

The Behavior of Anionic Surfactant Calfax 16L-35 in Electrokinetic Remediation

양지원, 이유진, 박지연, 김상준
한국과학기술원 생명화학공학과
jiny@kaist.ac.kr

ABSTRACT

Surfactant-enhanced electrokinetic (EK) remediation is an emerging technology that can effectively remove hydrocarbons from low-permeability soils. In this study, the electrokinetic remediation using Calfax 16L-35 was conducted for the removal of phenanthrene from kaolinite. An anionic surfactant Calfax 16L-35 was used at concentrations of 5, 15, and 30g/L to enhance the solubility of phenanthrene.

When the surfactant solution was applied to EK system, low electrical potential gradient was maintained because of its ions. Even when the surfactant concentration was high, the removal efficiency of phenanthrene was low. After the operation, most of surfactants were remained in soil and there were few in effluent. This phenomena was observed because the migration of Calfax 16L-35 from cathode to anode was predominant over electroosmotic flow which moved in opposite direction.

Therefore, the anionic surfactant Calfax 16L-35 is considered to be improper in surfactant-enhanced electrokinetic remediation.

key words : electrokinetic remediation, phenanthrene, anionic surfactant

1. 서론

대표적인 소수성 유기물질 중 하나인 polycyclic aromatic hydrocarbon(PAH)는 석유나 석탄을 공정하는 공장지역 또는 유류보관소 주변에서 높은 농도로 발견되고 있다. 이들은 대부분 휘발성이 낮아 증기주입이나 진공추출 등 기체를 이용한 복원기술의 적용이 어렵고, 또 물에 대한 용해도가 낮고 토양에 대한 흡착도가 높기 때문에 토양세척(pump and treat)의 효율도 제한되어 있다.¹⁾

그래서 최근 들어 소수성 오염물질을 물 속에 효과적으로 용해시키는 방법의 하나로 계면활성제를 사용하는 방법이 많이 연구되고 있다.^{1),2)} 이 때 잔류하는 계면활성제는 2차 오염을 야기할 수 있으므로 오염물에 대한 용해도가 높으면서도 토양에의 흡착이 적고 생분해성이 뛰어난 계면활성제를 선택하는 것이 중요하다.

그러나 점토와 같은 세립질 지반에서는 투수계수가 낮아서 계면활성제 용액을 직접적으로 적용하기에는 어려움이 있다. 따라서 토양의 전기화학적 특성의 이용하여 저투수성 토양의 처리에 효율적인 *in-situ* 정화기법인 동전기 기술과 계면활성제를 함께 이용하면 소수성 유기물질로

오염된 토양의 정화 효율을 증가시킬 수 있을 것이다.²⁾

본 실험에서는 phenanthrene 오염토양의 동전기 정화 처리시, 음이온성 계면활성제인 Calfax 16L-35를 이용하여 오염물의 제거가능성 및 계면활성제의 거동에 대해 연구하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1. 실험장치

실험에 사용된 동전기적 토양정화장치는 직경 4cm, 길이 10cm의 원통관으로 phenanthrene의 흡착을 최소화하기 위해 유리재질로 제작되었다. 반응기 양끝에는 체적이 75cm³인 전극조를 부착하였고 Anode tank의 수위는 일정하게 유지하여 항상 같은 수리학적 경사에서 같은 유량이 공급되도록 하였다. 전극은 흑연판으로 하였으며, 10mA의 정전류 조건하에서 조절하였다. 전원공급기는 직류 전원공급기를 사용하였고 최대 200V까지의 전압을 공급할 수 있다.

2.2. 실험재료

토양 시료는 경남 산청에서 생산되는 kaolinite-white O이며, 시료를 분쇄하여 150 μ m이하의 입자만을 사용하였다. 오염물질은 phenanthrene으로 초기오염농도는 500~800mg/kg soil 정도로 하였다. 계면활성제는 phenanthrene에 대한 용해도가 높고 토양에의 흡착도가 낮은 것으로 알려진 alkylated diphenyloxide disulfonate 계열의 음이온성 계면활성제인 Calfax 16L-35(Pilot chemical company)³⁾를 0, 5, 15, 30g/L(active content 35%)의 농도로 anode tank로부터 공급하였다.

