한국지하수토양환경학회 추계학술발표회
2003년 9월 26~27일 제 주 대 학 교

불포화 자연토의 포화도에 따른 동전기 정화특성에 관한 실험적 연구

김병일, 김익현, 김기년, 김수삼

한양대학교 토목환경공학과 (geokbi@ihanyang.ac.kr)

<요 약 문>

The electrokinetic remediation tests for natural soil contaminated by lead are performed on unsaturated conditions, in which the degree of saturation is controlled through the changes in water content and the constant unit weight. At the degree of saturation of 70% the small acid range and electrical potential is developed. The changes in the water content are little above the saturation of 90%. But it is increased by 1.7 times at the degree of saturation of 70%. Finally, the efficiency of extraction is improved at 70% than 100%.

key word : Natural soil, Lead, Electrokinetic remediation, Unsaturated condition

1. 서 론

EK 효율은 지반이 포화되어 있을 경우에 가장 높다. 그러나 SNL의 실험결과에 의하면 중금속의 이동에 가장 중요한 인자인 전기이온이동(이하 EM)의 속도는 완전포화 부근에서는 토양의 함수비가 감소할수록 증가하였다. 그러나 더 낮은 함수비에서는 굴곡도(Tortuosity)의 비선형효과가 지배적이고 함수비가 감소함에 따라 EM 속도는 급격히 감소하였다. 또한 UCAP(Unline Chromic Acid Pit) 토양의 EM 실험결과 함수비가 3.5%인 경우에 간극수의 연결이 감소하기 때문에 정화를 중단하였다고 보고하였다(Lindgren, 1991). 이와 같이 동전기 정화기술이 개발된 초기와는 달리 최근에는 불포화토에서도 동전기 정화 가능성이 제시되고 있다.

본 연구에서는 기존 포화토에 적용되어 왔던 EK 정화 기술을 불포화토에 적용하였을 경우 포화도에 따른 동전기 특성 등의 변화를 규명하고자 일정 단위중량 하에서 함수비 조절을 통하여 불포화 조건에서의 자연토에 대한 동전기 정화 특성 규명 실험을 실시하였다.

2. 실 험

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 1과 같고, 셀실험을 위해 No. 20번 체로 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 조건

본 연구에서는 표 2와 같이 전압경사를 1.0V/cm로 동일하게 유지하고 포화도를 달리하여 동전기 정화 실험을 실시하였다. 시험조건에서 82.8%는 시료의 최적함수비에 해당되는 포화도이다. 사용된 실험기는 그림 1과 같고, 시료의 셋팅이 완료되면 양극(+)에는 마리오 바틀이 연결되며, 양극(兩極)에 Power Supply가 연결된다.

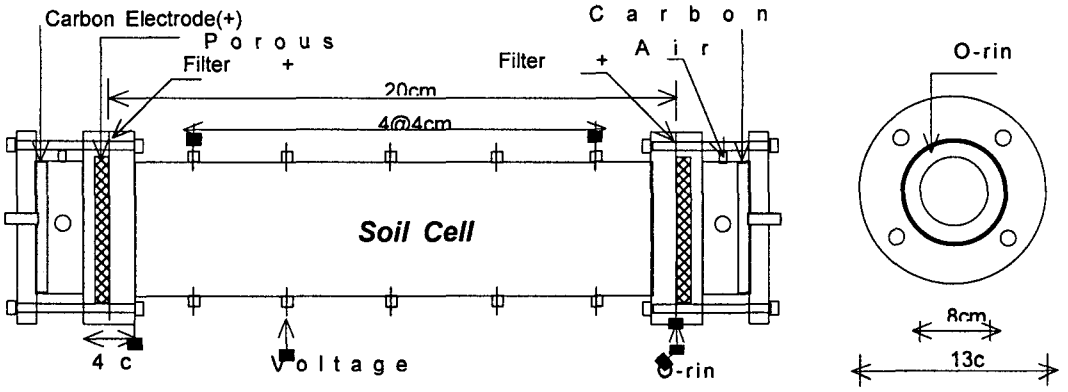

그림 1. 동전기 정화 시험 셀

표 2. 시험 조건

Fixed factors			Variable factors			
Volt.(V/cm)	Conc.(mg/kg)	Duration(days)	Degree of Saturation(%)			
1.0	64.3	20	70	82.8	90	100

3. 실험 결과 및 분석

3.1 pH 변화

불포화 자연토에서의 동전기 정화시 물의 전기분해에 의해 발생되는 H+이온과 OH-이온의 영향으로 양극(+) 저수조의 pH는 약 3정도까지 감소하였으며, 음극(-) 저수조의 pH는 약 12까지 증가하였다(그림 1). 형성된 산전선의 이동과 염기전선의 이동으로 시료 내부에서는 그림 2와 같은 pH 분포를 보였다. 그림에 제시된 바와 같이 포화도가 가장 낮은 70%에서 가장 작은 산성 영역이 발생하였다.

