

계면활성제와 동전기 기술을 이용한 오염토양정화에서 APG 사용의 타당성에 관한 연구

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

ABSTRACT

Surfactant-enhanced electrokinetic remediation is an emerging technology that can effectively remove hydrocarbons from low-permeability soils. In this study, the electrokinetic remediation using APG(alkyl polyglucoside) was conducted for the removal of phenanthrene from kaolinite. APG, which was an environmentally compatible and non-toxic surfactant, was used at concentrations of 5, 15, and 30g/L to enhance the solubility of phenanthrene. Also an electrolyte solution was used for considering a relation between electrical potential gradient and removal efficiency of phenanthrene.

When the electrolyte solution was used, it represented low electrical potential gradient, but the removal efficiency was lower than that of no electrolyte system.

Removal efficiency of phenanthrene in EK process using surfactant solution depended on concentration of surfactant. Because surfactant increased the solubility and the mobility of phenanthrene, when surfactant concentration was high, high removal efficiency was observed.

key words : electrokinetics, surfactant

1. 서론

토양 및 지하수 내에 존재하는 소수성 유기오염물은 대부분 물에 대한 용해도가 낮고 토양에 대한 흡착도가 높기 때문에 작은 유출에도 장기간 넓은 범위의 토양과 지하수를 오염시킨다. 대표적인 소수성 유기물질 중 하나인 polycyclic aromatic hydrocarbon(PAH)는 대부분 휘발성이 낮아 증기주입이나 진공추출 등 기체를 이용한 복원기술의 적용이 어렵고, 또 물에 녹지 않아 지하수를 이용한 토양세척(pump and treat)의 효율도 제한되어 있다.¹⁾

그래서 최근 들어 소수성 오염물질을 물 속에 효과적으로 용해시키는 방법의 하나로 계면활성제의 사용이 제기되어 왔다. 계면활성제는 한 분자 내에 친수성기와 소수성기를 함께 가진 물질로서, micelle의 유화작용에 의해 토양입자에 흡착되어 있는 유기물의 표면장력을 감소시켜 토양으로부터 분리시키고, 용해도를 증가시켜 오염물의 제거효율을 증가시킨다.²⁾ 이 경우 제거되지 않고 토양 내에 잔존하는 계면활성제가 2차 오염의 가능성을 내포하고 있기 때문에 토양에의 흡착이 적고 생분해성이 뛰어난 계면활성제의 선택 또한 중요하다.

그러나 세립토와 같은 저투수성 토양에서는 계면활성제를 끌고루 분포시키기 어려워 높은 제거효율을 기대할 수 없기 때문에, 이를 해결하기 위한 방법으로 저투수성 토양 내에서 일정한 유속을 형성시킬 수 있는 동전기 기술이 적용될 수 있다. 이 기술은 토양 내에 전극을 설치하고 전류를 흐르게 하여 전기적, 화학적, 수력학적 전도현상을 유발시킴으로써 토양 내의 공극수가 이동하면

서 오염물을 제거하는 방법으로, 공급된 전기장에 의한 이온이동과 전기삼투의 복합효과에 의하여 토양 및 지하수로부터 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있다.²⁾

따라서 동전기 기술과 계면활성제를 함께 이용하면 소수성 유기물질로 오염된 토양의 정화 효율을 증가시킬 수 있을 것이다. 본 실험에서는 대표적인 PAH 중 하나인 phenanthrene 오염토양의 동전기 정화 처리 시, 환경친화적인 계면활성제로 알려진 APG(alkyl polyglucoside)를 이용하여 오염물의 거동 및 제거가능성을 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 유입수 및 유출수의 유동을 위한 공간과 밸브구멍 그리고 가스의 방출을 위한 밸브구멍을 설치하였다. Anode tank의 수위는 일정하게 유지하여 항상 같은 수리학적 경사에서 같은 유량이 공급되도록 하였다. 전극은 흑연판으로 하였으며, 10mA의 정전류 조건하에서 조업하였다. 전원공급기는 직류 전원공급기를 사용하였고 최대 200V까지의 전압을 공급할 수 있다.

