

Electrokinetic 기법을 이용한 토양 중 납의 안정화

조용실, 김정환*, 한상재**, 김수삼***

계룡건설 환경개발부(nicecys@krcon.co.kr)

*중앙대학교 토목공학과 박사수료(geokjh@hanmir.com)

**한양대학교 공학기술연구소 선임연구원(herp@orgio.net)

***한양대학교 토목환경공학과 교수(kimss@hanyang.ac.kr)

요 약 문

In this study, variation of electrochemical parameters and characteristics of lead immobilization due to phosphoric acid injection in soil were studied during electrokinetic remediation of lead contaminated soil.

TCLP result showed about 100% of soil was satisfied TCLP regulation criteria. And injected ion from cathode reservoir by ionmigration was proportionate to concentration of phosphoric acid and elapsed time. Therefore, when removal is infeasible or not cost-effective, in situ immobilization method would be more effective.

key words : electrokinetic soil remediation, lead immobilization, TCLP

1. 서론

현재 사용되고 있는 지반정화 기술의 한계를 보완할 수 있으며 세립토 지반에서 적용할 수 있는 새로운 정화기술로 electrokinetic(이하 EK) 정화처리가 대두되고 있다. EK 기법은 전기삼투와 이온 이동현상을 이용하여 투수성이 매우 낮은 점성토 지반으로부터 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있는 방법으로 평가되고 있다.

그러나 EK 기법을 이용한 중금속 정화시에 가장 문제점으로 나타나는 것은 음극 쪽으로 이동하던 중금속 이온은 음극에서 양극으로 향하는 OH⁻를 만나서 중금속의 종류에 따라 그들의 용해도 영역 이상의 농도는 대부분 수산화 침전하여 음극배출수로 오염물질이 이동되지 않는다는 것이다(Shapiro and Probst 1993). 이를 보완하기 위하여 여러 가지 향상기법들이 사용되어 왔으며 대개는 음극에서 산을 이용하여 pH 저하를 유도하는 방법과 착화제를 주입하는 기법을 사용하고 있다. 음극에서 착화제 주입기법으로 가장 많은 빈도를 기록하고 있는 기법은 EDTA 주입기법이다. 그러나 이러한 향상기법들도 완전히 중금속 오염물을 시료외부로 제거하기에는 많은 문제점을 가지고 있다(Yeung et al. 1996). 따라서, 추출이 용이하지 않거나 비경제적인 경우 원위치 고정화가 대안이 될 수 있다.

본 논문의 목적은 포화된 납으로 오염된 illitic 점토에서 EK를 이용한 고정화 처리 시 시료 내에서 발생하는 전기화학적 현상을 규명하며, 실험 종료 후 TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure) 기준을 이용한 납용출량을 측정함으로써 EK 기법을 이용하여 원위치에서 납을 고정화 시키는 기법을 개발하고자 하는 것이다.

2. 실험

본 연구에서 사용한 시료는 illitic 점토로 영동산이며 비중은 2.70이다. 시료는 상온에서 보관하였으며 시료는 육안으로 볼 때 황색의 입자가 매우 고운 분말상태로 sieve #200(0.074 μ m)를 100% 통과한 시료이다. 시료는 압밀시켜 액성한계 근처의 함수비를 갖도록 제조성하여 사용하였다. 일라이트의 기본 물성치와 화학적 구성성분은 각각 Table. 2.1과 2.2에 나타내었다.

EK 정화실험기는 크게 정화셀, 전원공급장치, 계측장치, 기타 부속장치로 분류할 수 있다. 실험장치는 EK 정화 실험셀과 주입액을 순환시키는 정량펌프, 전원공급장치, 양극부의 일정수위를 유지하기 위한 Mariotte bottle 그리고 전압과 전류의 측정장치로 구성되어 있다. 정화셀은 시료셀(15cm)과 흑연판을 부착한 전극부를 포함하고 있는 주입셀, 실험동안 시료내의 전압을 측정하기 위한 전압측정 포트가 구성되어 있다. Fig. 2.1에 EK 정화실험기 구성도를 나타내었다.

실험 중 시료내의 전압 분포와 전류밀도의 변화, 유출수량 등을 측정하였고, 실험이 종료된 후 시료를 10등분하여 각 section의 pH와 납농도를 분석하였다.

주입된 인의 양을 검측하기 위하여 시료를 2시간 동안 강열감량한 이후 16시간동안 교반하고 원심분리시켜 상청액을 취하여 ICP-AES(Jovon Yvon JY-24)로 분석하였다.

납농도는 토양오염공정시험법의 전처리법을 통해 채취한 용액을 ICP-AES(Jovon Yvon JY-24)로 분석하였다. 또한 고정화 효율을 측정하기 위하여 TCLP 방법을 이용하여 납 용출액을 검측하였다.

