

동전기-펜턴 공정에서 토양내 과산화수소의 이동 이해

박지연, 김상준, 이유진, 양지원

한국과학기술원 생명화학공학과 (jwyang@kaist.ac.kr)

<요약문>

The concentration of hydrogen peroxide in soil and effluent was measured to understand the relationship between the profile of hydrogen peroxide and the removal efficiency of phenanthrene in an Electrokinetic-Fenton process. Electrokinetic phenomena were observed in two different conditions for 1, 2, 4, and 7 days; 3.5% and 10% hydrogen peroxide. The concentration of hydrogen peroxide in soil was high near the anode and decreased towards the cathode due to the direction of electroosmosis. The hydrogen peroxide concentration in effluent increased with time, but the value was lower than the initial. The removal efficiency of phenanthrene at 10% hydrogen peroxide was higher than the case at 3.5%. The removal efficiency after 7 days was high(> 97%) in both cases.

Key words : Electrokinetic-Fenton process, Hydrogen peroxide, Phenanthrene

1. 서론

동전기 정화기술은 전기삼투(electroosmosis) 및 전기이동(electromigration)의 현상에 의해 저투수성 토양에서 물의 흐름과 오염물의 이동을 유도할 수 있기 때문에, 토양증기추출이나 양수처리와 같은 기존의 공정을 적용하기 어려운 저투수성 토양에 대하여 효과적인 오염물의 제거가 가능하다. 특히 오염지역의 특성상 굴착이나 다른 방법을 적용하기 어려운 건물이나 구조물 근처의 지역에 대해서도 원위치 토양정화기술인 동전기 기술이 적용될 수 있다.

또한 펜턴 산화공정은 물에 쉽게 용해되지 않고, 생물학적 분해가 어려우며, 토양에 강하게 흡착되는 경향을 나타내는 유류오염물을 제거하기 위해서 사용되는 고급산화공정의 하나이다. 이는 토양 내에 과산화수소를 공급할 경우, 토양 내에 존재하는 철이 촉매로 작용하여 강력한 산화제인 OH 라디칼을 생성하고, 이 라디칼이 오염물과 반응하여 오염물의 무기산화분해를 가능하게 하는 것이다. 그러나 이 공정은 모래와 같이 투수성이 높은 토양에서는 적용이 용이한 반면, 저투수성 토양에서는 적용하는데 있어서 어려움이 있다. 따라서 저투수성 토양에 대하여 유류오염물을 효과적으로 제거하기 위하여 동전기 기술과 펜턴 산화공정이 결합된 동전기-펜턴 공정을 적용할 경우, 동전기 현상에 의한 과산화수소의 원활한 이동을 통하여 토양 내에 고르게 분포함으로써 높은 제거율을 기대할 수 있다.

대부분의 유류오염물은 극성을 나타내지 않기 때문에, 동전기-펜턴 공정에서 오염물의 이동 및 분해는 주로 전기삼투흐름에 의한 과산화수소의 이동에 의존하게 된다. 토양 내에서 과산화수소의 거동을

관찰함으로써, 펜턴유사반응에 의한 오염물의 분해양상을 간접적으로 예측할 수 있다. 또한 이를 바탕으로 하여 공정의 제거율을 증가시킬 수 있는 방안을 모색할 수 있다. 본 연구에서는 인도네시아 카올린 토양에서 주입하는 과산화수소의 농도를 달리하면서 토양과 유출수에서의 과산화수소 농도를 주기적으로 관찰함으로써, 토양 내에서 과산화수소의 농도 변화와 오염물의 제거율과의 관계를 살펴보았다.

2. 실험재료 및 방법

실험에 사용된 토양시료는 인도네시아 카올린으로 325mesh의 체를 통과한 입자만을 사용하였다. 오염물질은 PAH의 하나인 phenanthrene이고, phenanthrene 오염토양은 인위적으로 약 500mg phenanthrene/kg dry soil로 제조되었다. 초기에 양극 전극조를 통하여 주입되는 과산화수소의 농도는 3.5%와 10%로 하였다.

