

2차원 토양 실험장치에서 동전기-펜턴 공정의 이해

양지원 · 박지연 · 김상준 · 이유진 · 기대정
한국과학기술원 생명화학공학과
(jwyang@kaist.ac.kr, hana@kaist.ac.kr)

요 약 문

Removal of phenanthrene by electrokinetic method combined with Fenton-like process was studied in a model system. The scale of reactor was 120 cm in length, 10 cm in width, and 50 cm in height. Sand was selected as a model soil. Bentonite was filled in the space between reservoir and contaminated soil to control the flow rate of water. When constant voltage of 100 V was applied to this system, current varied from 1000 mA to 290 mA for 28 days. pH of anode and cathode reservoirs became to 2 and 13, respectively. Removal efficiency of phenanthrene was more than 60 %.

Key words: Electrokinetic remediation, Fenton reaction, Electroosmotic flow

1. 서론

동전기 정화기술은 전기삼투(electroosmosis) 및 전기이동(electromigration)의 현상에 의해 저투수성 토양에서 물의 흐름과 오염물의 이동을 유도할 수 있기 때문에, 토양증기추출이나 양수처리와 같은 기존의 공정을 적용하기 어려운 저투수성 토양에 대하여 효과적인 오염물의 제거가 가능하다. 특히 오염지역의 특성상 굴착이나 다른 방법을 적용하기 어려운 건물이나 구조물 근처의 지역에 대해서도 원위치 토양정화기술인 동전기 기술이 적용될 수 있다.

또한 펜턴 산화공정은 물에 쉽게 용해되지 않고, 생물학적 분해가 어려우며, 토양에 강하게 흡착되는 경향을 나타내는 유류오염물을 제거하기 위해서 사용되는 고급산화공정의 하나이다. 이는 토양 내에 과산화수소를 공급할 경우, 토양 내에 존재하는 철이 촉매로 작용하여 강력한 산화제인 OH 라디칼을 생성하고, 이 라디칼이 오염물과 반응하여 오염물의 무기산화분해를 가능하게 하는 것이다. 그러나 이 공정은 모래와 같이 투수성이 높은 토양에서는 적용이 용이한 반면, 저투수성 토양에서는 적용하는데 있어서 어려움이 있다. 따라서 저투수성 토양에 대하여 유류오염물을 효과적으로 제거하기 위하여 동전기 기술과 펜턴 산화공정이 결합된 동전기-펜턴 공정을 적용할 경우, 동전기 현상에 의한 과산화수소의 원활한 이동을 통하여 토양 내에 고르게 분포함으로써 높은 제거율을 기대할 수 있는 것이다.

본 연구에서는 동전기-펜턴 공정의 현장 적용을 위한 기초 실험으로 2차원 토양 실험장치에서 여러 가지 동전기적 현상들을 관찰함으로써 이 공정의 타당성을 살펴보고자 하였다.

2. 실험재료 및 방법

실험에 사용된 토양시료는 입자 크기가 0.3-0.8 mm인 주문진 여과사이고, 벤토나이트가 전극과 오염토양 사이의 공간을 채우기 위하여 사용되었다. 오염물질은 PAH의 하나인 phenanthrene 이고, phenanthrene 오염토양은 인위적으로 약 100 mg phenanthrene/kg dry soil로 제조되었다. 전해질로 0.05 M 농도의 KH_2PO_4 가 사용되었고, 과산화수소의 농도는 3.5 %로 고정되었다.

