

토양 세척법을 이용한 하천 퇴적토 복원 실험

이정산, 차종철, 이민희, 이정민*

부경대학교 환경해양대학 환경지질과학과 · *한국수자원공사 댐환경처 (j1420@hanmail.net)

<요약문>

비소로 오염된 폐광산주변 하천 퇴적토 오염 복원을 위한 토양세척법의 복원효율을 규명하였다. 세척액에 대한 비소제거 효율을 규명하기 위해 오염된 3종류의 하천 퇴적토에 대하여 초산, 구연산, 염산 각 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1N 수용액과 증류수(pH 5.41)에 대한 세척실험을 실시하였다. 실험결과 세척효율은 염산과 구연산 용액의 경우 0.05N 이상에서 저농도의 구연산을 제외하고 99.9% 이상의 제거효과를 나타 내었다. 초산의 경우 1N의 경우에도 36%와 71%의 낮은 세척 효율을 보였으며, 증류수로 세척한 경우에는 20% 내외의 세척 효율을 나타내었다. 이러한 세척 효율은 본 오염지역의 복원목표를 토양오염 우려기준의 40% 농도(2.4mg/kg)로 설정하여 하천퇴적토를 복원할 수 있음을 나타내고 있으며, 결론적으로 오염 퇴적토의 농도 분포에 따라 적절한 세척액을 선택한다면 세척 효과를 훨씬 증대시킬 수 있으리라 사료된다. 본 연구를 통한 세척효율 결과는 연구지역을 포함한 전국 각지의 폐광산 복원공정 설계에 중요한 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 중금속오염, 비소오염, 토양세척법

1. 서론

2002년 경상북도 군위군에 위치한 고로폐광산과 연결된 주 하천하류에 댐건설 계획이 수립되어 이 지역의 환경영향평가의 한 부분으로 댐건설 계획 수립의 일안으로 폐광산 주변 하천 퇴적토에 대한 토양 정밀 조사를 실시하였다.^{1,2,3)} 하천 퇴적토 내의 비소는 자연 분해가 거의 일어나지 않으므로 장기간 방치하면 인체에 중금속의 축적이 일어나 심각한 장애를 유발할 수 있다.^{4,5,6,7)} 이러한 물질을 제거하는데 굴착/매립법, 고형화/안정화 방법, 전기영동법, 개토/복토법, 식물경작법, 토양세척법 등 여러가지 방법이 있다.^{8,9)} 그러나 본 연구지역의 오염된 하천퇴적토는 하천 내에 존재하여 현장원위치(in-situ) 방법의 적용이 불가능하다. 퇴적토 입도 분석결과 94% 이상이 모래로 구성되어 있으며 복원된 모래를 댐 건설의 재료로 활용할 수 있다는 점, 수계로의 오염을 막기 위해 대규모의 오염 퇴적토를 단기간에 처리해야 하는 등의 여러 가지 측면을 고려할 때 토양세척법이 가장 효과적으로 적용할 수 있는 복원방법으로 판단되었다.¹⁰⁾ 따라서 본 연구에서는 하천 퇴적토의 비소 오염에 대한 토양 세척법의 적용을 위한 배치실험을 실시하여 적절한 세척액을 선별하고 세척액의 적정 농도를 규명하고자 하였다.

2. 토양 세척 효율 실험 준비

하천 퇴적토를 토양세척법을 이용하여 복원하는 경우, 세척 효율을 규명하기 위하여, 비소로 오염된 하천 퇴적토 3종류에 대하여 각각 초산(acetic acid) 0.01, 0.1, 1N, 구연산(citric acid) 0.03, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 1N, 염산 0.001, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1N, 그리고 증류수를 이용하여 세척실험을 실시하였다. 총 토양시료 164개중 비소 농도가 17.6mg/kg, 6.2mg/kg, 2.5mg/kg인 3종류에 대하여 세척 효율 배치 실험을 실시하였다(초산의 경우 24.3mg/kg, 7.2mg/kg 퇴적토 사용). 세척 시간을 결정하기 위해 시간을 달리하며 세척률을 측정된 결과 180분 이상에서 그 비율이 거의 일정하게 유지되어 적절한 세척 시간을 3시간으로 결정하였다. 먼저 각 세척액에 대한 pH를 측정하였으며, 제조한 각각의 세척액 500mL에 20g의 퇴적토 시료를 넣어 20°C에서 200rpm으로 3시간 항온 진탕 후, 상등액을 취하여 원심분리(2000rpm에서 20분) 하고, 거름종이(5B)로 거른 용액을 ICP/MS로 분석하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 세척효율

