

## OF3) 디젤오염토양의 과산화수소 처리시 중금속 용출 및 백연발생 특성

장나영\*, 정병길, 노기현<sup>1</sup>, 고현웅<sup>2</sup>, 최영익<sup>3</sup>, 안영희, 성낙창  
동아대학교 환경공학과, <sup>1</sup>낙동강유역환경청 환경감시단,  
<sup>2</sup>환경관리공단 토양지하수사업처, <sup>3</sup>신라대학교 환경공학과

### 1. 서 론

토양오염은 토양 자체의 1차오염, 주변 하천 및 지하수에 대한 2차 오염, 등의 광역오염을 유발시킬수 있는 심각한 환경오염중 하나이다. 유류저장탱크의 누출과 같이 석유계화합물 중에서 가장 많은 오염을 유발하고 있는 물질은 디젤이다 (임재량 등, 2002). 디젤의 경우 물에 잘 용해되지 않는 소수성이므로 일단 토양에 유출되면 토양과 강한 흡착을 이루거나 NAPL(Non-Aqueous Phase Liquid)로 남아 오랜 기간 잔류하게 된다. 또한 매우 복잡한 석유탄화수소로 구성되어 있고, 인체 및 토양생물에 유해한 성분들이 많이 포함되어 있기 때문에 오염토양은 반드시 처리 되어야 한다 (남궁왕 등, 2002). 유류오염토양 정화기술은 처리위치별로 in-situ와 ex-situ 처리기술로 분류되며, 처리방법별로 물리적 방법(굴착 제거, 차폐, 양수, 진공 추출, 고형화, 수압 파쇄, 열분해, 플라즈마 등), 화학적 방법(산화, 중화, 이온교환, 토양 세척, 계면활성제 세척, 동결, 유리화 등), 생물학적 방법(phytoremediation) 등이 있다. 그중 화학적 처리방법에서 가장 많이 이용되는 과산화수소는 토양유류를 산화시키는 방법으로서 많이 이용되고 있는 실정이다 (Joan E. McLean, 1992). 과산화수소를 이용한 처리는 복원까지 속도가 무척 빠르고, 어디에서나 쉽게 구할 수 있다는 장점이 있다.

따라서, 본 연구는 과산화수소를 이용한 디젤오염토양의 처리시 중금속 용출 및 백연가스 발생특성 등을 평가하여 이로 인한 환경위해성을 저감하는데 그 목적이 있다.

### 2. 재료 및 실험 방법

본 연구에서 사용된 오염토양은 A광산에서 표층 0~15 cm에서 채취한 중금속 오염토양을 사용하였다. 채취된 토양은 24시간 동안 풍건한 후 No.10 mesh(2 mm)를 이용하여 체거름 하였다. 건조된 토양은 S사에서 생산된 디젤을 혼합한 후 디젤오염토양을 제조하였으며, 또한 조제과정에서 중금속 오염토양에 일정하게 디젤을 오염시키기 위해 메탄올(CH<sub>3</sub>OH)을 주입한 후 용매만을 휘발하여 2주 경과된 토양을 사용하였다. 본 연구에서는 디젤오염토양의 농도를 약 2,000~2,500 mg TPH/kg soil로 맞추기 위하여 토양 1 kg당 디젤의 분무량을 달리하여 혼합한 다음 적정 디젤 혼합량을 얻어 이를 연구에 사용하였다. 본 연구에 사용된 디젤오염토양의 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)의 운전조건을 Table 1에 나타내었다. 과산화수소는 원액농도 34.5%인 제품을 사용하였으며, 반응조는 직경 17.8 cm, 높이

25.4 cm인 원형을 사용하였다. Table 1에 본 연구에 사용된 운전조건을 정리하여 나타내었다.

Table 1. The operating conditions for hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) degradation

