

세척제에 따른 자연토의 동전기 특성

Electrokinetic Characteristic of Natural Soil with Flushing Agents

김익현¹⁾, Ik-Hyun Kim, 이정철²⁾, Jung-Chul Lee, 김병일³⁾, Byung-Il Kim, 김수삼⁴⁾, Soo-Sam Kim

- 1) 한양대학교 토목환경공학과 석사과정, Master Course, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University
- 2) 한양대학교 토목환경공학과 석사과정, Master Course, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University
- 3) 한양대학교 토목환경공학과 박사과정, Doctor Course, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University
- 4) 한양대학교 토목환경공학과 교수, Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

SYNOPSIS(요약) : Electrokinetic characteristic of natural soil dependent on flushing agents is studied to determine the best agent used in the hybrid electrokinetic remediation system. The soil containing 7.6% Fe₂O₃ is spiked with lead. The flushing agents to be inject into anode are HCl, Acetic acid, Citric acid, EDTA and SDS. Test results showed that the early electrical potential of EDTA is lower than the value of the others. And the pH in anode reservoir is higher. Elcetrokinetic characteristic of all the sample except for EDTA is about the same.

주요어(Key words) : Electrokinetic characteristic, Flushing agent(HCl, Acetic acid, Citric acid, EDTA, SDS)

1. 서론

Casagrande(1947)에 의하여 전기삼투에 의한 Electrokinetic 기법이 최초로 사용된 이래로 많은 연구 자들에 의하여 Electrokinetic 기법이 연구되어 왔다. 단순하게 전기만 공급되는 시스템에서는 가스분해 및 음극부의 염기화에 의하여 증금속의 침전현상들이 발생하게 된다. 이러한 침전현상에 의한 증금속 제거 효율 저하를 막기 위하여 여러가지 향상기법이 적용되었다. 시스템의 pH를 낮추기 위해 산용액이 주입되거나(Apatoczky, 1992 ; Lageman, 1989), 착화제나 계면활성제(Apatoczky, 1992 ; Wittle and Pamukcu, 1993)가 주입되기도 하였다. Yeung et al.(1996)은 산 용액을 음극에 주입하는 것 대신에 EDTA(ethylenediaminetetraacetate)와 같은 음이온성 착화제를 이용하여 카올린으로부터 납을 제거하는 실험을 하여 성공적인 결과를 얻었다. Rodsand와 Acar(1995)는 0.01M CH₃COOH용액을 주입 및 이온선택막(NafionTM byDupont)을 사용하는 보강실험을 실시하였고, 생성된 유해물질을 제거하기 위하여 전극을 세척하는 방법(Probstein and Hicks 1993), 산을 이용하여 흙을 세척하는 방법(Acar and

Alshawabkeh 1993; Reed et al. 1995; Sah and Chen 1998), 음극반응을 소극화시키기 위하여 초산을 주입하는 방법(Aca and Alshawabkeh 1993, Denisov et al. 1996, Li et al. 1996, 1997)등의 향상기법이 연구되었다. 본 논문에서는 토양세척기법, 동전기정화기법 및 수평배수기법을 이용한 복합동전기정화기법 적용시 양(陽)극부에 투입되어질 최적의 세척제를 선정하기 위한 연구의 일환으로 세척제에 따른 자연토의 동전기 정화특성에 관하여 연구하였다.

2. 실내실험

2.1 세척제

염산(HCL)

화학식은 HCl이며 무색의 액체로 분자량은 36.46g 이다. 1기압하에서는 일정한 끓는점 108.584℃를 가진다.

아세트산(Acetic acid)

화학식 CH₃COOH. 강한 자극성의 냄새가 나는 무색 액체로, 분자량 60.05, 녹는점 16.6℃, 끓는점 117.8℃, 비중 1.0492이다. 약한 산이며, 1mol 수용액에서는 0.4% 정도 해리(解離)하여 아세트산이온과 수소이온이 된다.

