

전기장을 이용한 카올리나이트로부터 우라늄 제거에 대한 타당성 연구

김경희¹⁾, 김정웅²⁾

1. 서론

우라늄 광산, 제련, 원자력 발전소의 가동 등의 핵산업시설들의 발달로 인해 토양이 우라늄으로 오염될 수 있는 가능성이 제시되었다. 토양의 우라늄 오염은 직접적인 방사능 피폭 외에도 식수로 이용되는 지하수에 유입되거나 식물에 흡수되어 지역주민의 건강에 치명적인 영향을 미칠 수 있어 과거 수십년 동안 비용이 적고 효율이 좋은 각종 복원 기술들이 개발되어 왔다. 그러나 대부분의 기술들은 단지 투수성이 높은 토양에만 적용가능하다. 전기장을 이용한 토양복원기술(Electrokinetic Remediation)은 불투수성의 토양에 적용가능할 뿐만 아니라 현장에서 직접 처리할 수 있는 in-situ 기술이므로 비용이 적게 드는 장점이 있다.

전기동력을 이용한 토양 복원 기술은 지중에 직류전기를 공급하여 토양으로부터 방사성 동위원소, 중금속, 여러 가지의 유기오염물질을 추출하는 기술이다. 오염물질을 처리하는 주요 기작은 electromigration과 electroosmosis이다. electromigration은 적용된 전기장에 의해 공극수속의 이온들이 이동하는 것이다. 양이온은 음극으로 이동하고 음이온은 양극으로 이동한다. 토양속의 중금속이나 방사성 원소들은 대개 양이온으로 존재하므로 음극을 향하여 이동한다. 또다른 기작인 electroosmosis은 전기장하에서 고정된 토양에 대한 유체의 이동이다. 토양의 표면은 대개 음으로 전위되어 있으므로 유체의 이동은 양극에서 음극으로 향하고, 이 때 유체속의 오염물질들이 함께 움직인다. 토양의 Zeta Potential이 크지 않은 경우 오염물질들의 제거는 주로 electromigration에 의해 일어난다.

본 연구의 목적은 lab-scale의 electrokinetic soil processing을 이용하여 토양으로부터 우라늄 제거의 타당성을 실험하고 제거효율 및 주요영향인자들을 결정하는 것이다.

2. 실험방법

실험장치는 셀(Cell), Power Supply, 펌프, 전극, 전극조로 구성된다. Cell은 길이 20cm, 너비 20cm, 높이 10cm의 규격이며 아크릴재질로 제작되었다. 양극은 전기와 산에 의한 부식을 막기 위해 백금전극을 사용하였고 음극은 비교적 반응성이 작은 티타늄전극을 사용하였다. 셀 양단의 전극조는 70ml의 체적을 가졌고 2L의 매스실린더와 펌프를 통하여 연결되었다. 음극부에는 물의 전기분해에 의해 생산된 OH⁻를 중화시키기 위해 0.05 M의 Acetic

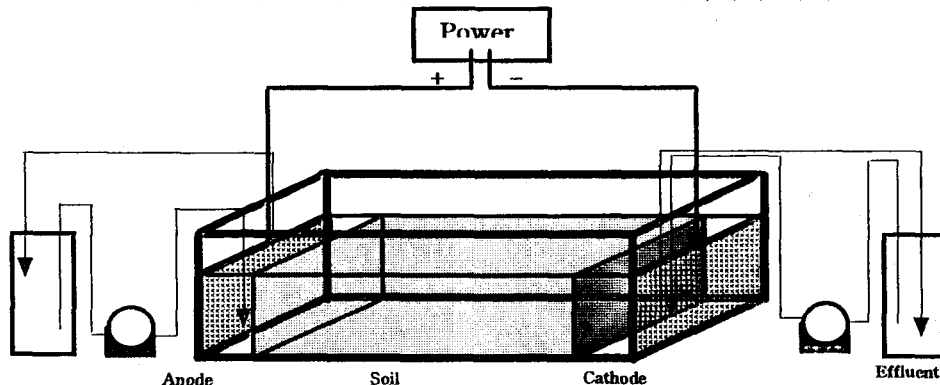


Fig. 1 Schematic diagram of the laboratory apparatus

주요어: electrokinetic remediation, electromigration, electroosmosis

1) 광주과학기술원 환경공학과(kimkh@geguri.kjist.ac.kr)

2) 광주과학기술원 환경공학과(kwkim@kjist.ac.kr)

acid를 매일 주입하였고, 양극부에는 생성된 H^+ 가 흡착된 우라늄을 탈착(desorption)시킬 수 있도록 pH를 중화시키지 않고 증류수만을 사용하였다. 전극조에 삽입된 전극을 통해 0.1A의 직류전류를 일정하게 공급하였다. 토양시료는 활성도(activity)가 작고 투수성이 낮은 카올리나이트를 사용하였고 Uranyl Nitrate Hexahydrate($UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$)를 이용하여 1000 mg/kg로 오염시켜 2주간 보관하였다. 오염된 시료의 초기 pH는 5.07이었고 100% saturated 시켜서 이용하였다.

