

비소 및 중금속으로 오염된 토양복원을 위한 안정화 공법 칼럼 실험

이예선 · 김인수 · 이민희

부경대학교 환경지질과학과

igvs1525@hotmail.com

요 약 문

대부분의 폐광산 주변 농경지 토양은 비소 및 여러 중금속으로 오염되어 있으며, 이러한 중금속들의 지속적인 용출에 의해 주변 지하수 오염과 재배 농산물의 중금속 축적이 우려되고 있다. 오염 토양에서의 중금속 용출에 의한 오염을 막기 위하여 본 연구에서는 개량제를 이용한 안정화 공법을 선택하여 하부로 배출되는 중금속의 용출율을 감소시키는 실험을 실시하였다. 생석회(CaO)를 개량제로 이용하여 실제 오염 농경지 현장과 비슷한 대형칼럼을 제작한 후 인공강우를 주입, 하부로 용출되는 중금속의 농도를 측정함으로써 생석회 첨가에 의한 용출을 감소를 규명하였다. 개량제를 비오염토와 혼합하여 오염토양 상부에 복토한 것과 오염토와 혼합하여 객토한 칼럼을 각각 제작하였으며 투입되는 생석회의 양도 2~10%로 다양하게 적용 하였고, 첨가된 개량제의 성상도 분말과 입상으로 나누어 실험 하였다. 주입하는 인공강우는 연구지역 주변의 10년간의 연 평균 강수량을 토대로 산정하였으며, 복토와 객토를 하지 않은 오염토양도 같은 조건에서 용출을 실시하였다. 실험결과 생석회의 성상에 따른 중금속 용출율의 차이는 없었으며, 개량제 함량은 5%가 적당한 것으로 나타났다. 복토와 객토를 비교하였을 때 용출되는 중금속의 농도는 객토가 복토에 비해 낮아 중금속 용출을 감소효과가 매우 큰 것으로 나타났으며, 중금속의 종류에 따라 용출을 감소의 차이를 나타내었다. 복토법의 경우 As의 용출율은 분말 생석회를 5% 복토한 경우 용출율이 10배 감소하고 Cd의 경우 2%와 5% 복토한 경우 각각 25배와 161배 감소하는 것으로 나타났다. Pb의 경우 생석회를 5%로 복토한 경우 10배정도의 용출을 감소를 보였고 Zn의 용출율은 분말, 입상 생석회를 5% 복토한 경우 80배~155배 감소하는 것으로 나타났다. 객토법의 경우 입상생석회를 5% 복토한 경우 Cd와 Zn 각각 200배에서 400배의 용출을 감소를 나타내었다.

주요어 : 폐광산, 안정화 공법, 생석회, 복토, 객토, 칼럼실험

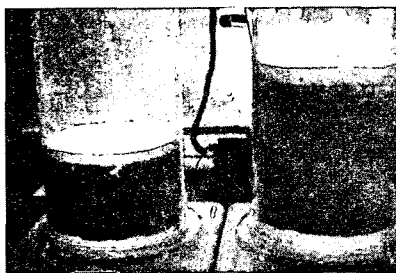
1. 서론

국내에 산재되어 있는 1000여개의 폐광산 주변지역 토양 대부분이 중금속에 오염되어 있다. 이러한 지역은 오염범위가 넓고 광범위 한 것이 특징이며, 중금속들이 강우에 의해 토양으로부터 용출되어 하부로 침투되어 결국 지하수와 주변 지표수를 오염시키는 주 오염인자로 작용하게 된다. 따라서 토양 안정화에 의한 중금속 용출을 감소는 주변 지하수 및 지표수로의 오염물 이동과 확산을 막는 주요한 변수가 된다. 본 연구는 폐광산 주변 지역의 복원 방법을 저렴한 안정화 공법으로 설정하고 안정

