

다중 중금속으로 오염된 시질토에 대한 EK Flushing 기술 적용

김병일, 한상재, 이군택*, 김수삼

한양대학교 토목환경공학과 · 서울대학교 농업과학공동기기센터 토양오염분석사업단*
(geokbi@ihanyang.ac.kr)

<요약문>

The precipitation of heavy metals within the region of pH jump is inevitable in the conventional electrokinetic remediation technology. This study prevents the interest species from precipitating through the injection of flushing solutions in which HCl, acetic acid, citric acid, EDTA and SDS dissolved. The cumulative flow resulted from electroosmosis appear in order of Citric acid<HCl<EDTA<Acetic acid<SDS. After remediation action the final concentration of lead in the sample is the lowest in EDTA and the similar in acetic acid, citric acid and HCl.

key word : Electrokinetic remediation, Flushing solution, Lead

1. 서론

전통적인 EK 기법의 적용 시 지반내의 물리화학적인 변화가 발생한다. 이러한 물리화학적인 변화는 EK 적용을 가능하게 하는 요소이지만 반대로 완벽한 EK 정화를 어렵게 하는 요소가 되기도 한다. 동전기(ElectroKinetic: 이하 EK) 정화 기법을 사용하여 흙으로부터 오염물을 제거하는데 있어 야기되는 한계점이 여러 연구자들에 의해 제기되어 왔다(Acar and Alshawebkeh, 1993; 한, 2000). 예를 들면 전기분해에 의해 발생하는 가스가 전극의 표면을 덮게 되어 저항을 증가시켜 결과적으로 정화효율을 감소시킬 수 있다. 이에 따라 정화기간 중 일정한 전류를 유지하기 위해서는 더 큰 전압이 요구된다. 또한 수산화이온은 양이온들과 반응하여 침전되어 간극 안에서 고형물을 형성하기 때문에 전류의 흐름을 방해함으로 전기전도도를 감소시키는 원인이 된다(Sah and Chen, 1998).

EK 정화 시 침전은 양극에서의 전기분해반응에 의해 생성된 H⁺와 OH⁻의 이동에 의한 급격한 pH의 변화 때문에 발생한다. 이러한 현상은 결국 전기분해에 의해 발생하는데 이러한 문제를 해결하기 위해서는 추가적인 화학약품의 사용을 필요로 한다(한, 2000).

본 연구에서는 기존 동전기 정화 기술의 한계성을 극복하고자 추가적인 세척용액을 주입하는 동전기와 토양세척공법을 병행한 동전기 세척 공법의 자연토에의 적용성을 파악하고자, 계면활성제, 산 및 킬레이트제를 도입하였다.

2. 실험

2.1 시료 특성

본 연구에서 사용된 시료는 서울시 OO사격장에서 약 20cm의 잔디층을 제거한 이후 약 20cm~60cm 깊이에 존재하는 시료로 교란된 상태로 채취하였다. 시료 특성은 표 1 그리고 2와 같고, 셀실험을 위해 No. 20번체로 체가름하여 굵은 입자를 제거하여 사용하였다.

표 1. 시료 특성

Gs	LL (%)	PI	USCS	γ_{dmax} (t/m ³)	W_{opt} (%)	Initial pH	CEC (cmol/kg)	Organic content (%)	Carbonate content (%)	Specific area (m ² /g)
2.56	25.4	N.P.	SW	1.74	15.4	6.6	3.91	3.36	0.18	10.5

2.2 EK 정화 실험 장치 및 실험 방법

EK 정화 실험 장치는 셀 본체, 덮개 및 연결부로 구성되어 있다(그림 1).

본 연구에서는 표 2와 같이 세척제 종류별 시험을 실시하였다. HCl, Acetic acid는 용해제로써, Citric acid와 EDTA는 킬레이트제로써 그리고 SDS는 계면활성제로써 사용하였다.

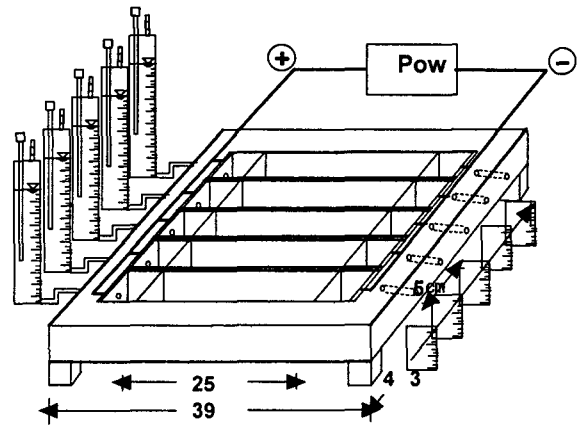


Fig. 1 Schematic diagram of EK test cell

표 2. Test conditions

Fixed factors			Variable factors					
C0 (mg/kg)	Duration (days)	Volt. (V/cm)	Agents	HCl	Acetic	Citric	EDTA	SDS
64.3	30	1.0	Initial Conc. (mM)	50	50	50	50	50
			Initial pH	1.79	3.07	2.54	3.13	4.67
			Initial E.C. (mS/m)	1.0	15.1	106.8	24.9	62.8

