

## 플릭 형성 비소 오염토양에 대한 토양세척기법의 적용성 연구

황정성, 최상일, 한상근, 김주영

광운대학교 환경공학과

e-mail : [jumbback@kw.ac.kr](mailto:jumbback@kw.ac.kr)

### 요 약 문

플릭 형성 비소 오염토양에 대한 토양세척기법의 적용성 실험결과, 세척용액 100 mM과 500 mM의 농도에서 대상 토양에 대한 비소 용출량은 수산화나트륨이 염산보다 높은 효율을 보였으며, 농도 1000 mM의 경우에는 염산이 비교적 우세한 세척효율을 보였다. 토양오염공정시험법에 의한 세척 후 토양내 잔류비소 농도의 경우, 염산이 수산화나트륨과 비슷하거나 다소 우세함을 알 수 있었다. 세척 대상 토양의 Cut-off size limit을 선정하여 토양세척시 생성되는 플릭을 제거하지 않고 반복 세척한 결과, 수산화나트륨의 농도 200 mM은 1000 mM에 비하여 잔류된 비소량이 비슷하거나 비교적 높았으며, 2가지 농도에 대하여 총 5회 반복 세척한 토양의 비소 농도는 토양환경보전법의 가지역 우려기준 농도인 6 mg/kg에 근접한 결과를 보였으나, 염산의 경우 총 5회 세척시 비소의 농도가 약 9 mg/kg으로 비소 잔류량이 보다 큼을 알 수 있었다. 플릭을 제거한 후 반복 세척시 수산화나트륨의 농도 1000 mM이 200 mM에 비하여 토양 세척효율이 증가하였으며, 1000 mM로 5회 세척시 잔류비소 농도가 가지역 우려기준 농도에 근접한 약 6.7 mg/kg이었고 염산을 이용하여 세척한 경우에는 3회 세척시 약 6.7 mg/kg 4, 5회 반복 세척시 각각 약 3.9, 3.3 mg/kg으로 가지역 우려기준에 적합한 농도조건이 됨을 알 수 있었다.

주제어: 플릭, 비소, 토양세척기법, 반복세척, 수산화나트륨, 염산

### 1. 서 론

현재 국내는 휴·폐금속광산내에 적절한 조치 없이 방치된 광산 폐기물 (광미 및 광폐석)에 의한 주변 토양 및 지하수 오염문제가 대두되고 있다. 광산 폐기물에는 유해 중금속인 비소, 카드뮴, 납, 수은 등이 함유되어 있으며, 특히 독성이 강한 발암성 물질로 알려진 비소는 광범위한 오염확산으로 처리가 더욱 어렵게 된다. 따라서 광산 폐기물의 처리에 있어 장기적인 토지이용 및 관리를 위해 감량화를 추진하고 있다<sup>1)</sup>. 중금속 오염토양 처리에 적용되는 일반적인 정화기술로는 매립 및 오염원 누출 차폐기술, 고형화·안정화, 토양세척기법 등이 있으며, 이러한 기술중 토양세척기법은 중금속, 비휘발성 물질, 생물학적 난분해성 물질 등으로 오염되어 있는 토양에 대하여 물리·화학적으로 정화시키는 기법이다. 이와 같은 토양세척기법은 오염된 토양의 오염부피를 크게 감소시킬 수 있으며, 오염물질 양을 단시간에 효과적으로 줄일 수 있으며, 경제적인 정화기법의 하나로 높게 평가받고 있는 기술이다<sup>2)</sup>. 본 연구에서는 플릭을 형성하는 비소로 오염된 토양에 대하여 cut-off size를 선정하여 토양세척기법 적용시, 반복 세척에 의한 효율성을 살펴보고자 하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 대상 시료

실험 대상 시료는 00지역 휴·폐광산에서 5개 지점을 선정하여 채취된 비소 오염토양으로 입경이 큰 입자 및 협잡물질을 제거한 후, 표준체 #4 (4.75 mm)을 통과하는 토양만을 실험에 사용하였다 (Table 1).

Table 1. The characteristics of the soil

Parameters	pH	Organic Content	Particle Density	Effective Size	Uniformity Coefficient	CEC (meq/100g)
Measurement	8.36	5.4 %	2.38 g/cm <sup>3</sup>	0.15 mm	5.47	15.37

채취된 오염토양에 대하여 입자 크기에 따라 분리한 후, 각 입자별 비소 오염 부하량과 초기 오염농도 분석을 토양오염공정시험법에 의거하여 수행하였으며, ICP-OES (PerkinElmer, Model: Optima 2000DV)를 이용하여 비소의 오염농도를 분석하였다. 입자별 오염 부하량은 채취된 5개 지점의 평균 농도로 입자가 작을수록 높았으며 (Table 2), 채취된 토양의 초기 비소 오염농도는 321±32 mg/kg (5개 지점의 평균 농도 ± 표준편차)임을 알 수 있었다.

