

Pilot 규모 biopile에 의한 유류오염토양의 정화

김태승, 박종겸, 윤정기, 노희정, 정일록, 김종하

국립환경연구원 (e-mail : tskim99@me.go.kr)

<요약문>

The pilot scale biopile system was designed and constructed for evaluation of biopile efficiency. For the biopile system construction, two soil samples that were contaminated by mainly diesel were selected. The pilot scale biopile were consisted of the biopile dome, aeration system and monitoring system and two biopiles(pile A and pile B) were operated with nutrients and inoculum for more 100 days.

The initial TPH concentrations for pile A and pile B were about 10,000 mg/kg and 2,300 mg/kg, respectively. After 70 days, the microbial densities in the pile A was increased and in the pile B it was no changed. The TPH contents decreased about 70% in the pile A and 30% in the pile B. Also, various kinds of PAHs were detected by analyzing the GC/MSD, and the reducing ratio in the piles A and pile B were similarly declined. The average biodegradation rates were calculated about 66.8mg/kg-day in the pile A and 10.9mg/kg-day in the pile B. During the operation period, pile temperature was the major limiting condition for the efficiency of all biopiles.

key word : biopile, petroleum hydrocarbon, microorganism, contaminated soil

1. 서론

1990년대 이후 미국 등에서 유류에 의한 토양오염의 정화를 위해 보다 비용효과적이면서 이차적인 환경오염을 유발시키지 않는 생물학적인 정화기법이 적극적으로 개발되어 왔으며, 정화기간이 다소 긴 단점에도 불구하고 점차 확대되고 있다. 그 중 한가지 방법으로 biopile기법은 미국 등 선진국에서 다양한 기술개발이 진행되어 왔다.^{1~3)}

Biopile은 오염부지복원에 상대적으로 많은 비용이 요구되는 부지에서 보다 비용효과적인 기술로 알려져 있으며, 특히 biopile은 상대적으로 설계와 건설이 용이하고, 일반적인 오염토양의 정화기간이 대략 3~6개월로 비교적 짧은 장점이 있다. 그러나 biopile 공법은 다환방향족탄화수소(PAHs)가 다량 들어 있거나 총석유계탄화수소(TPH) 및 토양 중 중금속이 과다하게 높을 경우 기술의 적용이 효과적이지 못한 것으로 알려져 있다²⁾. Biopile이란 미생물이 호기적 상태에서 유류분해 작용을 할 수 있게 설계된 처리시스템으로서 적절한 산소 및 수분의 공급이 필요하고, pile 내부에서 일어나는 현상은 매우 복잡하다. 국내에서 biopile을 이용한 유류오염토양에 대한 정화사례는 매우 제한적이며, 이에 대한 연구도 매우 부족한 실정이다^{4,5)}.

본 연구에서는 국내 오염토양으로부터 분리한 미생물을 사용하여 파이롯트 규모의 biopile 처리시스템을 설계·설치하고 운전조건에 따른 유류분해 특성을 규명하고자 하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1 Pilot 규모의 biopile 시스템 설계 및 제작

(1) 시험토양 선정 및 특성분석

Pilot 규모의 biopile 시스템에 사용할 시험토양은 경유로 오염된 토양으로 주유소 및 저유소인 각각 A지역 및 B지역의 경유오염토양을 선정하여 약 13 m²의 토양을 채취하였으며, 시료를 채취한 후 10 mm 체로 체거름하여 균질하게 혼합한 후 토착 미생물로부터 분리·배양한 미생물 및 영양염류를 혼합하여 이를 biopile 제작에 사용하였다.

(2) 시스템 설계

Biopile을 이용한 유류오염토양의 처리효율을 조사하기 위해 가로 2.5 m × 세로 3.0 m × 높이 1.0 m 크기의 pilot 규모의 biopile 및 biopile dome, 송풍기, 토양가스 모니터링장치 등이 biopile 시스템에 포함하였다(Figure 1).