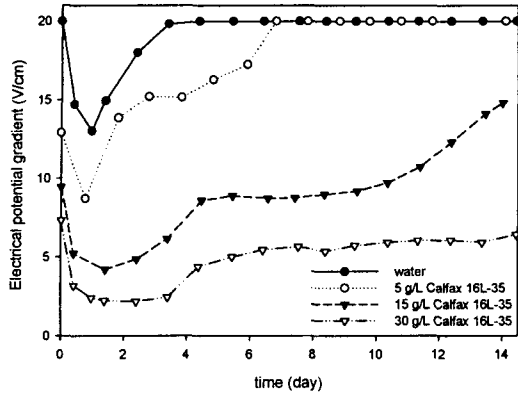
2.3. 분석방법

반응기는 2주간 운전되었으며 운전기간 동안 유출수의 양과 전압 변화를 관찰하였다. 실험 종료 후 시료를 원판 모양의 11개의 절편으로 절단하여 HPLC 분석을 통하여 남아있는 phenanthrene과 계면활성제의 양을 측정하였다. 또한 유출수 속의 계면활성제의 양도 측정하였다.

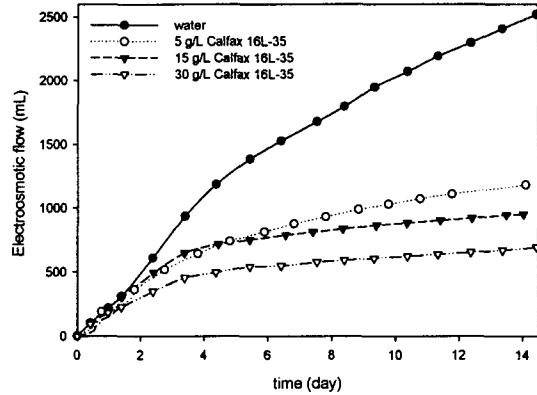
3. 결과

실험이 진행되는 동안의 평균 전기경사는 [그림 1]과 같이 나타났다. 전기경사는 운전초기에는 낮은 값을 나타내다가 시간이 경과함에 따라 토양의 저항 증가로 점차 높아졌는데, 계면활성제의 농도가 높을수록 이온성 계면활성제의 영향으로 토양 내의 전도도가 높아져 낮은 전위 경사를 유지하였다.

[그림 2]는 전기삼투 유량의 변화를 나타낸다. 계면활성제를 주입하지 않은 경우 2500mL이상의 많은 흐름이 발생한 것에 비해 계면활성제를 사용한 경우에는 농도가 높을수록 더욱 적은 양의 전기삼투 흐름이 유발되었다. 이는 계면활성제에 의한 용액 내 점도 상승과 음이온성 계면활성제의 전기이동방향이 전기삼투의 방향과 상반되어 흐름을 저해하였기 때문인 것으로 사료된다.