3.2 전압

그림 3은 시험 완료 직전 시료에서의 전압분포를 나타낸 것으로, 대체로 70%의 포화도에서 작은 전

압값을 보였다. 전체적으로 정규화거리 0.5에서 가장 급격한 전압경사를 보였고, 이로 인하여 함수비 분포는 이 지점 이상의 영역에서 더 크게 나타난 것으로 판단된다(그림 5 참조).

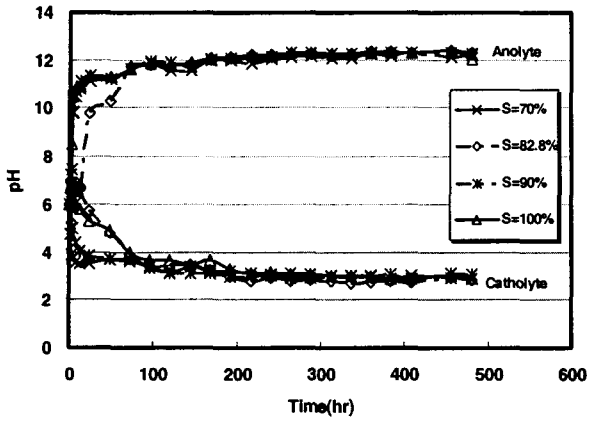

그림 2 시간에 따른 pH 변화

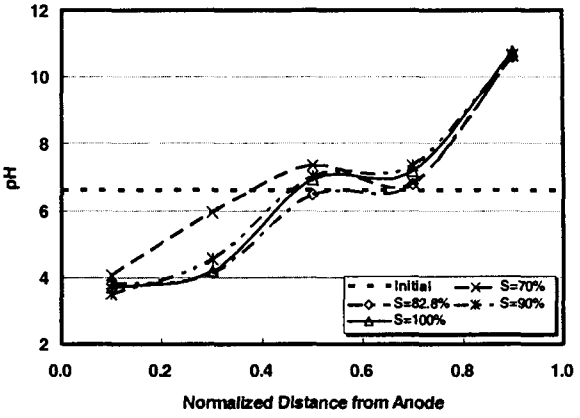

그림 3 거리에 따른 pH 분포

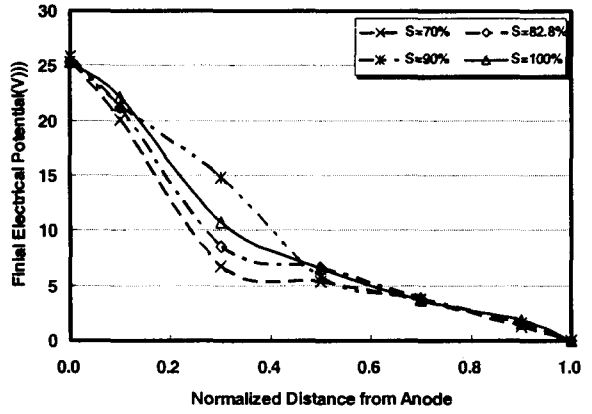

그림 4 최종 시료내 전압 분포

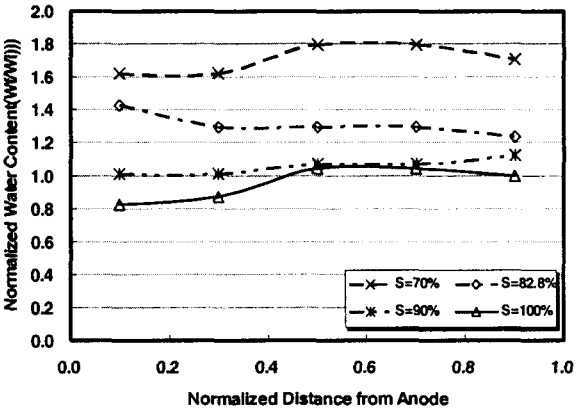

그림 5 최종 시료내 함수비 분포

3.3 함수비

불포화토의 경우 초기 성형 함수비에 따라 시료내부에서의 수분함량이 다르며, 동전기 현상에 의해 시료 내부에서의 유동이 발생할 것이다. 이에 그림 5와 같이 시험 종료 후 시료를 균등 분할하여 시료의 함수비 분포를 살펴보았다. 포화도 90% 이상일 경우 시료 내부에서의 함수비 변화는 크지 않은 것으로 판단되며, 그 이하의 포화도에서는 함수비 변화가 크게 발생하였으며, 특히 포화도 70%인 경우 초기 함수비보다 평균 1.7배정도 상승한 것으로 나타났다.

