

오염토의 농도 저감을 위한 최적 오염정화 설계인자 제안

Optimized contaminat remediation factors for concentration reduction of contaminated soils

김만일¹⁾, Man-Il KIm, 김을영¹⁾, Eul-Young KIm, 김양빈¹⁾, Yang-Bin Kim

¹⁾ 한국농어촌공사 환경지질처, Office of Environmental Geology, Korea Rural Community and Agricultural Corporation

개요 : 중금속 및 유류 오염토양 정화를 위해 효율적인 토양세척법과 공정 선정을 목적으로 최적의 오염정화 설계인자를 제시하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 실험분석 항목은 구리, 납, 아연을 포함하는 중금속항목과 총석유계탄화수소(TPH)인 유류항목에 대해 흡광광도법(absorptiometric analysis), 기체 크로마토그래피(gas chromatography)법을 이용하여 단계별로 분석하였다. 실험방법은 최적 세척용매 결정시험, 최적 세척시간 도출시험, 최적 진탕비(S/W ratio) 결정시험 등을 통해 얻어진 결과를 토대로 계면활성제 첨가량별 중금속 용출영향 분석시험 순으로 실시하였다. 실험결과 세척용매인 염산 0.1mole, 체류시간 1시간, 진탕비 1:3 조건에서 오염물질의 저감효과가 우수하게 나타났으며, 이들 조건을 적용하였을 때 1%의 계면활성제를 세척용매에 첨가하였을 경우 추가적인 오염물질의 농도 저감효과가 있는 것으로 분석되었다.

Key words : 중금속, 유류, 오염토양, 계면활성제

1. 서 론

토양을 오염시키는 중금속 및 독성원소들은 토양 내에서 자연적인 생분해가 이루어지는 것이 아니라 생태계에 장기적이고 지속적으로 잔류하는 특성을 가지고 있기 때문에 토양오염을 발생시킴으로써 환경적인 문제가 되고 있다(Moutsatsou et al., 2006). 오염토양 복원기술은 기존의 환경오염 처리기술에 기반을 두고 적용되고 있기 때문에 오염부지의 지형 및 지질적 특성, 오염토양의 특성, 오염원 종류에 따라 적용 형태가 매우 다양하다. 따라서 오염토양의 정화를 위해서는 오염물질의 종류, 오염범위, 오염정도, 오염부지의 특성을 충분히 파악해야만 효율적인 오염토양의 정화가 가능하다(이상환 등, 2008).

본 연구에서는 중금속 및 유류 오염토양 정화를 위해 효율적인 토양세척법과 공정 선정을 목적으로 최적의 오염정화 설계인자를 제시하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 최적 세척용매 결정시험, 최적 세척시간 도출시험, 최적 진탕비 결정시험 등을 통해 얻어진 결과를 토대로 계면활성제 첨가량별 중금속 용출영향 분석시험 순으로 실시하여 오염토의 오염저감을 위한 설계인자를 도출하기 위한 목적으로 수행하였다.

2. 실험방법

오염토양 세척을 통해 현장 적용성 유무를 판단하고, 토양세척을 위한 최적설계인자를 도출하기 위하

여 실험실 조건하에서 실험 목적에 부합되도록 실험방법을 고안하였다. 본 실험에서 도출하고자 하는 설계인자는 세척용매의 종류, 최적 체류시간(retention time), 최적 진탕비(S/W ratio), 최적 계면활성제 투입량이다. 4가지 설계인자는 그림 1과 같은 순서로 진행되었다.

분석대상 항목은 정밀조사에서 높은 농도를 보여준 중금속 항목인 구리, 납, 아연과 유류오염 항목 중 석유계총탄화수소인 TPH로 설정하였다. 중금속은 흡광광도법을 이용하여 실험하였고, TPH는 Gas Chromatography를 이용하여 분석하였다. Step I에서 IV에 맞게 세척을 실시한 후, 중금속과 TPH를 분석하는 것으로 이루어졌다. 중금속분석은 흡광광도법을 사용하고, TPH분석은 Gas Chromatography(G/C)를 사용하였다. 세척은 Step별 조건에 따라 진탕기 안에서 이루어지며, 진탕이 끝난 후 거름종이로 토양만 걸러내어 분석하게 된다. 분석은 토양오염 공정시험법에 명시된 방법대로 이루어졌다.