3. 실험 결과 분석 및 고찰

3.1 pH 변화

국내 사격장토에 대한 향상된 동전기 정화 기법 적용시, 양극(兩極)에서 발생하는 pH의 변화를 그림 2에 제시하였다. 일반적인 EK 정화시 발생하는 pH 변화와 유사하게 양극 저수조 전해질(Electrolyte)의 경우 약 2~3사이의 값을 보였으며, 음극 저수조 전해질의 경우 약 12~13의 값을 보였다. 용액의 초기 pH가 모두 다름에도 불구하고 세척제 종류별 및 농도별 차이는 크게 나타나지 않았다.

시험이 완료된 시점에서 시료를 5개의 섹션으로 나누어 각각에 대하여 pH를 측정하였으며, 그 결과를 그림 3에 제시하였다. SDS의 경우 산성영역이 다른 세척용액에 비해 더 작게 나타났다. 이는 SDS

가 용해되어 있는 세척용액의 pH가 다른 세척용액의 pH보다 높기 때문인 것으로 판단되며, 이와 유사한 결과가 Acetic acid와 EDTA가 사용된 세척용액 역시 HCl과 Citric acid가 사용된 세척용액의 pH보다 높아 산성영역이 더 작게 나타났다.

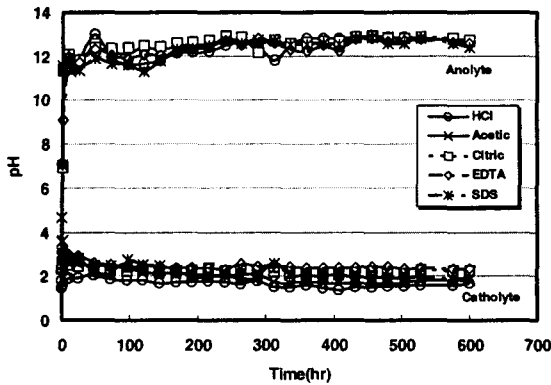


Fig. 2 Changes in pH of anolyte and catholyte with elapsed time

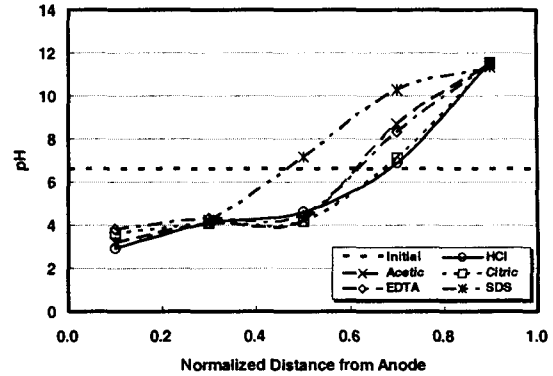


Fig. 3 pH distribution in the sample

3.2 전기삼투 특성

그림 4에는 사격장토에 대한 세척제별 실험 결과를 제시한 것으로, 전기삼투 유량은 Citric acid <math>HCl <math>EDTA <math>Acetic acid SDS 순으로 나타났다. SDS가 가장 큰 전기삼투 유량을 보인 것은 두 가지 원인 때문으로 판단된다. 첫 번째는 SDS가 용해된 세척용액의 pH가 다른 세척용액의 pH보다 상대적으로 높기 때문에 토립자 표면의 제타포텐셜을 음으로 계속 유지할 수 있었기 때문이며, 두 번째는 음이온성 계면활성제인 SDS가 토립자 표면에 흡착되어 BILAYER를 형성시켜 표면의 포텐셜을 더 음으로 증가시켰기 때문이다(Hankins et al., 1996; 고, 2002).