기존의 토양 세척과 관련된 참고문헌⁴⁾으로부터 염산, 구연산, 초산, 증류수를 선택하여 세척액 농도에 따른 세척 효과를 비교하였으며 그 결과를 그림 1, 2, 3에 나타내었다. 세척 실험 결과 염산의 경우 비소 농도와 관계없이 0.05N의 세척액에 의해 전량 용출되었으며, 같은 농도에서 구연산은 2.5mg/kg의 경우 세척 효율이 84%인 경우를 제외하고 나머지 두 시료에서 비소가 100% 세척됨으로서 효율이 매우 뛰어난 것으로 판단된다. 초산의 경우 세척액 1N의 가장 높은 농도에서도 24mg/kg에서 36%와 7.2mg/kg에서는 71%의 낮은 세척 효율을 보였으며, 증류수로 세척한 경우에는 20% 내외의 세척 효율을 나타내었다.

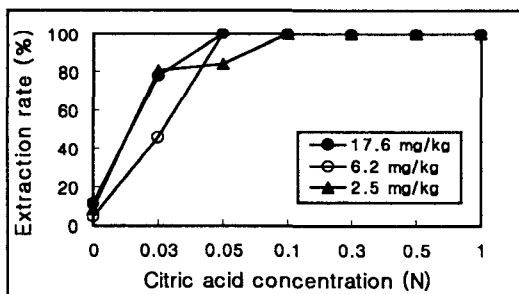


Fig.1. Removal efficiency of citric acid solution washing for three different river deposits.

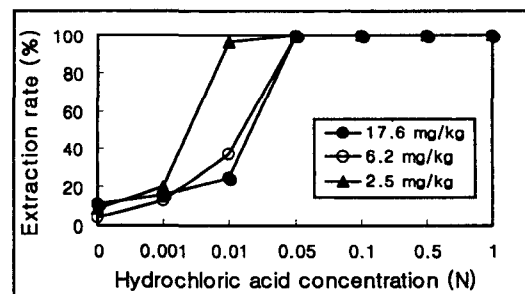


Fig.2. Removal efficiency of hydrochloric acid solution washing for three different river deposits.

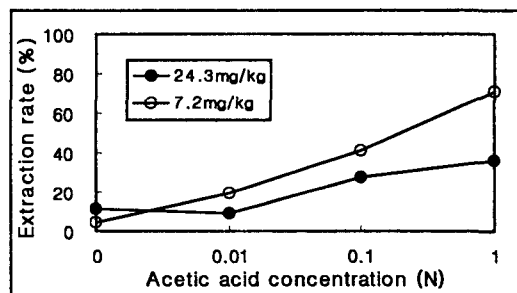


Fig.3. Removal efficiency of acetic acid solution washing for three different river deposits.

3.2 pH와 세척 효율의 연관성

세척 효율과 pH가 갖는 상관관계를 규명하기 위하여 측정된 pH 결과를 그림 4, 5, 6에 나타내었다. 증류수의 경우 pH 5.41이었으며 0.1N의 농도에서 염산이 1.07, 구연산이 2.3, 그리고 초산이 2.72로 같은 농도 대에서 비교할 때 염산 < 구연산 < 초산의 순서로 측정 되었으며 전체적으로도 이 순서를 유지하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과로 볼 때 역시 가장 낮은 pH값을 보이는 염산에서 세척 효율이 가장 높게 나타났으며, 초산의 경우 나머지 두 세척액과 비교 할 때 가장 높은 pH값을 가지므로 세척 효율 또한 가장 떨어지는 것을 알 수 있었다. 구연산의 경우 염산에 비해 세척 효율이 조금 떨어지기는 하지만 실제 오염토양을 세척할 경우 구연산 세척액 0.05N의 pH가 2.47 그리고 염산 세척액 0.05N의 pH가 1.37로 염산이 더 낮아 세척을 위한 실제 반응조의 제작 측면에서는 구연산이 보다 적절한 세척액인 것으로 나타났다. 결과적으로 2.5mg/kg의 저농도에서는 염산 세척액을 사용하고 17.6mg/kg이나 6.2mg/kg의 고농도 또는 중간 농도의 경우에서 구연산을 사용한다면 보다 안전하고 효율적인 토양세척을 할 수 있으리라 판단된다.