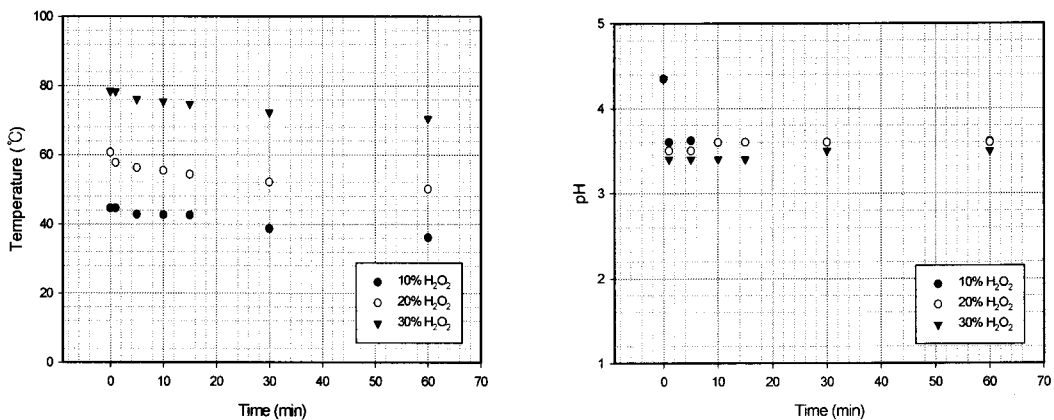
Parameters	Units	Operating conditions
Initial concentration of diesel-contaminated soil	mg TPH/kg soil	2,000~2,500
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> concentration	%	10, 20, 30
Sampling time	min	0, 1, 5, 10, 15, 30, 60
Mixing ratio (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : Soil)	L/kg	1 : 1 (3 L : 3 kg)

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 온도 및 pH의 변화

디젤오염토양의 과산화수소 처리 시 온도 및 pH 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 과산화수소의 주입농도가 높을수록 수온의 상승은 높게 나타났는데, 이는 과산화수소 또는 토양 중 미량으로 포함된 철 이온의 화학반응에 의해 디젤오염토양 중의 유기화합물질을 낮은 온도에서도 산화시킬 수 있는 hydroxyl radical (OH·)로 분해되어 반응을 촉진시켰기 때문으로 판단된다.

디젤오염토양과 10, 20, 30% 과산화수소의 초기 pH는 각각 4.4, 3.6, 3.1, 2.8을 나타내었으며, 반응시간 60분 후 과산화수소 농도별 pH는 3.4~3.6의 강산성을 나타내었다. 본 연구의 결과에 의하면 추가적인 pH 조절이 필요하지 않으며, 효과적인 유류오염토양의 정화를 위하여 토양 중에 과산화수소가 충분히 존재하도록 조절하는 것이 무엇보다 중요하다.



(a) Temperature vs. time

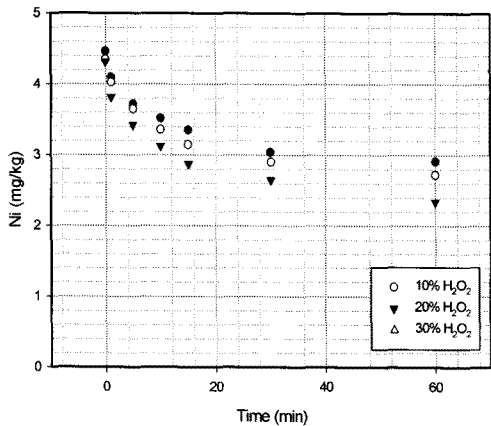
(b) pH vs. time

Fig. 1. The results of temperature distribution and pH of diesel-contaminated soil on various H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentration.

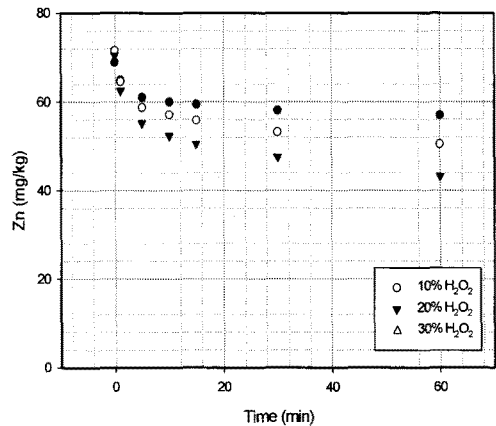
하지만 이러한 결과는 향후 유류오염토양 복원을 위한 과산화수소의 현장적용 시 중금속 용출을 증가시켜 지하수 오염을 가중시킬 수 있으며, 또한 토양을 산성화시킬 수 있으므로 이를 충분히 고려하여 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

### 3.2. 중금속 용출 특성

과산화수소 농도(10, 20, 30%)에 따른 디젤오염토양의 처리시 중금속(Ni, Zn) 농도 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 초기 오염토양의 Ni과 Zn 농도는 각각 4.315~4.467 mg/kg (평균 4.377 mg/kg)과 68.942~71.598 mg/kg (평균 70.336 mg/kg)의 범위를 나타내었다. 과산화수소 농도별(10, 20, 30%) 오염토양 내 Ni 농도는 반응시간 15분과 60분에서 각각 10% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 경우 3.352 mg/kg, 3.145 mg/kg, 20% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 경우 2.873 mg/kg, 2.914 mg/kg, 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 경우 2.724 mg/kg, 2.341 mg/kg를 나타내었으며, 또한 Zn 농도는 반응시간 15분과 60분에서 10% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 경우 각각 59.446 mg/kg, 55.839 mg/kg, 20% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 경우 50.472 mg/kg, 56.948 mg/kg, 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>의 경우 50.438 mg/kg, 43.176 mg/kg를 나타내어 과산화수소 농도가 높으면 높을수록 중금속 용출율은 증가하는 경향을 보였다.



