

응집제를 이용한 금속폐광산 침출수와 주변오염지하수의 정화효율실험

김인수, 도원홍, 이민희, 김명진*, 조종수**

부경대학교 환경지질과학과, *한국해양대학교 토목환경시스템 공학부, **(주)En3 (bigbell0823@hotmail.com)

<요약문>

국내에 자연 방치된 폐광산에 대한 문제가 대두되면서 폐광산 주변지역에 대한 산성광산폐수와 중금속 광산폐기물의 오염실태조사가 활발히 진행되고 있다. 본 연구는 폐광산의 유출수와 광산폐기물에 주변 오염지하수 내의 중금속 As, Cd, Pb, Fe, Mn, Zn, Cu에 대하여 무기 응집제의 첨가와 pH의 조절에 의한 제거효율을 실내 배치실험을 통하여 규명하였다. 본 실험을 통하여 황산알루미늄($Al_2(SO_4)_3 \cdot 13\sim 14H_2O$), 염화 제2철($FeCl_3 \cdot 6H_2O$), 황산 제2철($Fe_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$)을 이용하여 오염수내 중금속을 90%이상 제거할 수 있었으며, 폐광산 침출수나 오염 지하수의 중금속 제거에 0.1 wt%의 응집제 첨가만으로 응집제를 이용한 화학적 처리 방법이 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단되었다.

주요어 : 폐광산, 산성광산폐수, 중금속, 응집제

1. 서론

국내에는 900여개의 금속광산, 380여개의 석탄광산 및 1,200개의 비금속광산을 포함하여 총 2,500개의 크고 작은 광산이 있으며, 이들 중에서 약 80%가 휴광 또는 폐광된 광산으로서 적절한 환경복원시설이 설치되지 않아 주변 생태계가 위협받고 있다(정명채, 2002). 광산 폐기물과 산성배수는 용해성과 이동성으로 인하여 지하수, 수계 및 지질환경에 As, Cd, Pb, Fe 등의 중금속을 유출한다(Mulligan C. N., R. N. Young and B. F. Gibbs, 2001). 특히 폐금속광산에서는 과거 채광이나 제련과정 등의 광산 활동으로 인하여 유출된 광산배수와 광산폐기물로 인하여 광산주변에 어떠한 제재없이 방치되어 주변 지역에 악영향을 미치는 것으로 조사되어지고 있다. 본 연구는 부산광역시 기장군 일광면 원리 일원에 위치한 금속광산인 일광광산과 경북 군위군 고로면 석산리에 위치한 고로 폐광산을 중심으로 비소와 그 외의 중금속으로 오염된 폐광산의 침출수와 지하수를 응집제를 첨가하여 'sweep flocc' 현상으로 제거하는 배치실험이며, 다양한 종류의 응집제를 여러 가지 농도로 오염수내 첨가 하였을 때, 최대의 중금속 제거효과를 나타내는 응집제와 첨가량을 규명하는 것에 목적을 두고 있다.

2. 본론

(1) 실험 과정

본 실험을 위해서 일광광산의 갱내수 중 최종 지표면 유출수와 배수로 최하부 배출수에서 각각 물 시료를 채취하였고, 고로 폐광산에서는 광미 적치장 옹벽 밑 최하부 침출수와 주변 지하수에서 시료를 채취하였다. 채취한 각 시료에 대하여 ICP/MS로 중금속 농도를 분석한 결과를 Table 1에 나타내었다. 채취된 시료들은 지하수의 수질 기준을 심각하게 초과하는 중금속 농도를 나타내었다. 오염된 시료들의 Cd와 Pb 농도가 낮아서 Cd, Pb는 실험을 위하여 인위적으로 일정량을 spike하여 실험을 실시하였다. 오염수를 250ml 삼각플라스크에 넣은 후, 시약용 무기 응집제인 황산알루미늄, 황산 제2철, 염화 제2철을 0.1, 0.5, 1 wt%로 첨가하였다. 교반기로 15분 급속교반을 시행하여 현탁 물질과 응집제의 접촉을 증가시켜 충분한 반응을 일으키도록 유도하였으며, 교반 후 시료의 pH(pH 2~3)를 측정하고, NaOH를 첨가하여 pH 범위 6.5~8로 중화시켜 응집/침전을 유도하였다. 응집/침전이 이루어진 상등액을 채취하여 5B 거름종이로 통과시킨 후 AAS(PerkinElmer AAnalyst 200)로 분석을 실시하였다.