구연산(Citric acid, C₆H₈O₇ · H₂O)

Citric acid의 분자량은 210.14g이며 물과 에탄올에서 용해된다. 이는 EK정화실험에서 향상기법으로 사용되며 용매 pH를 저하시켜 오염물질을 탈착·착화시키는 역할을 한다.

SDS(sodium dodecyl sulfate, C₁₂H₂₅O₄SNa)

음이온 계면활성제로서 분자량은 288.4g이며 C.M.C(critical micell concentration)은 8mM이다. EK 정화실험에서 향상기법으로 사용되는 시약으로서 유기산과 함께 사용되며 이는 수산화침전물 표면에 붙어 이온성을 띤 마이셀을 형성하도록 하여 납 제거 효과를 향상시키는 역할을 한다.

EDTA(Ethylenediaminetetraaceticacid, C₁₀H₁₆N₂O₈)

무색의 결정분말로 녹는점은 240℃이다. 물에 대한 용해도는 22℃에서 100 ml의 물에 0.2 g 녹는다. 에탄올·에테르 등에는 녹지 않는다. 4개의 카르복시산 (-COOH)과 2개의 질소원자를 포함하고 있는 4염기산으로서 카르복시산 모두가 양성자를 잃을 경우 금속과 배위할수 있는 6자리 리간드로 작용하여 금속 이온을 강하게 감싸 착물을 형성하는 성질을 가진다.

2.2 실험시료

실험에서 사용된 시료는 한양대학교 안산캠퍼스 인근산에서 채취한 산토로서 지표에서 50cm 깊이이상에 존재하는 흙으로, 붉은 빛을 띄고 있다. 채취한 산토는 공기중에 3일간 건조시킨 후 10번체를 이용하여 자갈 등을 제거하여 실험에 사용하였다. 시료의 기본물성 및 지반환경공학적 특성은 표 1, 2와 같다.

표 1. 실험시료의 기본물성

Specific gravity	Liquid limit	Plastic index	Activity	USCS
2.604	37.1	8.88	4.1	ML

표 2. 실험시료의 지반환경공학적 특성

Initial pH	CEC (cmol/kg)	Organic content (%)	Carbonate content (%)	Specific area
4.9	53.32	9.85	1.23	30.4

시료를 X선 형광분석기(XRF)를 사용하여 흙의 성분을 분석하였으며 그 결과는 다음의 표 3과 같다. 표 3에서 보이는 바와 같이 SiO₂와 Al₂O₃가 주성분으로 나타났으며, Fe₂O₃가 7.67%로 나타나있다.

표 3. 시료의 구성

SiO ₂ (Wt%)	Al ₂ O ₃ (Wt%)	TiO ₂ (Wt%)	Fe ₂ O ₃ (Wt%)	MgO (Wt%)	CaO (Wt%)	Na ₂ O (Wt%)	K ₂ O (Wt%)	MnO (Wt%)	P ₂ O ₅ (Wt%)	L.O.I. (Wt%)	total (Wt%)
58.84	20.63	0.86	7.67	0.78	0.10	0.12	2.29	0.03	0.07	9.04	100.43

실험시료의 포화도는 100%이며 질산납을 사용하여 1000mg/kg의 오염농도로 오염시켰다. 그리고 오염된 시료의 균질성을 위하여 충분히 교반시켰다.

2.3 실험장치 및 방법

EK 정화실험장치의 구성은 그림 1과 같고 실험셀은 시료가 투입되는 시료셀(25cm)과 양극(兩極)저수조로 구성되어 있다. 시료셀을 5등분으로 나누어 각 section에 금속침을 꽂아 일정기간마다 전압을 측정할 수 있도록 하였다. 실험셀의 양극(陽極)저수조에는 실험마다 각기 다른 세척제가 투입되었으며 투입된 세척제는 50mM 농도의 HCl, Acetic acid, Citric acid, EDTA, SDS이다. 일정전압조건으로 1.0 V/cm를 사용하였으며 실험기간 중 일정시간마다 전압, 전류, 양극저수조의 pH를 측정하였다. 실험이 끝난 후 시료를 5등분하여 각 section별로 pH와 함수비를 측정하였다. 각 실험에 대한 실험조건은 다음의 표 4와 같다.

