

PF5) 폐 석탄광산 배수처리 시 발생하는 슬러지를 이용한 오염토양 중금속 고정화 처리 기술 연구

최명찬*, 임정현, 손영규, 장 민¹, 심연식¹, 김지형
고려대학교 건축사회환경공학과, ¹한국광해방지 관리공단

1. 서 론

현재 오염된 중금속으로 토양의 오염도를 낮추기 위해서 개발된 기술로는 화학적 산화 환원법, 안정화공법, 토양 세척법, 식물정화공법, 산화/환원시켜 제거하는 공법 같은 방법들이 개발되어 있다. 이중 안정화공법은 안정화제를 이용해 중금속을 불용화 하여 무해 처리하는 기술이다. 식물정화공법은 시간이 너무 오래 걸리는 단점이 있고, 산화/환원 제거 공법은 중금속을 반응시키기 위한 환경요인들을 맞추기가 매우 까다로워 잘 쓰이지 않는다. 각 기술별 장단점이 있지만 경제적인 비용이나 기술적용의 간편성, 폐기물 재활용을 고려할 때 안정화 공법을 이용하여 오염토양 중 중금속을 안정화 시키는 것이 바람직하다.

따라서 본 연구에서는 중금속의 유동성을 억제하고 안정화를 도모하기 위하여 석탄광산 배수처리 시 발생하는 슬러지를 혼합한 용출 칼럼실험을 통한 오염토양 중 중금속의 안정화를 평가하였다.

2. 재료 및 실험 방법

본 실험에 사용된 시료는 경기도 화성시 봉담면(경도 37°13', 위도126°56')에 위치한 삼보연-아연 중정석광산의 침출수에 의해 오염된 논토양(513번지) 시료를 사용하고, 안정화 재료로 폐 석탄광산 산성배수를 전기정화법으로 처리 시 발생하는 슬러지 케익을 사용하였다.

칼럼실험은 반응기 크기 Ø 150 × H 1200 mm, 오염토양을 105°C에서 건조 후 100 mash로 하여 사용하였다. 슬러지를 오염토양 무게단위로 칼럼 3개는 0%, 1%, 3%는 완전 혼합하였고, 칼럼 1개는 3% 슬러지를 오염토양과 층을 이루어 용출 실험을 하였다. 한국 1년 평균 강우량을 1300 mm, 이중 50%는 유실된다는 가정하고 유량을 11.5 L/year/day하였다. 오염토양 총 무게는 12 kg, 높이는 400 mm 이었고, 강우 pH는 3-6 으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양시료 및 슬러지의 특성

오염토양의 물리화학적 특성은 Table1과 같고 슬러지의 화학적 특성은 Table2에 나타났다. 슬러지의 물리적 특성은 pH 8.3, 표면적은 151 m²/g, 수분함량 40.85%, 유기물 함량은 18.33% 이었다. 오염토양 중 Zn, Cr, Cu의 농도가 높게 나왔고, 슬러지 중 Fe₂O₃가 64.74% 높게 나타났다.

Table 1. 삼보광산 오염토양 물리 화학적 특성

항목	Cu	Cr	Cd	Pb	Ni	Zn	As	pH	EC
오염토양	27.37	29.91	0.61	13.65	16.96	102.53	ND	7.72	2.8

Unit: mg/kg EC unit: $\mu\text{s}/\text{cm}$

Table 2. 석탄광산 슬러지의 화학적 특성

항목	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI
CMDS	6.65	0.52	64.74	8.60	0.32	0.13	0.08	0.02	0.38	0.11	18.45

3.2. pH 영향

Fig. 1과 2에서 4개의 칼럼 반응기 유입 평균 pH가 3.3일 때 슬러지를 0%, 1%, 3%로 완전혼합 시 유출 평균 pH는 각각 6.2, 7.45, 7.85로 나타났고, 3% 슬러지와 오염토양이 층을 이룰 시 유출수 평균 pH 7.0 이었다. 이는 흙의 완충작용으로 인하여 높은 pH를 유지된 것으로 판단된다. pH 변화는 슬러지 혼합비율 3%혼합 > 1%혼합 > 3%층 > 0% 순으로 나타났고, 실험 기간 4개 칼럼의 DO농도는 모두 3.5 mg/L 이상을 유지하였다.

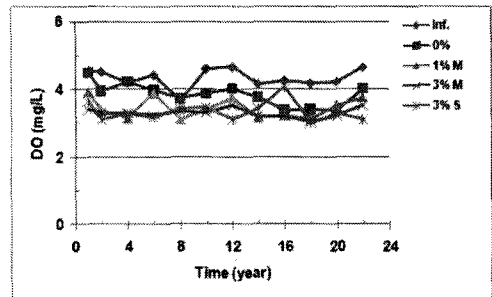
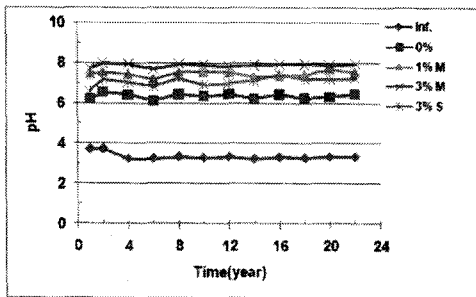