Table 2.1 Properties of Youngdong Illite

Liquid Limit(%)	Plastic Limit(%)	Plastic Index	Specific Gravity	Passing #200(%)	pH at w=500(%)	USCS
28.0	23.6	4.4	2.70	100	5.9	CL

Table 2.2 Chemical Compositions of Youngdong Illite

(unit : %)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	L.O.I
68.01	18.43	3.17	0.38	0.04	0.08	0.35	0.04	4.60	0.70	4.2

Table 2.3 Test conditions for electrokietic treatment

Code	Initial Pb conc. (mg/kg)	Duration (days)	Applied voltage (v/cm)	Enhancement method (Catholyte)
EK-T	1,000	6	2	deionized water
EKPI-1		6		0.5N phosphoric acid and 0.01N HCl
EKPI-2		6		1.0N phosphoric acid and 0.01N HCl
EKPI-3		10		2.0N phosphoric acid and 0.01N HCl
EKPI-4		10		

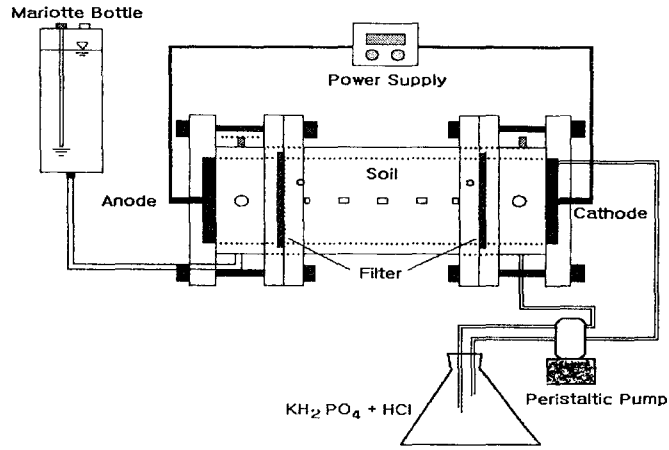


Fig. 2.1 Schematic diagram of experiment apparatus

3. 실험 결과 및 고찰

실험종료 후 pH의 변화를 살펴보면 Fig. 3.1과 같다. 비향상실험 즉 양극과 음극 전극수조에 초순수만을 채우고 기타의 용액을 첨가하지 않은 경우인 EK-T의 경우, EK 처리 시의 전기분해 반응에 의해 양극에서 산소기체와 수소이온이, 음극에서 수소기체와 수산화이온이 생성되어 각각의 극성에 따라 반대방향으로 이동하므로, 양극에서는 수소이온의 이동에 의해 pH가 낮아지고 음극에서는 증가한다. EK-T 실험에서 양극으로부터 정규화한 거리 약 0.8지점까지 초기 pH보다 저하되었는데 이는 양극으로부터 전기삼투 흐름에 의한 이류와 전기이온이동에 의하여 산전선(acid front)이 이동한 결과이며 음극근처에서의 pH 증가는 염기전선(base front)의 확산현상에 의한 결과이다. 한편, 음극부에 인산과 염산을 혼합하여 주입한 경우인 EKPI-1,2,3,4 실험에서는 음극부에서 발생하는 수산화이온을 인산과 염산용액의 수소이온에 의해 완충됨으로써 시료내의 pH는 전영역에서 저하되었으며 고농도의 인산을 첨가함에 따라 산성화가 더욱 진행된 경향을 나타내었다. 이러한 낮은 pH는 토립자에 흡착된 납의 탈착에 유리할 것으로 판단된다.

Fig. 3.2는 EK 처리동안의 전류분포를 나타낸 것이다. 기존의 제시한 연구결과에 의하면 정화 기간 중에 전류밀도가 감소하는 이유로는 우선 전극에서 발생하는 산소가스와 수소가스에