표 4. 실험조건

실험 번호	양극저수조 투입 세척제	정화기간 (day)	사용전압 (V/cm)	초기 시료오염농도 (mg/kg)	세척제 농도 (mM)
1	HCl	30	1.0	1000	50
2	Acetic acid	30	1.0	1000	50
3	Citric acid	30	1.0	1000	50
4	EDTA	30	1.0	1000	50
5	SDS	30	1.0	1000	50

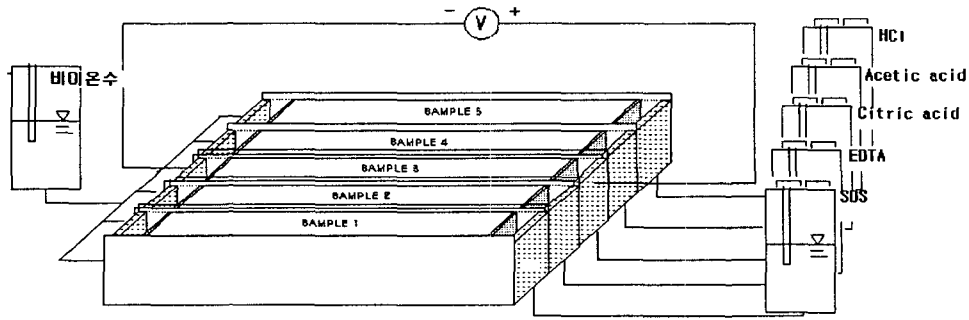


그림 1. 실험장치

3. 실험결과 및 고찰

실험기간중에 측정된 각 실험의 양극(兩極)저수조의 pH변화와 전압경사변화는 다음의 그림 2, 3과 같다.

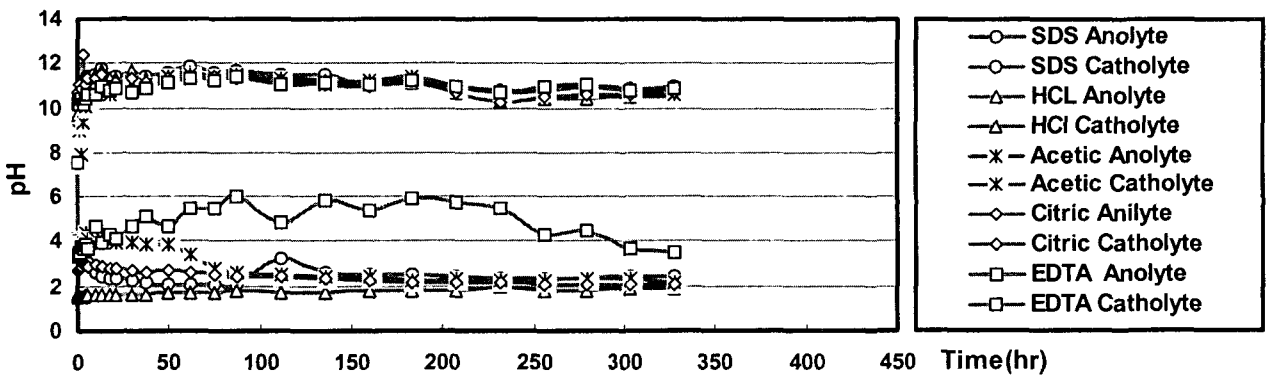
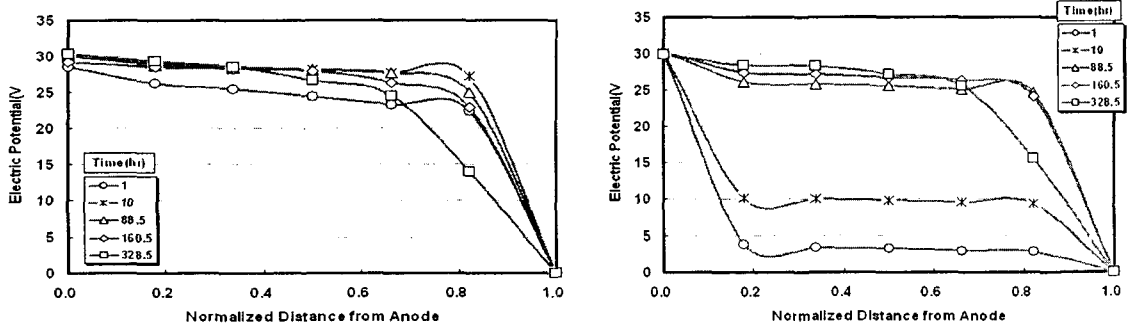


