

회학적 특성이 다른 두 토양에서 EK-Fenton 공정 적용 시에 H₂O₂의 기동과 phenanthrene의 처리특성

김정환, 이군택*, 한상재, 김수삼

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

<요약문>

To clarify the effect of soil property on the EK-Fenton remediation of the soil contaminated with phenanthrene, this research had been conducted. In the experiments using EPK kaolinite, the H₂O₂ stability and effect of phenanthrene treatment improved more than that in the experiments using Hadong clayey soil. The results signify that Fe oxide content and acid buffer capacity significantly affected the fate of H₂O₂ and phenanthrene during the EK-Fenton process.

key word : Electrokinetic-Fetnon process, Fe oxide content, Acid buffer capacity

1. 서 론

Electrokinetic-Fetnon 공정(EK-Fetnon process)은 유기 오염물로 오염된 토양을 처리하기 위한 기법이다. 이 공법의 주요 메카니즘은 전기삼투에 의해 H₂O₂를 지반에 주입하여 Fenton 유사 반응에 의한 유기 오염물의 처리를 촉진시키는 것이다. 이 때 유기 오염물은 탈착(desorption), 분해(degradation) 그리고 제거(removal)에 의하여 처리되게 된다. 본 연구에서는 이러한 EK-Fetnon 공정 동안에 가장 큰 변수인 토양의 성질을 변수로 하여 그에 따른 영향을 검토하는데 목적이 있다.

2. 실 험

2.1 대상 시료

본 연구에서 사용된 시료는 EPK kaolinite와 경상도 하동에서 생산되는 고운 분말 형태의 상업용 점토이다. 대상 시료의 기본 물성은 Table 1에 제시되어 있으며 Table 2에는 연속추출법에 의해 추출된 Fe, Mn 그리고 Ca 함량이 제시되어 있다.

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 준비

된 시료는 압밀 셀 안에서 150kPa의 압력으로 7일 동안 압밀된다. 압밀이 완료된 시료를 사용하여 EK-Fenton 공정 실험이 실시되었다. Table 3에는 이에 대한 정보가 요약되어 있다. 7%의 H₂O₂만이 양극으로부터 주입된 실험과 7%의 H₂O₂와 10mN H₂SO₄가 동시에 주입되는 실험들이 두 토양을 대상으로 실시되었다.

Table 1. Chemical and Physical Characteristics of in the soils

Parameter	EPK Kaolinite	Hadong clayey soil
Major mineral component	Kaolinite	Kaolinite and halloysite
Specific surface area(m ² /g)	24.25	25.1
Particle size	clay : 97%	clay : 55%, silt : 23%, sand : 22%
Specific gravity of solid particles	2.65	2.62
Organic content(%)	< 0.1	< 0.1
pH(500%, solids-wt)	5.6	7

Table 2. Distribution of the different iron and manganese fractions in the soils

Fraction	EPK(mg/kg)			Hadong clayey soil (mg/kg)		
	Fe	Mn	Ca	Fe	Mn	Ca
Exchangeable and bound to carbonate	68.6	2.3	1244	32.5	14.5	1248.6
Reducible or bound to Fe and Mn oxides	184.9	0.2	188.6	88.5	11.1	221.5
Oxidizable or bound to organic substances	43.8	0.2	63.7	50.5	1.3	318.6
Residual	3865.8	7.1	711.8	2975.8	17.7	9856.9
Total	4163.1	9.8	2208.1	3147.3	44.6	11645.6

Table 3. Summary of Test Program

Parameter	EPK kaolinite			Hadong clayey soil		
	Ktest 1	Ktest 2	Ktest 3	Htest 1	Htest 2	Htest 3
Initial potential gradient (V)	30					
Area (cm ²)	200.96					
Length of sample (cm)	20			20		
Duation (h)	240	486	312	240	528	240
Initial water content (%)	42.1	42.3	42.5	38.5	39.2	40.2
Initial soil pH	5.6			7		
Initial concentration of spiked compound (mg/kg)	Phenanthrene(200)					
Fluid at the cathode chamber	Deionized water					
Permeating fluid at the anode chamber	H ₂ O ₂ (7%)		H ₂ O ₂ (7%) H ₂ SO ₄ (10mN)	H ₂ O ₂ (7%)		H ₂ O ₂ (7%) H ₂ SO ₄ (10mN)