Table 2. Mass fractions and arsenic concentrations determined by KST\* methods for different size of soil particles

Sieve		Arsenic Contaminated Soil	
Numbers	Opening Size (mm)	Mass Fraction (%)	As Conc. (mg/kg)
~ #4	~ 4.75	16.83	11±1.5
#4 ~ #10	4.7 ~ 2.0	22.71	216±13.3
#10 ~ #20	2.0 ~ 0.85	26.37	242±20.9
#20 ~ #40	0.85 ~ 0.425	14.70	327±16.4
#40 ~ #60	0.425 ~ 0.25	8.36	363±5.6
#60 ~ #100	0.25 ~ 0.15	4.92	417±19.4
#100 ~ #140	0.15 ~ 0.106	2.40	576±6.8
#140 ~ #200	0.106 ~ 0.075	1.82	785±33.9
#200 ~	0.075 ~	1.89	1135±37.8

\* Korean Standard Test

### 2.2 토양세척기법 적용성 및 반복세척 실험

표준체 #4을 통과시킨 토양 시료에 대하여 수산화나트륨과 중금속 제거에 효과적으로 알려진 염산을 각각 100과 500, 그리고 1000 mM로 선정하여 토양세척기법의 적용성을 알아보았다. 실험 조건은 300 mL 삼각 플라스크에 20 g의 토양과 100 mL의 세척용액을 혼합한 후, 온도를 20±0.5℃로 유지시켜 300 rpm에서 6시간 동안 진탕하였으며, 진탕된 토양의 잔존 비소농도의 분석을 토양오염공정시험법에 의거하여 수행하였다.

토양세척기법의 세척효율을 보다 향상시킬 수 있는 방안으로 반복 토양세척 실험을 수산화나트륨의 농도 200 mM과 1000 mM에 대해, 그리고 염산 1000 mM의 농도 조건에서 반복 세척실험을 하였다. 이용하여 반복 세척실험을 하였다. 대상 토양에 대하여 토양세척기법 적용시 유출수내에 플러이 형성되는 것을 육안으로 관찰 할 수 있었으며, 최초 세척시 발생하는 플러를 채취한 후, 105℃에서 건조시킨 다음 토양오염공정시험법으로 비소의 양을 분석하였다. 그 결과, 수산화나트륨의 농도 200

mM과 1000 mM에서 형성된 플럭의 비소 농도는 각각 417.5, 147.4 mg/kg 이었으며, 세척유출수의 pH는 각각  $12.94 \pm 0.05$ ,  $13.32 \pm 0.05$ 임을 알 수 있었다. 염산 1000 mM의 경우에는 245.4 mg/kg (pH  $0.58 \pm 0.05$ )으로 나타났다. 또한 염산의 농도 100 mM과 200 mM에 대하여 토양 세척시 형성되는 플럭의 비소 농도와 세척유출수의 pH를 측정된 결과, 비소의 농도는 각각 989.5, 1086.0 mg/kg이었으며, 세척유출수의 pH는 각각  $6.21 \pm 0.05$ ,  $5.90 \pm 0.05$ 로 측정되었다. 이와 같이 토양세척시 생성되는 플럭은 pH 5와 6의 조건에서 비소를 다량 응집하여 비교적 고농도로 존재하는 것을 알 수 있었으며, 반복 세척시 플럭의 유무에 따른 세척효과를 관찰하였다. 대상 토양의 cut-off size limit을 전체 토양에 대하여 약 94%로 분포하는 표준체 #100 (0.15 mm)으로 선정한 후, 플럭의 유무에 따라 세척된 토양의 비소 농도를 분석하였다. 구체적인 실험방법은 위와 같으며, 총 5회 반복 세척한 후 각 세척시 잔존하는 비소의 농도를 분석하였다.

### 3. 결 론

Figure 1에 제시된 바와 같이 세척용액 100 mM과 500 mM의 농도에서 대상 토양에 대한 비소 용출량은 수산화나트륨이 염산보다 각각 약 42배와 3배정도 높은 효율을 나타냈으며, 농도 1000 mM의 경우에는 염산이 비교적 우수한 세척효율을 나타내었다. 세척후 토양공정시험법상 토양내에서 용출될 수 있는 비소 농도의 경우, 염산이 수산화나트륨과 비슷하거나 다소 적은량이 용출됨을 알 수 있었다.

