

Electrokinetic-Fenton 공정에 의한 phenanthrene으로 오염된 토양의 정화 시에 보조 첨가제의 종류에 따른 영향

김정환, 양지원, 김수삼*

Kaist 생명화학공학과, *한양대학교 토목환경공학과 (genkjh@wm.cau.ac.kr)

<요약문>

This research was carried out to evaluate role of supplementary reagents, such as phosphate and SDS, to remove hydrophobic organic contaminant from soils during the EK-Fenton process. The H_2O_2 stability improved due to the role as stabilizer of phosphate and SDS during the EK-Fenton process. Furthermore, although pH in region near cathode was 8.2 after test, H_2O_2 stability improved due to transportation of SDS in the region near cathode. Therefore, in tests using phosphate and SDS as supplementary reagent, the efficiency of phenanthrene treatment improved through the EK-Fenton process using longer reaction time.

key word : Electrokinetic-Fenton process, Fe-Mn content, Supplementary reagents

1. 서론

Electrokinetic-Fenton 공정(EK-Fenton process)은 유기 오염물로 오염된 토양을 처리하기 위한 기법이다. 이 공법의 주요 메카니즘은 전기삼투에 의해 H_2O_2 를 지반에 주입하여 Fenton 유사 반응에 의한 유기 오염물의 처리를 촉진시키는 것이다. 본 연구의 목적은 이러한 EK-Fenton 공정 동안에 보조 첨가제로서 인산과 SDS의 역할을 조사하고 그 효용성을 검토하는데 있다.

2. 실험

2.1. 대상 시료

본 연구에서 사용된 시료는 경상도 하동에서 생산되는 고운 분말 형태의 상업용 점토이다.

2.2. 실험 방법

본 실험에서 phenanthrene으로 오염된 점토는 hexane을 이용하여 인공적으로 만들어 졌다. 먼저, hexane 안에 phenanthrene을 용해시키고 건조한 흙 시료와 잘 교반한 후 하루 동안 hexane을 휘발시켜

200mg/kg의 농도로 오염된 흙을 만든다. 그 후, 비이온수를 첨가하여 70%의 함수비가 되도록 다시 교반한다. 이렇게 준비된 시료는 압밀 셀 안에서 150kPa의 압력으로 7일 동안 압밀된다. 압밀이 완료된 시료를 사용하여 EK-Fenton 공정 실험이 실시되었다. Table 1에는 이에 대한 정보가 요약되어 있다.

Table 1 Summary of test program

Parameter	Htest 1	Htest 2	Htest 4	Htest 5
Applied electrical potential(V)	30			
Area (cm ²)	200.96			
Length of sample (cm)	20			
Duration (h)	528	336	336	336
Initial water content (%)	39.2	39.4	38.9	40.1
Initial soil pH	7			
Initial concentration of spiked compound (mg/kg)	200			
Fluid at the cathode chamber	De-ionized water			
Permeating fluid at the anode chamber	H ₂ O ₂ (7%)	H ₂ O ₂ (7%) 30mM HCl	H ₂ O ₂ (7%) 30mM K ₂ HPO ₄	H ₂ O ₂ (7%) 30mM SDS

3.1. 전기삼투 흐름

Fig. 1(a)는 양극으로 주입되는 용액의 종류에 따른 전기삼투 유량의 차이를 나타낸 그림이다. 336 시간 동안에, 전기삼투 흐름의 양은 보조 첨가제로서 인산을 사용한 경우, SDS를 사용하는 경우, 염산을 사용하는 경우의 순으로 나타났다. 인산과 SDS를 보조 첨가제로서 사용하는 경우, 토양 표면의 산화물들과 착물을 형성하거나 해리시켜 토양 표면의 음전하의 크기가 증가하고 (Popov et al., 1999) Helmholtz-Smoluchowski 이론에 근거하여 전기삼투 흐름이 증가하게 된다.

하지만 Fig. 1(b)에서, 보조 첨가제로서 인, SDS 그리고 염산을 사용한 경우, 전기삼투 투수계수는 220 시간 이후에 급격하게 감소하게 된다. 이 현상은 토양의 산성화와 시료 내의 전압분포의 비선형성 증가와 관련이 있다. 즉, 인과 SDS가 토양 표면이 양으로 대전되는 것을 방해하지만 토양의 산성화는 토양 표면의 음전하의 크기와 제타 포텐셜을 감소시켜 전기삼투 유량을 감소하게 한다.