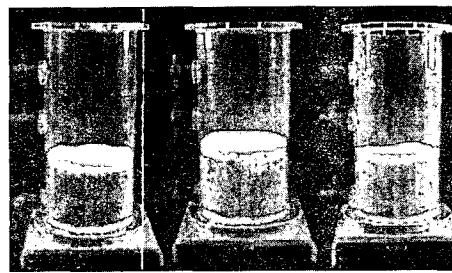
화 공법 적용을 위한 여러 가지 인자들을 대형 칼럼 모사실험을 통하여 규명하고자 하였다. 적절한 토양 개량제를 선택함과 동시에 이 개량제를 이용한 배치 실험을 앞서 실시하여 그 결과를 토대로 실제 폐광산 주변 오염 농경지 토양에 이를 투입하여 강우에 의해 오염토양 하부로 용출되는 중금속농도를 알아보기 위하여 대형칼럼을 제작, 실험하였다. 실제 현장 조건과 비슷한 환경에서 오염토양 하부로 유출되는 중금속 용출량을 측정하였으며 토양개량제를 함량별로 복토·객토한 경우의 용출율을 비교하여 토양개량제에 의한 중금속 오염토양의 안정화 효율을 규명하고자 하였다.

2. 중금속 용출 특성 규명을 위한 복토 및 객토법 실험과정

칼럼 면적이 268.8cm²(지름 18.9cm, 높이 30cm)인 아크릴 칼럼을 제작하여 사용하였고 칼럼 상, 하부는 조밀한 격자체와 용액을 주입/용출할 수 있는 연결관으로 이루어져 있다. 실제 중금속으로 오염되어 있는 폐광산 주변 오염토양을 채취하여 적절한 농도분석을 거친 다음, 실험에 사용하였다. 토양개량제로는 비료용 생석회를 선정하여 복토법의 경우 오염토양 10cm에 다시 생석회를 각각 2~5%를 혼합한 비오염토를 10cm 쌓았으며 객토법의 경우 오염토양 10cm에 5~10%의 생석회를 직접 혼합하여 실험에 사용하였다. 칼럼 하부는 조립질 모래층을 1cm 정도 두어 배수층을 유지할 수 있도록 하였고 최상부층에 다시 조립질 모래를 2cm 정도 충전하였다. 개량제의 성상은 분말과 입상 두가지를 준비하여 분말의 경우 점토크기로 분쇄하여 사용하였으며 입상의 경우 4번체(4.75mm)와 10번체(2.00mm) 사이에 있는 입상을 사용하였다. 강수량의 설정은 연구지역 인근(영천, 구미, 안동)의 10년 동안의 강수량 데이터를 이용하여 월 평균 강수량을 91.2mm로 결정하였다. 전체 강수량 중 실제로 토양 내부로 유입되는 비율을 33%로 가정하여, 모의 칼럼 상부를 통하여 오염토양 내부로 주입되는 한 달 강수량이 30.4mm가 되므로, 칼럼 면적을 고려하여 칼럼 내 실험 스케일로 바꾼 한달 평균 강수량 817.15ml를 1회로 하여 하루에 2회씩 총 60회를 한 달간 칼럼 상부로부터 주입하였다. (총 5년동안의 용출을 모사실험) 매회 주입하는 인공강우는 pH를 6으로 조정한 탈 이온수를 사용하였고 매 주입마다 하부로 배출되는 용액의 pH, Eh, EC를 측정하고 중금속 농도를 분석하였다.



