

계면활성제를 이용한 향상된 EK 정화 시 PAH의 제거

김강호*, 한상재**, 김수삼***

* 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 석사과정(*poositive@hanmail.net*)

** 중앙대학교 미래신기술연구소 연구원(*herp@orgio.net*)

*** 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 교수(*kimss@cau.ac.kr*)

요 약 문

This paper presented to phenanthrene removal of electrokinetic(EK) remediation and enhanced EK remediation with bench scale test. The experiments were carried out on mixture soil with phenanthrene as the test compound. The EK remediation experiments were conducted under controlled voltage. Surfactant solution was constantly supplied at the anode reservoir with constant concentration. Results showed that phenanthrene was removed little in EK remediation. Surfactant helped phenanthrene moving and cumulated in cathode region. Moving effect was increased with surfactant concentration.

key word : phenanthrene, electrokinetic remediation, surfactant

1. 서론

Phenanthrene은 대표적인 소수성 유기 화합물 중 하나인 다환방향족 탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbon : PAH)로 2개 이상의 벤젠고리를 가지고, 지반 내의 유입은 운송 중 발생하는 기름 유출이나 저장탱크(지하 및 지상)에서의 유출(spill)과 누출(leak) 등이 원인이다(Chang et al., 2000). 따라서, 석유나 석탄을 공정하는 공장지역 또는 기타 유류보관소, 원목 저장소 주변에서 높은 농도로 분포하고 있다(염익태 등., 1997).

PAH와 같은 탄화수소(hydrocarbon) 화합물은 물에 대한 용해도가 낮고 토립자와 잘 흡착되기 때문에 작은 유출에서도 장기간 넓은 범위의 지반과 지하수를 오염시킨다(Harwell et al., 1999). 특히, 저 투수성 세립질 지반이 PAH로 오염된 경우 기존의 원위치 지반 정화 기법이 비효율적이다.

따라서, 본 논문에서는 세립질 지반에서의 유일한 원위치 정화 기법인 electrokinetic(이하 EK) 정화 처리 시 PAH의 거동과 계면활성제를 이용한 향상기법에서의 거동을 연구하기 위해 phenanthrene으로 오염된 세립질 지반을 실내에서 인위적으로 재현한 bench 스케일 실험을 실시하였다.

2. 실험

본 논문에서 사용한 시료는 공장제품인 플로리다산 EPK 카울린과 국내 건축자재용 모래를 구입하여 사용하였고, ASTM D 422 기준에서 세립질 지반으로 분류하고 있는 세립분 30%이상의 지반을 실내에서 재현하기 위해 상업용 EPK 카울린과 건축 자재용 모래를 중량비로 3:7로

혼합한 흙을 사용하여 실험하였다. 각 시료의 기본 물성치는 <표 1>에 제시되어 있는 것과 같다.

<표 1> Soil properties in this test

Sand					EPK Kaoline					
Coefficient of uniformity C_u	Coefficient of curvature C_g	Effective grain size D_{10}	Specific gravity	pH at w=500%	Liquid limit(%)	Plastic limit(%)	Specific gravity	Plastic index	Specific surface area(m^2/g)	pH at w=500%
2.80	0.91	0.10	2.56	7.65	54.5	30.9	2.65	22.6	24.25	4.84

계면활성제는 자체의 높은 용해도와 대상 유기오염물질의 용해도 향상에 효과가 있는 비이온성 계면활성제 중 Triton X-100을 사용하였다. 본 논문에서 사용한 phenanthrene와 Triton X-100은 순도 99.5, 97%로 Aldrich chemical company, Inc에서 구입하였다.

초기 phenanthrene의 오염 농도는 일반적인 MGP(manufactured gas plant) 부지와 유류오염지역에서 오염 분포의 평균치인 약 100mg이하로 오염시켰고, 균질한 시료 조성과 액성함계 21.5% 근처의 일정한 함수비로 맞추기 위해 <그림 1>과 같은 예압밀 장치를 이용하여 압밀시켜 시료를 조성하였다.

EK 정화 처리에서의 phenanthrene의 거동과 향상기법으로 계면활성제를 이용할 때의 거동을 연구하기 위해 비향상된 EK 정화처리와 계면활성제를 이용한 향상된 EK 정화 처리 실험을 실시하였고, 향상된 EK 정화 처리에서 계면활성제의 농도에 관한 이동효과를 연구하기 위해 농도에 따른 EK 정화 실험을 실시하였다.

