

매립장 침출수에 의한 오염지하수 정화 방법 연구

송나인, 도원홍, 이민희

부경대학교 환경지질과학과 (e-mail : 9-nice@hanmail.net)

<요약문>

매립장 침출수로 인해 오염된 매립장 주변 지하수 정화를 위한 실내실험을 실시하였다. 오염물로는 대표적 염화용제인 TCE와 PCE, 그리고 중금속인 As, Cd, Cr, Pb에 대하여 Air-sparging, 오존 산화법, 화학적 처리방법에 의한 정화효율 실험을 실시하였다. Air-sparging은 TCE, PCE에서 높은 제거효율을 가졌으며, 오존 산화법은 Cr, Pb에서 제거 효율이 좋았다. 반응제를 첨가한 공침방법의 경우, 모든 중금속에 대하여 소석회 첨가시 매우 높은 제거효율을 보였으며, As는 황산제일철에서, Cd, Cr, Pb는 탄산칼슘과 제올라이트 첨가시 높은 제거효율을 나타내었다. 실험결과로부터, 유기오염물과 중금속이 혼합되어 나타나는 매립장 주변 오염 지하수의 경우 휘발성 유기오염물의 제거를 위해서는 폭기방법이, 중금속의 경우에는 공침방법에 의해 수산화물, 탄산염으로 만들어 고형물로 처리하는 방법이 제거효과가 좋은 것으로 나타났다.

주요어 : 매립장, 지하수 오염, Air-sparging, 오존 산화, 화학적 처리.

1. 서론

인간은 생활과 산업활동에 의해 필연적으로 폐기물을 생산하게 되며, 결과적으로 대도시 주변에는 도시 및 산업폐기물 매립장의 크기와 수가 늘어가고 있는 실정이다(대전직할시, 1991). 우리나라에서는 700여개의 불량 폐기물 매립지가 전국에 산재해 있으며, 그 폐기물 매립장에서 발생하는 많은 침출수는 매립장 시설의 미비와 관리 부족으로 제대로 처리되지 못하여, 매립지는 물론 인근 지역의 지하수들을 심각하게 오염시키고 있는 실정이다. 지하수의 특성상 다른 오염원과 비교할 때 유동성이 커서, 단 시간 내에 넓은 지역을 오염시킬 수 있으나 이미 오염된 지하수를 정화하는 데는 현실적으로 막대한 경비와 시간이 요구되며 그 정화효율은 매우 낮다. 따라서 오염된 지하수를 빠른 시간 내에 처리하여 더 이상의 오염 확산이 일어나지 않도록 방지하는 정화 체계의 확립은 매립장 주변의 환경을 보존하기 위해서 필수 불가결한 과정이다.

본 실험에 이용된 지하수를 채취한 매립장은 경남 양산시에 위치한 OO폐기물 매립장으로 매립용량은 약 3285220m³이고 1994년 3월부터 양산시와 사설 폐기물 매립 회사가 생활폐기물과 사업장폐기물을 약 1:1의 비율로 매립하여 왔다. 또한 위 매립장은 침출수가 매립장구역 바깥으로 유출되어 우수관 출구 하단부에서 침출수 유출이 확인되고 있으며 지형적으로 가장 저지인 이동경로를 따라 하류로 흘러 매립장구역 바깥으로 유출되어 지하수를 오염시키고 있는 것으로 나타났다. 실험에 이용된 지하수는 침

출수 처리장으로부터 약 30m 떨어진 우수 배출 관로 주변에 설치된 관정으로부터 채취하였다. 본 실험에서는 매립장 주변의 침출수 및 지하수 오염의 대표적 염화용제인 TCE, PCE와 채수한 매립장 주변 지하수에서 상대적으로 높은 농도를 나타내는 As, Cd, Cr, Pb를 제거하는 기작들의 효율성 실험을 위해서 각 오염물질의 일정량을 인위적으로 지하수에 주입한 후 정화 효율을 측정하였다.

표 1. 매립장 지하수와 누출되어 매립장 밖으로 배출되는 중금속 농도.