길이 120 cm, 높이 50 cm, 너비 10 cm인 2차원 토양 실험장치의 양쪽 끝에 두 개의 음극 전극

조를 설치하고, 가운데 부분에 한 개의 양극 전극조를 설치하였다. 각 전극조의 크기는 5.5 cm * 10 cm * 50 cm이다. 양극 전극조에서 주입된 용액이 양쪽에 설치되어 있는 음극 전극조를 통하여 밖으로 배출된다. 양극에는 탄소 전극이 사용되었고, 음극에는 stainless steel 전극이 사용되었다. 전극조의 바깥 부분은 전극조 내로의 토양의 침입을 막기 위하여 fiber를 이용하여 감싸주었다. 전극과 전극 사이에 오염토양을 채우고, 토양과 전극 사이의 공간에는 오염되지 않은 벤토나이트를 물과 혼합하여 채움으로써 전극조에서 공급되는 용액 및 유출수의 유량을 조절하도록 하였다. 양극 전극조로의 물의 공급은 일정한 유량을 유도할 수 있는 정량펌프를 사용하여 공급하였다. 100 V의 정전압 조건하에서 조업되었다.

3. 결과 및 고찰

100 V의 정전압 하에서 4주간의 전류 변화를 Figure 1에 나타내었다. 초기 전류가 1000 mA에서 시간이 지남에 따라 점점 감소하여 290 mA까지 변화하였다. 이는 양극 전해조에 공급되는 전해질이 전기삼투 및 전기이동 현상에 의해 유출수를 통하여 빠져나가 토양 시스템 내의 이온 농도가 감소하고, 이로 인해 전도도가 감소하여 생기는 현상으로 생각된다. 2차원 실험장치에서는 실험실 규모의 반응기에서보다 높은 전류값을 보이고 있는데, 이는 저항이 길이에 비례하고, 단면적에 반비례한다는 특성으로부터 거리도 증가하였지만, 단면적 또한 증가하였기 때문에 나타난 현상이라고 사료된다.

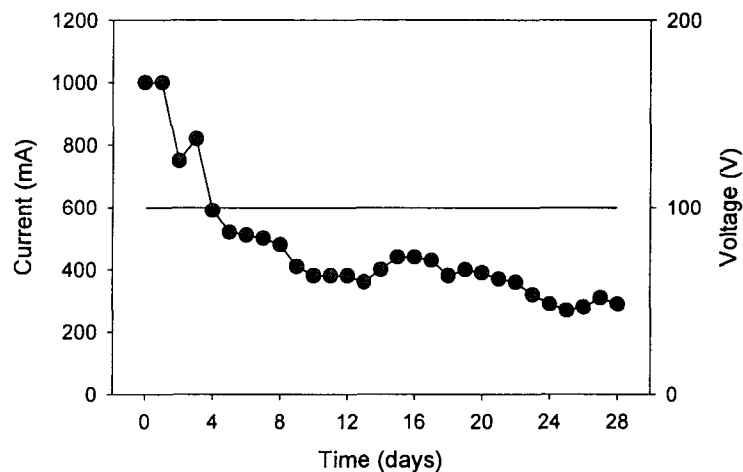


Figure 1. 전압 및 전류

Figure 2는 양극과 음극 전해조에서의 pH 변화를 나타내고 있다. 초기에 증가하거나 감소한 pH는 실험이 종료될 때까지 같은 pH를 유지하였다. 양극에서의 pH 감소는 물의 전기분해에 의한 수소 이온의 생성에 기인한 것이고, 음극에서의 pH 증가는 수산화 이온의 생성에 기인한 것이다. 일반적으로 전기삼투 현상에 의해 양극으로부터 생성된 산전선이 음극으로 이동하면서 음극 전해조의 pH가 점점 감소하는 현상을 나타내지만, 이 실험에서는 그런 현상이 나타나지 않았다. 이는 2차원 실험장치에서의 전류값이 높기 때문에 산전선의 이동보다 음극에서 물의 전기분해에 의한 수산화 이온의 생성이 우세하기 때문인 것으로 사료된다.