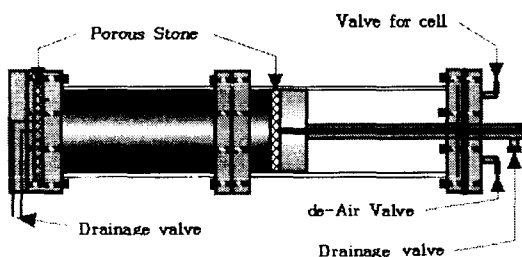
EK 정화 실험에서는 각 조건별로 실험 중 유출수의 양과 pH 등을 측정하였고, 실험이 끝난 후 시료를 10등분하여 셀 내부의 시료에 남아있는 phenanthrene의 양과 pH를 분석하였다.

본 논문의 실험 조건은 <표 2>와 같다.

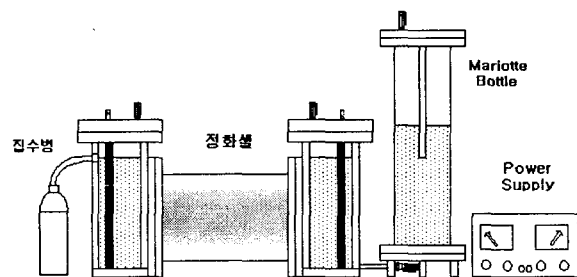
<표 2> Test condition

Test Code	Test Condition				Duration (days)	Voltage (V)
	Soil type	Contaminant	Initial concentration (mg/kg)	Surfactant		
EK 정화 처리 I (EO I)	Kaoline30% Sand 70%	PAH	79.16*	×	28	32
향상된 EK 정화 처리 I (EEO I)	Kaoline30% Sand 70%	PAH	76.50*	1CMC	28	32
향상된 EK 정화 처리 II (EEO II)	Kaoline30% Sand 70%	PAH	94.48*	4CMC	28	32

본 논문에서 사용한 EK 정화 시험기의 구성도는 <그림 2>과 같다.



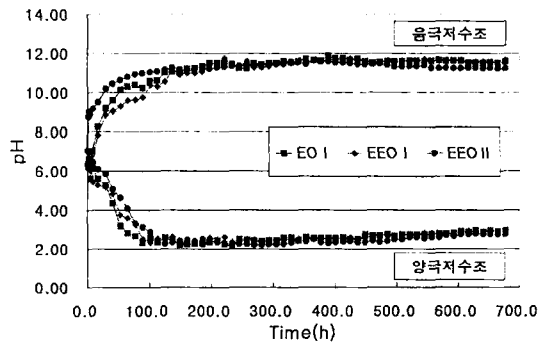
<그림 1> The diagram of reconstitute apparatus



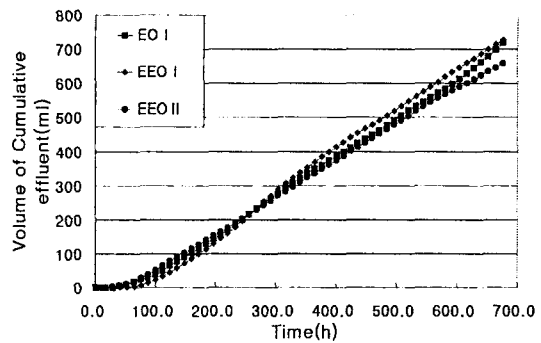
<그림 2> The schematic diagram of the electrokinetic remediation set up

3. 실험 결과 및 고찰

실험이 진행되는 동안 저수조 내의 pH 변화와 누적유량은 <그림 3>-<그림 4>와 같이 나타났다.



<그림 3> The anolyte and catholyte pH during EK test



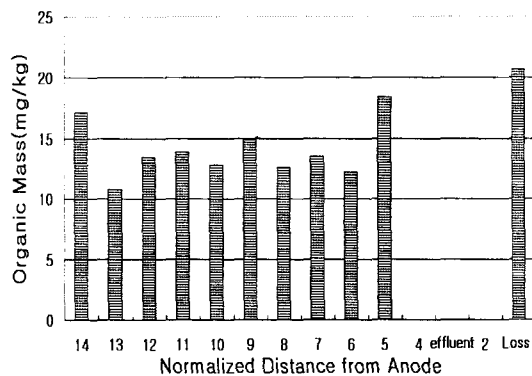
<그림 4> Volume of cumulative effluent with time during EK test

초기 약 100시간 동안 급격한 pH 변화를 보인 이후, 일정한 값으로 수렴하였다. 양극저수조에서는 전기분해에 의해 발생하는 H⁺ 이온의 영향으로 pH 2~3 정도까지 떨어졌고, 음극저수조에서는 OH⁻ 이온의 영향으로 pH 11~12 정도까지 높아졌다.

