

## 토착 미생물의 활성화에 의한 유류오염 토양 정화 실험

이지훈, 이종규, 최상진  
(주)바투환경기술  
jhlee@batuenv.co.kr

### 요 약 문

Many methods have been developed for the remediation of contaminated soil and groundwater. Among those technologies, in-situ bioremediation is most likely to be cost-effective method for petroleum hydrocarbon contamination. But the in-situ bioremediation can require more time to remediate hydrocarbon-contaminated soil and groundwater than other methods. Therefore we intended to save time of in-situ bioremediation using a biological additive to activate indigenous microbes in soil. The additive, 'Inipol EAP 22' stimulates the growth of specific flora, significantly accelerating the speed at which hydrocarbons are biodegraded. And it has been tested in accordance with protocol approved by the USEPA and is registered on the National Contingency Plan Product Schedule List. In the experiment, three soil samples contaminated with fuel oil were prepared in the same concentration. Inipol EAP 22 was not added to one sample and was added to the other two samples with 5% and 10% of hydrocarbon by weight respectively. And CO<sub>2</sub> gas derived from bacterial respiration was analyzed in each samples for 15 days. As a result, 145% and 153% of CO<sub>2</sub> evolution (microbial respiration) against the sample without 'Inipol EAP 22' occurred in samples with 'Inipol EAP 22' addition of 5% and 10%, respectively.

**Key word:** soil contamination, bioremediation, intrinsic microbe, petroleum hydrocarbon, Inipol EAP 22, CO<sub>2</sub> evolution, respiration

### 1. 서론

토양 오염을 복원시키는 방법은 아주 많은 방법들이 개발되어 검증을 거쳐왔고 또 현장에서 이용되어 왔다. 그러나 그러한 대부분의 방법들은 현장 설치 시설 등의 많은 비용이 문제가 되어 왔다. 그 중에서 오염된 현장의 토양에서 서식하는 토양이나 지하수내의 토착 미생물이 유류오염물질을 에너지로 이용해 분해시키는 방법인 생물학적 분해 (bioremediation)가 많은 장점들을 가지고 있어서 연구가 활발히 되어왔다. 그러나 이 방법은 그대로 순수하게 자연 미생물에만 의존한다면 토양을 활용하는 경제적인 관점에서는 비용은 적게 들지만, 비교적 많은 시간이 걸리게 되어 경제적인 효율성에 문제가 될 수 있다. 이런 관점에서 가장 비용 경제적이면서 시간을 줄이는 방법은 토착 미생물을 적극적으로 활용하는 방법이다. 즉, 미생물 활성제를 토양에 첨가해줌으로써 미생물에 의한 생물학적 분해를 가속시키고 향상시키는 것이다.

토양에는 토양을 오염시키고 있는 유류물질을 분해시킬 수 있는 토착미생물이 존재한다. 분해 속도와 용량은 토착 미생물의 종류와 양, 영양분, 그리고 기타 토양 조건 등에 의해 좌우된다. 미생물에 의한 유류물질의 분해는 미생물로서는 에너지를 얻고 호흡을 하며, 이산화탄소를 발생하게 된다. 이러한 미생물 호흡에 의한 이산화탄소의 발생율은 미생물에 의해 오염물질이 분해되는 정도를 확인할 수 있는 간접적인 지표가 될 수 있다 (Hazen, 1999). 이 실험에서는 미국 EPA의 공인된 방법에 의해 시험인증되고 국가우발계획 (NCP)에 등록되어 있는 (Croft, 1995) 'Inipol EAP 22'라는 생물학적 첨가제를 사용해 오염 토양의 토착 미생물을 활성화 시켜 오염물질의 저감 양상을, CO<sub>2</sub> 발생량과 O<sub>2</sub> 저감량 측정을 통해 오염물질의 저감 속도와 첨가제의 효율을 시험해 보고자 하였다.

## 2. 실험 방법 및 재료

실험 재료는 오염되어 있지 않은 토양을 채집해 유류 (경유, diesel) 를 잘 섞어, 경유 농도 약 14,778.3 ppm의 오염 토양을 만들었다. 토양 내 유류를 분해시킬 수 있는 미생물에 대해 적응기를 주기 위하여 오염 토양 시료를 3주간 상온에 방치 시켰다. 그리고 토양 800g 썩을 세 개의 플라스크에 각각 넣었다. 한 시료에는 'Inipol EAP 22'를 첨가하지 않고, 한 시료에는 토양 시료에 들어간 유류의 5% (wt)가 되게 'Inipol EAP 22'를 적당량의 물과 섞어 넣고 (세 시료 모두 함수비를 일정하게 유지), 나머지 한 시료에는 유류의 10% (wt)가 되도록 Inipol EAP 22를 첨가해서 잘 섞었다. 그렇게 만들어진 시료를 각각 삼각플라스크에 넣고 밀폐를 시켰다. 마개위로 유리관 두 개씩을 달아 한쪽으로 플라스크 내 공기를 끌어내 CO<sub>2</sub>를 측정하고 그 공기를 다시 다른쪽 유리관을 통해 플라스크로 들어가게 하는 순환 시스템을 사용해 누적되는 이산화탄소의 양을 측정했다. 이산화탄소의 공기중 양을 측정하는데는 GA45 Infrared BioGas Analyser (ENVIROEQUIP)를 사용했다 (그림 1).