그림 2. 양극(兩極)저수조의 pH 경시변화



(a) 시료의 전압경사 경시변화
(Acetic acid)

(b) 시료의 전압경사 경시변화
(EDTA)

그림 3. 시료의 전압경사 경시변화

그림 2,3에서 제시된 바와 같이 EDTA를 제외한 모든 실험은 양극(兩極)부에서 실험초기에 pH변화가 급격한 것을 알 수가 있으며 양극(陽極)에서의 pH가 일정시간경과 후 pH 2-3 유지하였으며, 음극부의

pH는 10-12를 유지하였다. 또한 시간이 경과 할수록 양극부에서의 전압경사는 적어지고 음극부의 전압경사가 급격해짐을 알 수 있다. 그러나 EDTA를 세척제로 사용한 실험에서는 양극의 pH가 다른 실험에 비하여 높게 나타났으며 전압경사의 경시변화에 있어서 실험초기에 양극부에서 급격한 전압경사를 나타내는데 이는 양극부에서 전기분해에 의하여 생성된 산전선과 양극부에 주입된 EDTA의 화학반응에 의한 결과로 보인다.

그림 4는 실험이 종료된 후 5등분으로 나눈 각 section의 pH를 나타낸 것이다. 그림에서 나타나는 바와 같이 양극(兩極)에 인접한 부분에서의 pH변화가 가장 크며 이는 양극부에서의 전기분해에 의해 발생한 H⁺이온과 OH⁻이온의 이동에 기인한 것이다. 양극부에서 정규화된 거리의 0.8부근까지 초기 pH보다 저하된 것을 알 수 있으며 이는 H⁺이온의 이동속도가 OH⁻이온의 이동속도보다 1.76배 빠르기 때문이며 (Acar and Alshawabkeh 1993) 이 부근에서 H⁺이온에 의한 산전선과 OH⁻이온에 의한 염기전선이 만나게 된다. 또한 그림 4에서 음극부에서 급격한 pH변화가 일어나는 부분은 그림 3에서 음극부분의 전압경사가 급격한 부분과 일치함을 알 수 있다. 또한 시료내의 pH의 변화가 매우 적은 것을 알 수 있으며 이는 시료의 완충능이 크기 때문이며 표 3에서 제시된 바와 같이 완충능을 증가시키는 산화철(Fe₂O₃)이 다른 시료에 비해 매우 높은 값을 보이는 것을 알 수 있다. 각 실험에서 pH의 저하구간이 약간씩 차이를 보이는 것은 양극부에 투입된 세척제의 성질에 기인한 것으로 판단된다.

그림 5는 시간에 따른 전류밀도의 변화를 측정된 것으로서 모든 실험에서 일정한 값을 유지함을 알 수 있다. 이는 세척제로 사용된 산과 계면활성제가 음극부에서 형성된 알칼리전선에 의한 침전작용을 억제하기 때문으로 판단된다.

