

광양광산 갱내수 처리 시스템의 현장 적용

김주용^{1)*} · 김경웅¹⁾ · 이병태¹⁾ · 이근영¹⁾ · 김기락¹⁾ · 이진수²⁾ · 권영호³⁾ · 김정연³⁾

1. 서론

광산 활동으로 발생한 폐석 및 광미는 다량의 중금속을 함유하고 있으며, 자원활용을 위한 선광과정을 거치면서 풍화되어 환경에 위해한 중금속의 용출로 인한 지표수 및 지하수 오염을 유발한다. 폐광산지역 폐기물은 적절한 처리가 이루어지지 않고 환경에 노출된 채 방치되어 심각한 환경문제를 일으키고 있다. 광산 폐수 및 폐광산 폐기물에 의한 토양오염 등은 환경의 심각한 훼손을 유발할 뿐만 아니라, 국가 토지 이용 효율의 저하 등 무형의 경제적 손실을 발생시키고 있다. 산성광산배수는 pH가 매우 낮고 용존상태의 중금속 농도가 매우 높은 것이 특징이다. 산성광산폐수의 처리는 크게 산성광산폐수가 형성되지 못하도록 방지하는 방법과 이미 형성된 산성광산폐수를 산화 및 중화시키는 방법이 있다. 석회석 등을 이용하여 광산폐수의 pH를 상승시키고 철, 알루미늄 등의 금속오염물질의 용해도를 감소시키는 효과가 있음은 국내외 많은 연구에서 입증되었다(김중범 등, 2002; 신동혁 등, 2003; 정영욱, 2004; 최정찬과 이민희, 2004). 아울러 효율 증진을 위한 적절한 보조제를 이용함으로써 폐석탄광의 산성광산폐수 뿐만 아니라 폐금속광산의 갱내 유출수 및 광미 침출수 등의 처리에 활용할 수 있다.

본 연구에서는 폐기물인 굴폐각을 이용하여 폐금속광산인 광양광산 갱내수를 처리하는 시설을 현장에 시공하여 방류수의 수질을 모니터링하면서 기술적인 문제점을 보완하는 연구를 수행하였다.

2. 연구방법

본 연구에서는 전라남도 광양시에 위치한 광양광산에서 발생되는 갱내수를 중화처리하는 시스템을 개발하기 위해 폐기물로 버려지는 굴폐각을 활용하여 실험실에서의 실증실험, 현장 시공을 통해 처리 효율을 모니터링하였다. 실증실험에서는 굴폐각의 중화능력 평가를 위한 배치실험과 모형반응조를 제작하여 중화조와 침전조의 연결 방식 및 칸막이 구조 등의 변화에 따른 처리 효율을 비교하면서 장기적 안정성을 평가하는 컬럼실험을 수행하였다. 이러한 결과를 바탕으로 침전물의 코팅현상을 해결하기 위해 부상 카트리지 형태의 중화조 개념을 도입한 현장처리시스템을 시공하였다.

3. 본론

3.1. 굴폐각의 중화능력 : 굴껍질, 백합껍질, 석회석, 제강슬래그를 광양광산 갱내수와 반응시키는 배치 및 칼럼 테스트를 수행한 결과 제강슬래그의 경우 pH 상승 폭이나 중금속 제거 능

주요어 : 광양광산, 갱내수, 굴폐각, 중화, 부상 중화조

1) 광주과학기술원 환경공학과 (jykim@gist.ac.kr)

2) 광해방지사업단 기술연구센터

3) (주)한라건설 기술연구소

력이 우수하나 최종 방류수의 pH가 10 이상의 값을 보여 국내 방류기준을 초과하였다. 굴껍질과 백합껍질은 석회석과 유사하거나 다소 우수한 중화능력을 보였으며 특히 굴껍질의 경우 인근 여수의 굴가공 공장에서 대량 폐기되고 있어 이를 활용할 경우 중화제 구입 비용을 절감할 수 있어 중화제로의 활용가치가 높다.