중금속	지하수 1 (ppb)	지하수 2 (ppb)	누출된 침출수 (ppb)
	관정 1 (매립장내)	우수관 외부에 설치된 관정 2	우수관 측면으로 누출된 침출수
As	7.68	1.31	11.33
Cd	0.06	0.22	0.26
Cr	23.77	3.57	47.28
Pb	0.30	0.08	0.95

2. 실험

2-1. Air-sparging을 이용한 TCE, PCE 제거 실험

표 1의 우수관 외부에 설치된 관정 2 에서 지하수를 채취하여 TCE와 PCE를 각각 117ppb, 124ppb 주입한 후 1L용량의 유리 매시린더에 기포발생기를 테플론 튜브에 연결하여 실험을 실시하였다. Air-sparging을 하는 약 2시간 동안 연속적으로 시료를 채취하여, purge and trap 장치가 부착된 GC (agillent 6890)로 농도를 측정하였다. TCE, PCE의 농도는 지수함수 형태로 급격하게 감소하고 있으며, 폭기 후 약 30분 후에 대부분이 제거되어, Air-sparging 방법은 오염물을 기상으로 제거함으로써 지하수의 화학적 성분에 거의 영향을 받지 않아 휘발성 유기물로 오염된 지하수 정화에 널리 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

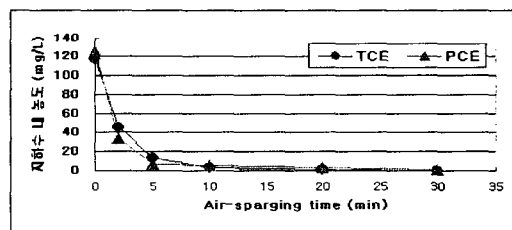


그림 1. Air-sparging에 의한 지하수내 TCE와 PCE의 제거 효율.

2-2. 오존 산화법을 이용한 중금속의 제거 실험

용액을 채운 1L의 유리 매시린더에, 오존발생장치로 8g/hr의 오존을 발생시켜, 기포발생기를 테플론 튜브에 연결하여 폭기하였다. 오존 폭기 후, 0, 2, 5, 10, 20, 30, 60분 간격으로 용액 시료를 채취하여 ICP/MS로 As, Cd, Cr, Pb 농도를 측정하였다. 그림2는 오존폭기법에 의한 중금속 제거 결과를 나타낸다.

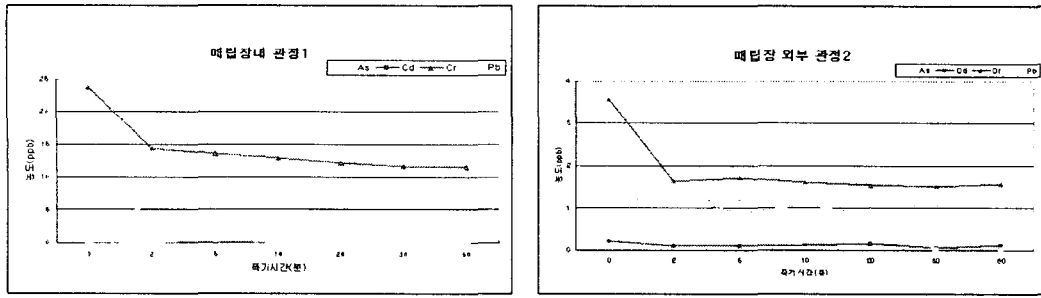


그림 2. 오존 산화법에 의한 지하수내 중금속 오염 제거 결과.

실험 결과 Cr과 Pb의 제거 효율이 좋았으나, As과 Cd는 제거 효율이 떨어지는 것으로 나타났다. 오존 폭기 후 10분 이내에 제거되는 중금속 양의 대부분이 제거되어서, 제거를 위한 폭기 시간은 길지 않은 것으로 나타났다.

2-3. 화학적 처리방법을 이용한 중금속 제거 실험

실제 매립장 주변 지하수의 중금속 농도가 낮아서 화학적 방법에 의한 제거 효율을 규명하기 어려웠다. 따라서 먼저 지하수에 중금속을 일정량 주입하여 일정한 중금속 농도를 유지하게 한 후, 화학적 제거 방법을 이용하여 실험을 실시하였다. As, Cd, Cr, Pb를 Sigma-aldrich의 표준용액을 이용하여, 지하수에 1mg/L 농도로 오염시켜 실험을 하였다. 폐수처리과정에서 중금속의 고상침전효과가 좋은 황산알루미늄, 황산제일철, 황산제이철, 염화제이철, 철, 소석회, 탄산칼슘, 입상 활성탄, 벤토나이트, 제올라이트를 이용하여, 공침방법에 의한 지하수내 중금속 제거 효율을 규명하였다.