(3) Biopile 처리효율 평가

Biopile의 처리효율을 평가하기 위해 0, 10, 30, 50, 70, 100일째에 주기적으로 토양시료를 채취하였으며, 시료채취 지점은 각 pile별로 4지점을 선정하였다. 각 pile별 시료채취는 파일의 좌, 우측에서 깊이 10~30 cm, 30~60 cm위치에서 채취하여 GC/FID 및 GC/MSD를 이용하여 석유계총탄화수소(TPH) 및 다환방향족탄화수소(PAHs, 17종), 토양미생물의 변화를 조사하였다.

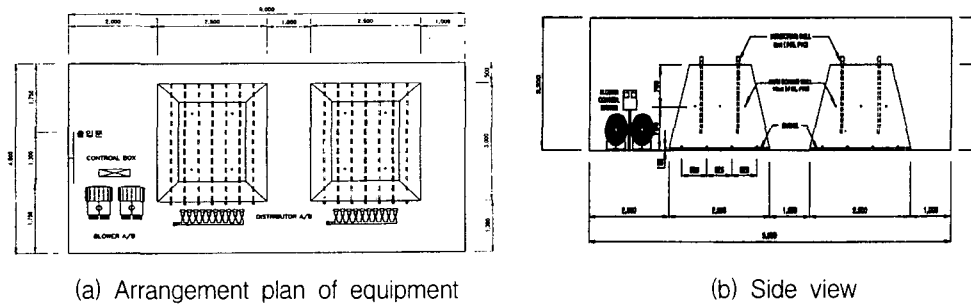


Figure 1. Scheme of pilot scale biopile system.

3. 결과 및 고찰

3.1 Pilot 규모 biopile 시스템 처리효율 평가

(1) 유류의 분해능 평가

1) 유류농도의 경시적인 변화

Pilot 규모의 biopile을 이용하여 두 종류의 유류오염토양에 대한 100일간의 처리효율은 70~30% 수준인 것으로 나타났다(Figure 2). 또한 Pile A와 B의 시간에 따른 생분해율의 변화를 보면 각 pile에서 시간이 경과함에 따라 점차 감소하는 것으로 나타났으며, pile A가 pil B에 비해 생분해속도가 높은 것

으로 나타났다. 본 연구에서 고농도인 Pile A의 TPH 생분해속도는 평균 66.8 mg/kg-day이었으며, 저농도인 Pile B의 TPH 생분해속도는 평균 10.9 mg/kg-day로 나타났다.

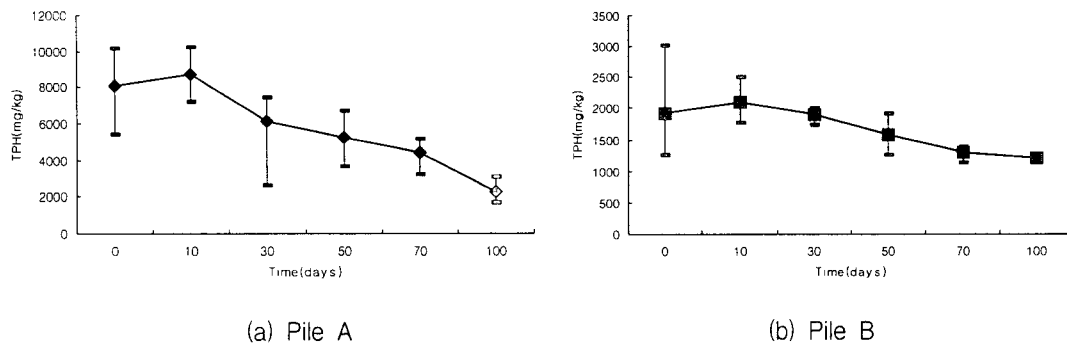


Figure 2. Changes of TPH concentration in biopile.

2) 토양 미생물 분석

유류분해 미생물수는 Pile A의 경우 초기 5.6×10^4 CFU/g-soil에서 시간이 경과하면서 70일 후에는 1.7×10^7 CFU/g-soil까지 증가되는 것으로 나타났으나, Pile B의 경우에는 증가하는 경향을 보여 주지 않았다.

3) PAHs 분석

Pile A와 B에서 16종을 대상으로 검출된 PAHs 중 두 파일 모두 Pyrene이 가장 많은 양으로 존재하였다. 각 Pile별 전체 PAHs의 분해율은 Pile A가 38.0%, Pile B는 35.2%로 Pile A의 분해율이 Pile B보다 다소 높게 나타났다.