반응기는 길이 30cm, 높이 4cm, 너비 4cm인 직육면체 형태이고, 양쪽 끝에 각각 10cm씩을 양극과 음극 전극조로 사용하였다. 양극 전극조로 주입된 과산화수소 용액이 전기삼투흐름에 의해 토양 내 공극을 통과하여 음극 전극조에서 일정 수위 이상이 되면 밖으로 배출되어 음극 탱크에 모이도록 하였다. 길이 10cm인 가운데 부분에 증류수와 혼합된 오염토양을 채우고, 토양 시료의 양쪽 끝에 전극을 설치하여 이로부터 전원이 공급되도록 하였다. 전극은 4cm × 4cm × 0.8cm인 탄소전극을 사용하였다. 10mA의 정전류 조건하에서 각각 1, 2, 4, 7일간 조업되었다.

3. 결과 및 고찰

3.5%와 10%의 두 가지 과산화수소 주입농도에 대하여, 토양 내에 잔존하는 과산화수소의 양을 분석하였다(Fig. 1). 각각의 조업기간(1, 2, 4, 7일)에 대하여, 양극에서 음극으로 향하는 과산화수소의 이동 방향에 기인하여 양극 근처에서는 과산화수소가 높은 농도로 나타났으며, 음극으로 갈수록 여러 가지 화학반응에 기인하여 농도가 감소하였다. 과산화수소 농도의 감소는 펜턴유사반응을 통해 과산화수소가 수산화 라디칼을 생성하면서 소모되거나, 토양 내의 여러 가지 불순물에 의해서 자체적으로 분해됨으로써 발생하였다. 과산화수소 주입농도가 10%일 경우에는, 4일 이후에 음극 근처에서도 과산화수소가 높은 농도로 관찰되었다.

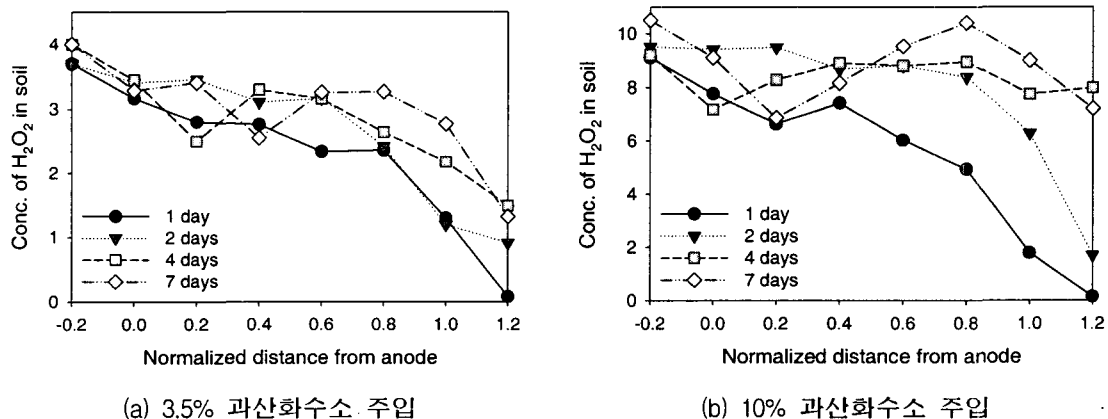


Fig. 1. 토양 내 과산화수소의 농도

7일간의 유출수에서의 과산화수소 농도 변화는 Fig. 2와 같다. 과산화수소 농도는 시간이 지남에 따라 어느 정도 증가하다가 일정해지는 경향을 보이고 있지만, 그 값이 초기 주입농도에는 미치지 못하였다. 7일 후에 3.5% 과산화수소가 주입되었을 경우에는 유출수 농도가 1.5% 정도까지 증가하였고, 10% 과산화수소가 주입되었을 경우에는 7% 정도까지 증가하였다.