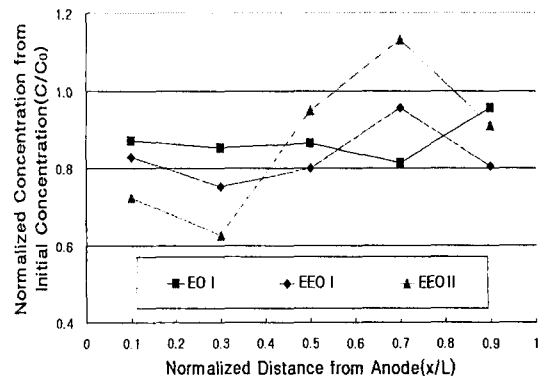
누적 유량은 각 실험 조건들에 대해 유사한 선형 분포를 보였다. 전기삼투유량으로 전기삼투계수 k_e 를 역계산하면, $4.02 \times 10^{-6} \sim 1.37 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec-V}$ 로 나타났다.

EK 정화 실험이 종료한 후 phenanthrene 질량 수지를 계산하면 <그림 5>와 같이 나타났고, 각 조건들에 대해 초기 농도로 정규화한 시료 내의 잔류 phenanthrene은 <그림 6>과 같다.

향상기법을 사용하지 않은 EK 정화처리에서는 유출수에서 검출한계(detect limit) 미만으로 검출되지 않은 것으로 판단하여 거의 제거되지 않음을 알 수 있었다. 질량수지로부터 손실은 약 12.87%가 발생하였는데, 이는 시료를 추출하는 과정에서 발생하는 휘발, 정화셀과 전극(탄소봉)에 흡착 및 검출한계 미만의 양 등이 원인으로 사료된다.



<그림 5> mass balance(EO I)



<그림 6> Normalized concentration from initial concentration in soils after EK test

계면활성제를 주입한 향상된 EK 정화 처리에서는 양극부의 phenanthrene이 음극부쪽으로 이동하여 누적되는 경향을 보였고, 계면활성제의 농도가 높을수록 더 많이 누적되었다. 1 CMC를 주입한 향상된 EK 정화 실험에서는 낮은 이동성을 보였는데, 이는 주입된 계면활성제가 토립자에 흡착되어 용해도 증진 효과에 영향을 적게 미친 것으로 판단된다.

4. 결론

소수성 유기 오염물인 phenanthrene의 EK 정화 처리 시 거동과 향상기법으로 계면활성제를 이용할 때 거동을 bench 스케일로 실내에서 재현한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 물에 대한 용해도가 낮은 소수성 유기 오염물인 phenanthrene은 EK 정화 처리에서 거의 제거되지 않았다.
2. 계면활성제를 이용한 향상된 EK 정화 처리에서 양극부의 phenanthrene이 음극부쪽으로 이동하여 누적되었다.
3. 1CMC를 주입한 향상된 EK 정화 처리에서는 phenanthrene이 낮은 이동성을 보인 반면, 4CMC를 주입한 향상기법에서는 상대적으로 큰 이동성을 보였다.

5. 참고문헌

1. 염익태, Ghosh, M. M., 안규홍 (1997) 계면활성제를 이용한 오염된 토양으로부터의 Polycyclic Aromatic Hydrocarbon(PAH)의 세척, *대한환경공학회지*, Vol. 19, No. 9, pp. 1111-1124.
2. Acar, Y. B. and Li, H. (1992) Phenol Removal From Kaolinite By Electrokinetic, *J. of Geotechnical Eng.*, Vol. 118, No. 11, pp. 1837-1852.
3. ASTM (1997) Standard Test Method for Particle- Size Analysis of Soils, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08 Designation: D420 - D4914.
4. Chang, M. C., Huang, C. R. and Shu, H. Y. (2000) Effects of surfactants on extraction of phenanthrene in spiked sand, *Chemosphere*, Vol. 41, 1295-1300.
5. Harwell, J. H., Sabatini, D. A., and Knox, R. C. (1999) Surfactants for ground water remediation, *Colloids and Surfaces*, Vol. 151, pp. 255-268.