2.2. 실험재료

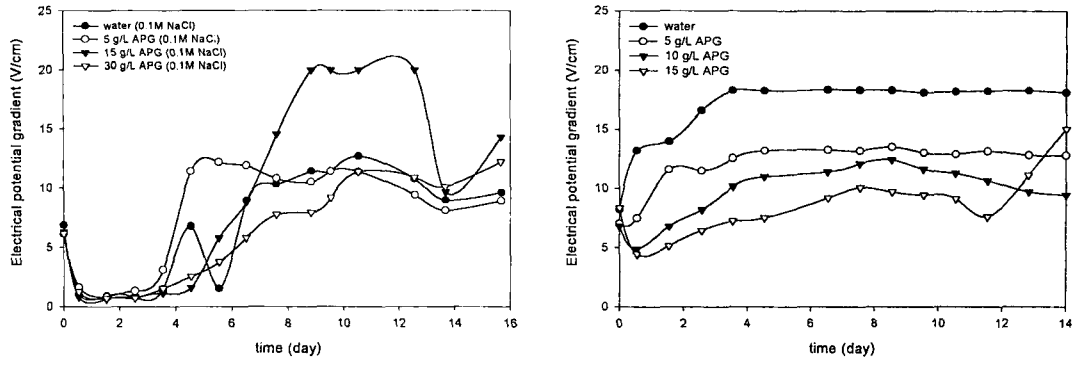
토양 시료는 경남 산청에서 생산되는 kaolinite-white O이며, 균일성과 등방성을 유지하기 위해 시료를 분쇄하여 150 μ m이하의 입자만을 사용하였다. 오염물질은 phenanthrene으로 초기오염농도는 400~700mg/kg soil 정도로 하였다. 계면활성제는 비이온성 계면활성제인 APG를 0, 5, 15, 30g/L의 농도로 anode tank로부터 공급하였다. 전해질로는 0.1M NaCl 용액이 이용되었다.

2.3. 분석방법

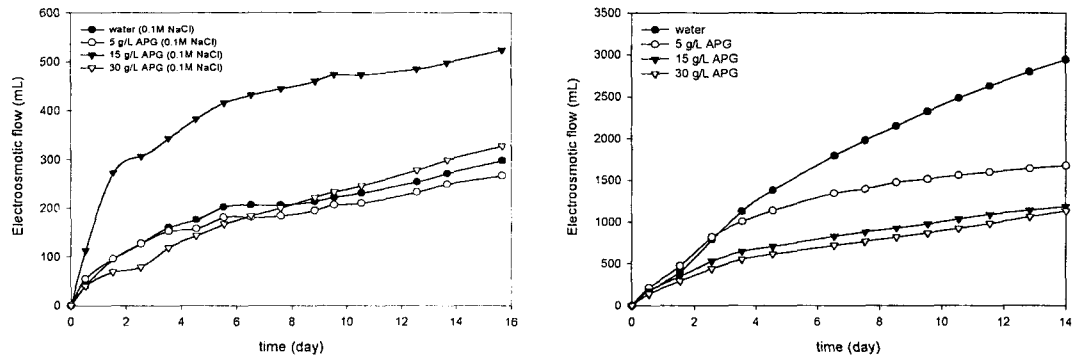
반응기는 2주간 운전되었으며 운전기간 동안 유출수의 양, 전압 그리고 cathode에서의 pH 변화를 측정하였다. 실험 종료 후 시료를 원판 모양의 11개의 절편으로 절단하여 토양시료의 함수율과 HPLC 분석을 통하여 남아있는 phenanthrene의 양을 측정하였다.

3. 결과

실험이 진행되는 동안 평균전기경사와 전기삼투에 의한 유량은 각각 [그림 2], [그림 3]과 같이 나타났다. 전기경사는 전해질을 사용한 경우 더 낮게 나타났는데, 이는 전해질 내의 이온 증가에 의해 전도도가 증가했기 때문이라 사료된다. 그리고 전기삼투유량은 전해질을 사용한 것이 사용하지 않은 것에 비해 매우 작게 나타났는데, 이는 전해질의 농도가 높을수록 토양표면의 zeta potential이 감소하고, 이에 비례하여 전기삼투현상도 감소하기 때문이다. 또한 APG의 농도가 높을수록 전기삼투유량이 감소하는 경향을 보이는데, 이것은 APG의 농도가 증가할수록 용액의 점도가 증가하여 흐름이 감소하기 때문인 것으로 보여 진다.