3. 실험 결과

3.1 전기삼투유량

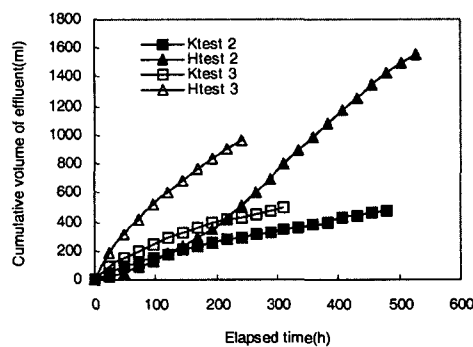


Fig. 1 Cumulative volume of effluent plotted against elapsed time

Fig. 1은 음극으로 축적되는 유출수의 유량을 나타낸 그림이다. 하동산 점토질 토양을 사용한 Htest가 EPK kaolinite를 사용한 Ktest보다 같은 실험 조건에서 더 많은 유량이 발생하였다. 이 결과는 높은 산 완충능력을 가진 하동산 점토질 토양이 실험 동안에 높은 ζ potential을 유지하여 많은 유량이 발생된 것이다.

3.2 실험 종료 후 시료 내의 pH와 H₂O₂의 농도분포

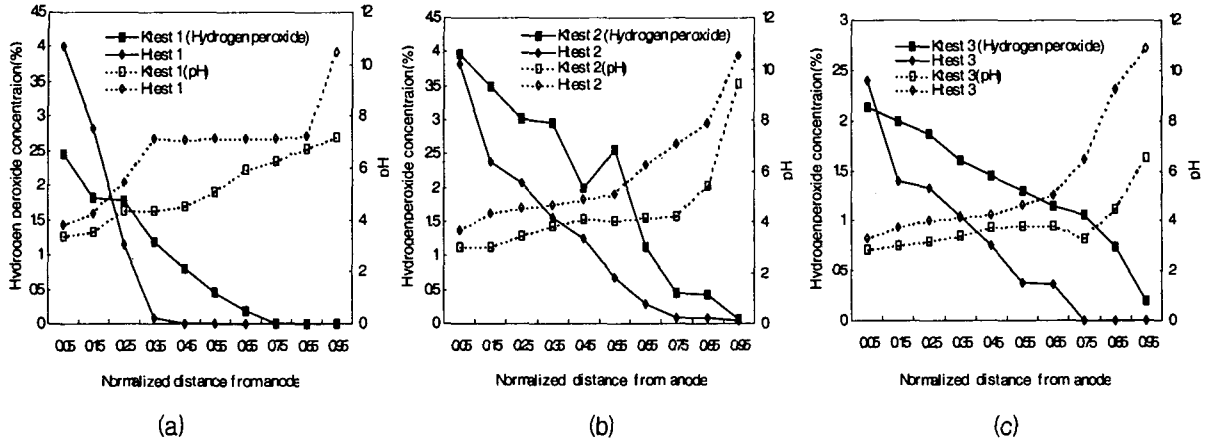


Fig. 2. The distribution of residual H₂O₂ and pH in the soil specimen after tests

Fig. 2는 실험 종료후 시료 내의 pH와 H₂O₂의 잔류 농도를 나타낸 그림이다. 일반적으로 H₂O₂의 분해속도는 토양의 pH가 높을수록 그리고 Fe 산화물 함량이 많을수록 빠르게 발생한다. 그래서 이러한 원리로부터 H₂O₂의 잔류 농도에 토양의 특성이 미친 영향을 평가할 수 있다 (Watts et al., 1999). 실험 결과들에 의하면 양극에서 가까운 영역에서는 하동산 점토질 토양을 사용한 Htest가 Ktest들에 비하여 비교적 높은 H₂O₂의 잔류 농도를 나타내었다. 이러한 현상은 하동산 점토질 토양의 완충능력이 높음에도 불구하고, Fe 산화물 함량이 적기 때문이다. 하지만 양극으로부터 멀어질수록, Ktest들에 비하여 Htest가 H₂O₂의 잔류 농도가 급격하게 감소하는 현상을 나타내었다. 이러한 현상의 원인은, 하동산 점토질 토양의 높은 산 완충능력으로 인하여, 양극으로부터 멀어질수록 H₂O₂의 소모속도가 빠르게 증가하기 때문이다.

3.2 실험 종료 후 시료 내의 H₂O₂ 와 phenanthrene의 농도분포

Fig. 3은 실험 종료 후의 H₂O₂와 phenanthrene의 잔류농도를 결합하여 나타낸 그림이다. 이 실험 결과들에 따르면 Fe 산화물의 함량이 높고 산 완충능력이 낮은 EPK kaolinite를 사용한 실험들이 하동산 점토질 토양을 대상으로 실시한 실험들 보다 효과적으로 phenanthrene이 처리된 것을 알 수 있다. 또한 EPK kaolinite를 대상으로 한 실험들에서는 phenanthrene이 음극 방향으로 이동하는 현상이 발견되지 않았으나 하동산 점토질 토양을 사용한 실험들에서는 phenanthrene의 이동현상이 발견되었다. 이러한 결과들은 phenanthrene이 Fetnon 유사 반응에 의해 토양 표면에서 탈착된 이후에 분해가 진행된다는 것을 나타내는 것이며 phenanthrene의 분해속도와 이동속도에 의존하여 phenanthrene의 처리 메커니즘이 결정됨을 나타내는 것이다.