지하수 200mL에 각각의 정해진 양의 화학 반응제를 넣어 10분간 자석교반기로 반응시킨 후, 거름종이(5B)로 거른 용액의 상등액을 ICP/OES로 분석하였다. 그림3은 중금속 제거에 사용된 반응제에 대한 중금속의 제거효율을 나타내고 있다.

소석회는 As, Cd, Cr, Pb에서 모두 높은 효율을 보였으며, 탄산칼슘과 제올라이트는 As를 제외한 중금속에서 높은 효율을 보였다. 특히 As가 가장 높은 효율을 보인 것은 화학적 수처리 방법에서 가장 널리 사용되는 무기 응집제인 황산제일철이었다. 소석회의 경우 반응후의 pH가 13보다 높은 강알칼리성을 띄고 있었으며, As를 제외한 나머지에서 비슷한 효율을 가지는 탄산칼슘은 반응 후 pH 7~8로 거의 중성을 띄고, 제올라이트는 pH 10~11이 되었다.

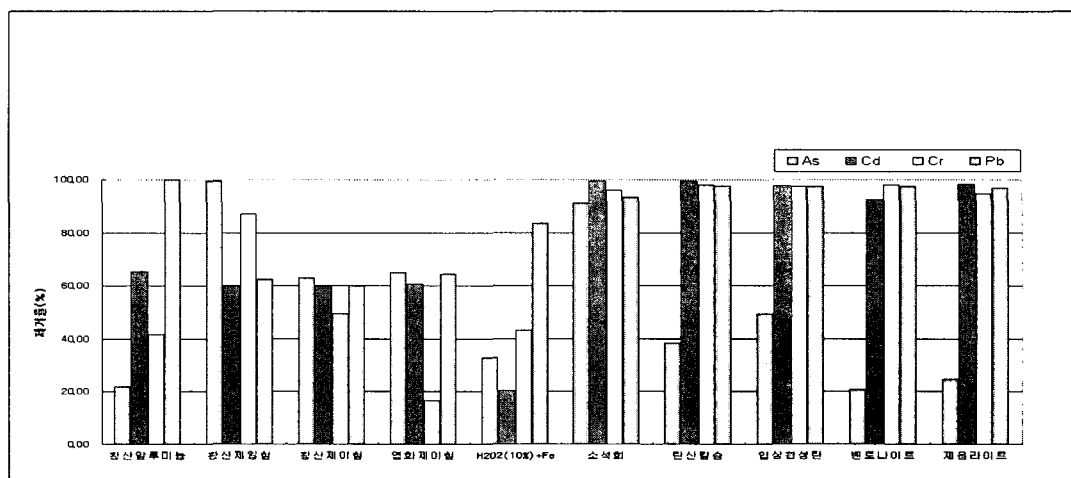


그림 3. 화학 반응물별 중금속의 제거율.

3. 결론

본 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 오염된 지하수로부터 Air-sparging에 의한 휘발성 유기오염물, 특히 TCE와 PCE의 제거는 매우 효율적으로 나타나, 다른 화학/생물학적 제거 방법보다 Air-sparging에 의한 방법이 지하수 정화에 효과적인 것으로 나타났다.
- (2) 오존 폭기에 의한 지하수내 중금속 제거에서 Cr과 Pb의 제거효율은 좋았으나, As와 Cd의 효율은 떨어지는 것으로 나타났다.
- (3) 반응제를 첨가하여 공침방법으로 중금속을 지하수로부터 제거하는 실험결과, As는 황산제일철에 대해서 제거효율이 높았으며 Cd, Cr, Pb에 대해서는 탄산칼슘, 제올라이트가 효율이 높았다. 소석회는 질량비 0.1%의 양만으로도 As, Cd, Cr, Pb에서 높은 제거효율을 가지는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 김경웅, 손호웅, 1994, 대전시 신대동 폐기물매립지 주변 지역에서의 지하수 및 토양의 중금속오염, 지하수환경, 1, 85-89.
- 정찬호, 황정, 박충화, 1998, 공주시 유구읍 명곡리지역 천부 및 심부지하수의 지화학적 수질특성과 오염. 자원환경지질. 31(6), 485-498.
- 한국지하수토양환경학회, 2003, 유산폐기물매립장 침출수 누출원인 조사 연구 용역 보고서, pp. 217.