

## 동전기 기술과 계면활성제를 이용한 clay에서의 phenanthrene 제거

박지연 · 이현호 · 조현정 · 양지원

한국과학기술원 화학공학과

### ABSTRACT

*In-situ* soil remediation using electrokinetics has been investigated and the attempts for the removal of hydrocarbons have been continued. In this study, the electrokinetic remediation using three different kinds of surfactants was conducted for the removal of phenanthrene from clay. The used surfactants were APG, Brij30 and SDS. In the solubility test for phenanthrene, the experimental result was  $APG < SDS < Brij30$ . Among these surfactants, APG was famous for environmentally compatible and less-toxic surfactant. In the case of electrokinetic remediation, APG showed a high removal efficiency. Also a acetate buffer solution was used for considering a relation between the effect of electrolyte pH and removal efficiency of phenanthrene. When the buffer solution was used, it represented low electrical potential gradient and the operation can be continued for a long time. But the removal efficiency was lower than that of no buffer system.

**key words** : electrokinetics, surfactant, electroosmosis

### I. 서론

토양 및 지하수 내에 존재하는 소수성 유기오염물은 대부분 낮은 용해도, 토양입자 표면과의 높은 친화력, 그리고 느린 탈착율을 보인다. 그래서 이러한 소수성 유기오염물을 제거하기 위하여 일반적으로 pump-and-treat 기술이 많이 이용되고 있지만, 그 효과는 크지 않은 실정이다. 그래서, 최근에는 친수성과 소수성의 성질을 동시에 가진 계면활성제를 이용해서 유기오염물의 용해도를 증가시켜 제거효율을 향상시키는 방법이 많이 연구되어지고 있다. 즉, 지표면 밑으로 투입된 계면활성제에 의하여 토양에서 유기 오염물을 탈착시켜 제거하는 원리를 이용하는 것이다.<sup>1)</sup>

그러나 clay와 같이 저투수성의 토양에서 *in-situ* 방법으로 오염물을 제거하기 위한 방법은 거의 없거나 그 제거효율이 매우 낮은 실정이어서, 토양 속에서 세척제의 유속을 일정하게 유지시키기 위한 보다 효율적이고 경제적인 토양 정화기술을 필요로 하게 되었다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 *in-situ* 정화기술로서 동전기적 토양 정화기술을 꼽을 수 있다.<sup>2)</sup> 이는 토양 속에 심어놓은 전극판에 균일하게 공급되는 낮은 직류 전류나 전압에 의하여 토양 속의 공극수가 이동하면서 토양 내의 오염물을 전기적, 화학적, 수력학적 현상에 의하여 제거하는 원리이다. 토양의 양쪽 끝에 일정한 전류와 수력학적 경사를 걸어주게 되면, 초기에는 전기경사가 선형으로 분포하다가 시간이 지남에 따라 토양 내의 화학적 성질이 변

하게 되어 지수적인 전기경사가 공극주변에 집중하게 된다. 특히 anode에서는 전기분해에 의하여 생성된 수소이온이 cathode로 향하면서 산전선(acid front)을 형성하고, cathode에서는 수산화이온이 anode로 향하면서 염기전선(base front)을 형성한다. 이 산전선은 토양내에 형성된 전기적, 화학적, 수력학적 경사에 의하여 cathode 쪽으로 시간에 따라 이동하게 된다. 이러한 산전선은 토양의 pH를 변화시키면서, cathode에서 생성되어 anode로 향하는 염기전선을 중화시키게 된다.<sup>3),4)</sup>

본 실험에서는 토양 내의 pH 변화가 오염물의 제거효율에 미치는 영향을 고려하기 위해서, 일부 반응기에서는 buffer solution을 이용하여 pH의 변화량을 최소화 시켰으며, 동전기 기술과 계면활성제를 이용하여 소수성 유기오염물의 하나인 phenanthrene의 제거 가능성에 대한 실험이 진행되었다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험장치

실험에 사용된 동전기적 토양 정화장치는 fig.1에서 보는 바와 같이 구성되었다. 반응기는 직경 4cm, 길이 10cm의 원통관으로 phenanthrene의 반응기 내에서의 흡착에 의한 손실을 막기 위해서 유리 재질로 제작되었다. 10mA의 정전류 조건하에서 조립되었으며, 반응기 양단에 전극조를 부착하여 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 직류의 전원공급기를 사용하였다.

