

아세트산의 농도에 따른 Ferrous Soil의 동전기 정화 기동

이정철, 김병일, 조대호, 김수삼

한양대학교 토목환경공학과 (ganda77@ihanyang.ac.kr)

<요약문>

The natural soil containing organic matter and ferrous is used in the Electrokinetic-Flushing Remediation(EFR) tests. A series of tests are carried out through controlling the concentration of acetic acid in the EFR cell. The test results showed that the electrical potential in $X/L=0.9$ is increased with the increasing of the concentration, and pH in the sample is the similar at all of the region because of the buffer capacity of natural soil. Finally, the efficiency of EFR is enhanced at acetic acid of 1mM. But it may not be not strongly affected by the concentration of acetic acid.

key word : Natural soil, Electrokinetic-Flushing Remediation, Acetic acid

1. 서론

상대적으로 EK 효율이 양호한 카올리나이트의 양이온교환능이 입자 가장자리의 깨진 결합(Broken edge)에서 발생하는 것과는 달리 자연토의 경우 주로 동형치환에 의해 발생되며, 남의 대부분이 침전물 형태로서 탄산 또는 수산화 형태로 잔존한다. 이와 같은 형태는 용해된 상으로 존재하지 않는다면 제거하기 어렵다(Li, 1997). 또한, 자연토의 경우 철산화물 등과 같은 불순물이 존재하고, 유기물 함량이 높기 때문에 카올리나이트에 비해 상대적으로 높은 완충능을 보인다. 이는 EK 공정에 의해 발생하는 산전선으로 토양의 pH를 낮추기 어렵다는 것을 의미하며, 따라서 오염물을 용해시키기가 비교적 어렵다(Yeung et al., 1996). 이때 완충능을 낮추기 위해서 NaOAc/HOAc와 같은 화학반응 유체를 이용할 수 있다(Li, 1997).

화학반응 유체를 사용할 경우, 일반적으로 계면활성제는 유기오염물의 EK 정화를 향상시키기 위해, 그리고 착화제 또는 킬레이트제는 중금속의 EK 정화를 향상시키기 위해 주로 사용되며, 계면활성제와 킬레이트제를 혼합하여 사용하기도 한다. 또한, 산이 완충능이 큰 자연토에 대하여 시료의 pH를 낮추거나, 산전선의 이동을 촉진시키기 위해 그리고 금속침전물의 용해를 위해 사용된다. 이때, 황산염 이온을 포함하고 있는 계면활성제 그리고 강산을 사용하였을 경우 흙의 조성성분 중 일부가 용해될 수 있는 문제(이재원, 1997; Wong et al., 1997), 킬레이트와 같은 경우 사용 후 처리수의 회수 문제 등이 제기되기도 하였기 때문에(한상재, 2000), 이에 대한 적절한 조치가 필요하다.

본 연구에서는 유기물과 철성분이 다량 함유된 자연토에 대하여 아세트산을 적용하여 일련의 동전기 세척 실험을 실시하였다.

2. 실험

2.1 시료 특성

본 연구에서 사용한 시료는 초기 pH가 4.9인 일반 산토(Soil-HY)로 한양대학교 안산캠퍼스의 인근 산의 지표에서 50cm 깊이에 존재하는 흙으로, 표 1에 시료 특성을 제시하였다.

표 1. 시료 특성

Gs	LL (%)	PL (%)	Activity	USCS	Initial pH	CEC (cmol/kg)	Organic content (%)	Carbonate content (%)	Specific area (m^2/g)
2.604	37.1	8.88	4.1	ML	4.9	6.68	9.85	1.23	30.4

2.2 동전기 정화 실험

2.2.1 EK 정화 실험 장치

사용된 EK 정화 실험 장치는 그림 1과 같다. 외부에서의 동수경사 형성을 방지하기 위해 셀의 양극부에는 세척용액이 들어 있는 마리오 바틀(Marriott bottle)을 설치하였으며, 음극부에는 자유롭게 월류(Overflow)가 가능하도록 하였다.