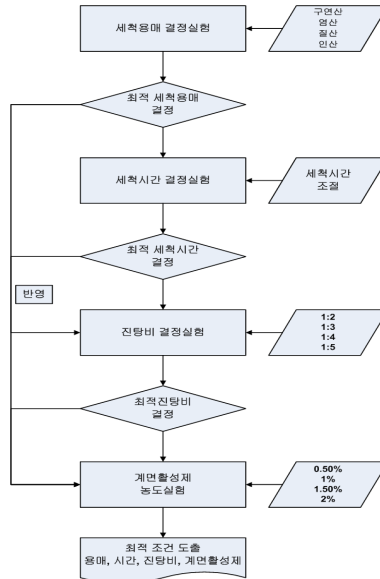


그림 1. 토양세척공법 실증시험 흐름도

2.1 최적 세척용매 결정시험 (Step I)

실험대상 세척용매를 구연산, 염산, 질산, 인산의 4가지로 우선 선정하였으며. 실험은 25℃의 일정한 실내온도를 유지함으로써 온도에 의한 실험오차를 배제할 수 있도록 하였다. 세척시간은 12시간으로 설정하여 충분한 세척이 이루어지도록 하였다. 이는 세척시간에 의한 세척효율 변화를 배제하여, 세척용매별 특성을 보다 정량적으로 파악하기 위함이다. 토양은 50g을 넣고 세척용매는 150ml를 넣어 진탕비를 1:3으로 설정하였다. 토양을 50g으로 설정한 이유는 3가지 항목의 중금속 분석에 필요한 최소 시료량 30g과 TPH 분석에 필요한 10g에 여유치 10g을 고려하였기 때문이다.

실험은 250ml의 둥근 플라스크를 사용하였으며, 세척과정은 진탕기에서 25℃, 100rpm의 조건으로 12시간 동안 이루어졌다(표 1).

표 1. Step I 세척용매 종류

세척액	몰농도(mole)				
	0.001	0.005	0.01	0.03	0.05
구연산	0.001	0.005	0.01	0.03	0.05
염산	0.1	0.2	0.4	0.6	1
질산	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
인산	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5

2.2 최적 세척시간 도출시험 (Step II)

Step I에서 좋은 결과를 보인 세척용매를 2종 선택하여 Step II에 사용하였다. 여기서는 최적 세척시간(retention time) 도출을 목적으로 Step I과 동일하게 1:3의 진탕비와 25℃, 100rpm의 조건으로 세척을 실시하였다. 다만 세척시간을 10분, 20분, 30분, 1시간, 6시간으로 달리하여 실험을 진행하였으며, 이에 대한 세척효율을 표 2에서와 같이 비교 분석하였다..

표 2. Step II 세척시간 비교

세척액	10 min	20 min	30min	1hr	6hr
구연산	y1 min	y2 min	y3 min	y4 min	y5 min
염산	y1 min	y2 min	y3 min	y4 min	y5 min

2.3 진탕비 결정시험 (Step III)

세척용매와 최적세척시간에서 선정된 결과를 진탕비 결정시험에 반영하였다. 비교대상 조건은 진탕비를 기준으로 1:2부터 1:5까지 달리하여 수행하였다. 2가지 세척용매에 대하여 실험함으로써 실험군은 표 3과 같이 8개이다.

표 3. Step III 진탕비 비교

세척액	농도	time	1:2	1:3	1:4	1:5
구연산	x2 mole	y2 min	z1 ratio	z2 ratio	z3 ratio	z4 ratio
염산	x3 mole	y3 min	z5 ratio	z6 ratio	z7 ratio	z8 ratio

2.4 계면활성제 첨가에 따른 중금속 용출 영향 분석 (Step IV)

앞서 진행된 시험결과를 토대로 계면활성제 첨가에 따른 중금속 용출영향을 분석하였다. 계면활성제는 0.5%에서 2%까지 농도를 달리하여 표 4와 같이 수행하였다. 이를 통해 토양세척에서 계면활성제의 효능 여부와 최적 계면활성제 첨가량을 도출이 가능하도록 실험조건을 설정하여 실험을 진행하였다.