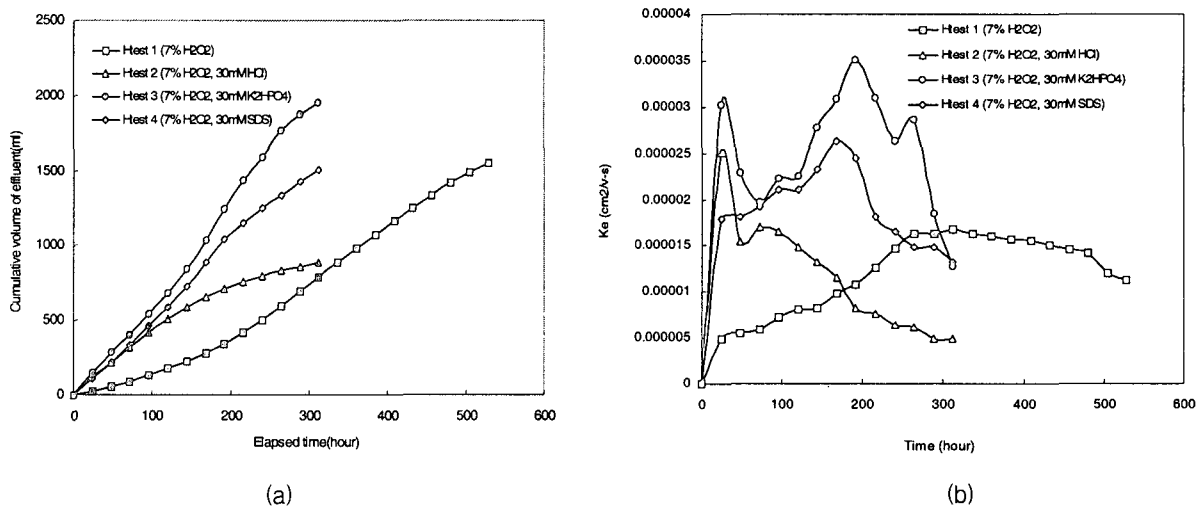


Fig. 1 Cumulative electroosmotic flow and electroosmotic permeability as time elapsed

3.2. 실험 종료 후 시료 내의 pH와 H₂O₂ 농도분포

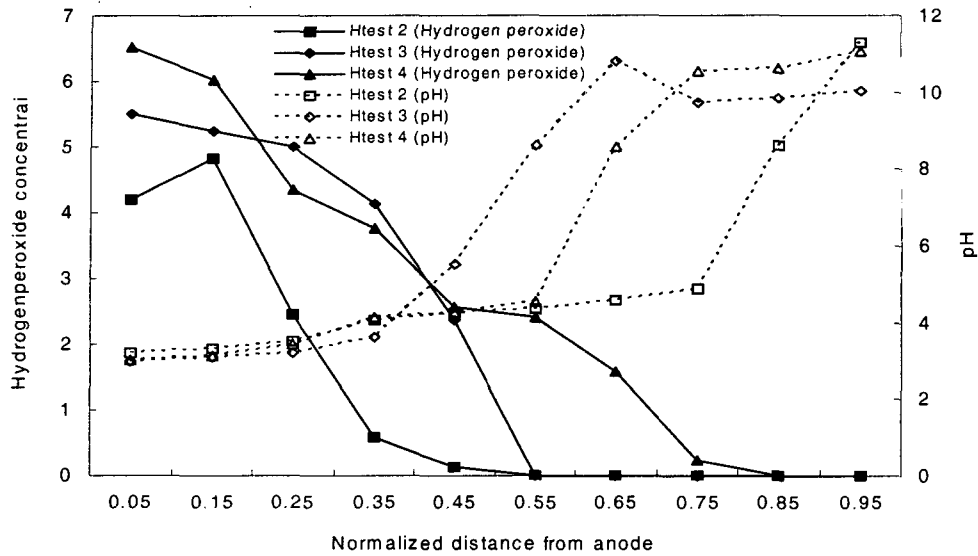


Fig. 2 Distribution of pH and residual H₂O₂ concentration in the soil

Fig. 2는 실험 종료 후 시료 내의 pH와 H₂O₂의 농도분포를 나타낸 그림이다. 30mM의 K₂HPO₄와 SDS를 보조 첨가제로서 사용한 실험에 있어서, H₂O₂의 안정성은 pH 조절을 위하여 30mM의 HCl을 사용한 실험에 비하여 증진되었다. 이러한 결과는 인과 SDS의 H₂O₂ 안정제로서의 역할을 잘 나타낸다. 인은 Fe 또는 Mn 산화물과 같은 transition metal과 착물을 형성하기 때문에 Fenton 유사 반응에 의한 H₂O₂의 소모속도를 감소시켜 H₂O₂의 안정성을 증진시킨다. 그리고 음이온 계면활성제인 SDS는 토양 표면에서 산화물들과 착물을 형성할 뿐만 아니라 간극수 안으로 산화물들을 해리시키고 해리된 이온들은 전기삼투와 전기이온이동에 의하여 음극 방향으로 이동하게 된다. 특히, 30mM의 SDS를 사용한 경우에 있어서, 음극에 가까운 영역에서의 pH가 8 이상이 측정되었음에도 불구하고, 음극에 가까운 영역에서의 잔류 H₂O₂의 농도는 1%보다 큰 값이 측정되었다. 이 결과는 SDS가 전기삼투와 전기이온이동에 의하여 음극에 가까운 영역까지 이동하여 H₂O₂의 안정성을 증진시키는 것을 나타낸다.

