

전기삼투기법에 의한 토양내 유기오염물질의 이동 및 제거 Transport and Removal of Organic Substances in Soils by Electroosmosis

정하익¹⁾ · Gilliane C. Sills²⁾

¹⁾한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원, ²⁾영국 옥스포드대학교 지반공학그룹 교수

ABSTRACT

This paper presents the transport and removal of organic substances from the contaminated soft soils and sludges such as marine dredging waste, marine sediments, mine tailing waste, and sewage sludge by electroosmosis. A series of laboratory experiments including variable conditions such as contamination levels, solid contents, and applied voltage rates were performed with the contaminated soft clay specimen mixed with organic substance. Investigated are specimen density, dewatering rate, outflow rate, and outflow concentration. The test results showed that organic substances in the soils were removed by applied voltages. The results indicated that this process can be used efficiently to clean up the contaminated soil.

Key words : remediation, contamination, clean up, electrokinetics

I. 서론

전기삼투기술을 이용한 오염토양의 정화에 관한 연구는 Runnels과 Larson(1986)에 의하여 본격적으로 시작되었으며 토양내에서 구리 등의 오염물질을 제거하는 연구를 수행하였다. Ugaz 등(1994)과 Acar 등(1992)은 우라늄을 제거하는 시험을 실시하여 토양으로부터 방사성물질을 제거할 수 있는 가능성을 제시하였으며, Bruell 등(1992)과 Segal 등(1992)는 점토에서 BTEX 및 TCE와 같은 유기물질을 제거하는 시험을 실시하여 성공적인 결과를 얻었다. Shapiro 등(1989) 및 Shapiro 등(1993)은 페놀과 초산으로 오염된 토양에 대한 시험결과 94% 이상의 높은 제거효율을 기록하였고, Acar 등(1994)은 토양내로부터 TNT의 제거 가능성을 연구하였다. Yeung(1995)은 토양내에서 무기물질인 NaCl과 유기물질인 초산 및 페놀을 제거하는 결과를 발표하였으며, Rodsand 등(1996) 및 정하익 등(1996, 1997)은 해성점토내에서 납을 제거하는 결과를 발표하였다.

이상의 연구는 주로 토양이 어느 정도 강도를 가지고 있는 단단한 토양을 대상으로 한 것이다. 본 연구에서는 단단한 토양이 아닌 초연약의 오염된 토양을 대상으로 전기삼투 정화

시험을 실시하였다. 이는 해안준설토, 광산슬러지, 산업슬러지 등 오염된 슬러리 상태의 토양내에서 오염물질을 제거하는 것을 모사하기 위한 것이다. 전기삼투 정화시험으로는 오염농도 0, 25, 50%, 공급전압 0, 20, 30V를 조합하여 4가지 시험을 실시하였다. 시험결과를 토대로 오염물질의 이동 및 제거 특성을 살펴보았다.

II. 전기삼투시험

본 연구에서는 오염된 연약토를 대상으로 전기삼투기법을 이용하여 공시체내의 유기성 오염물질을 제거하는 시험을 실시하였다. 시험은 고형물의 함량이 중량비로 40%이고 오염농도가 중량비로 0, 25, 50%이며 공급전압이 0, 20, 30V인 조건을 조합하여 ERE1, ERE2, ERE3, ERE4의 4가지 시험을 실시하였다.

본 연구에 사용된 토양시료로는 영국산 Speswhite Kaolin으로 하였다. 시험대상 오염물질로는 에틸렌글리콜(ethyleneglycol: $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$)을 사용하였다. 전기삼투 정화시험시 사용된 세척수로는 물 속에 기포 및 이온농도가 제거된 초순수(DDW: deaired deionized water)를 사용하였다. 전기삼투 시험장치는 그림 1과 같이 크게 전기삼투셀, 전원공급장치, 유입수 공급장치, 유량측정장치로 구성되었다.

III. 시험결과 및 토론

1. 오염물질의 이동특성

본 연구에서는 특수 X-ray 장비를 이용하여 공시체의 밀도를 측정하여 이로부터 공시체내의 오염물질 이동특성을 분석하였다. 그림 2는 ERE1시험에 대한 공시체의 밀도변화이다. 그림에서 12시간까지는 공시체내의 전기삼투 작용 및 공시체 하단부의 배수에 의하여 공시체에 침하가 발생하여 공시체의 밀도가 증가함을 알 수 있다. 그림에서 24시간에 대한 공시체의 밀도곡선을 살펴보면 공시체에는 침하가 발생하였으나 오히려 공시체의 밀도는 감소하였다.