표 4. Step IV 계면활성제 첨가 비교

세척액	농도	time	ratio	0.50%	1%	1.50%	2%
구연산	x2 mole	y2 min	z2 ratio	x1 %	x2 %	x3 %	x4 %
염산	x3 mole	y3 min	z5 ratio	x5 %	x6 %	x7 %	x8 %

3. 결과 및 토의

3.1 세척용매에 따른 중금속 세척 영향

Step I 실험결과 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn)에서 공통적으로 염산이 가장 좋은 세척효율을 보였다(그림 2). 다른 용매에서는 질산을 제외하고는 구연산과 인산에서 큰 차이가 나타나지 않았다. 토양의 초기 중금속 농도가 구리가 434ppm, 납이 464ppm 그리고 아연이 487ppm 임을 고려할 때, 아연이 가장 덜 저감되었음을 알 수 있다.

농도별 저감정도 차이는 그다지 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 이는 12시간이라는 충분한 저감시간을 고려할 때, 농도차이가 세척정도에 큰 영향을 미치지 않았기 때문으로 보인다. Step I에서 염산을 제외한 구연산과 인산의 저감효과가 비슷하게 나왔으므로, Step II에서는 염산, 인산 그리고 구연산을 모두 실험해보기로 결정했다. 용매농도는 문헌을 참고하여 염산 0.1M, 인산 0.2M, 구연산 0.01M로 채택하

었다. 세척을 통한 TPH 농도변화는 큰 경향성을 보여주지 않았다(그림 3). 이는 세척용매의 종류는 중금속의 저감에만 영향을 미치고, 유류오염물질의 저감과는 큰 상관이 없음을 의미한다.