4) 온도와 생분해속도와의 관계

유류의 생분해속도는 유류오염물질의 초기농도, 유류성분, 미생물 활성도 및 온도 등 다양한 요인에 의존한다. 특히 우리나라와 같이 기후 변화가 뚜렷한 경우 biopile과 같이 실외에서 정화가 이루어질 때 처리 속도는 온도에 크게 영향을 받게 된다. 이러한 온도의 영향을 파악하기 위하여 온도의 증가에 따른 생분해속도와의 관계를 조사하였다. Figure 3과 같이 온도의 증가에 따라 생분해속도는 급격히 증가함을 알 수 있었으며, 지수식 관계를 보여주었다.

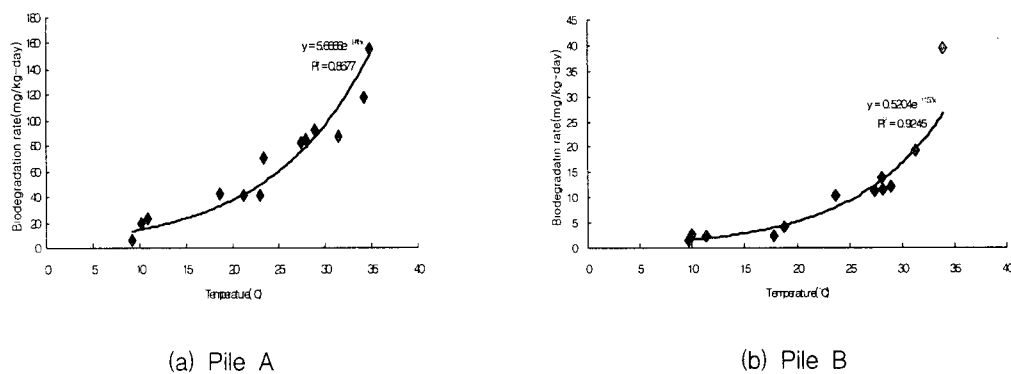


Figure 3. Biodegradation rate versus temperature in biopile.

4. 결 론

Pilot 규모의 biopile 시스템을 100일간 운전한 결과, Pile A의 경우 Pile B에 비하여 TPH 농도의 감소가 크게 나타났으며 처리효율은 각각 약 70 및 30% 수준이었다. Pile B에 비해 Pile A의 미생물 호흡량이 매우 높게 나타났으며, 평균 생분해속도는 Pile A에서 66.8 mg/kg-day, Pile B에서 10.9 mg/kg-day로 측정되었다. 한편, GC/MSD를 이용한 토양시료 중 PAHs 분석에서는 pyrene 등 다양한 PAHs가 검출되었으며, 16종의 총 PAHs에 대한 농도는 Pile A 및 pile B가 모두 유사하게 감소하였다. 한편 biopile 운전기간 동안 변화된 유류분해 미생물수는 Pile A의 경우 시간에 따라 증가하였으나 Pile B의 경우에는 큰 변화를 보이지 않았다. 또한 생분해속도와 온도와의 관계를 지수식으로 나타내었다.

참고문헌

1. U.S. EPA(1995), How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tank Sites -A Guide for Corrective Action Plan Reviewers, EPA/510/B-95/007.
2. F. M. Fahnestock, G. B. Wickramanayake, et al.(1998), Biopile Design, Operation, and Maintenance Handbook for Treating hydrocarbon Contaminated Soils, Battelle Press.
3. Jorgensen, K.S., Puustinen, J., Suortti, A.-M.(2000), Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by composting in biopiles. Environmental Pollution, 107, 245-254.
4. Yeom, I.T., Heo, S.C., Lee, S.H., Ahn, K.H.(1999), Biopile을 이용한 디젤오염토양의 처리. 대한토목학회, 19, 4, 523-531.
5. 이민호 외, (2002) Biopile을 이용한 유류오염토양 처리에 관한 연구(I), 24, 405-420, 국립환경연구원보.