이와 같은 현상은 공시체의 침하에 의한 밀도증가 효과보다는 공시체내의 오염물질 유출로 인한 밀도감소 효과가 컸기 때문으로 보인다. 24시간 경과 후부터는 침하가 발생하지 않아 공시체의 높이에는 변화가 없으며 밀도가 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 공시체내의 오염물질인 에틸렌글리콜이 전기삼투작용에 의하여 DDW로 대치되어 제거됨으로 인하여 상대적으로 공시체의 밀도가 감소하였기 때문이다. 참고적으로 DDW의 밀도는 $0.999\text{g}/\text{cm}^3$ 이고 오염농도가 50%인 에틸렌글리콜의 밀도는 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$ 이다. 따라서 공시체내의 오염물질인 에틸렌글리콜이 DDW로 세척되어 유출되면 에틸렌글리콜과 DDW의 밀도차 만큼 공시체의 밀도변화가 발생하게 된다.

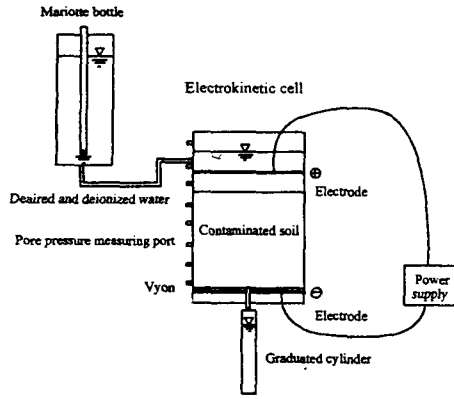


그림 1. 전기삼투시험 개요도

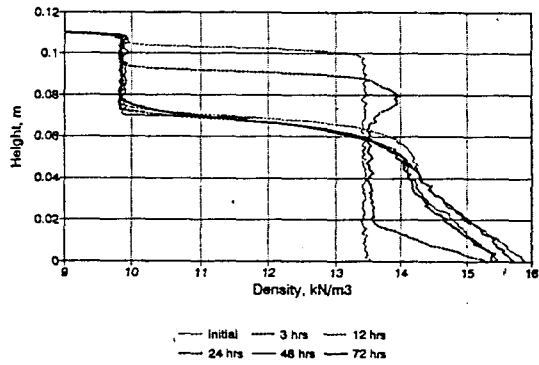


그림 2. 전기삼투에 의한 공시체의 밀도변화

2. 유출수량

전기삼투 및 배수작용에 의하여 공시체의 상단부를 통과하여 하단부로 유출되는 간극수의 유출특성을 그림 3에 도시하였다. 그림에서 모든 시험조건의 경우 시간경과에 따라 유출량이 증가하는 것으로 나타났으며 최종적으로는 어느 일정한 값으로 수렴하는 현상을 보였다. 72시간 경과후의 총유출량을 살펴보면 공급전류가 30V이고 오염되지 않은 조건인 ERE4의 경우는 약 1850ml, 공급전류가 30V이고 오염된 조건인 ERE1의 경우는 1730ml, 공급전류가 20V이고 오염된 조건인 ERE2의 경우는 810ml, 그리고 공급전류가 0V이고 오염된 조건인 ERE3의 경우는 120ml이 되었다. 본 시험결과로부터 공시체가 오염되지 않은 경우가 오염된 경우보다 유출량이 약간 증가하는 경향이 나타남을 알 수 있었다. 그리고 오염된 경우에도 공급전압이 클수록 유출량이 증가하는 경향이 나타남을 알 수 있었다. 초기 유출량의 증가비는 공급전압이 클수록 크게 나타났으며 오염된 경우보다는 오염되지 않은 경우가 크게 나타났다.