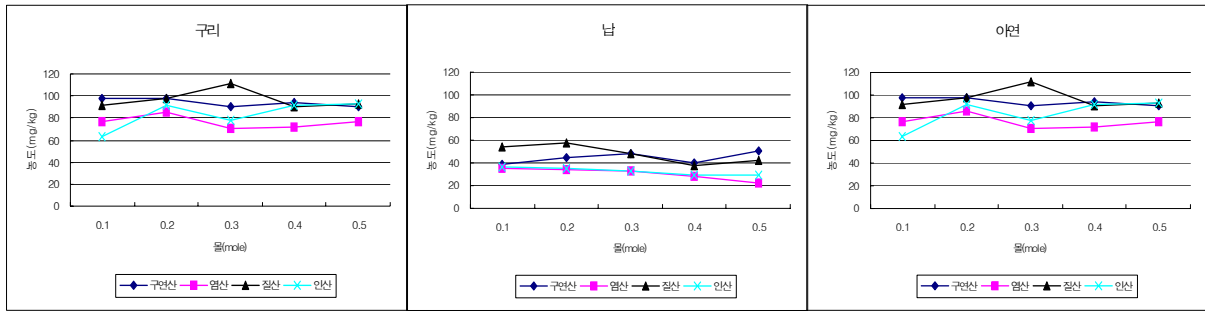


그림 2. 세척용매별 중금속 세척 결과

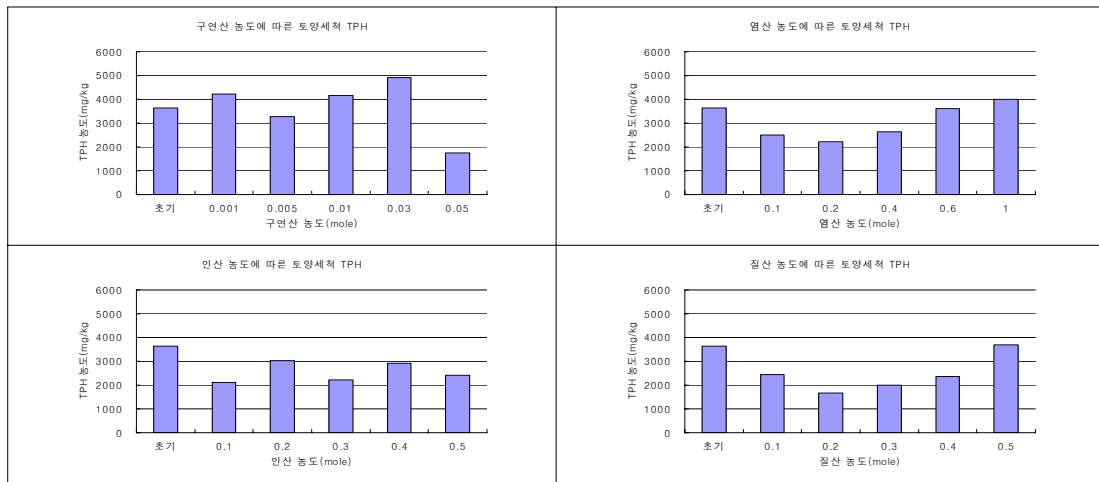


그림 3. 세척용매에 따른 세척 후 TPH 결과

3.2 세척시간에 따른 중금속 세척 영향

염산 0.1M, 인산 0.2M, 구연산 0.01M을 이용하여 최적세척시간을 도출하였다. 실험결과 구리, 납, 아연에서 모두 1시간 후 세척이 대부분 이루어지는 것으로 나타났다(그림 4). 1시간과 6시간의 세척정도는 다소 차이가 있으나, 5시간이라는 시간차를 고려할 때 매우 미미한 것으로 분석되어 본 Step에서는 1시간을 최적세척시간으로 도출되었다.

세척용매별 세척성능을 살펴보면, Step I에서와 마찬가지로 염산이 가장 좋은 세척성능을 보였다. 납의 경우는 인산이 염산보다 더 좋은 효과를 보여주었다. 따라서 Step III에서는 구연산을 실험군에서 제외하고, 염산 0.1M과 인산 0.2M을 사용하기로 하였다.

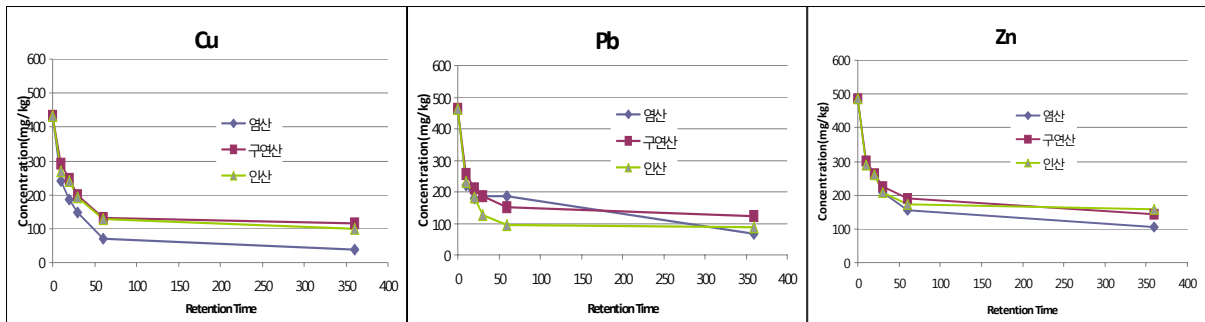


그림 4. 시간에 따른 중금속 세척 결과

3.3 진탕비에 따른 중금속 세척 영향

Step III에서는 1:2부터 1:5까지 S/W ratio를 달리한 실험군을 통하여, 최적 진탕비를 도출하였다. 실험 결과 진탕비 1:3에서부터 1:5까지에서 세척성능이 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다(그림 5). 따라서 본 Step에서는 최적의 진탕비를 1:3으로 도출하였다.