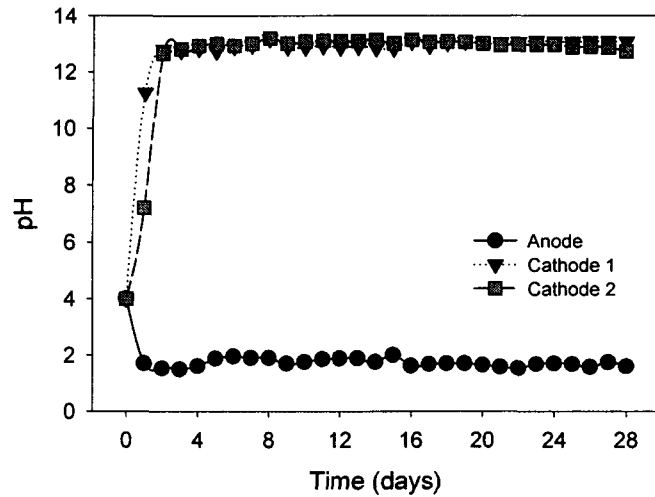


Figure 2. 전극조에서의 pH 변화

실험 종료 후 토양 내의 phenanthrene의 분포는 Figure 3과 같다. 전기삼투흐름의 방향이 양극에서 음극으로 향하고, 양극 전해조에서 과산화수소 용액이 공급되므로 양극 근처에서 오염물의 농도가 가장 낮고 음극으로 갈수록 증가하는 경향을 보이고 있다. 실험에 사용된 주문진 여과사는 투수성이 높은 토양이므로 물의 흐름이 원활하여 높은 제거율을 나타내었다.

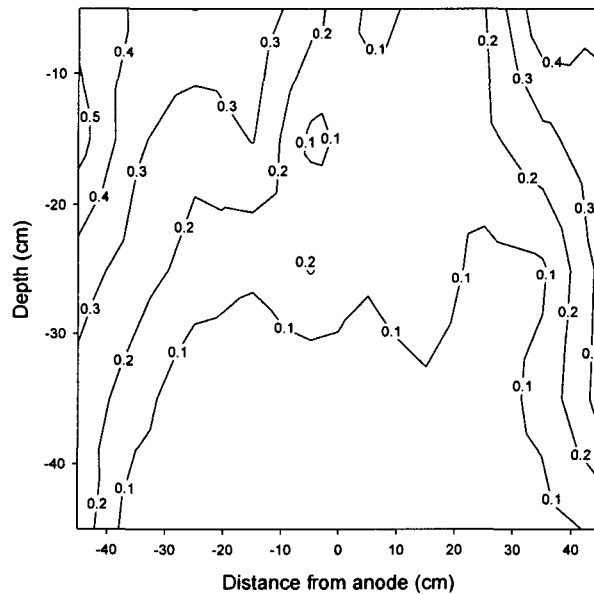


Figure 3. 토양 내 phenanthrene의 분포

4. 결론

본 연구에서는 2차원 토양 실험장치에 동전기-펜턴 공정을 적용하여 다음과 같은 동전기적 현상들을 관찰하였다.

- 1) 100 V의 정전압 조건하에서 전류는 1000 mA에서 290 mA까지 감소하였다.
- 2) 양극 전해조의 pH는 2까지 감소하였고, 음극 전해조의 pH는 13 까지 증가하여 그 값이 계속 유지되었다.
- 3) 실험 종료 후 토양 내에 남아있는 phenanthrene의 농도는 40% 이하였다.

5. 사사

본 연구는 국가지정연구실사업과 차세대 핵심환경기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

6. 참고문헌

- (1) Acar, Y. B., Alshwabkeh, A. N., "Principles of electrokinetic remediation", *Environmental Science & Technology*, 27, 2638-2647 (1993)
- (2) Kong, S.-H., Watts, R. J., Choi, J.-H., "Treatment of petroleum-contaminated soils using iron mineral catalyzed hydrogen peroxide", *Chemosphere*, 37, 1473-1482 (1998)
- (3) Yang, C. C., Liu, C. Y., "Remediation of TCE contaminated soils by in-situ EK-Fenton process", *Journal of Hazardous Materials*, B85, 317-331 (2001)