

윤활유 오염토양의 분석 및 생물학적 복원

Analysis and Bioremediation for the Soil Contaminated by Lubricant

이재영*, 정우성**, 조영민**, 최성규***, 고성환****, 김희만*****

Jae-Young Lee, Woo-Sung Jung, Young-Min Cho, Sung-Kyou Choi, Sung-Hwan Ko and Hee-Man Kim

ABSTRACT

As the preservation law of soil environment has reinforced, several soil remediation projects have been performing for railroad sites. One of the main sources of soil contamination is the leakage of diesel from locomotives or underground storage tank. Also, the lubricant used to maintain turnouts causes railroad soil contamination. The purpose of this study was to develop the analysis and the remediation method for lubricant-contaminated soil. The lubricant in the contaminated soil was analyzed qualitatively and quantitatively by TLC (Thin Layer Chromatography) and GC (Gas Chromatography), respectively. The organic pollutants were removed from the soil using microorganisms degrading lubricant. Hereafter it will be necessary to apply this bioremediation method in the railroad field.

1. 서론

국내 토양환경보전법의 강화에 따라 토양 및 지하수 오염 처리는 중요한 환경 이슈로 부각되고 있다. 철도의 경우, 차량운행 및 유지·보수 시 발생하는 유류 및 중금속에 의한 오염이 철도부지에서 빈번히 발견되고 있으며, 이를 처리하기 위한 대규모 복원사업이 진행되거나 완료되었다 [1]. 특히, 유지·보수 시 사용되는 윤활유는 유류 오염의 주요 원인 중 하나이다 [1, 3]. 윤활유는 일반적인 가솔린 및 디젤 등에 의해 발생하는 유류와는 달리 분자량이 크기 때문에 토양증기추출, 열탈착 등의 오염토양 처리법은 적용이 어렵다 [2]. 또한 주로 선로 주변에서 윤활유에 의한 오염이 발생하기 때문에 차량의 운행 중에 정화가 가능한 방법의 적용이 필요하다 [3]. 본 연구에서는 윤활유에 대한 분해 특성을 가지고 있는 미생물을 이용하여 윤활유 오염토양의 생물학적 처리 방법을 실험하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용되어진 윤활유는 1종 차축유(제우스 유화공업, 한국)로 선로분기기의 유지·보수 시 활용된다. 윤활유를 TLC(Thin Layer Chromatography)/FID(Frame Ionization Detector)를 이용하여 정성분석한 결과, 방향족 탄화수소 및 아스팔트 성분은 검출되지 않았으며, 지방족 탄화수소로만 구성되어 있는 것으로 나타났다(Fig. 1). 대상 토양은 윤활유 1%를 0.075 mm~2 mm 크기의 모래 시료에 균일하게 인공적으로 오염시켰다. 미생물을 이용한 오염토양 처리 실험은 4가지로 구분하여 수행하였다. 자연저감 및 휘발성을 보기 위해 윤활유 오염토양에 수분만 공급한 실험군 I와 유류분해 미생물(대사산물 분해 미생물 포함)을 주입한 실험군 II, 유류분해 및 윤활유 분해 미생물을 동시에 주입한 실험군 III, Co-oxidation 효과를 이용하기 위해 실험군 III에 등유를 공급한 시험구 IV로 구성하였다.

