 과정에서 중금속들은 상대적으로 저온에서 용융되는 규산염 화합물과 공유반응을 거치면서 포획, 소결되어진다. 이 과정을 통하여 중금속들은 저온 용융과정을 통해 증발되지 않으며 냉각과정을 거쳐 유리질내 망목수식 산화물로 제어, 안정화 된다(Fig. 1).

2.2. 광미골재의 용출특성 평가

광미골재의 용출특성을 평가하기 위하여 가용용출시험(Dutch availability leaching test -

주요어 : 광미, 유리화, 중금속, 용출특성 평가

1) 가톨릭대학교 생명공학부 환경공학전공(slee@catholic.ac.kr)

2) 충북대학교 환경공학과 (lswenv@hanmail.net)

3) 경기대학교 신소재공학부(gglee@kyonggi.ac.kr)

NEN 7341), pH 유지 용출시험(pH-stat leaching test - CEN/TC 292/WG6, EU standard method of pH dependence test)을 수행하였다. 기존 폐기물 공정시험법이나 TCLP의 경우 단기간 용출특성을 대상으로 한 것으로 장기간, 다양한 환경에서의 용출특성을 평가하기 위하여 유럽연합의 표준방법을 적용하였다. 가용 용출시험은 -80mesh로 분쇄한 시료(원광미, 광미골재) 5g과 증류수 500mL를 혼합하여 pH 7에서 4시간 용출시킨 후 용액만을 추출한 후 별도 보관하였다. 시료에 다시 증류수 500mL를 넣은 후 pH 4에서 18시간 용출시켰다. 이 두 시료를 혼합한 후 0.45 μ m 필터를 이용 여과한 후 분석하였다.

pH 유지 용출시험은 -80mesh로 분쇄한 시료 10g에 증류수 100mL를 혼합한 후 0.1M 질산과 0.1M 수산화나트륨을 이용하여 pH 4, 5, 5.5, 7, 8, 9, 12로 용출조건을 각각 유지하면서 24시간 동안 용출시킨 후 0.45 μ m 필터를 이용하여 여과 한 후 시료를 분석하였다. 원소분석은 유도결합 플라즈마 흡광/발광기(ICP-OES, Spectro genesis)를 사용하여 As, Cd, Cr, Pb, Zn을 분석하였다.

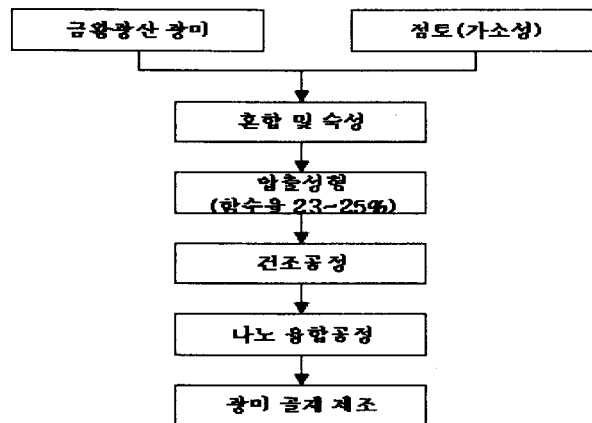


Fig. 1. 광미골재 제조공정 흐름도

3. 연구 결과

3.1. 광미골재의 중금속 용출특성 조사

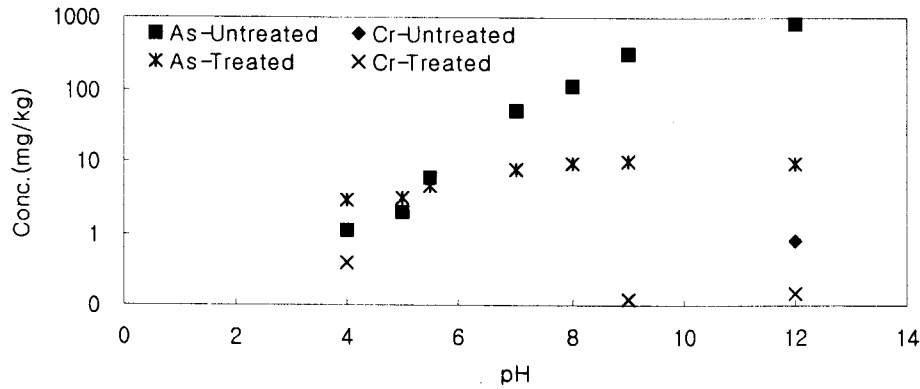
3.1.1. 가용용출시험 (Dutch availability leaching test - NEN 7341)