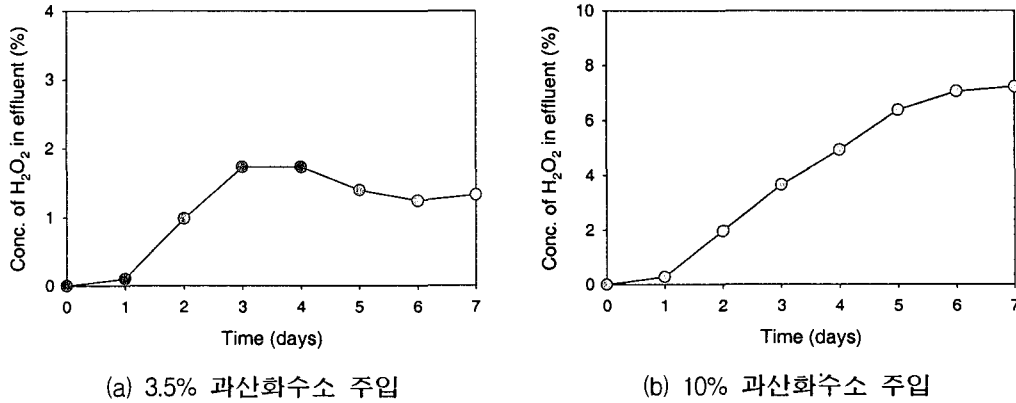


Fig. 2. 유출수에서의 과산화수소의 농도 변화

각각의 조업기간 동안의 전기삼투유량과 phenanthrene 제거율은 Table 1과 같다. 10%의 과산화수소 주입농도가 사용되었을 경우, 각각의 조업기간 동안 3.5%보다 높은 제거율을 나타내었다. 하지만 7일 후에는 두 가지의 주입농도에서 모두 높은 제거율을 보이고 있다. 일부 과산화수소는 한꺼번에 다량으로 생성된 불안정한 수산화 라디칼의 일부가 오염물과 접촉하지 못하고 소모됨으로써 자체적으로 소비되었을 것이다.

Table 1. 조업기간에 따른 전기삼투유량 및 phenanthrene 제거율

조업기간(일)	3.5% 과산화수소 주입		10% 과산화수소 주입	
	EOF(mL)	제거율(%)	EOF(mL)	제거율(%)
1	124	80	98	93
2	236	83	210	98
4	383	95	468	99
7	573	97	698	100

4. 결론

본 연구에서는 동전기-펜턴 공정에서 조업기간 동안 토양과 유출수에서의 과산화수소의 농도를 관찰함으로써, 과산화수소의 농도 분포가 phenanthrene의 제거율에 미치는 영향을 살펴보았다.

(1) 토양 내에서의 과산화수소의 농도는 양극에서 음극으로 향하는 과산화수소의 이동에 기인하여 양극에서 높게 나타났으며 음극으로 갈수록 서서히 감소하였다. 10% 과산화수소 주입농도에서는 4일 이후에 음극에서도 과산화수소가 높은 농도로 관찰되었다.

(2) 유출수에서의 과산화수소 농도는 시간이 지남에 따라 증가하였지만, 초기에 주입한 과산화수소의 농도에는 미치지 못하였다.

(3) 3.5%의 과산화수소가 주입되었을 경우보다 10%의 과산화수소가 주입되었을 경우에 높은 phenanthrene 제거율을 나타내었다. 7일 이후에는 두 가지의 경우에서 모두 97% 이상의 높은 제거율을 보이고 있다.

5. 사사

본 연구는 차세대 핵심환경기술개발사업과 국가지정연구실사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

6. 참고문헌

- (1) 양지원, 박지연, 김상준, 이유진, 기대정, "동전기-펜턴 공정을 이용한 phenanthrene 오염토양의 정화", 한국지하수토양환경학회지, 9(1), 47-53 (2004)
- (2) 박지연, 김상준, 이유진, 양지원, "3차원 토양 실험장치에서 phenanthrene 오염토양 정화를 위한 동전기-펜턴 공정", 대한환경공학회지, 26(6), 697-702 (2004)
- (3) 양지원, 김상준, 박지연, 이유진, "동전기 복원에 있어서 전기삼투량 변화에 미치는 양이온의 역할", 대한환경공학회지, 24(12), 2183-2190 (2002)