

유류오염토양의 생물적용기술 적용타당성 검토  
 Treatability Study on Oil-Contaminated Soils for Bioremediation  
 Application

이연희 · 설미진 · 오영숙

명지대학교 세라믹화학공학부 환경생물공학전공

전화 (031) 330-6691, FAX (031) 336-6336

A treatability study was conducted using a hydrocarbon-contaminated soil for the optimization of bioremediation strategy best fit to a given set of contamination. The applicability of nutrients, biosurfactant, and oil-degrading microorganisms were examined by monitoring CO<sub>2</sub> evolution and oil degradation. The addition of inorganic nutrients in the form of slow released fertilizer accelerated the initial rate of CO<sub>2</sub> evolution by a factor of 3. The application of oil-degrading microorganisms did not significantly increased CO<sub>2</sub> evolution or biodegradation efficiency. Application of a commercial biosurfactant was most effect in terms of the total CO<sub>2</sub> evolution and the oil degradation rate. The results indicate that CO<sub>2</sub> evolution measurement was found to be a simple and reliable countermeasure of crude oil hydrocarbon mineralization for the rapid determination of the best-fit bioremediation strategy.

### 1. 서론

깨끗한 자연토양은 안전한 농축산물의 생산지와 우리 삶의 터전이라는 관점에서 더할 나위 없이 중요하다. 최근 이러한 자연토양의 중요성에 대한 인식이 고조되면서 그 동안 폐기물의 최종처분 장소로만 여겨져 왔던 토양환경의 보전과 오염토양의 정화에 대한 관심이 높아지고 있다. 다양한 토양오염 물질 중 특히 유류화합물은 국내 산업의 비약적 발전과 비례하여 사용량이 급증하는 추세이며, 이에 따라 산재한 비점오염원으로 부터의 유출이 초래하는 토양오염의 수준도 심각한 상황에 이르고 있다. 우리 나라는 1995년 토양환경보전법에 의하여 오염우려수준을 초과한 경우, 시설 및 토양개선사업을 실시해야 하며 미시행 시설의 사용중지가 불가피하게 되어 있다. 따라서 토양환경보전법의 시행기준을 만족시키기 위해서는 오염토양의 개선에 관한 기술개발이 불가피한 실정이며, 최근에는 세계적인 추세를 따라 생물정화기술의 적용이 선호되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 유류화합물에 의해 오염된 토양을 선정하여, 이 토양을 정화하는데 있어서 생물학적 정화기술의 적용 가능성을 평가하고 생물학적 정화 효율의 극대화를 위한 최적 처리조건을 선정할 수 있는 방법을 제시하고자 하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 1) 토양채취

유류오염이 일어난 철로주변의 토양을 채취하였으며, 채취된 토사는 24시간 동안 fume hood 내에서 air dry 시킨 후, 4 mm와 2 mm 체를 순차적으로 이용하여 균질화 시켰다.

### 2) 토양의 토질분석

토양의 수분함량분석과 수분함유능 (water holding capacity)은 각각 지반공학 시험법 및 응용,<sup>1)</sup> Pramer and Schmidt<sup>2)</sup>를 참고하였다.

### 3) 토양 유류 분석

실온에서 건조한 토양 10 g에 hexane 20 ml를 첨가하여 sonic bath (30°C)에서 30분간 처리하는 과정을 2회 반복하여 추출하였다.<sup>4)</sup> 추출된 유류는 GC (HP 6890-FID)를 이용하여 분석하였다.

### 4) 유기물 분해에 따른 CO<sub>2</sub> 발생량 측정

CO<sub>2</sub> 측정은 biometer flask를 이용하였다.<sup>3)</sup> 250 ml biometer flask에 WHC 50%인 50 g의 토양을 넣고 side arm에는 0.2 N KOH 10 ml를 넣어 실내에서 수행하였다. 적당한 시간에 CO<sub>2</sub>가 용해된 KOH의 전기전도도 (Schott, Germany)를 측정하고 새로운 KOH를 넣어주었다. Inorganic nutrient로는 원예용 완효성비료 (A)와 생물정화용으로 시판되고 있는 생물제제 (B)를 사용하였으며, N, P에 의한 제한을 배제하기 위해 C : N : P 비가 100 : 10 : 3이 되도록 첨가하였다. 미생물투여의 효과를 보기 위해서 본 연구팀에 의해 개발된 혼합미생물제제 (C)를 첨가하였으며, 대조군으로는 처리하지 않은 오염토양을 사용하였으며 모든 실험은 triplicate로 수행하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 1) CO<sub>2</sub> 발생량 측정

완효성비료 (A)의 첨가는 비처리토양에 비해 초기 CO<sub>2</sub> 발생속도가 급격히 증가하는 것으로 보아 유류분해가 매우 촉진되는 것으로 판단된다 (Fig. 1). 시판되고 있는 생물제제 (B)의 첨가는 비료 A의 첨가 시에 관찰된 급격한 초기 분해촉진 효과를 나타내지는 않았지만 계속적으로 CO<sub>2</sub>가 발생되었으며, 이때 CO<sub>2</sub>

발생속도는 비처리토양에서 관찰된 속도의 약 3배에 달하였다. 미생물제제 (C)의 첨가는 CO<sub>2</sub> 발생량에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타나고 있다. 처리기간동안 발생된 CO<sub>2</sub> 총량을 비교하여 보면 (Fig. 2), 비처리 토양에 비해 처리한 토양의 경우 발생된 CO<sub>2</sub>의 양이 현저하게 높게 나타나고 있다.