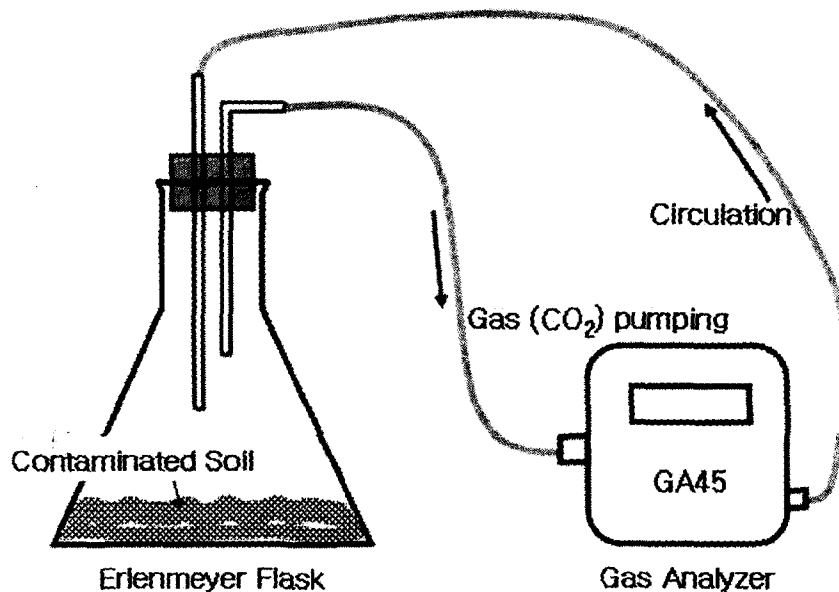


그림 1. CO<sub>2</sub> 측정을 위한 장치: 오염토양의 플라스크와 GA45 Gas Analyser

### 3. 결과 및 결론

15일간 세 플라스크에서 이산화탄소의 발생량을 측정한 결과, 'Inipol EAP 22'를 첨가하지 시료에서 CO<sub>2</sub>가 발생된 양에 비해 유류의 5%의 'Inipol EAP 22'를 첨가한 시료는 그 145%의 CO<sub>2</sub>가 발생되었고, 10%의 'Inipol EAP 22'를 첨가한 시료에서는 'Inipol EAP 22'를 첨가하지 않은 시료의 153%의 CO<sub>2</sub>가 발생되었다 (그림 2). 또한 플라스크 내 산소의 양도 시료에 따라 감소하는 비율이 다름을 보여주었다 (그림 3).