Table 1. Groundwater limit and heavy metal concentrations of leachate and groundwater in abandoned mines.

| Heavy metal | Groundwater limit(mg/L) | Ilkwang mine | | Goro mine | |
|-------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-------------|-------------------------|
| | | Mine outflow water | Leachate drainage | Groundwater | Retaining wall leachate |
| As | 0.050 | 0.229 | 0.053 | 0.417 | 1.064 |
| Pb | 0.100 | 0.116 | 0.068 | 0.410 | 0.000 |
| Zn | 1.500 | 24.430 | 19.010 | 7.063 | 1.184 |
| Cd | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Cu | - | 21.150 | 16.100 | 0.000 | 0.000 |
| Mn | 0.300 | 12.150 | 9.926 | 3.688 | 6.458 |
| Fe | 0.300 | - | - | - | - |

(2) 실험 결과

1) 황산알루미늄($Al_2(SO_4)_3 \cdot 13\sim 14H_2O$) 첨가

황산알루미늄을 응집제로 첨가한 경우 0.1 wt%의 첨가만으로도 대부분의 중금속에 대하여 90%이상의 충분한 제거가 이루어졌다(Fig.1).

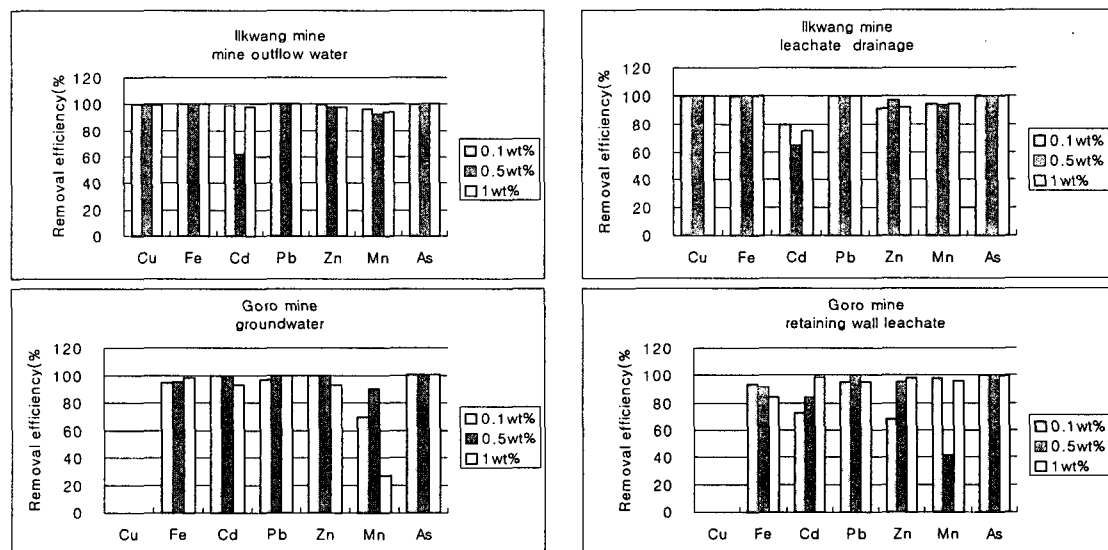


Fig. 1. Removal efficiency of heavy metal by Aluminum Sulfate.

2) 염화 제2철($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 첨가

염화 제2철에 의한 제거효과는 저농도의 오염수보다 고농도의 오염수의 경우 높게 나타났으며, 특히 0.1 wt%가 가장 적절한 효과를 나타내었고, 응집제의 wt%를 높일수록 그 효과는 오히려 떨어지는 것을 볼 수 있었다(Fig.2).

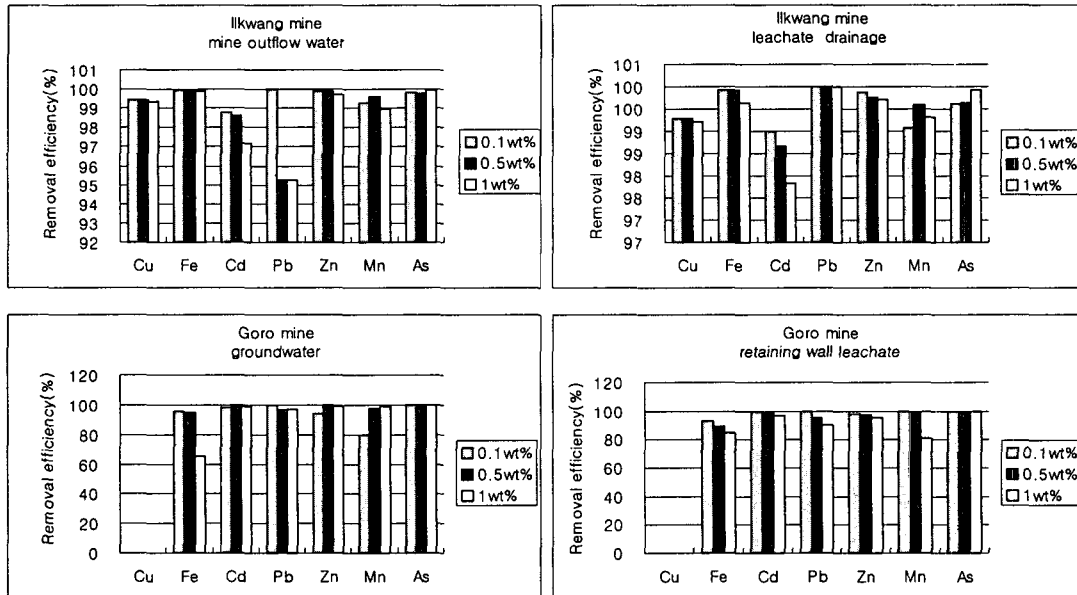


Fig. 2. Removal efficiency of heavy metal by Iron(III) Chloride Hexahydrate.