Fig. 1 혼합비율에 따른 유출 pH 변화

Fig. 2 혼합비율에 따른 유출 DO 농도 변화

3.3. 혼합비율에 따른 중금속 용출 농도

pH 5.8-6.2일 경우 모든 혼합비율에서 중금속은 용출 되지 않았다. 이는 흙의 완충작용으로 유출 수 pH가 7.9이상의 알칼리성으로 중금속이 높은 안정성을 지니고 있기 때문이다. 유입 pH 3.3 일 때 Fig. 3과 같이 시간이 지나면서 중금속 용출 농도는 낮게 나타났고 중금속 용출 농도는 슬러지 혼합율 3% M < 3% S < 1% M < 0% 순으로 나타났다.

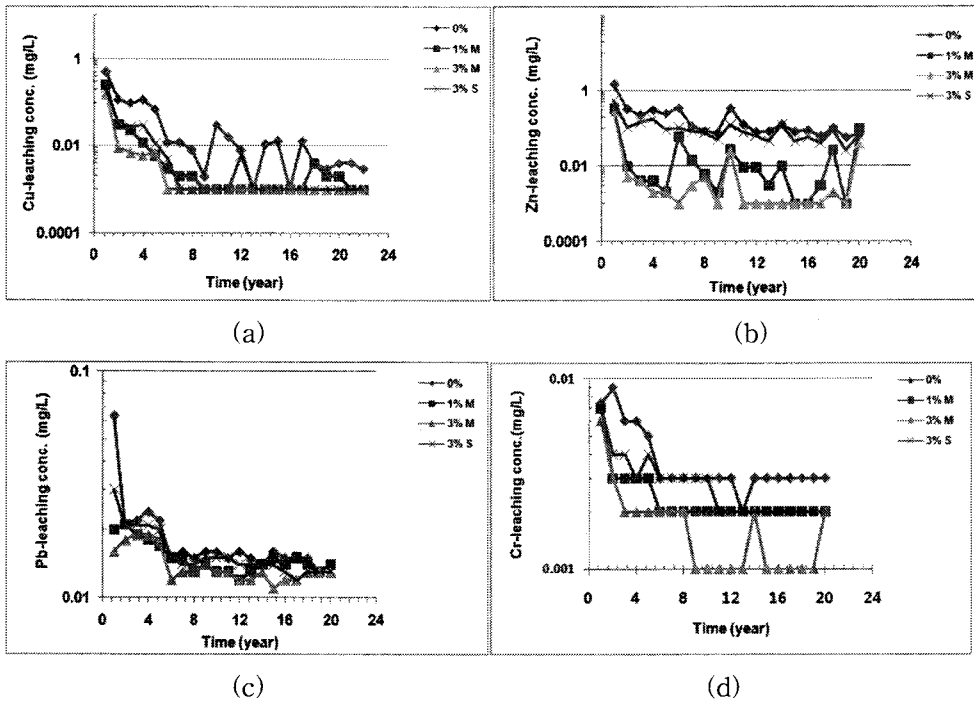


Fig. 3. 시간에 따른 중금속 용출 농도 (a) Cu, (b) Zn, (c) Pb, (d) Cr

4. 요약

중금속으로 오염된 토양을 안정화하고자 석탄 광산 배수 처리 시 발생하는 슬러지를 이용하여 중금속 용출 실험을 실시하였다.

용출 실험을 위하여 슬러지를 무게비율로 0%, 1%, 3%를 완전혼합하고, 3%슬러지를 오염토양과 층을 이루어 용출 실험을 실시하였다. 유입 pH를 5.5-6.2와 3-4로 조절하여 용출실험을 실시한 결과 Cu, Zn, Pb, Cr의 용출 농도는 3% M < 3% S < 1% M < 0% 순으로 나타났다. 오염토양 무게 비율로 3% 슬러지를 완전혼합 시 중금속 용출 실험 결과 20년 기준 안정성을 확보할 수 있었다.

참고 문헌

- Bereket, G., Aroguz, A. Z., and Ozel, M. Z. 1997, Removal of Pb (II), Cd (II), Cu (II), and Zn (II) from aqueous solutions by adsorption on bentonite, Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 187, pp. 338-343.
- Chao, T.T 1972, Selective dissolution of manganese oxides from soils and sediments with acidified hydroxylamine hydrochloride, Soil. Sci. Soc. Am. Proc, 36, 764-768
- Yong, R. N., Warkentin, B. P., Phadungchewit, Y., and Galvez, R. 1990, Buffer capacity and lead retention in some clay materials. Water, Air, and Soil pollution, Vol.

53, pp. 53-67.

- Yong R. N., and Phadungchewit, Y. 1993, pH influence on selectivity and retention of heavy metals in some clay soils. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 30, pp. 821-823.
- Yong, R. N., and MacDonald, E. M. 1998, Influence of pH, metal concentration, and soil component removal on retention of Pb and Cu by an illitic soil, *Adsorption of metals by geomedia*, Edited by Everett A. Jenne, Academic Press. pp. 229-253.