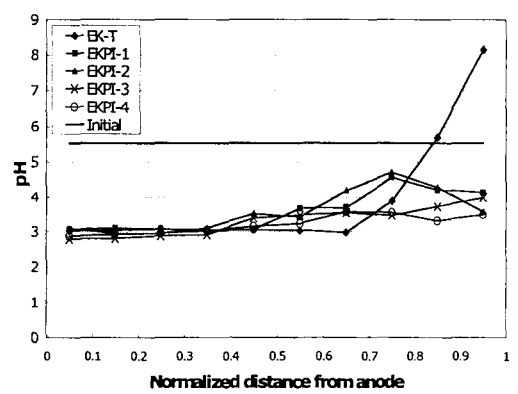


Fig. 3.1 Variation of pH in soil after EK treatment

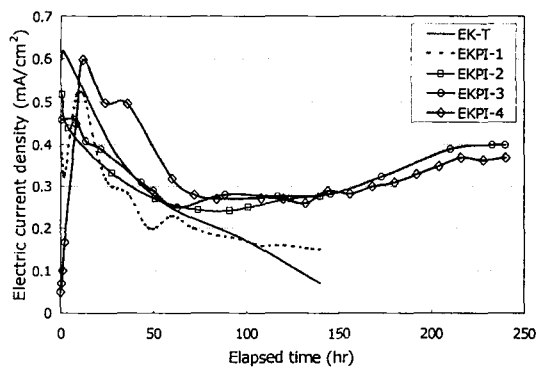


Fig. 3.2 Variation of electric current density during EK treatment

의해 전극이 쌓이게 되면 이 기포들은 전기전도도를 감소시켜 전류를 감소시키며, EK 처리 시 음극 표면에 비용해성 염이 형성되어 전기전도도를 감소시켜 전류를 감소시키고, 산전선과 염기전선이 충돌하여 중성화된다면 전류는 감소한다고 하였다. 그러나 본 연구결과에서는 EKPI-2,3,4의 경우에는 이러한 전류밀도의 감소현상이 나타나지 않고 오히려 시간경과에 따라 커지는 것을 알 수 있다..

실험종료 후 TCLP에 의해 납의 농도를 측정하여 Fig. 3.3에 나타내었다. EK-T 실험의 경우에는 음극으로 정규화한 거리 약 0.85 지점에서 납의 용출량이 초기보다 급격히 증가였으나, 항상실험의 경우 초기농도보다 감소하였으며 인의 양을 늘린 경우와 운전시간을 증대시킨 경우에 더욱 납의 용출량이 작게 나타났다. 1.0N 인산용액과 0.01N 염산을 혼합하여 주입하고 10일간 운전한 EKPI-3의 경우 약 80%의 영역에서 TCLP 기준을 만족시켰으며, 2.0N 인산용액과 0.01N 염산을 혼합하여 주입하고 10일간 운전한 EKPI-4의 경우 시료 전체에서 TCLP 기준을 만족시켰다.

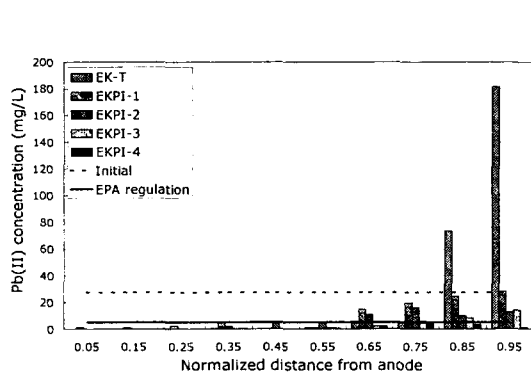


Fig. 3.3 TCLP results after EK treatment

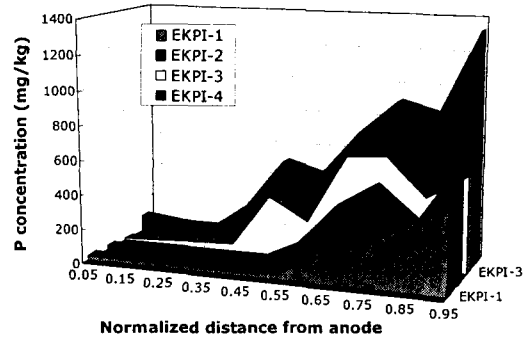


Fig. 3.4 Phosphorous concentration in soil after EK treatment

납의 고정화 특성을 규명하고자 주입된 인의 농도를 검측하여 Fig. 3.4에 제시하였다. 주입된 인의 양은 음극부에 주입한 인의 초기농도와 운전시간에 비례하여 증가함을 알 수 있었고 인의 주입량이 증대됨에 따라 납의 용출량이 감소함을 알 수 있다.

4. 결론

납으로 오염시킨 illitic 점토에 2V/cm를 적용하고 음극부에 2.0N의 인산용액과 0.01N 염산용액을 혼합하여 주입함으로써 시료전체 영역에서 TCLP 기준을 모두 만족시켜 고정화 방법이 제거가 어려운 경우에 정화대안이 될 수 있음을 제시하였다. 추후로 다양한 시료와 오염조건에 대한 추가적인 연구와 유입물질에 의한 2차오염여부에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

5. 참고문헌

1. Shapiro, A. P., and Probstein, R. F. (1993). "Removal of contaminants from saturated clay by eletro-osmosis." *Environmental Science & Technology*, Vol. 27, No. 2, 283-291.
2. Yeung, A. T., Hsu, C. H., and Menon, R. M. (1996). "EDTA-enhanced electrokinetic extraction of lead." *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 8, 666-673.