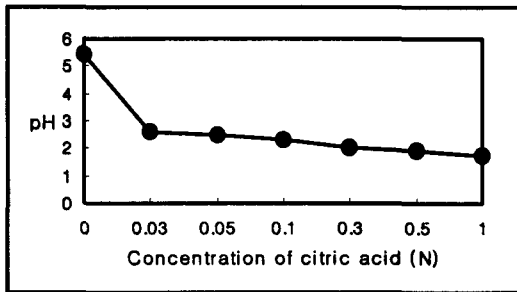


Fig.4. pH change according to concentrations of citric acid

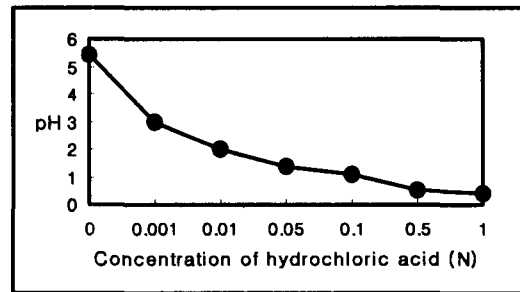


Fig.5. pH change according to concentrations of hydrochloric acid

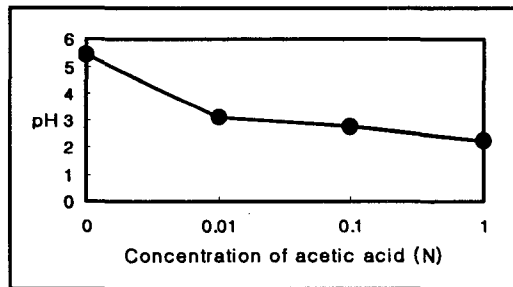


Fig.6. pH change according to concentrations of acetic acid

4. 결론

본 연구를 통하여 적절한 세척용액을 이용하여 비소로 오염된 하천 퇴적토의 오염을 충분히 제거 할 수 있는 것으로 나타났다. 초산의 경우 pH가 가장 높았으며 그에 따른 세척 효율도 1N의 경우 24mg/kg에서 36%와 7.2mg/kg에서 71%로 낮은 것으로 나타났다. 염산은 0.05N의 농도에서 1.37의 pH 값을 가지며 오염농도에 관계없이 100%의 세척 효율을 보여주었다. 구연산도 염산과 마찬가지로 0.05N에서 2.5mg/kg의 경우 세척효율이 84%인 경우를 제외하고 나머지 두 시료에서 비소가 100% 세척됨으로서 충분한 효율을 보여주었다. 세가지 종류의 세척용액의 pH를 측정된 결과 0.1N의 농도에서

염산이 1.07, 구연산이 2.3, 그리고 초산이 2.72로 같은 농도대에서 비교할 때 염산<구연산<초산의 순서로 pH가 측정 되었다. 세척효율 역시 pH 측정결과의 순서대로 염산이 가장 높은 효율을 보이고 있으며 구연산은 그에 비해 조금 낮은 효율을 보이고 있으나 토양 세정법의 세척 공정을 위한 반응조가 산에 대한 저항력이 있도록 제작 되어야 한다는 것을 고려해 볼 때 구연산이 보다 더 적절한 세척 액임을 판단 할 수 있다. 따라서 오염 퇴적토의 비소농도분포에 따라 적절한 세척액을 선별하여 사용하면 세척 효과를 훨씬 증대시킬 수 있을 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

1. 한국수자원공사, 화북댐 건설사업 환경영향평가서, pp.596~642, (2002)
2. 한국수자원공사, 화북댐 건설사업 환경영향평가서(보완), pp.337~348, (2003)
3. 한국수자원공사, 화북댐 유역 및 고로폐광산 토양오염 복원대책 수립 연구, pp.63~76, (2003)
4. 정동철 외, 중금속에 의해 오염된 토양에 대한 토양세척기법의 적용성 연구, 한국토양환경학회지, Vol.2, No.2 53~60, (1997)
5. 이진수 외, 다덕광산 주변지역에서의 독성원소들의 환경오염 및 인체흡수도, Econ. Environ. Geol. Vol.33, No.4
6. 이효민 외, 폐광산 지역의 비소오염에 대한 복원목표 설정, 한국토양환경학회지 Vol.3 No.2 13~29, (1997)
7. Hinrich L. Bohn., Brian L. McNeal., George A. O'Connor, Soil Chemistry, 3rd-ed.
8. 이기철, 저분자량 유기산 세척을 이용한 오염토양으로부터의 Cu제거에 관한 연구, 한국지하수토양환경학회지, Vol. 5, No. 1, pp. 30~36, (1998)
9. 이재영, 불량매립지 폐기물의 고형화를 위한 기초적 연구, 한국토양환경학회지, Vol.3, No.1 pp. 75~81, (1998)
10. 최상일 외, Ex-situ 토양세척기법에 의한 소수성 유기오염물질로 오염된 토양의 정화에 관한 연구, 한국토양환경학회지, Vol.2, No.1 99~107, (1997)