3. 유출수의 농도

전기삼투 및 배수현상에 의하여 이동, 유출되는 오염용액의 농도를 그림 4에 도시하였다. 그림에서 공급전류가 30V인 ERE1의 경우 약 10시간의 전기삼투 가동시간 후부터 오염물질이 유출되기 시작하였다. 그 이후부터 25시간까지는 급격하게 오염물질이 유출되었으며 70시간 경과 후에 95% 이상의 오염물질이 제거되었고 90시간이후부터는 오염물질이 완전히 제거되었다. 그리고 오염물질이 50% 제거되는데 소요된 시간은 전기삼투 가동 후 약 20시간 정도가 되었으며 50%에서 100%까지 제거되는 데에는 70시간이 소요되었다. 따라서 초기 50%의 제거율에 걸리는 시간이 후기 50%의 제거율에 걸리는 시간보다 짧게 소요되었다. 이는 초기 20시간까지 전체 유출량의 약 42% 정도가 배수되었기 때문으로 설명될 수 있다 하겠다.

공급전류가 20V인 ERE2의 경우에는 전기삼투 가동시간 약 35시간 이후부터 오염물질이 유출되기 시작하였다. 가동시간 35시간부터 55시간까지는 급격하게 오염물질이 유출되었으며 그 이후부터는 완만하게 제거되었다. 100시간 경과후의 오염물질 제거율은 77%를 기록하였다. 오염물질이 50% 제거되는데 소요된 시간은 전기삼투 가동 후 약 55시간이 소요되었다. 본 시험의 경우는 오염물질이 100% 제거되는 상황까지는 시험을 수행하지는 않았지만 100시간까지의 시험결과를 토대로 살펴볼 때 30V시험의 경우와 마찬가지로 초기 50%의

제거율에 걸리는 시간이 후기 50%의 제거율에 걸리는 시간보다 짧게 소요될 것으로 판단된다. 이는 전기삼투가동 초기의 유출량이 전기삼투가동 후기의 유출량보다 크기 때문이다.

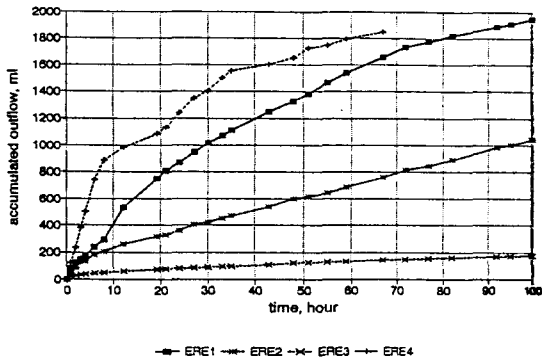


그림 3. 전기삼투에 의한 총유출량

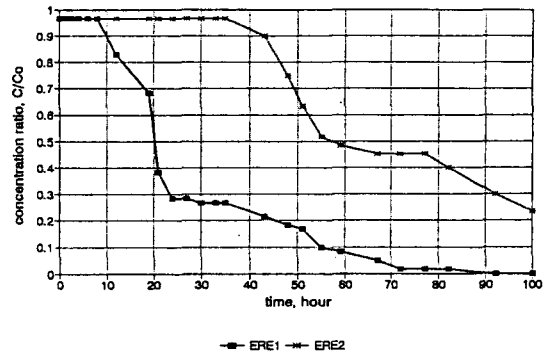


그림 4. 전기삼투정화에 의한 유출수의 농도

IV. 결론

본 연구에서는 전기삼투기술에 의하여 오염된 연약토에서 오염물질을 제거하는 방안을 강구하여 보았다. 전기삼투가동시 일정기간까지는 공시체내의 전기삼투 작용 및 공시체 하단부의 배수에 의하여 공시체에 침하가 발생하여 공시체의 밀도가 증가하였으며 그 이후부터는 오염물질의 제거로 인하여 오히려 밀도가 감소하였다. 시간경과에 따라 총유출량이 증가하는 것으로 나타났으며 최종적으로는 어느 일정한 값으로 수렴하는 현상을 보였다. 공시체가 오염되지 않은 경우가 오염된 경우보다 유출량이 약간 증가하는 경향이 나타남을 알 수 있었다. 전기삼투기법으로 인하여 연약지반내 95% 이상의 오염물질이 제거되었다.

참 고 문 헌

- 1) Jeong, H. and B. Kang (1997), Removal of lead from contaminated Korean marine clay by electrokinetic remediation technology, Geoenvironmental Engineering, pp. 423-430.
- 2) Rodsand, T., Y. B. Acar and G. Breedveld (1996), Electrokinetic extraction of lead from spiked Norwegian marine clay, Geoenvironment 2000, pp. 1518-1534.
- 3) Sapna, A. (1996), Electro-osmosis in soils, University of Oxford, Department of Engineering Science.