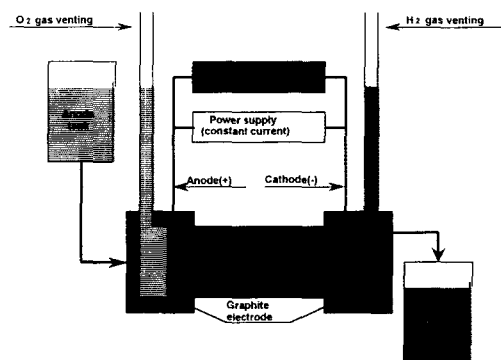


Fig. 1 Schematic diagram of electrokinetic reactor

### 2. 실험재료

토양 시료는 경남 산청에서 생산되는 kaolinite-white O이며, 시료를 분쇄하여 150 $\mu$ m 이하의 입자를 사용하였다. 오염물질은 phenanthrene으로 초기 토양오염 농도를 20ppm으로 하였다. Anode tank에 공급되는 계면활성제로는 비이온성 계면활성제인 APG와 Brij30 그리고 음이온성 계면활성제인 SDS가 사용되었다.

### 3. 분석방법

실험중에는 유출수의 양 및 전압 그리고 양쪽 극에서의 pH 변화를 측정하였다. 실험 종료 후 시료를 원판 모양의 10개의 절편으로 절단하여 토양시료의 함수율, pH 그리고 HPLC 분석을 통하여 남아있는 phenanthrene의 양을 측정하였다. 각각의 계면활성제 용액은 5g/l의 농도로, pH 4의 조건으로 조업되었다. 6개의 반응기 중 3개의 반응기는 acetate buffer를 사용하여 pH 4로 조절되었고, 나머지는 acetic acid를 이용하여 조절되었다.

### III. 결과

Fig.2와 fig.3는 각각 시간에 따른 평균전기경사와 전기삼투흐름에 의한 유량을 나타낸다. 전기경사는 buffer solution을 사용하였을 경우 더 낮게 나타났는데, 이는 buffer에 의하여 수소이온이 토양 내로 다량 유입되어 수소이온의 anode에서 cathode로의 이동이 원활히 진행되어 저항값이 크게 증가하지 않았기 때문이라고 생각된다. 또한 각 계면활성제 별 전기경사는 Brij30가 APG나 SDS보다 크게 나타났는데, 이는 clay 토양 조건의 정전류 하에서의 각 계면활성제의 거동으로 보여진다. 전기삼투흐름에 의한 유량은 buffer solution이 사용되었을 때 더 낮은 유량을 나타냈는데 이는 수소 이온의 다량 유입으로 인한 토양내 zeta potential의 감소로 인한 전기삼투의 감소 때문인 것으로 보여진다. 계면활성제 별 경향은 Brij30가 다른 계면활성제의 경우보다 전기삼투에 의한 유량이 월등히 낮게 나타난다.