3. 결과

토양의 최종 pH는 2 - 4의 분포를 보여준다. Fig. 2에 나타난 pH분포는 양극에 가까울수록 낮은 값을, 음극에 근접할수록 높은 값을 나타낸다. 물의 전기분해에 의해 생성된 OH^- 가 1M Acetic acid에 의해 완전히 중화되지 않았음을 보여준다. Fig. 3은 시간에 따른 Electroosmotic flow 변화이다. 114시간의 제거기간에 2020ml의 유량이 흘렀다. 산전선(acid front)이 이동함에 따라 토양의 pH가 감소하여 약 100시간후에는 flow의 역전현상이 나타났다. Fig. 4는 우라늄이온의 제거와 함께 전압이 점차 증가하고 있음을 보이며, Fig. 5는 시간별 우라늄제거효율을 보여준다. 1000 mg/kg으로 오염시킨 우라늄 이온은 114시간후 음극에 가까운 부분을 제외하고 대부분 95%이상 제거되었다. 음극부분은 pH가 높아 양극부분으로부터 이동해온 이온들이 침전된 것으로 보이며 catholyte의 pH를 좀 더 낮추고 실험기간을 연장하면 높은 제거효율을 기대할 수 있을 것이다.

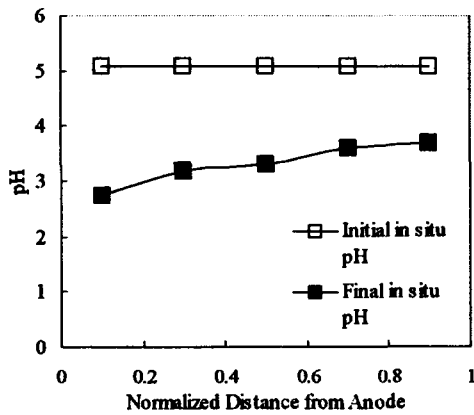


Fig. 2 Variation of pH in soil cell

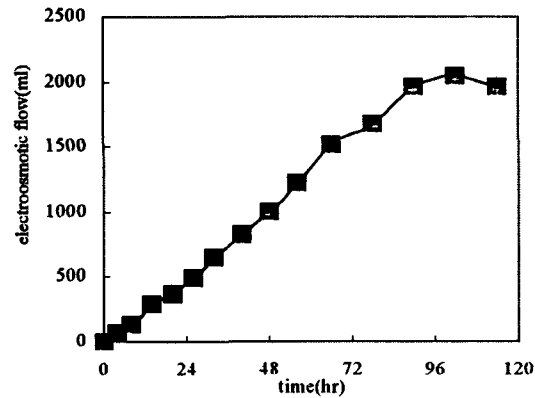


Fig. 3 Electroosmotic flow

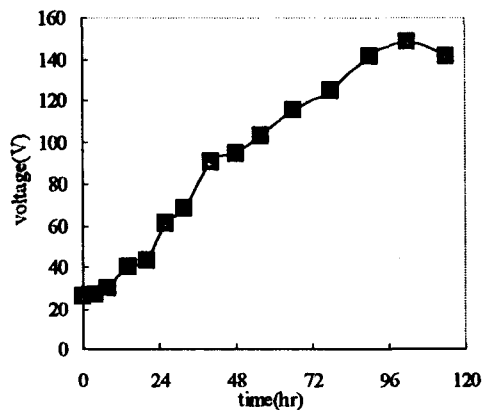


Fig. 4 Voltage profile

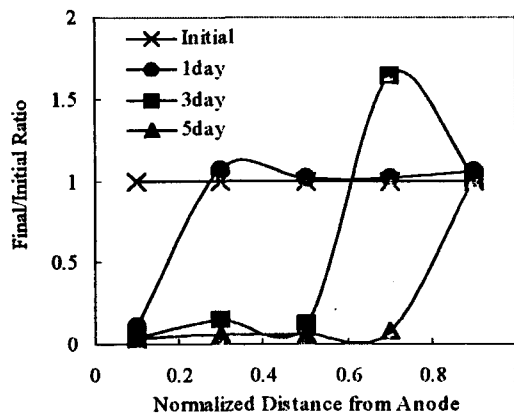


Fig. 5 Variation of amount of uranium