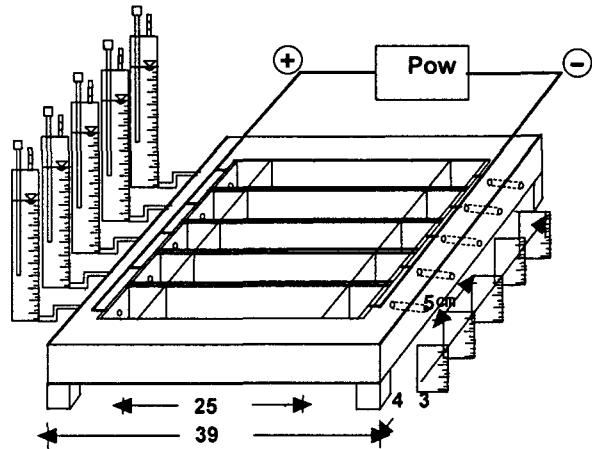


그림 1. EK 시험 장치

2.2.2 시험 조건

본 연구에서는 표 2와 같이 아세트산의 농도별 시험을 실시하였다. 이는 아세트산이 사용되더라도 흙의 전기전도도를 크게 증가시키지 않고, 환경적으로 안전하고 생분해될 수 있기 때문이며, 또한 아세테이트이온은 음극 부근에서 비용해성 염의 형성을 방지하여 낮은 전기전도도 영역의 발전 및 음극 부근에서의 과도한 에너지 소산을 막을 수 있다는 장점을 가지고 있기 때문이다(Alshwabkeh et al., 1999).

표 2. 시험 조건

C ₀ (mg/kg)	Duration (days)	Volt. (V/cm)	Flushing agents(Acetic acid)					
			Initial Concentration (mM)	0	1	10	50	100
1000	25	1.0	Initial pH	6.36	3.74	3.28	3.01	2.85

3. 실험 결과 및 분석

3.1 양극(兩極) 저수조에서의 pH 변화

물의 전기분해 반응을 통해 (+)극에서 생성되는 수소이온과 (-)극에서 생성되는 수산화이온에 의해 (+)극에서의 pH는 약 3이하까지 감소하며, (-)극에서는 약 11이상까지 증가한다. 이와 같은 결과가 Ferrous soil에 대한 동전기 정화 실험에서도 그림 2와 같이 나타났다. 아세트산의 농도와는 거의 상관 없이 (-)극에서의 pH는 아주 빠른 시간에 정상상태 값에 도달하였지만, (+)극의 경우 10mM이상에서만 빠르게 정상상태 값에 도달하였다.

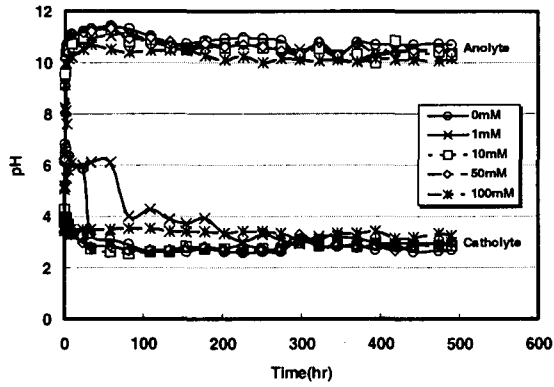


그림 2. 양극 저수조에서의 pH 변화

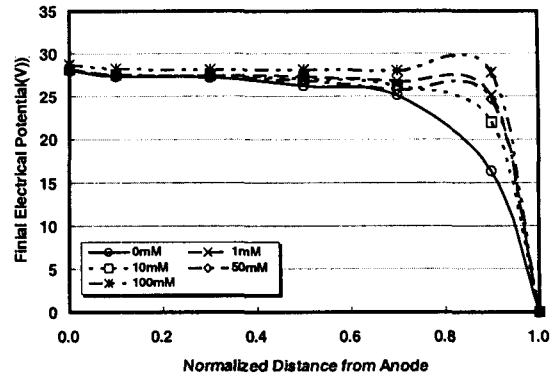


그림 3. 시료 내 전압 분포

3.2 시료내 전압의 분포

(+)극에서 형성된 수소이온과 (-)극에서 형성된 수산화이온이 만나면서 물이 형성되거나, pH 점프 영역에서 침전물의 발생 등으로 인하여 이온고갈이 발생되며, 이로부터 저항증가로 인한 전기전도도의 감소와 전압차의 증가가 나타난다. 그림 3은 시험 완료 직전 시료 내부에서의 전압 분포를 나타낸 것으로 $0 < 10 \approx 50 < 1 < 100 \text{mM}$ 순으로 전압의 변화양상을 보였으며, 대체로 농도가 증가함에 따라 0.9지점에서의 전압은 증가하는 경향을 보였다.