3.2. 모형 반응조를 이용한 처리시스템 실증실험 : 중화조와 침전조의 크기, 연결 방식, 중화제의 종류를 달리하면서 처리 실험 수행한 결과, 파쇄 굴껍질만을 사용한 다단계 처리 방식이 가장 좋은 효율을 보였다. 반응조 구성은 1차 침전조(35 cm) + 1차 중화조(파쇄 굴껍질, 5 cm) + 2차 침전조(5 cm) + 2차 중화조(파쇄 굴껍질, 5 cm) + 3차 침전조(5 cm) + 3차 중화조(파쇄 굴껍질, 5 cm) + 4차 침전조(5 cm) + 4차 중화조(파쇄 굴껍질, 5 cm) + 5차 침전조(25 cm) 순으로 연결하였으며, 반응 시간은 각 중화조 별 15분씩 총 1시간이 되게 원수의 유속을 유지하였다. 모형조를 50일간 장기 운전하면서 처리 후 배출수의 수질 변화, 반응조에서의 침전물 발생 현상 등을 모니터링한 결과 7주간의 장기운전에도 유출수의 pH가 방류수 기준인 5.8 이상 유지하였다(Fig. 1). 4주 이후 유출수의 pH가 점차 감소하는 경향을 보였으며, 이는 발생된 침전물에 의해 중화제와 배출수와의 표면 중화반응이 억제되기 때문인 것으로 판단된다. Fe, Al, Zn, Cu, As, Pb 및 Cd 등에 대한 처리수의 농도 변화를 살펴보면 Fe, Al의 경우 초기 pH의 상승에 의해 배출수에서의 급격한 농도 감소를 보이며, 기타 중금속의 경우 유입원수에서의 농도가 높지 않으며, 처리기간 중 농도 변화가 관찰되지 않고 비교적 안정된 배출수질을 유지하였다.

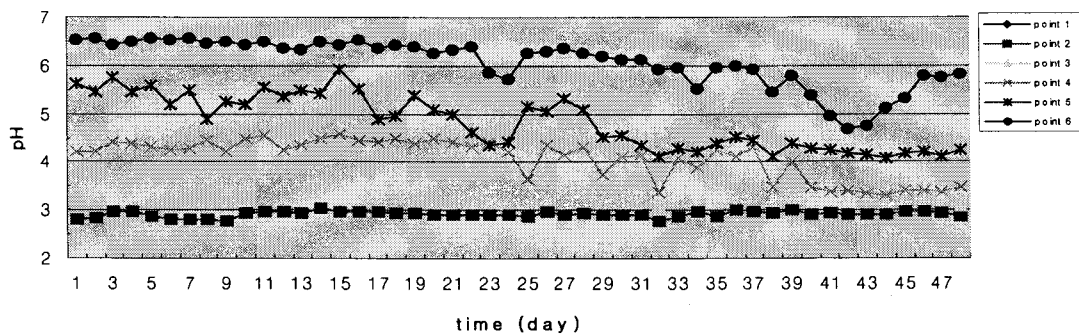


Fig. 1. Variation of pH at monitoring points in the long-term treatment experiment

3.3. 처리시스템의 현장 시공 및 모니터링 : 침전물의 중화제 표면 코팅 문제를 해결하기 위해 현장 시공 설계에서는 부상 중화조 개념을 도입하였다. 즉, 중화조의 중화제 충전 및 교체 등 시스템의 관리를 위해 카트리지가 형태의 중화제 충진을 고안하여 적용하였으며, 반응조 실험에서 나타난 침전물에 의한 영향을 최소화 하기위해 중화제 카트리지를 중화조의 상부에 위치하도록 설계하였다. 이러한 설계를 바탕으로 2006년 12월 광양광산 갯내수 유출지점 약 10m 하부에 처리시스템을 시공하였다(사진 1).