3.3. 실험 종료 후의 phenanthrene과 H₂O₂의 농도분포

잔류 phenanthrene의 농도는 H₂O₂ 만이 양극으로부터 주입되는 경우보다 보조 시약을 사용한 실험에서 큰 값이 측정되었다. 이 결과들은 보조 시약들이 phenanthrene의 처리에 있어서 중요한 역할을 담당한다는 것을 나타낸다.

pH 조절을 위하여 30mM의 HCl을 사용한 경우, 음극 방향으로 산전의 빠른 이동속도는 Fenton 유사 반응에 의한 phenanthrene의 분해(degradation)가 주요 처리 메커니즘이 되도록 만든다. 더 나아가서, 30mM의 K₂HPO₄와 SDS를 보조 첨가제로 사용한 경우, H₂O₂의 안정화는 phenanthrene의 처리 효율을 증진시킨다. 따라서 이 결과들은 안정제로서 인과 SDS의 첨가가 유기물로 오염된 토양의 Fenton 유사 반응에 의한 처리에 있어서 장기적인 처리 기간을 이용할 경우 유용함을 나타낸다.

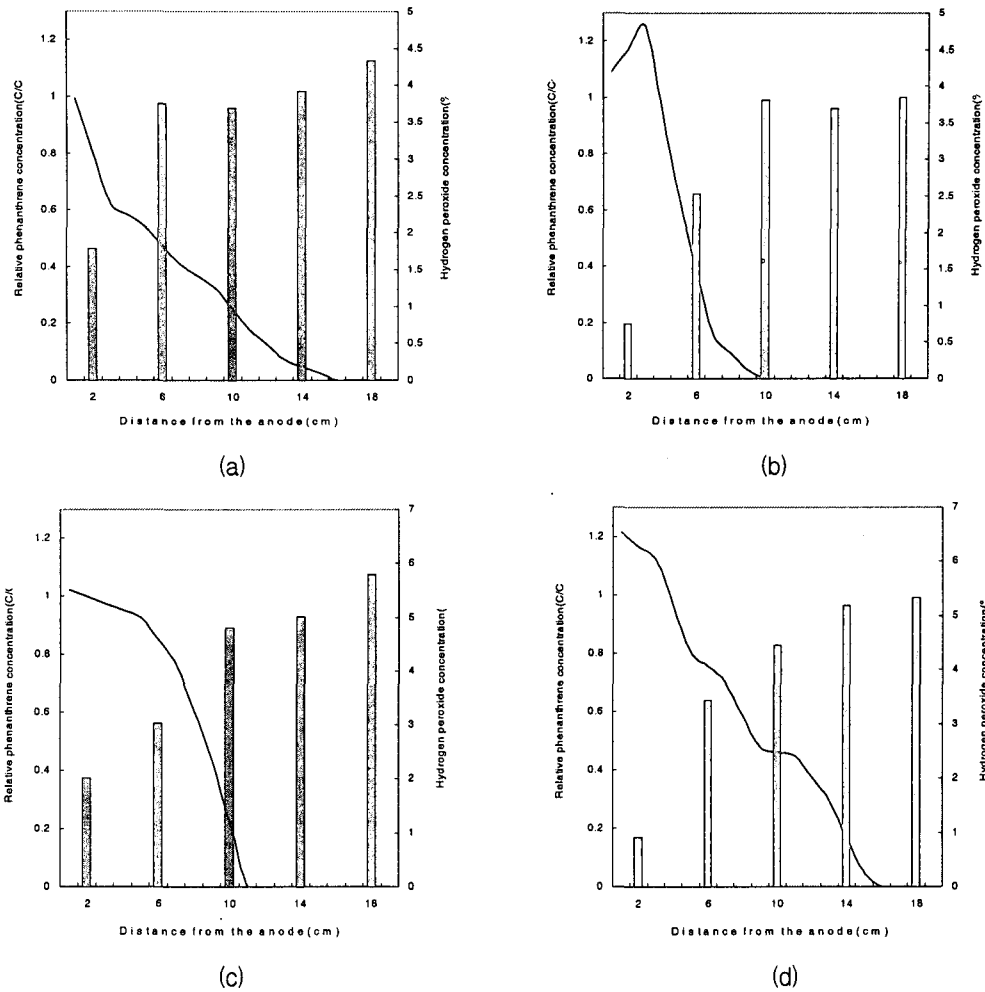


Fig. 3 Residual H₂O₂ and phenanthrene concentration in the soil

3.4. 결론

본 연구는 EK-Fenton 공정 동안에 보조 첨가제로서 인과 SDS의 역할을 조사한 연구로서 보조 첨가제가 전기삼투 흐름, H₂O₂의 안정성 그리고 phenanthrene의 처리 효과에 미치는 영향들을 검토하였다. 보조 첨가제로서 인과 SDS의 첨가는 전기삼투 유량을 증가시켰으며 H₂O₂의 안정성을 증진시켰다. 결과적으로 이러한 현상들은 Fenton 유사 반응에 의한 phenanthrene의 처리 효과를 증진시키는 원인으로 작용한다.

4. 참고문헌

1. Popov K., Yachmenev V., Kolosov A., Shabanova N., 1999. Effect of soil electroosmotic flow enhancement by chelating reagents. *Colloids and Surfaces* , 160, 135-140.