금속원소의 특성에 따라 최대 용출되어 나올 수 있는 중금속 양을 평가하기 위하여 가용 용출시험을 수행한 결과, 광미 골재는 As를 제외한 대부분의 중금속 농도들은 거의 검출되지 않았으며 As의 경우 12.6 mg/kg이 용출되었다. 이는 원광미 용출량인 40.5 mg/kg과 비교할 경우 약 70 %의 저감율을 나타내었다.

3.1.2. pH 유지 용출시험 (pH-stat leaching test)

본 실험에서는 중금속 용출에 영향을 미치는 중요한 인자인 pH에 변화에 따른 광미 골재의 중금속용출특성을 구하고자 실험을 실시하였다. Fig. 2에 보인 바와 같이, 광미중 존재하는 중금속중 oxyanion인 As, Cr는 pH가 증가함에 따라 용출이 증가하는 것으로 나타났다. 다른 중금속의 경우 산성조건에서 용출량이 증가됨을 확인할 수 있었다. 또한 같은 pH 조건에서 원광미에 비해 유리화를 통해 제조된 광미골재의 중금속 용출정도가 대부분 줄어듦(As: 최대 약 1/90배, Cd: 최대 약1/70배, Pb: 약1/27배)을 확인할 수 있었다.

a)



b)

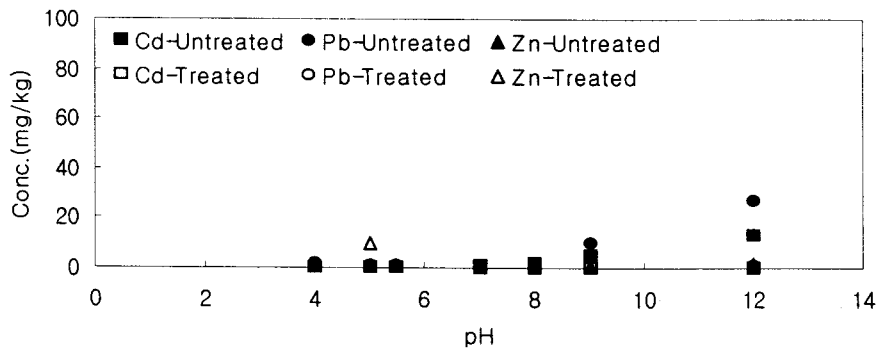


Fig. 2. pH 변화에 따른 광미, 광미골재의 중금속 용출특성, a) As, Cd, b) Cd, Pb, Zn

4. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다. 다양한 용출시험을 통하여 유리화 처리 광미골재의 경우 중금속 용출정도가 크게 감소하였다. 이로 보아 유리화한 광미골재는 매우 안정된 형태로 광미내 중금속을 가두고 있다고 판단되며 폐광산 광미 처리에 효율적으로 적용될 수 있을 것이라고 판단된다.

참고문헌

- 임재명, 조용진, 한동준, 1995, 금속광산 광재의 물성 및 침출특성, 한국폐기물학회, 12(5), 534-543
- Jang, A. and Kim, I. S., 2000, Technical note solidification and stabilization of Pb, Cd, and Cu, in tailing wastes using cement and fly ash, Minerals Engineering, 13(14-15), 1659-1662.
- 이상훈, 이기강, 2006, 휴,폐금속광산의 환경영향 저감을 위한 광미 고품화 연구, 영향평가학회, 2006학년도 춘계 학술발표대회 초록집.
- 이상우, 천사호, 이기강, 이상훈, 2007, 고농도 중금속 함유 광미를 이용한 유리화 처리 골재의 장기 용출특성에 따른 환경안전성 평가, 한국영향평가학회, 16(1) 35-43