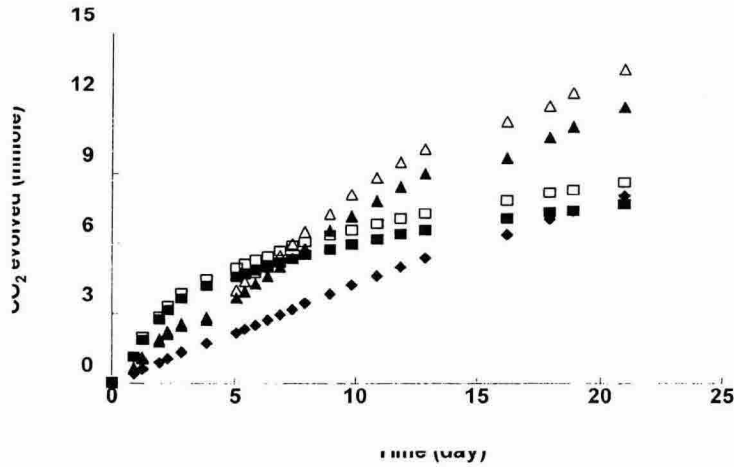


Fig. 1. Cumulative CO<sub>2</sub> evolution from 50 g soil samples ◆; no treatment. ■; A, ▲; B, □; A+C, △; B+C, A; slow release fertilizer, B; bioactive agent, C; inoculum.

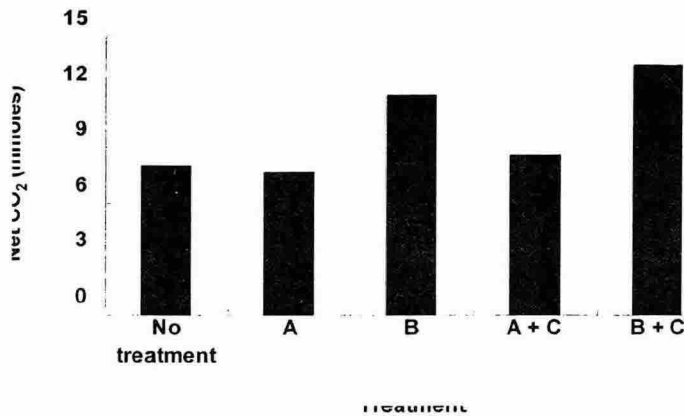


Fig. 2. CO<sub>2</sub> evolved during the treatment.

## 2) 토양 잔류유류의 분석

CO<sub>2</sub> evolution monitoring 결과의 명확한 해석 및 각 처리방법의 유류분해 효율을 확인하기 위하여 잔류유류의 양을 기기 분석법을 이용하여 측정하였다 (Fig. 3). 결과를 종합하여 보면, 비료 (A)와 생물제제 (B)의 효과를 초기 data를 이용하여 판단해보면, A, B의 경우 모두 처리기간을 단축시키거나 초기 처리효율을 높이는 데 매우 효과적인 것으로 나타났으나, A가 보다 효과적인 것으로 판단된다. A의 첨가는 특히 유류의 초기분해를 급격히 촉진하는 것으로 나타나 유류오염에 의한 독성을 보다 빠르게 저감시킬 수 있을 것으로 판단된다.

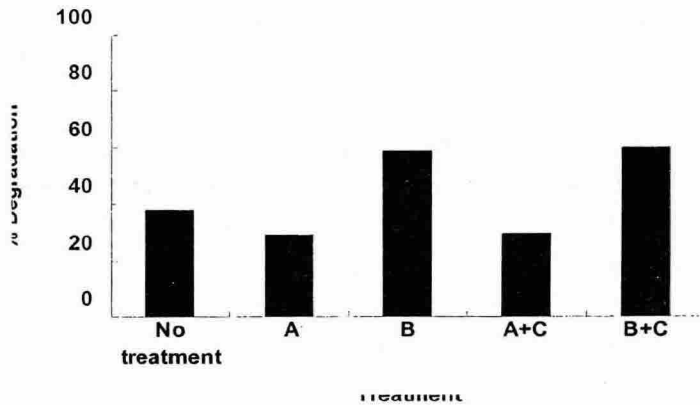


Fig. 3. Residual hydrocarbons in the soil after the treatment.

## 4. 참고문헌

- 1) 김용필 외 2인, *지반공학 시험법 및 응용*, 1997, 세진사.
- 2) Pramer, D. and E.L. Schmidt. "Experimental soil microbiology"(1964). Burgess, Minneapolis, MN, U.S.A.
- 3) Bartha, R. and D. Pramer, "Features of a flask and method for measuring the persistence and biological effects of pesticides in soil" (1965), *Soil Sci.*, 100: 68-70.
- 4) U.S.EPA. "Interlaboratory comparison study; Methods for volatile and semi-volatile compounds, Environmental monitoring systems laboratory", Office of Research and Development, Las Vegas, NV, EPA 60/4-84-027.