(a) Ni concentration vs. time



(b) Zn concentration vs. time

Fig. 2. The leaching characteristics of heavy metals(Ni, Zn) of diesel-contaminated soil on various H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> concentration.

### 3.3. 백연가스 정상

디젤오염토양과 과산화수소의 반응시 발생하는 백연가스는 심미적인 요인에 의해 오염원으로서의 불안감을 주어 민원이 제기될 가능성이 있으므로, 유류오염토양 처리시 발생하는 대기오염원으로서 발생할 수 있는 백연가스 분석을 통하여 그 영향유무를 확인하였다. 과산화수소 주입시 디젤오염토양과 반응하여 반응조 상단에 백연가스가 발생함을 확인할 수 있었으며, 또한 백연 발생량은 과산화수소의 주입농도가 높을수록 많이 발생하는 것으로 관찰되었다. 이는 높은 농도의 과산화수소가 시료와 급격하게 반응하기 때문인 것으로 판단된다.

유류오염토양을 과산화수소로 처리할 때 발생하는 백연을 채집하여 분석한 결과 총 135개의 휘발성유기화합물(VOCs)이 검출되었다. 휘발성유기화합물(VOCs) 중에서 대표적으로 발생하는 물질은 Hexane으로, 백연가스 중 가장 높은 농도로 검출되었으며, 이 외에도 Cyclopentane, Benzene, Ethylbenzene, m,p-Xylene, Undecane 등이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 휘발성유기화합물(VOCs) 중 다량 검출된 Ethylbenzene은 피부, 목 코의 자극을 주며 현기증, 의식저하 등의 중추신경계에 작용하여 인체에 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

따라서, 백연가스 중에 함유된 고농도의 휘발성 유기화합물이 주변 환경에 유해한 영향을 미칠 것으로 예상되므로 적절한 대기오염방지시설을 설치하여 제거한 후 대기로 방출하는 것이 필요하다고 판단된다.

#### 4. 요약

본 연구는 과산화수소를 이용하여 디젤오염토양의 처리시 중금속 용출특성, 백연가스 발생특성 등을 평가하기 위하여 실험을 하였다. 중금속 용출속도는 반응시간 15분까지 용출이 지속적으로 증가하다가, 15분 이후 점차적으로 감소하는 경향을 보였다. 이러한 과산화수소( $H_2O_2$ ) 처리방법은 토양내 중금속 용출속도를 가속화시켜 실제 현장에서 적용될 경우 이로 인하여 지하수에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로 ex-situ 방법 등과 같은 방법을 고려한 2차 오염에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다. 또한, 백연가스의 발생량은 과산화수소의 농도가 높을수록 많이 발생하는 것으로 관찰되었으며, 이는 높은 농도의 과산화수소와 유류오염토양이 급격하게 반응하기 때문인 것으로 판단된다. 백연가스 중 Hexane이 가장 높은 농도로 검출되었으며, 이 외에도 Cyclopentane, Benzene, Ethylbenzene, m,p-Xylene, Undecane 등이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 백연가스 중에 함유된 고농도의 휘발성유기화합물(VOCs)이 주변 환경에 유해한 영향을 미칠 것으로 예상되므로 적절한 대기오염방지시설을 설치하여 제거한 후 대기로 방출하는 것이 필요하다고 판단된다.

#### 참 고 문 헌

- 임재량, 박준석, 황의영, 남궁완, 2002, 초기농도가 파일럿 규모의 디젤오염토양 콤포스팅 처리에 미치는 영향, 한국환경위생학회지, Vol. 28, No. 5, pp. 35-41.
- 남궁완, 임재량, 박준석, 황의영, 김정대, 인병훈, 2002, 파일럿 규모의 디젤오염토양 콤포스팅 처리시 첨가물질 및 미생물 집종의 영향, 한국폐기물학회지, Vol. 19, No. 5, pp. 561-569.
- Joan E. McLean and Bert E. Bledsoe, 1992, *Ground Water Issue*, EPA. 540, S-92, 018.