Cut-off size limit을 선정하여 토양세척시 플럭을 제거하지 않고 반복 세척한 결과 (Figure 2), 수산화나트륨의 농도 200 mM은 1000 mM에 비하여 잔류된 비소의 양이 비슷하거나 비교적 높았으며, 2가지 농도에 대하여 총 5회 반복세척 실험한 결과 토양환경보전법의 가지역 우려기준 농도인 6 mg/kg에 근접한 결과를 보였으나, 염산의 경우 총 5회 세척시 약 9 mg/kg으로 보다 많은 비소가 용출될 수 있었다. 플럭을 제거시킨 후 반복 세척한 경우에는 수산화나트륨의 농도 1000 mM이 200 mM에 비하여 토양 세척효율이 우수하였으며, 1000 mM로 5회 세척시 잔류비소 농도가 가지역 우려기준 농도에 근접한 약 6.7 mg/kg이었으나, 염산을 이용한 세척의 경우, 3회 세척시 가지역 우려기준 농도에 근접한 약 6.7 mg/kg, 그리고 4, 5회 반복 세척시 각각 약 3.9, 3.3 mg/kg으로 가지역 우려기준치에 적합하게 됨을 알 수 있었다. 따라서 본 연구대상 지역의 비소 오염토양에 대한 세척효율 향상을 위하여 플럭의 제거가 필수적이며, 이에 대한 처리방안의 검토가 필요하다고 판단된다.

### 4. 사 사

본 연구는 2004년도 환경부의 차세대핵심환경기술개발사업 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 5. 참고문헌

- 1) 고일원, 이광표, 이철효, 김경웅, "비소 오염 토양, 하천 퇴적물 및 광미의 복원을 위한 토양 세척 공정 개발에 대한 연구", 2003년 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회, pp.318~319(2003).
- 2) West, C. C. and J. F. Harwell, "Surfactant and Subsurface Remediation", *Environ. Sci. Technol.*, 26(12), pp. 2324~2330(1992).

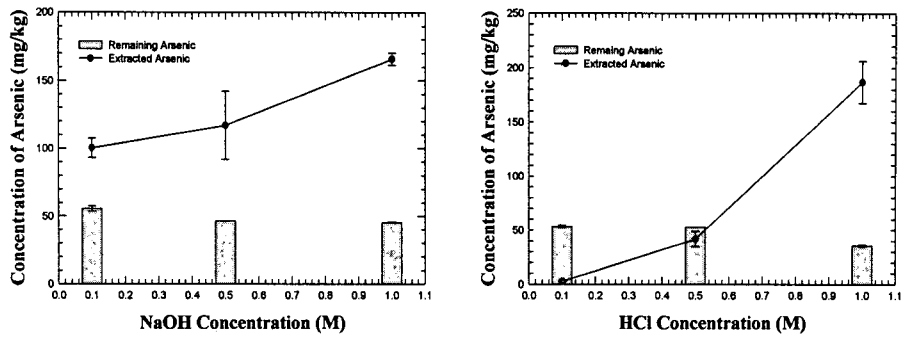


Figure 1. Arsenic concentrations of resultant solutions after soil washing using different concentrations of NaOH or HCl and arsenic extractions using the KST methods [soil washing condition: mixing ratio between soil (g) and washing solution (mL);5, shaking time = 6hr, 20±0.5°C, 300 rpm]

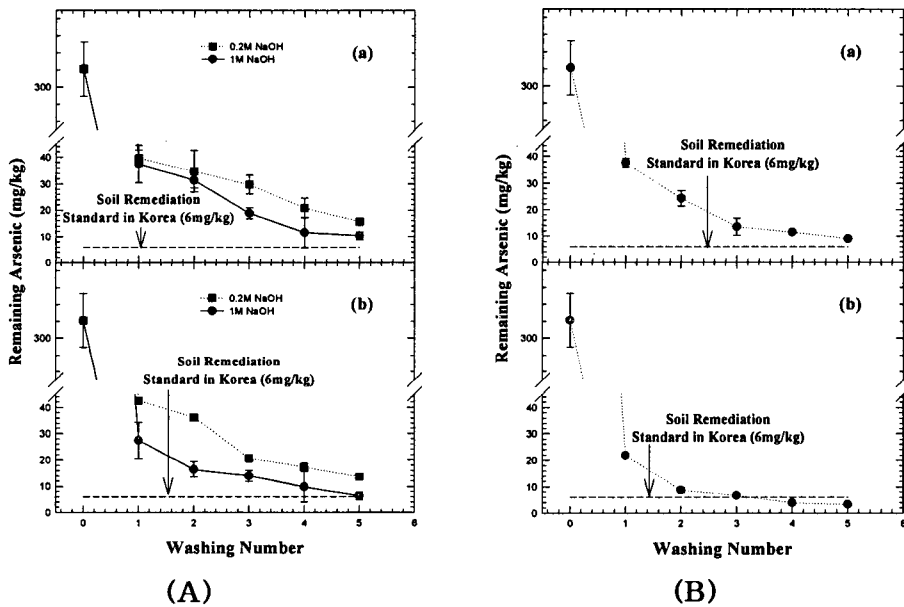


Figure 2. Arsenic extractions using the KST methods for the sequentially washed soil using NaOH(A) and HCl(B) [(a) soil washing with the floc, (b) soil washing without the floc]