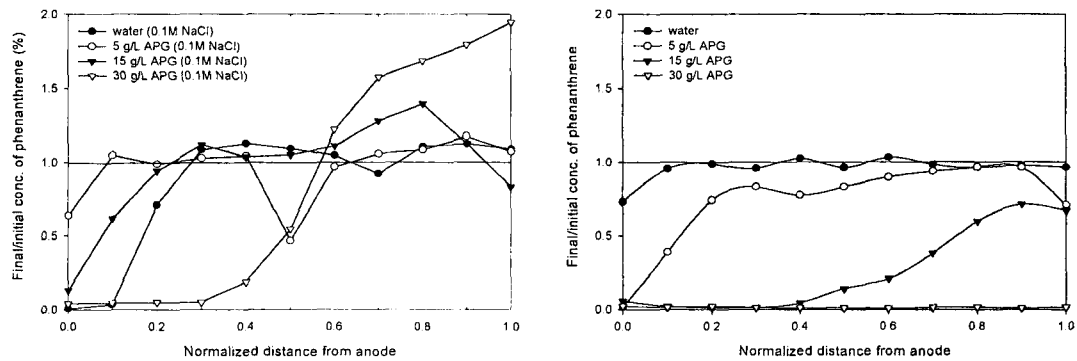


[그림 2] Electrical potential gradient



[그림 3] Electroosmotic flow

[그림 4]은 농도에 따른 phenanthrene의 제거효율을 나타낸다. 전해질을 사용한 경우는 전기삼투 유량이 2주 동안 500mL 이하로 매우 적어서 세척효과가 거의 이루어지지 않았기 때문에 phenanthrene의 제거가 거의 이루어지지 않았다. 그러나 전해질을 사용하지 않은 실험의 경우에는 전기삼투에 의한 유량이 2주 동안 1000mL 이상으로 충분히 발생하여 APG의 농도에 따른 제거효율의 상관관계를 뚜렷이 살펴볼 수 있었는데, APG의 농도가 5, 15, 30g/L로 증가할수록 제거효율은 22.94 %, 74.97 %, 98.65 %로 증가하였다. 이는 APG에 의해 phenanthrene의 용해도와 유동성이 증가하였기 때문인 것으로 생각된다.



[그림 4] Removal efficiency of phenanthrene

4. 결론

본 실험에서는 소수성 유기오염물인 phenanthrene의 동전기 정화 처리 시 비이온성 계면활성제인 APG를 이용하여 phenanthrene의 제거가능성을 알아보았다. 또한 반응기 운전 시 전력량의 감소를 위하여 전해질을 사용한 경우와 그렇지 않은 경우도 함께 비교하였다. 전해질을 사용한 경우 그렇지 않은 경우보다 운전초기에 낮은 전위경사가 유지되었지만, 이온에 의해 토양 표면의 zeta potential이 감소함으로써 전기삼투유량 또한 감소하여 제거효율이 낮아지는 결과를 얻었다. 그리고 APG의 농도가 증가할수록 전기삼투유량이 감소함에도 불구하고 제거효율은 증가하는 것을 관찰할 수 있었는데, 이는 충분한 전기삼투유량이 있을 때는 흐름에 의한 세척효과보다는 계면활성제에 의한 용해도와 유동성 증가에 의한 제거가 더 효과적이기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 계면활성제와 동전기 기술을 이용한 토양정화 기술의 적용에 적절한 농도의 APG를 이용하여 소수성 유기물질의 제거효율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 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) 박지연, 이현호, 조현정, 양지원, “동전기 기술과 계면활성제를 이용한 clay에서의 phenantherene 제거”, 한국지하수토양환경학회, 2000년 추계학술발표회, pp. 121-124 (2000)