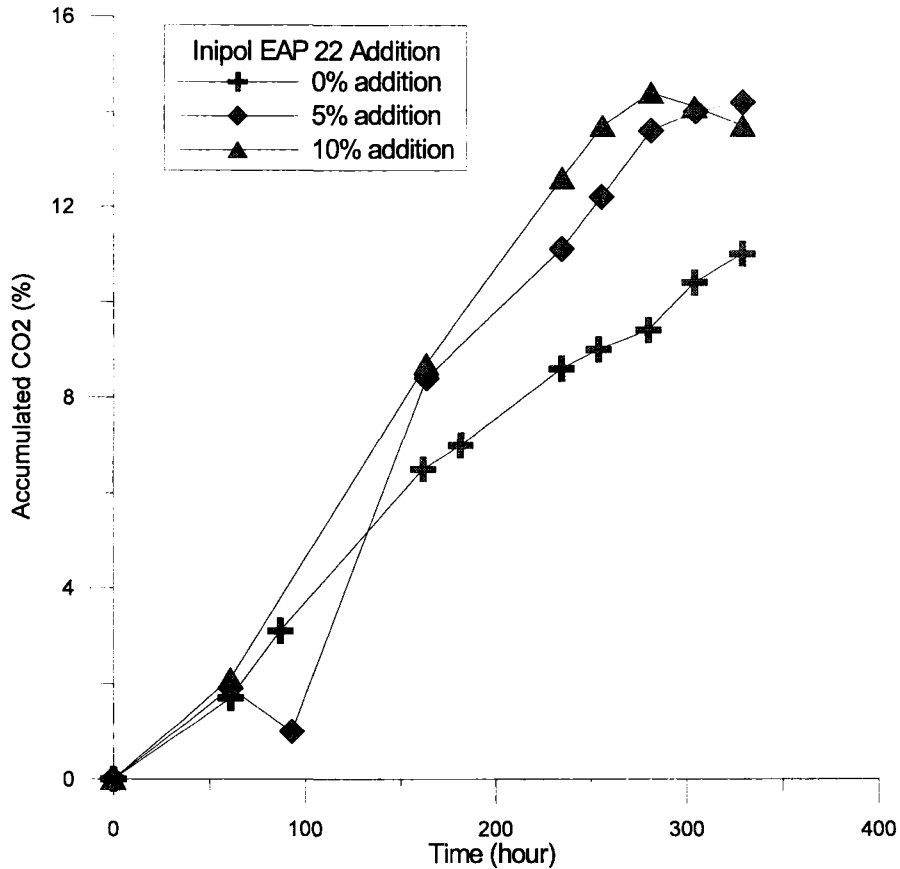


그림 2. 플라스크 내 시료에서 발생된 CO<sub>2</sub> 농도

이것은 토착 미생물이 플라스크 내 산소 (O<sub>2</sub>)를 이용해 호흡을 함으로써 플라스크 속의 산소 비율이 감소하고 (그림 3), 미생물의 호흡에 의해 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>)가 발생하는 것을 의미한다. 'Inipol EAP 22'를 사용하지 않은 시료에 비해서 'Inipol EAP 22'를 사용한 시료에서의 CO<sub>2</sub> 증가가 빠르게 일어났고, 5%보다는 10%를 첨가한 시료에서 더 빠른 CO<sub>2</sub>의 증가가 있었다. 또한 산소의 감소도 'Inipol EAP 22'를 사용한 시료에서 더욱 빨리 일어났다.

'Inipol EAP 22'를 오염된 토양에 적당량 첨가하는 것은 생분해 (biodegradation)가 활발하게 일어나게 하는 촉진제 역할을 한다. 그래서 실험에서 오염물질 질량의 5%, 10% 'Inipol EAP 22'를 첨가했을 때 첨가하지 않았을 때보다 유류 오염물질 분해에서 월등한 효과를 보였다. 결론적으로, 이 생물학 첨가제는 토착 미생물을 활성화시켜서 토양 내 유류 오

염물질이 더욱 빠르게 제거되게 하는데 도움을 주는 것을 알 수 있다.

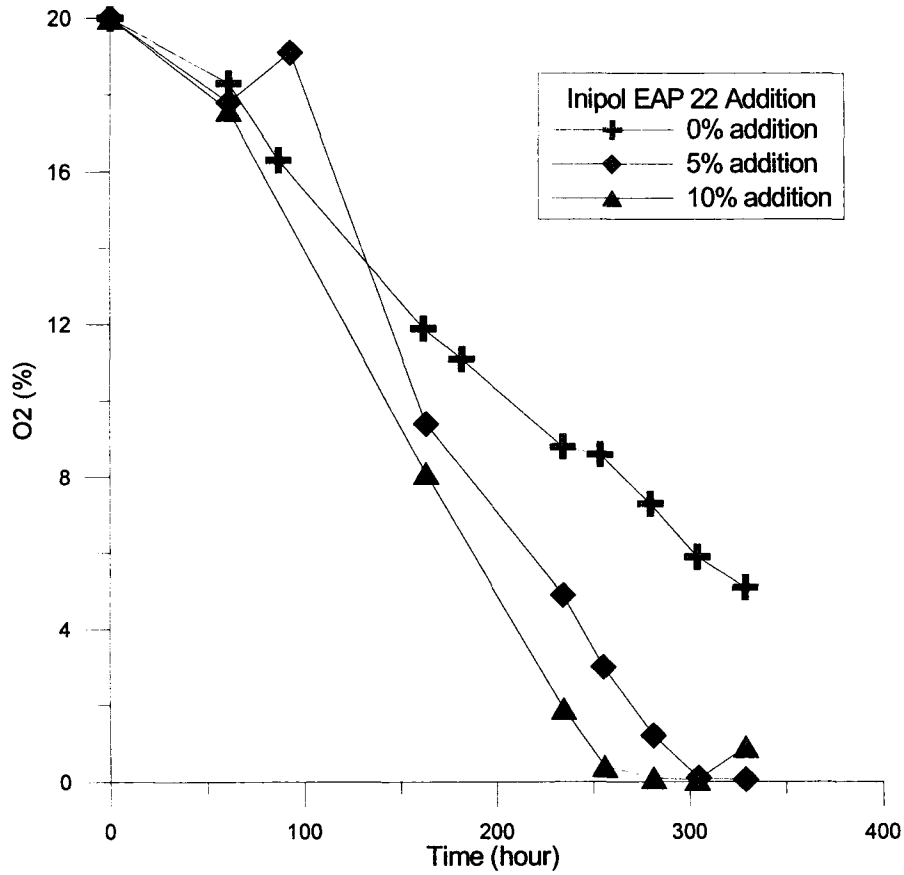


그림 3. 플라스크 내 시료에서 발생된 O<sub>2</sub> 농도

#### 4. 참고문헌

Hazen T.C., Oh, K.C. and Stringfellow, W., Biostimulation of highly Weathered PAH-Contaminated Soils Using Oleophilic Fertilizer, Lawrence Berkeley National Laboratory Annual report, 1999.

Croft, B.C., Swannell, R.P.J., Grant. A.L, and Lee K., The Effect of Bioremediation Agents on Oil Biodegradation in Medium-fine Sand, Applied Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons, Battelle Press, 1995.