<복토 칼럼 제작>



<객토 칼럼 제작>

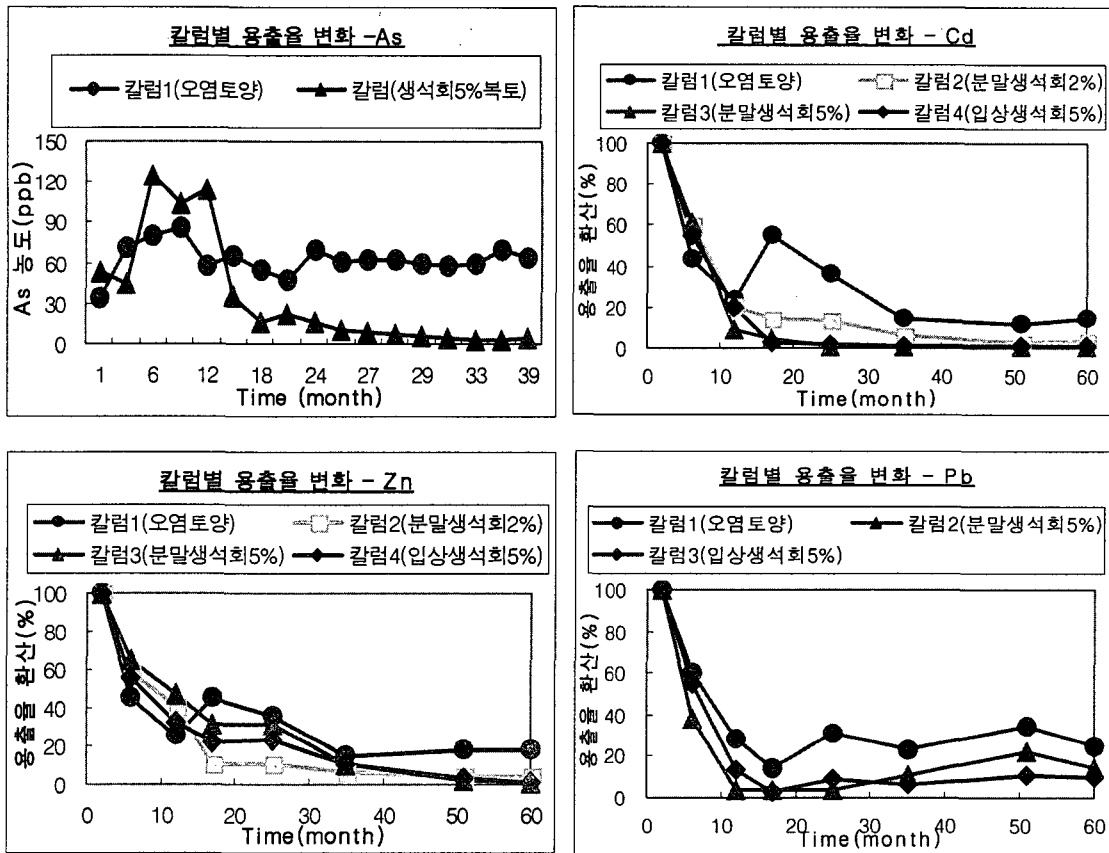
3. 실험결과

인공강우 주입 후 칼럼하부로부터 배출되는 용액의 하부로 침투되는 비소 및 중금속의 농도를 측정하였다. 각각의 칼럼내부의 토양내 중금속 농도차이와 토양 충전 특성 차이에 의해 칼럼마다 초기 용출농도가 다르게 나타나므로 2회 배출된 중금속 농도를 초기 토양의 농도로 가정하여 시간에 따른 배출농도의 감소(%)를 나타내었다.

1) 복토법 실험 결과

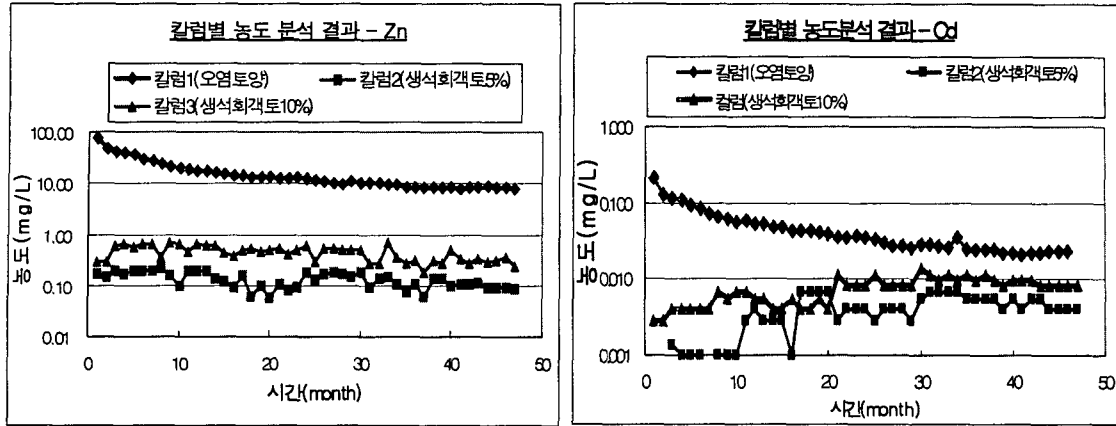
As의 경우 초기에는 복토한 칼럼의 농도가 높게 유지되나 1년이 지난 후 5% 복토한 칼럼의 As 농도가 급격히 감소하여 약 10배 감소하는 것으로 나타났다. Cd의 경우 초기 오염토양의 농도가 5년이