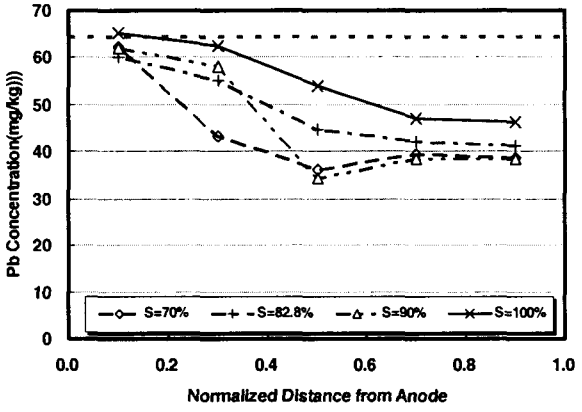

그림 6 시료내 납 농도

3.4 농도

그림 6에는 불포화토의 동전기 정화 실험후 시료 내부에 잔존하는 납 농도 분포를 제시한 것이다. 초기 납 오염농도가 64.3mg/kg인 것을 고려해 볼 때, 포화도가 가장 작은 70%에서 가장 높은 제거율을

보였다. 이와 반대로 포화도 100%인 경우 가장 낮은 납 제거율을 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 일정 단위중량 하에서 함수비 조절을 통한 불포화 조건에서의 자연토에 대한 동전기 정화 특성 규명 실험을 실시하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 포화도가 가장 낮은 70%에서 가장 작은 산성 영역이 발생하였으며, 대체로 70%의 포화도에서 다른 포화도보다 작은 전압값을 보였다.

2) 포화도 90% 이상일 경우 시료 내부에서의 함수비 변화는 크지 않은 것으로 판단되며, 그 이하의 포화도에서는 함수비 변화가 크게 발생하였으며, 특히 포화도 70%인 경우 초기 함수비보다 평균 1.7배 정도 상승한 것으로 나타났다.

3) 포화도가 가장 작은 70%에서 가장 높은 제거율을 보였으며, 포화도 100%인 경우 가장 낮은 납 제거율을 보였다.

5. 참고문헌

1. Alshawabkeh, A. N. (2001) Basic and Applications of Electrokinetic Remediation, Handouts Prepared for a Short Course, COPPE-UFRJ
2. Gray, D. H., and Mitchell, J. K. (1967). Fundamental aspects of electro-osmosis in soils. Journal of Soil Mechanics and Foundation, Vol. 93, SM 6, 209-236.
3. Lindgren, E.R., Mattson, E. D. and Kozak, M.W.(1991), Electrokinetic Remediaton of Contaminated Soils, Proceedings of the ER'91 Conference, Pasco, WA, pp. 151-158.
4. Lindgren, E.R., Kozak, M.W. and Mattson, E. D.(1994), Electrokinetic Remediaton of Unsaturated Soils, American Chemical Society Symposium Series on Emerging Technologies in Hazardous Waste Management IV, Washington DC, pp. 33-50.
5. Lindgren, E. R., Matthew G. Hankins, Mattson, E. D., Patrick M. Duda(1998), Electrokinetic Demonstration at the Unlined Chromic Acid Pit, Sandia National Laboratory
6. Looney, B. B. and Falta, R. W.(2000), Vadose zone-Science and technology solutions, Battle Press
7. Mattson, E.D., and Lindgren, E.R.(1995), Electrokinetic Extraction of Chromated from Unsaturated Soils, In Emerging Technologies in Hazardous Waste Management V, ACS Symposium Series; D.W. Tedder and F. G. Pohland(Eds.:), ACS Series 607, ACS, Washington DC.
8. Mattson, E. D., Bowman, R. S. and Lindgren, E. R.(2000), Electrokinetic Remediation Using Surfactant-Coated Ceramic Casings, ASCE, Journal of Environmental Eng., Vol. 126, No. 6.
9. Mattson, E. D., Bowman, R. S., Lindgren, E. R.(2002), Electrokinetic Ion Transport Through Unsaturated Soil. 1. Application to a Heterogeneous Field Site, Journal of Contaminant Hydrology 54, pp. 99-120