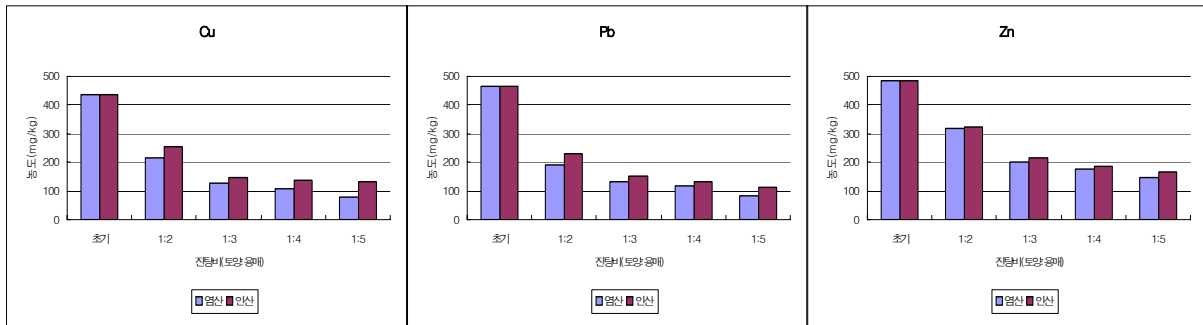


그림 5. 진탕비에 따른 중금속 세척 결과

3.4 계면활성제 첨가에 따른 중금속 세척 영향

본 실험에서는 염산과 인산의 세척용매에 계면활성제를 첨가하여 중금속 농도저감을 모니터링 하였다. 계면활성제는 0.5%에서 2%까지 농도를 달리하였고, 제반 세척조건은 Step III까지 얻은 결과를 반영 하였다. 실험결과 계면활성제의 농도가 증가할수록 중금속농도는 저감되는 것으로 나타났다(그림 6). 계면활성제 농도가 1% 이상으로는 추가적인 농도 저감이 크지 않으므로, 최적 계면활성제의 농도를 1%로 도출하였다. 이에 반하여 전체적으로 계면활성제에 의한 추가적인 농도저감 효과가 계면활성제를 첨가하지 않은 경우와 비교하여 크지 않았다. 일반적으로 양이온 계면활성제가 음이온 계면활성제와 비이온 계면활성제에 비하여 중금속 저감효과가 크다고 알려져 있다.

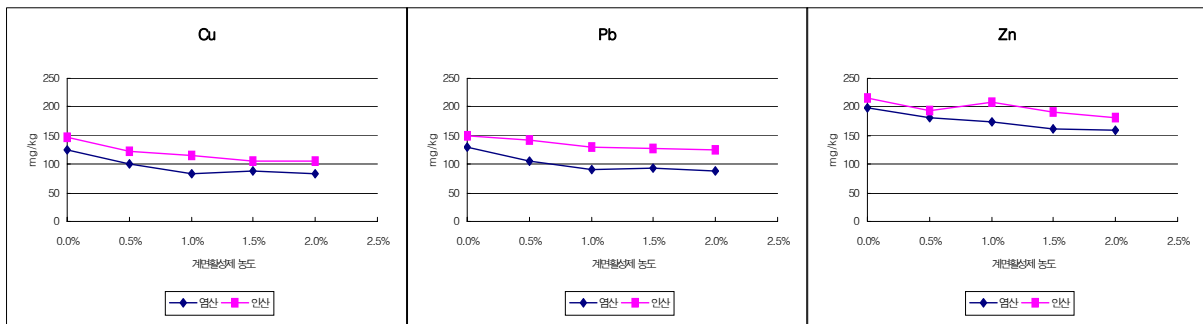


그림 6. 계면활성제 농도에 따른 중금속 세척 결과

4. 결론

본 연구에서는 중금속 및 유류 오염토양 정화를 위해 효율적인 토양세척법과 공정 선정을 목적으로 최적의 오염정화 설계인자를 제시하기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 구리, 납, 아연을 포함하는 중금속항목과 총석유계탄화수소(TPH)인 유류항목에 대한 흡광광도법(absorptiometric analysis), 기체크로마토그래피(gas chromatography)법을 적용하여 중금속 세척과 관련된 일련의 실험을 통해 최적의 설계인자를 도출하였다. 실험결과 세척용매인 염산 0.1mole, 체류시간 1시간, 진탕비 1:3 조건에서 오염물질의 저감효과가 우수하게 나타났으며, 이들 조건을 적용하였을 때 1%의 계면활성제를 세척용매에 첨가하였을 경우 추가적인 오염물질의 농도 저감효과가 있는 것으로 분석되었다.

참고문헌

- 이상환, 김을영, 서상기, 김권보, 김재환, 이종근, 2008, 토양세척법에 의한 중금속오염 폐탄처리장 토양의 정화: 세척액의 선정, 한국지하수토양환경학회지, 13(2), pp.44-53.
- Moutsatsou, A., Gregou, M., Matas, D., and Protonotarios, V., 2006, Washing as a remediation technology applicable in soils heavily polluted by mining-metallurgical activities, Chemosphere, 63, pp.1631-1640.