첫 방류가 있는 지 일주일 후의 처리 효율을 모니터링한 결과를 요약하면 다음과 같다. 총 방류량은 302 m³ 으로 처리 용량은 43.4 m³ d⁻¹ 로 설계된 30 m³ d⁻¹를 다소 초과하였다. pH

의 경우 초기 3.02에서 중화조를 거치면서 전반적으로 상승하는 경향을 보이며 최종 방류수에서 3.61의 값을 나타내었으나 목표 수질인 5.8에는 크게 못미치고 있다. 산성광산폐수에서 가장 대표적인 주 양이온인 Fe, Al, Mn의 변화를 살펴보면 Fe의 경우 유입수 및 방류수에서의 함량이 각각 23.6 및 9.4 mg/L로 50% 이상 감소하였으며, Fe에 비해 감소 폭이 작지만 Al 과 Mn 역시 방류수에서 함량이 감소하는 경향을 보인다. 광양광산 갯내수 내 대표적인 오염 중금속인 Cu, Pb, Zn의 함량 변화를 살펴보면 세 중금속 모두 방류수에서의 함량이 유입수에 비해 감소하였으나 여전히 높은 함량을 유지하는 것으로 나타났다.

실험실에서의 실증실험 결과에 비해 현장 처리시스템의 효율이 크게 떨어지는 것은 중화조 내부에서 갯내수가 굴패각과 반응을 충분히 거치지 않고 침전조로 이동되는 때문으로 나타났다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 중화조 내부의 원수 주 이동 경로를 조절하고 각 중화조마다 2개의 칸막이를 추가로 설치하였으며, 이러한 보완 작업 후 최종방류수에서의 pH는 6까지 상승하였으며, Fe, Al 및 중금속 함량이 크게 감소하였다.

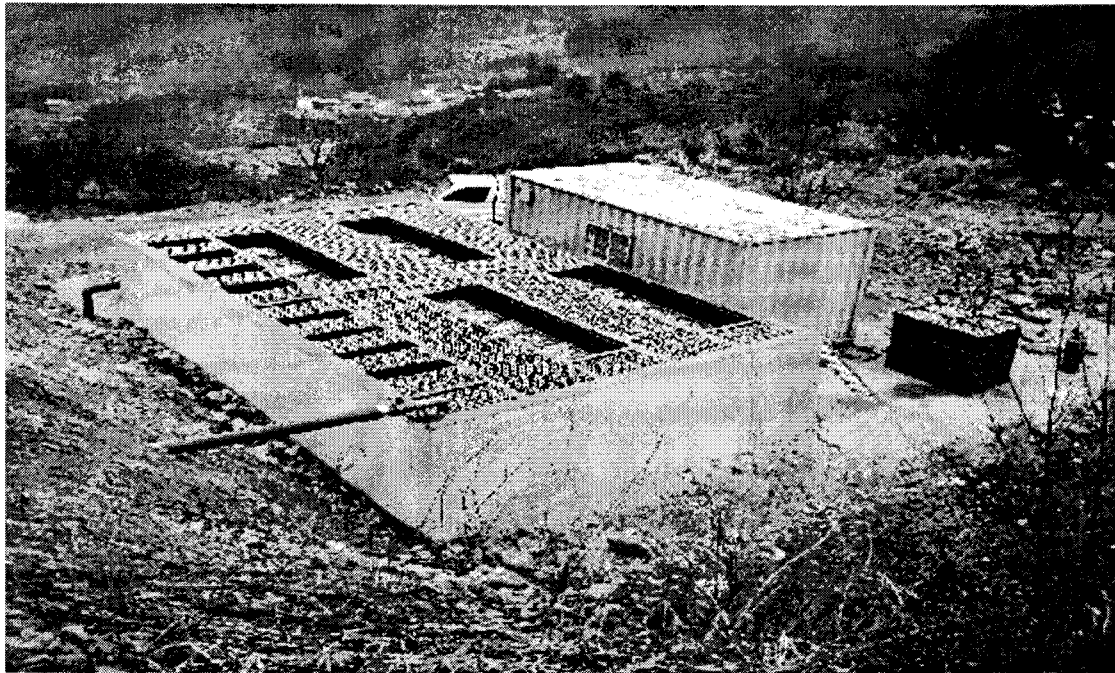


사진 1. 광양광산 갯내수 처리시스템