

## 초음파동전기세척 복합기법에 의한 오염부지 복원기술

정하익, 김상근, 송봉준, 강동우\*, 이경국\*\*

한국건설기술연구원 지반연구부, \*에코랜드(주) 기술부, \*\*대아건설(주) 플랜트부 (H)

### <요약문>

In this study, the combined electrokinetic and ultrasonic remediation technique, ultrasonically enhanced electrokinetic technique, was studied for the removal of heavy metal and organic substance in contaminated soils. The electrokinetic technique has been applied to remove mainly the heavy metal and the ultrasonic technique has been to remove mainly organic substance in contaminated soil. The laboratory soil flushing tests combined electrokinetic and ultrasonic technique were conducted using specially designed and fabricated devices to determine the effect of these both techniques. A series of laboratory experiments involving the simple, electrokinetic, ultrasonic, and electrokinetic & ultrasonic flushing test were carried out. A soil admixed with sand and kaolin was used as a test specimen, and Pb and ethylene glycol were used as contaminants of heavy metal and organic substance. An increase in out flow, permeability and contaminant removal rate was observed in electrokinetic and ultrasonic flushing tests. Some practical implications of these results are discussed in terms of technical feasibility of in situ implementation of electrokinetic ultrasonic remediation technique.

**key word** : geoenvironment, flushing, electrokinetic, ultrasonic

### 1. 서론

동전기 복원기술(Electrokinetic remediation)은 1930년대부터 토목분야에서 지반의 탈수 및 안정화에 적용되어 왔고, 1980년대 초반부터 환경분야에서 오염지반의 정화에 적용되었다. 초음파 복원기술(Ultrasonic remediation)은 1970년대부터 유전분야 및 세척분야에 활용되었으며 1980년대 후반부터는 오염지반의 정화에 이용하였다. 그러나 각각의 복원기법은 특정대상 토질(동전기 복원기술 : 점성토, 초음파 복원기술 : 사질토)에서만 복원효율이 높으므로 점성토와 사질토가 혼재되어 있는 복합지반에서는 복원효율의 저하, 비용증대가 발생하므로 두 기법을 동시에 적용할 수 있는 복원기법의 개발은 반드시 필요하다.

동전기 복원기법을 이용한 토양의 오염제거는 그림 1과 같이 전기장을 이용하여 오염물질을 제거하며 오염물질에 따라 Electroosmosis(EO)에 의한 유기물질 제거, Electromigration(EM)에 의한 중금속 및 무기물질을 제거한다. 초음파복원기술의 오염제거는 진동 및 저주파를 이용하여 오염물질을 제거하며 토양내 오염물질의 재배치 및 모음작용에 의해 제거효과를 향상시킨다.

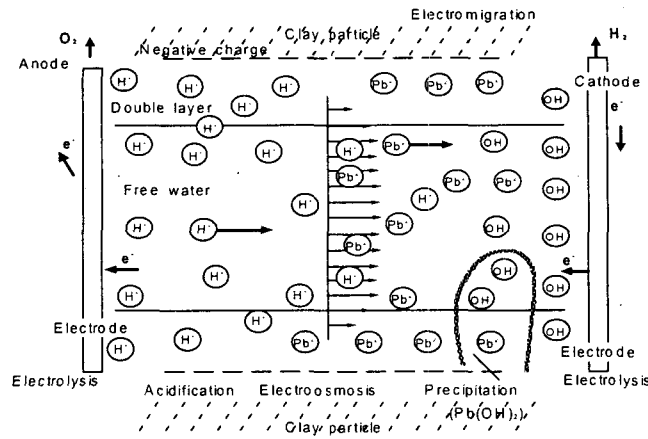


그림 1. 동전기 복원기법 원리

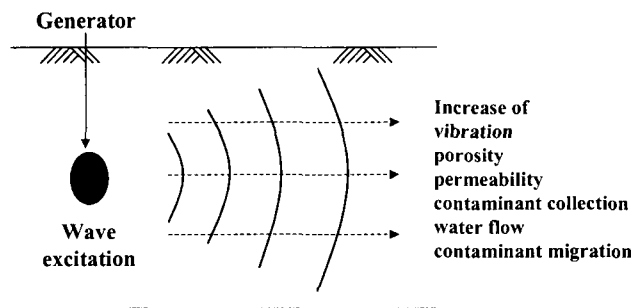


그림 2. 초음파 복원기법 원리

본 논문에서는 초음파동전기세척의 복합정화기술을 이용하여 오염지반내의 중금속 및 유기물질을 제거 하는 연구를 수행하였다. 지반내 오염물질의 이동 및 제거에 대한 동전기기술과 초음파기술의 복합 효과 결합에 초점을 두었다. 일반적으로 오염지반내에서 동전기기술은 중금속을 제거하는데 탁월하며 초음파기술은 유기물질을 제거하는데 탁월한 것을 보고되어 있는바 이들 두 기술의 장점을 이용한 복합기술을 고안하게 되었다. 본 연구를 통하여 동전기초음파정화기술을 현장에 적용할 수 있는 가시적인 결과를 얻게 되었다.