지난 후 약 7배 정도 감소하는 것에 비해 분말 생석회 2%, 5%를 개량제로 복토한 경우 용출농도가 각각 25배와 161배 감소하는 것으로 나타났다. Pb의 경우 오염토양의 용출농도가 초기에 비하여 5년이 지난 후 약 4배 정도 감소하였으며 생석회 5%를 복토한 경우 약 10배정도의 농도 감소를 보였다. Zn의 용출율은 오염토양의 경우 5년동안 6배 감소하였으며 분말생석회와 입상 생석회를 복토한 경우 각각 155배, 80배 감소하여 생석회의 Zn 안정화 효율이 매우 높은 것으로 판단되었다.



2) 객토법 실험 결과

객토법의 경우 생석회를 모두 입상으로 각각 객토하였다. 객토한 경우 각각의 중금속 농도측정 결과 초반부터 거의 용출이 이루어지지 않는 것으로 나타났다. Cd의 경우 입상생석회 5%와 10%를 객토한 결과 개량제를 혼합하지 않은 오염토양에 비교하여 용출율이 약 200배, 70배 감소하는 것으로 나타나 객토법을 이용한 안정화 효율은 매우 높다고 판단되었다. Zn의 경우도 마찬가지로 입상생석회로 5%, 10% 객토한 결과가 개량제를 혼합하지 않은 오염토양에 비교하여 약 400배, 270배로 낮게 나타남으로써 중금속 용출을 감소 효과가 매우 높은 것으로 판단되었다.



4. 결론

비료용 생석회를 개량제로 선택하여 실제 폐광산 주변 오염토양의 안정화 효율을 알아보기 위한 대형 모사 칼럼 실험을 실시한 결과, 복토법과 객토법에 있어서 모두 효율이 높은 것으로 나타났다. 비료용 생석회의 성상에 따른 결과는 입상을 사용한 칼럼의 중금속 용출을 감소와 분말을 사용한 칼럼의 용출을 감소의 차이를 확인 할 수 없었으므로 실제 공법의 적용 시에는 시판하는 입상 생석회를 그대로 사용해도 문제가 없을 것으로 판단되었다. 생석회의 함량에 따른 중금속 용출농도는 As의 경우 5%로 혼합한 칼럼의 용출을 저감이 효율적인 것으로 판단되었으며 Pb와 Zn, Cd의 경우도 마찬가지로 2~5%로 복토한 결과 모두 충분한 용출율의 감소가 나타났다. 객토에서의 함량은 5~10%로 실험한 결과 모두 만족할 만한 용출을 저감효과가 나타났으므로 전체적으로 5%의 입상생석회가 복토/객토 안정화 공법의 효율에 적당한 함량으로 판단되었다. 복토와 객토법을 비교하였을 때 전체적인 용출을 저감은 객토법이 복토법에 비하여 효율이 뛰어난 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

- 이민희 외, 고로 폐광산 주변 농경지 토양 및 하천 퇴적토의 중금속 오염분포 및 복원 대책설계, 자원 환경 지질, 제 36권, 제2호 89-101, 2003
- 차종철 외, 토양 정밀 조사에 의한 폐광산 주변 오염토양 및 하천 퇴적토의 중금속 오염평가 및 오염토양 복원 규모 설정. 자원환경지질, v36, p457-467, 2003.
- 한국 수자원 공사, 화북댐 유역 및 고로폐광산 토양오염 복원대책 수립 연구, 2003
- 안주성 외, 풍화 광미내 고상 비소의 광물학적·화학적 특성 및 용출 가능성 평가, 자원환경지질, 제 36권, 제1호, 27-38, 2003
- 한춘 외, 광산 매립지에서 중금속(As)의 용출특성에 관한 실험적 연구, 한국토양환경학회지, Vol.3, No.1 55-63, 1998.