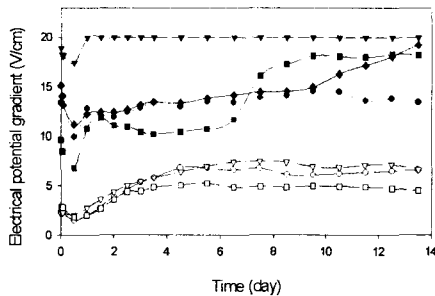


Fig 2. Electrical potential gradient

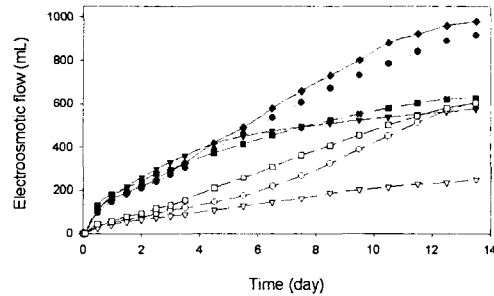


Fig 3. Electroosmotic flow

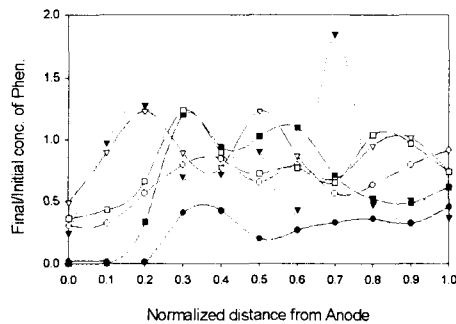


Fig 4. Phenanthrene removal efficiency

- ◆ Water (pH4)
- 5g/l APG (pH4, water)
- ▼ 5g/l Brij30 (pH4, water)
- 5g/l SDS (pH4, water)
- 5g/l APG (pH4, acetate buffer)
- ▽ 5g/l Brij30 (pH4, acetate buffer)
- 5g/l SDS (pH4, acetate buffer)

Fig.4는 계면활성제에 따른 phenanthrene의 제거효율을 나타낸다. Buffer가 사용되지 않았을 경우 높은 제거효율을 보이는데 이는 buffer를 사용하지 않았을 경우 전기삼투흐름에 의한 유량이 더 많음으로 인해 세척효과를 증가시켰기 때문이라고 사료된다. 각 계면활성제 별로 APG>SDS>Brij30의 순으로 나타났는데, 기존의 연구에서 Brij30의 추출효율이 월등히 뛰어나다는 결과와 비교하면 동전기 기술이 적용되었을 경우 다른 양상을 보임을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 실험에서는 계면활성제를 이용한 소수성 유기오염물의 정화에 일정 유속을 형성시키기 위해서 동전기 기술을 적용함으로써 이러한 방법에 의한 소수성 유기오염물의 하나인 phenanthrene의 제거 가능성을 살펴보았다. 또한 토양 내의 pH가 오염물의 제거효율에 미치는 영향을 고려하기 위하여 buffer solution을 사용한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하였다. Buffer solution을 사용하였을 경우 보다 안정적인 전기경사 즉, 낮은 저항값을 유지함으로써 보다 오랜 시간 조업할 경우 수월하게 진행시킬 수 있다는 장점이 있는 반면, 수소이온의 토양 내로의 다량 유입으로 인한 zeta potential 감소에 의한 전기삼투유량의 감소로 제거효율 또한 낮아진다는 단점도 가지고 있다.

각 계면활성제 별 제거효율을 보면 APG<SDS<Brij30의 순으로 나타난다. APG의 경우 환경친화적이고 독성도 거의 없는 것으로 알려져 있기 때문에 관심의 대상이 되고 있는 계면활성제로, 계면활성제와 동전기 기술을 이용한 토양정화 기술의 적용에 적합한 계면활성제로 간주될 수 있겠다.

#### 사사

이 연구는 한국과학재단 국제협력 지원사업 연구비에 의하여 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- 1) 고석오, "소수성 유기오염물의 미셀분배계수 결정", 대한환경공학회지, 21, pp. 1537-1545 (1999)
- 2) Reinout Lageman, "Electroreclamation", Environ. Sci. Technol. 27, pp. 2648-2650 (1993)
- 3) Jihad Hamed, yalcin B. Acar and Robert J. Gale, "J. of Geotechnical Eng.", 117, (1991)
- 4) 이현호, 백기태, 양지원, "동전기 정화기술을 이용한 kaolinite-white O에서의 납 제거", 대한환경공학회지, 9, pp. 1751-1760 (1999)