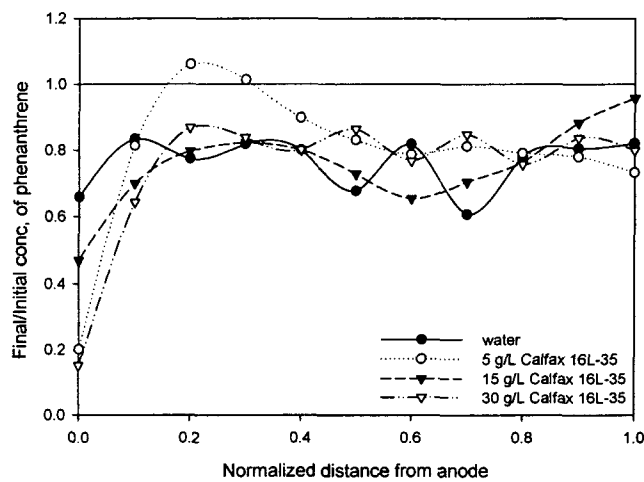
[그림 1] Electrical potential gradient



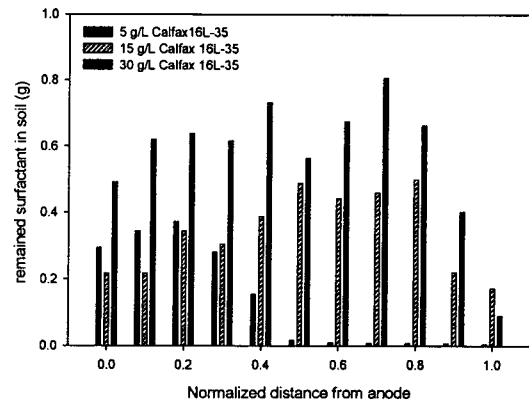
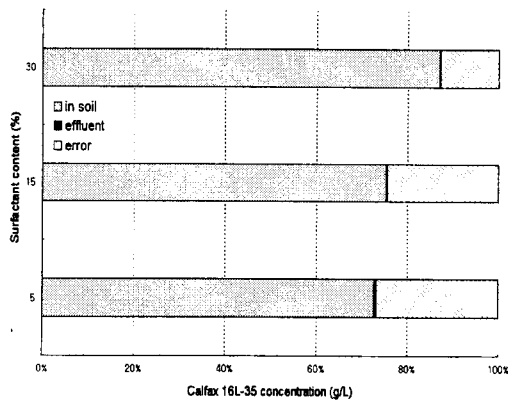
[그림 2] Electroosmotic flow

[그림 3]은 실험이 종료된 후 제거되지 않고 토양 속에 남아있는 phenanthrene의 양을 나타낸다. 전체적으로 계면활성제 용액이 공급되고 있는 양극전극조 부근만 조금 제거되거나 거의 제거되지 않고 남아있었으며 17~25% 정도의 낮은 제거효율을 보였다. 또한 계면활성제의 농도에 따른 제거효율의 변화는 관찰할 수 없었다.

따라서 동전기 정화장치 내에서의 Calfax 16L-35의 거동을 알아보기 위해 시료 내에 잔류하는 계면활성제와 유출수 속에 포함된 양으로 질량 수지를 계산하였다. [그림 4]에서 볼 수 있듯이 주입된 Calfax 16L-35 중 대부분에 해당하는 72~86% 정도가 토양 내에 잔류하고 있었다. [그림 5]는 실험 종료 후 토양 내의 Calfax 16L-35의 분포를 보여주고 있다. 저농도의 경우는 양극전극조에 가까운 곳에 주로 모여 있었고 고농도의 경우는 음극전극조에 인접한 부분을 제외하고는 전체적으로 분포되어 있었다. 유출수를 통해 빠져나온 양은 1% 미만으로 phenanthrene의 용해도를 증가시켜 제거효율을 향상시키는 작용을 하지 못하였다.



[그림 3] Removal efficiency of phenanthrene



[그림 4] Mass balance of Calfax 16L-35 [그림 5] Distribution of Calfax 16L-35 in soil

4. 결론

본 실험에서는 소수성 유기오염물인 phenanthrene으로 오염된 토양의 동전기 정화처리 시 PAH에 대해 용해도가 높고 토양에의 흡착도가 적은 것으로 알려진 음이온성 계면활성제 Calfax 16L-35를 이용하여 오염물의 제거가능성과 이 계면활성제의 거동에 대해 알아보았다. 계면활성제의 농도가 높을수록 이온에 의해 전도도가 증가하여 전압경사는 낮게 유지되었지만, 음이온성 계면활성제의 전기기동방향이 전기삼투의 방향과는 반대인 것에 기인하여 전기삼투가 적게 유발되며 phenanthrene의 제거가 효율적으로 이루어지지 않았다. 주입된 Calfax 16L-35는 대부분이 토양 속에 잔류하여 유출수 속에서는 거의 관찰되지 않았는데, 이는 음이온성 계면활성제가 전기삼투에 의해 흐르기 보다는 전기이동에 의해 양극방향으로 가려는 경향이 우세하기 때문이라고 생각된다. 따라서 계면활성제를 이용한 동전기 정화기술에서 음이온성 계면활성제인 Calfax 16L-35의 사용은 소수성 오염물의 제거효율을 향상시키기에는 부적합하다고 생각된다.

사사

본 연구는 국가지정연구실사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 염익태, Mriganka M. Ghosh, 안규홍, "계면활성제를 이용한 오염토양으로부터의 polycyclic Aromatic Hydrocarbon(PAH)의 세척", 대한환경공학회지, 19, pp.1111-1124 (1997)
- 2) Seok-Oh Ko, M. A. Schlautman, E. R. Carraway, "Cyclodextrin-Enhanced Electrokinetic Removal of Phenanthrene from a Model Clay Soil", Environ. Sci. Technol., 34(8), pp.1535-1541 (2000)
- 3) S. Deshpande, L. Wesson, D. Wade, D. A. Sabatini, J. H. Harwell, "Dowfax Surfactant Component for Enhancing Contaminant Solubilization", Wat. Res., 34(3), pp.1030-1036 (2000)