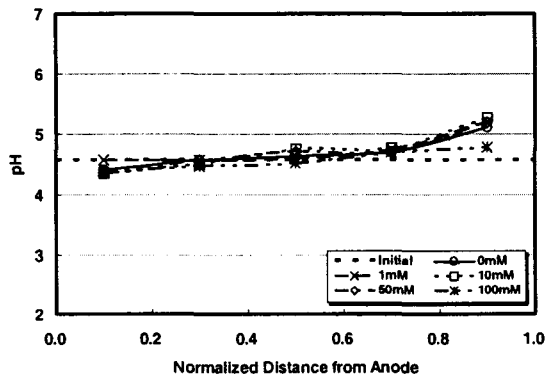


그림 4. 시료내 pH 분포

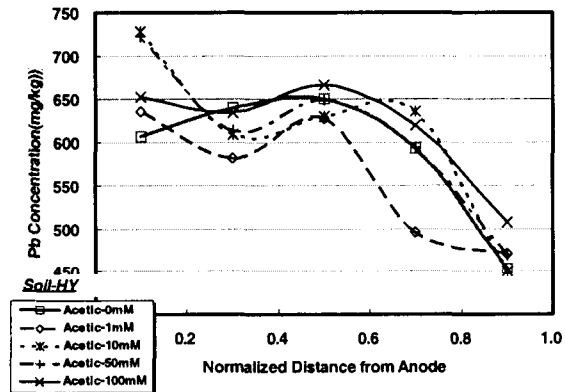


그림 5. 정규화된 거리에 따른 납농도 분포

3.3 시료내 pH 분포

Ferrous soil에 대한 동전기 향상 실험 후 시료 내부에서의 pH를 그림 4에 제시하였다. 그림에 제시된 바와 같이 거의 전 범위에 걸쳐 pH는 초기치와 비교하여 큰 변화를 보이지 않았다. 이는 본 연구에서 사용된 시료가 높은 유기물함량과 철산화물 함량을 가졌기 때문에 이로 인하여 완충이 커서 시료의 pH가 크게 변화하지 않은 것으로 판단된다. 이는 100mM을 주입하였음에도 불구하고 pH는 크게 변하지 않는 것으로도 확인할 수 있었다.

3.4 농도 분포

그림 5에는 일반산토에 대한 세척제 관련 실험 결과를 제시한 것이다. 세척제가 사용되지 않은 Blank 시험에서는 시료 중앙에서 가장 높은 납 농도를 보였다. 그러나 세척제가 사용된 경우 (+)극 부근에서 가장 높은 납 농도를 보였다. (+)극 부근에서의 농도 누적은 $1 < 100 < 10 \approx 50 \text{mM}$ 순으로 나타났으며, 전체

적인 경향을 볼때 1mM의 Acetic acid에서 가장 양호한 정화효율을 보였다. 그러나 아세트산이 농도 변화는 Ferrous Soil의 동전기 정화효율에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

4. 결론

유기물과 철성분이 다량 함유된 자연토에 대하여 아세트산을 적용하여 일련의 동전기 세척 실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 대체로 아세트산의 농도가 증가함에 따라 0.9지점에서의 전압은 증가하는 경향을 보였다.
- 2) 시험 후 시료내 함수비 분포는 거의 전 범위에 걸쳐 함수비가 약 1.1 주위에 있음을 보였다. 100mM의 경우 (+)극 부근에서 다른 농도에 비해 작은 함수비 증가를 보인 것은 이 영역에의 전압경사가 다른 세척제보다 더 빠르게 평탄화 되어 물의 공급이 상대적으로 원활하지 않았기 때문인 것으로 판단된다.
- 3) Ferrous soil에 대한 동전기 향상 실험 후 시료 내부에서의 pH는 거의 전 범위에 걸쳐 초기치와 비교하여 큰 변화를 보이지 않았다. 이는 본 연구에서 사용된 시료가 높은 유기물함량과 철산화물 함량을 가졌기 때문에 완충이 커서 시료의 pH가 크게 변화하지 않았기 때문이다.
- 4) 아세트산을 세척제로 사용한 동전기 향상 실험에서 1mM의 Acetic acid에서 가장 양호한 정화효율을 보였지만, 아세트산이 농도 변화는 Ferrous Soil의 동전기 정화효율에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 장경수 (2003) 중금속 오염토에 대한 동전기 정화효율의 향상기법, 인하대학교 박사학위논문
2. 한상재 (2000) Electrokinetic 기법에 의한 오염토의 전기삼투와 중금속 이동 특성, 중앙대학교 박사학위논문
3. Alshawabkeh et al. (1999) Practical Aspects of In-situ Electrokinetic Extraction, J. of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 125, No. 1, pp. 27-35.
5. Li (1997) A Study of the Efficiency and Enhancement of Electro-Kinetic Extraction of a Heavy Metal From Contaminated Soils, McGill University Ph. D thesis.
6. Yeung, A. T., Hsu, C. N. and Menon, R. M. (1996) EDTA-Enhanced Electrokinetic Extraction of Lead, J. of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 122, No. 8, pp. 666-673.