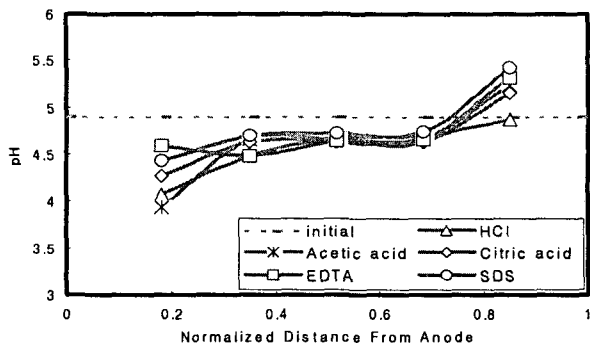


그림 4. 양극으로부터의 정규화거리에 따른 시료의 pH

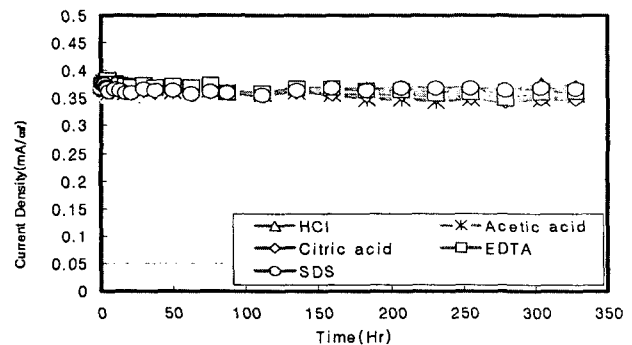


그림 5. 전류밀도의 경시변화

4. 결론

납으로 오염된 시료에 세척제를 사용한 Electrokinetic 정화시 동전기적인 특성을 알아보기 위하여 전압경사, 전류밀도, 시료의 pH변화, 양극저수조의 pH변화등을 측정하였다. 각 실험은 세척제의 특성에 따라 동전기적 특성이 약간씩 다른값을 보이나 일반적으로 비슷한 성향을 지니고 있으며 실험결과 EDTA의 경우 다른 실험들과 달리 초기전압이 낮게 측정되었으며 양극저수조의 pH가 일반적인 값보다 큰 값을 보였다. 그러나 Citric acid와 SDS의 경우 시간에 따른 전압경사, 전류, 시료 및 저수조의 pH의 변화 양상이 양이온성인 HCl, Acetic acid와 유사한 경향을 나타내었으며 시간에 따른 전류밀도의 변화는 모든 실험에서 같은 경향을 나타내었다.

참고문헌

1. 한상재(2000), “Electrokinetic 기법에 의한 오염토의 전기삼투와 중금속 이동 특성”, 중앙대학교 박사학위 논문.
2. 한상재, 김수삼 (2001.11). “중금속 오염토의 Electrokinetic 정화 처리시 pH 발현에 대한 납제거의 전극간 특성”, 한국지하수토양학회 논문집, Vol. 6, No. 4, pp. 13-23
3. 한상재, 김수삼, 오승록(2002), “토질 특성을 고려한 동전기 정화시스템에서의 pH변화 해석”, 대한토목학회 논문집, Vol. 22, No. 4-c, pp. 383-392.
4. Acar, Y. B. and Alshawabkeh, A. N.(1993), “Principle of Electrokinetic Remediation”, *Environmental Science and Technology*, Vol. 27, No. 13, pp. 2638-2647
5. Hamed, J., Acar, Y. B., and Gale, R. J. (1991). “Pb(II) removal from kaolinite by electrokinetics.” *J. of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 2, pp. 240-271.
6. Mary M. Page and Christopher L. Page., “Electroremediation of Contaminated Soils” , *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 128, No. 3, pp. 208-219.