3) 황산 제2철($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 첨가

황산 제2철에 의한 제거효율은 대부분 90%이상의 좋은 효과를 얻을 수 있다(Fig.3). 고농도의 유출수에 대해서는 응집제의 wt%에 영향을 많이 받지 않았지만, 저농도의 유출수에 대해서는 응집제의 wt%를 낮게 첨가하는 경우 제거효율이 높았다.

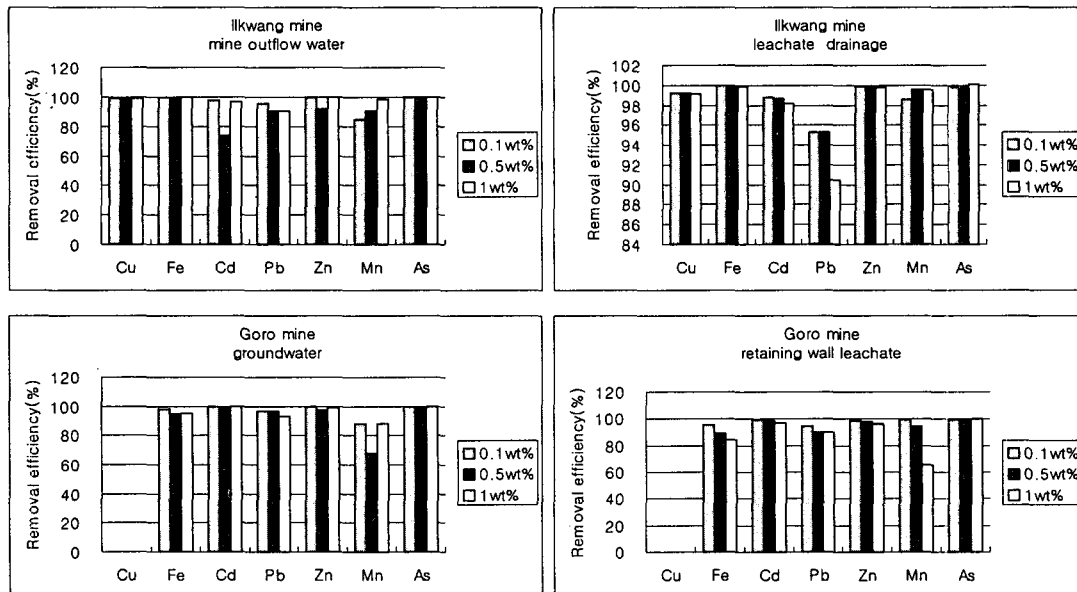


Fig. 3. Removal efficiency of heavy metal by Iron(III) Sulfate n-Hydrate.

4. 결론

본 실험 과정을 통해 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 무기 응집제를 첨가하여 오염수를 정화한 결과, Cu, Pb, Zn, As는 세 가지 응집제에 대해서 99%의 높은 제거효율을 나타내었으며, Cd는 황산 제2철에서 높은 제거효과를 보였다. Fe는 고농도의 오염수에서 실험에 쓰인 모든 응집제에 대하여 제거효율은 높았으나, 저농도의 오염수에서는 효과가 상대적으로 떨어지는 것으로 나타났다.

(2) 폐광산에서 유출된 배출수는 평균 pH가 2~3 사이의 산성광산폐수로서 응집제의 적정 pH인 6.5~8로 높임으로써 탁월한 효율을 나타내었다.

(3) 다양한 응집제와 wt%를 통한 결과 대체적으로 0.1 wt%만으로도 90%이상의 제거효율을 보였으며, 고농도의 오염수에서는 응집제의 wt%와 상관없이 일률적으로 효율적인 결과를 나타내지만, 저농도의 오염수에서는 응집제의 wt%가 높을수록 제거효율을 떨어뜨리는 것으로 나타나 저농도의 오염수에 적용시 적절한 응집제의 양을 선택할 필요가 있다고 판단되었다.

4. 참고문헌

- 1) Mulligan C. N., R. N. Young and B. F. Gibbs "Remediation Technologies for Metal-Contaminated Soils and Groundwater:an Evaluation", *Engineering Geology*, 60, pp.193~207(2001).
- 2) 정명채, 광산개발에 의한 환경오염 현황, 2002년 광해방지 및 기술 심포지움, 한국지질자원연구원, pp.1~17(2002).
- 3) 석탄산업합리화사업단, 폐광에 따른 광산지역 환경 개선 연구(폐수, 폐석), 석탄산업합리화사업단, pp1~268(1995).
- 4) 한국수자원공사, 화북댐 유역 및 고로폐광산 토양오염 복원대책 수립연구(2003).
- 5) 환경부, 토양오염 공정 시험법(2003).