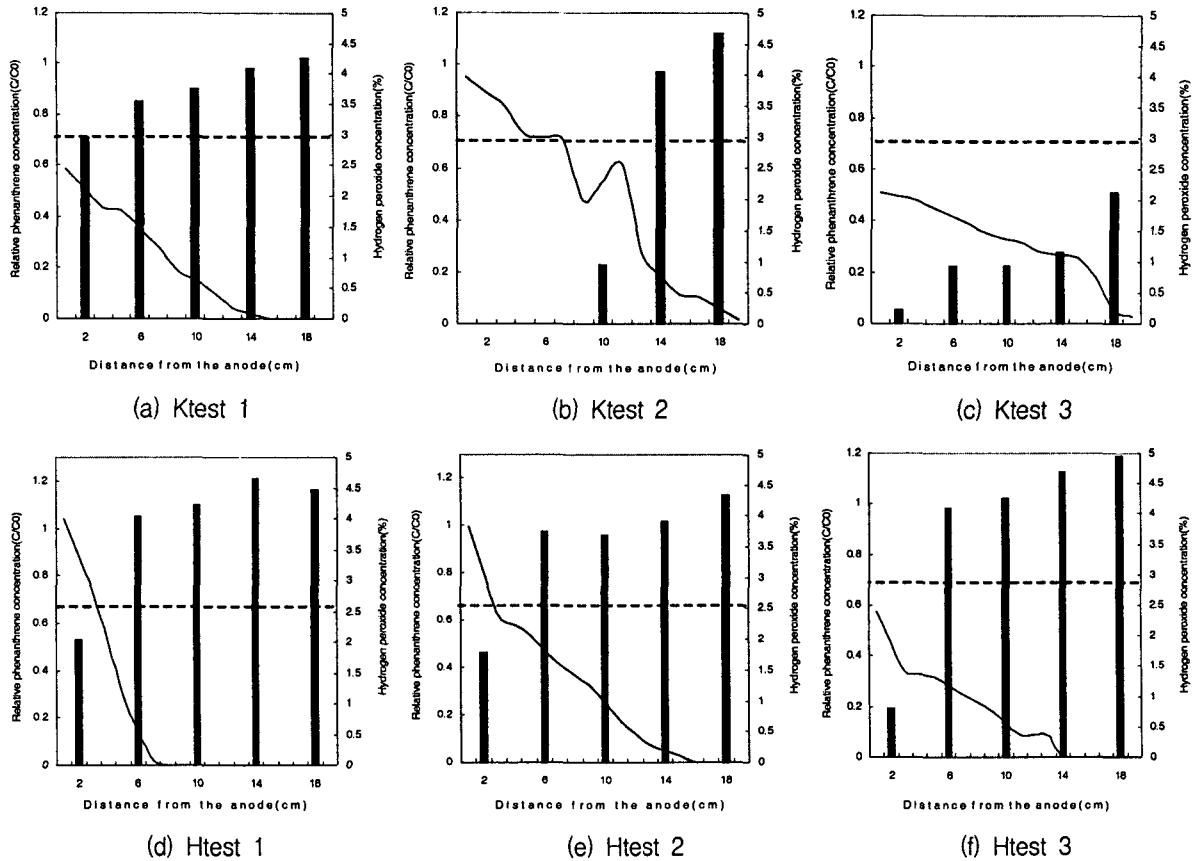


Fig. 3. The distribution of residual phenanthrene and hydrogen peroxide in the soil specimen after the tests

4. 결론

본 연구결과에 따르면 토양에 포함된 Fe 산화물 함량이 적고 산 완충능력이 낮을수록, EK-Fenton 공정 동안에 H₂O₂가 안정화되었다. phenanthrene의 처리 효율은 Fe 산화물의 함량이 많고 산 완충능력이 적은 EPK kaolinite를 사용한 실험들에서 증진되었다. 또한 실험 결과들에 의하면 phenanthrene의 처리 메카니즘은 탈착속도, 분해속도 그리고 제거속도에 의존하여 결정됨을 알 수 있었다.

4. 참고문헌

Watts, R. J., Foget, M. K., Kong S. H., Teel A. L., (1999). Hydrogen peroxide decomposition in model subsurface systems. *J. Hazard. Mater.* B69, 229-243