## 2. 본 론

본 연구에서는 동전기기술과 초음파기술을 결합한 실내토양세척실험을 실시하기 위하여 특수하게 실험장비를 고안하여 제작하였다. 본 실험에서는 단순, 동전기, 초음파, 동전기&초음파의 4조건에 대하여 토양세척실험을 실시하였다. 토양시료로는 모래와 카올린을 혼합한 시료를 사용하였다. 오염물질로는 중금속으로는 납, 유기물질로는 에틸렌글리콜을 사용하였다. 오염물질농도는 납과 에틸렌글리콜 각각 500mg/kg으로 하였다.

본 실험결과를 살펴보면, 유출량의 경우 단순세척기법(Simple), 동전기기법(EK), 초음파기법(Ultra), 초음파동전기기법(EK+Ultra)의 순으로 크게 나타나 초음파동전기기법의 경우가 유출량이 가장 많은 것으로 나타났다. 이는 토양내 오염물질의 세척능력으로 볼 때 가장 세척능력이 크게 됨을 유추할 수 있다. 유출수의 pH를 살펴보면 동전기의 경우 양극에서는 산성분이 우세하고 음극에서는 염기성분이 우세하나 유출수에는 이들이 모두 만나서 섞이기 때문에 pH가 거의 중성을 나타내는 것으로 분석되었다. 전

기전도도를 살펴보면 동전기실험 및 초음파동전기실험의 경우 전기전도도는 초기에는 크게 나타나나 시간이 경과함에 따라 점차적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 시간이 경과함에 따라 토양내에 저항치가 증가하기 때문이다.

오염물질인 납과 에틸렌글리콜의 제거효율을 살펴보면, 단순세척기법인 경우 가장 작게 나타났고 초음파동전기법인 경우가 가장 크게 나타났다. 동전기법과 초음파기법만을 상호비교하면 중금속이 경우는 동전기법이 제거효과가 크고 유기물질의 경우는 초음파기법이 제거효과가 큰 것으로 나타났다. 이상과 같이 4가지 조건에 대한 실험결과 동전기기술과 초음파기술을 도입한 경우 유출량, 투수계수, 오염물질 제거율이 단순기술에 비하여 상대적으로 크게 증가하는 것으로 나타났다.

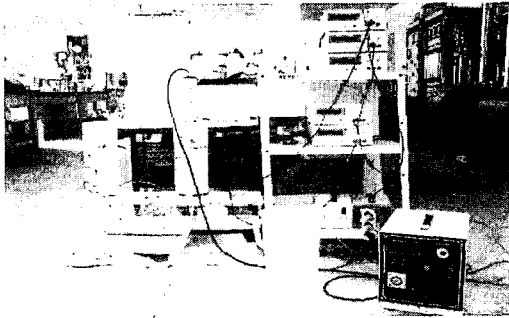


그림 3. 초음파동전기세척 실내실험 모형장치

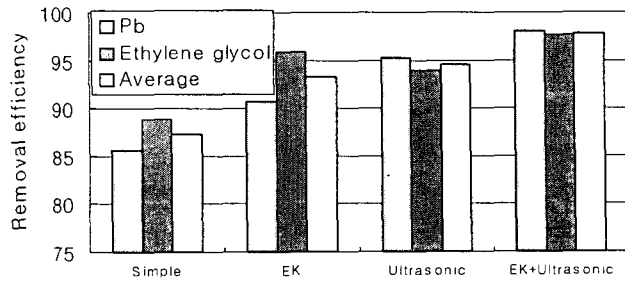


그림 4. 오염물질 제거 효과

### 3. 결론

본 연구에서는 동전기기술과 초음파 기술의 복합효과에 대하여 검증실험을 실시하였다. 실내실험결과 동전기기술과 초음파기술을 도입한 경우 유출량, 투수계수, 오염물질 제거율이 단순세척기술 및 단순동전기기술에 비하여 상대적으로 크게 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 초음파동전기세척 복합기술은 점성토 및 사질토지반이 혼합된 지반내에서 중금속 및 유기물질을 제거하는데 효과적으로 적용될 수 있는 것으로 평가되었다.

### 참고문헌

1. 정하익(1998), 지반환경공학, 도서출판 유림
2. 정하익(2003), "Removal of heavy metal and organic substance in contaminated soils by electrokinetic and ultrasonic remediation", 한국지반공학회지 제19권 제3호
3. Acar, Y. B. and A. N. Alshwabkeh(1993), "Principles of electrokinetic remediation", Environmental Science and Technology, Vol. 27, No. 13, pp. 2638~2647.
4. Kim, Young Uk(2000), Effect of sonication on removal of petroleum hydrocarbon from contaminated soils by soil flushing method, The Pennsylvania State University, The graduate School, Department of Civil and Environmental Engineering, PhD dissertation.