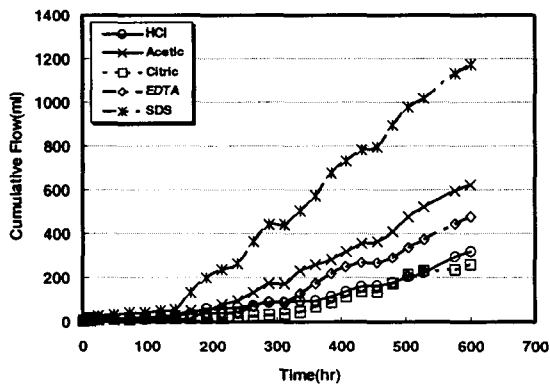


Fig. 4 Electroosmosis cumulative flow

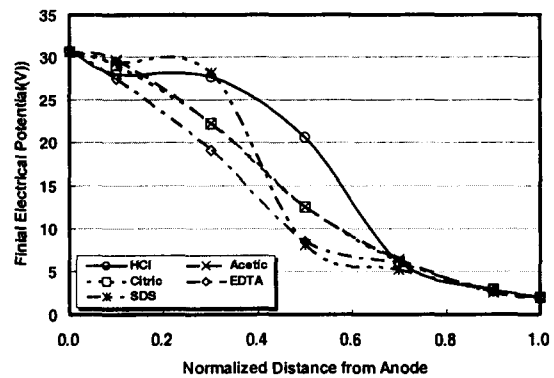


Fig. 5 Electrical potential distribution

3.3 시료내 전압경사의 변화

그림 5는 시험 종료 직전 측정된 시료내 전압 분포를 제시한 것이다. 시료 내부에서의 전압의 크기는 EDTA <math>Citric acid \approx Acetic acid \approx SDS HCl 순으로 나타났으며, 특히 Citric acid와 Acetic acid는 시료 전 범위에 걸쳐 거의 유사한 값의 전압을 보였다. 또한, 킬레이트제인 EDTA와 Citric acid 그리고 용해제인 Acetic acid의 경우 시료 전체에 걸쳐 거의 직선적인 전압 경사가 발생되었다.

3.4 시험후 농도 분포 및 제거율

그림 6은 세척제 종류별 시험 후의 납의 농도를 나타낸 것으로 EDTA가 가장 높은 이동효율과 정화효율을 보였으며, SDS의 경우 다른 세척제와 이동효율은 유사하지만 정화효율은 더 높은 것으로 나타났다. Acetic acid, Citric acid 및 HCl의 경우 이동속도와 정화효율 모두 유사하게 나타났다. 이는 SDS가 가장 큰 전기삼투 유량을 보인 전기삼투 결과와는 다른 것으로 판단된다. 따라서 중금속 오염토양의 정화에는 전기삼투 유량에 따른 이동효율과 정화효율에는 큰 상관성이 존재하지 않음을 알 수 있었다.

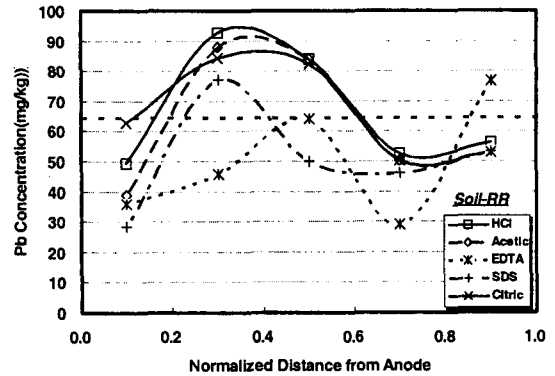


Fig. 6 final lead concentration

4. 결론

현장 자연토를 대상으로 실시한 세 가지 동전기 세척기법 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 초기 pH가 가장 높은 SDS의 경우 산성영역이 다른 세척용액에 비해 더 작게 나타났으며, 전기삼투 유량은 Citric acid<HCl<EDTA<Acetic acid<SDS 순으로 나타났다.
- 2) 시험 종료 직전 측정된 시료내 전압 분포의 경우 전압의 크기는 EDTA<Citric acid≈Acetic acid≈SDS<HCl 순으로 나타났으며, 특히 Citric acid와 Acetic acid는 시료 전 범위에 걸쳐 거의 유사한 값의 전압을 보였다. 또한, 킬레이트제인 EDTA와 Citric acid 그리고 용해제인 Acetic acid의 경우 시료 전체에 걸쳐 거의 직선적인 전압 경사가 발생되었다.
- 3) 세척제 종류별 동전기 정화 시험 후 EDTA가 가장 높은 이동효율과 정화효율을 보였으며, SDS의 경우 다른 세척제와 이동효율은 유사하지만 정화효율은 더 높은 것으로 나타났다. Acetic acid, Citric acid 및 HCl의 경우 이동속도와 정화효율 모두 유사하게 나타났다.

5. 참고문헌

1. 고석오(2002) 동전기력 복원공정 적용에 따른 세립토양의 전기화학적 특성 변화, 한국지하수토양 환경학회지, Vol. 7, No. 3, pp. 85-94
2. 이현호, 박지연, 김상준, 이유진, 양지원(2003) 동전기적 토양복원에 적합한 계면활성제의 선정, 한국지하수토양환경학회지, Vol. 8, No. 1, pp. 1-8
3. 장경수(2003) 중금속 오염토에 대한 동전기 정화효율의 향상기법, 인하대학교 박사학위논문
4. 한상재(2000) Electrokinetic 기법에 의한 오염토의 전기삼투와 중금속 이동 특성, 중앙대학교 박사학위논문