* 책임저자, 정희원, 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부 환경화재연구팀

E-mail : iyoung@krri.re.kr

TEL : (031)460-5388 FAX : (031)460-5319

** 한국철도기술연구원, 궤도토목연구본부 환경화재연구팀

*** 한국철도기술연구원, 철도시스템연구본부 시스템인터페이스연구팀

**** 에코필 대표이사

***** 한국철도공사, 환경팀

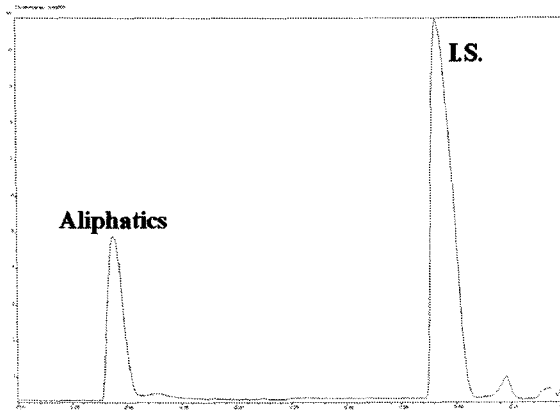


Fig. 1 윤활유의 TLC/FID chromatogram

오염토양 시료를 각각 3 L 스테인리스 사각용기에 500 g 씩 넣고, 실험군 I에는 수분만을 조절하였다. 미생물 투입 시 첨가되는 영양염제는 질소원과 인산염의 형태가 다양하게 존재하는 Ecoguard MS I을 사용하였으며, TPH(Total Petroleum Hydrocarbons) 1,000 ppm 당 350 ppm(C/N/P=100/10/1 비율로 첨가)을 투여하였다. 미생물 제제는 특허획득 및 NEP 마크 획득, 조달청 우수조달제품으로 인정받은 EcoGuard CDM을 3 kg/m²-soil 비율(10⁶MPN/g-soil)이 되도록 첨가하였다. 실험군 IV에는 co-oxidation 효과를 알아보기 위해 추가로 등유 0.1 %를 첨가하였다. 각 실험군은 25℃에서 3일마다 1회씩 잘 혼합 시켜주었으며, 일주일에 2회 수분 조절을 해주었다. 샘플링 주기에 따라 각각의 실험군에서 시료를 채취 하여 총세균수와 유류분해 세균수를 측정하여 생물학적 특징을 분석하였으며, 윤활유 잔류량은 GC(Gas Chromatography)/FID를 이용하여 TPH로 분석하였다.

3. 실험결과

GC/FID 분석결과, 실험군 I의 TPH 분해율은 1~6 % 정도로 자연감소 효과가 미미한 것으로 나타났다. 3일차에 실험군 II, III, IV의 유류 분해율이 각각 18 %, 14 %, 15 %로 유류분해 미생물만을 주입한 실험군에서 가장 높은 분해율을 나타냈으나, 6일차에 각 실험군의 분해율이 21 %, 24 %, 26 %로 등유를 함께 첨가해준 실험군에서 가장 높은 분해율을 나타내었다. 마찬가지로 13일차에 각 실험군의 분해율이 23 %, 28 %, 32 %, 18일차에 26 %, 29 %, 34 %, 24일차에 25 %, 30 %, 36 %, 31일차에 31 %, 31 %, 39 %로 나타났다 (Fig. 2). 이는 등유의 첨가로 인하여 윤활유 분해에 co-oxidation 효과를 나타낸 것으로 사료된다.

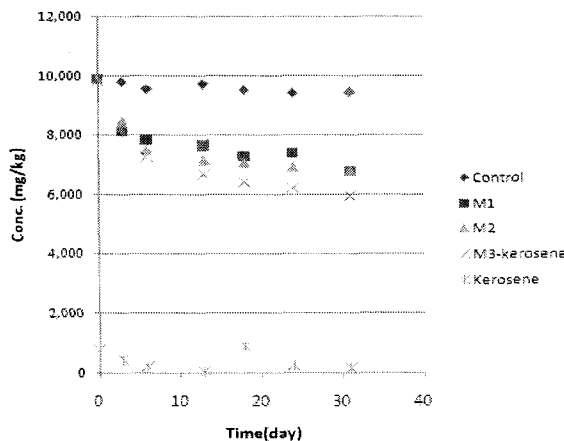


Fig. 2 Bioremediation에 의한 TPH(GC/FID) 농도 변화

한편, 총 균체수의 변화를 관찰한 결과, 실험군 I의 경우 초기 수에 비해 큰 변화가 없었다. 반면에 미생물을 첨가한 실험군 II, III, IV는 6일차에 균체수가 최대 1.0×10^8 CFU/g-soil까지 증가하였다가 13일차까지 계속 유지되었다. 18일차에 1.5×10^8 CFU/g-soil로 증가하였고, 31일차에 최대 5.9×10^8 CFU/g-soil까지 증가하였다(Fig. 3(a)). 유류분해 균체수의 경우에는 초기에 4.98×10^4 MPN/g-soil이었다. 3일차에 실험군 I의 유류분해 세균수는 1.2×10^6 MPN/g-soil로 증가하였다가 이후 큰 변화가 없었다. 반면에 미생물을 첨가한 실험군 II, III, IV는 $1.5 \sim 4.0 \times 10^7$ MPN/g-soil로 측정되었으며, 6일차에 $3.0 \sim 7.2 \times 10^7$ MPN/g-soil, 13일차에 $3.5 \sim 6.5 \times 10^7$ MPN/g-soil, 18일차에 $4.5 \sim 12.0 \times 10^7$ MPN/g-soil로 나타났다(Fig. 3(b)). 유류분해가 계속 지속되어 탄소원인 유류 농도가 감소하면 미생물 균체수가 감소하는 경향을 보일 것으로 추정된다.

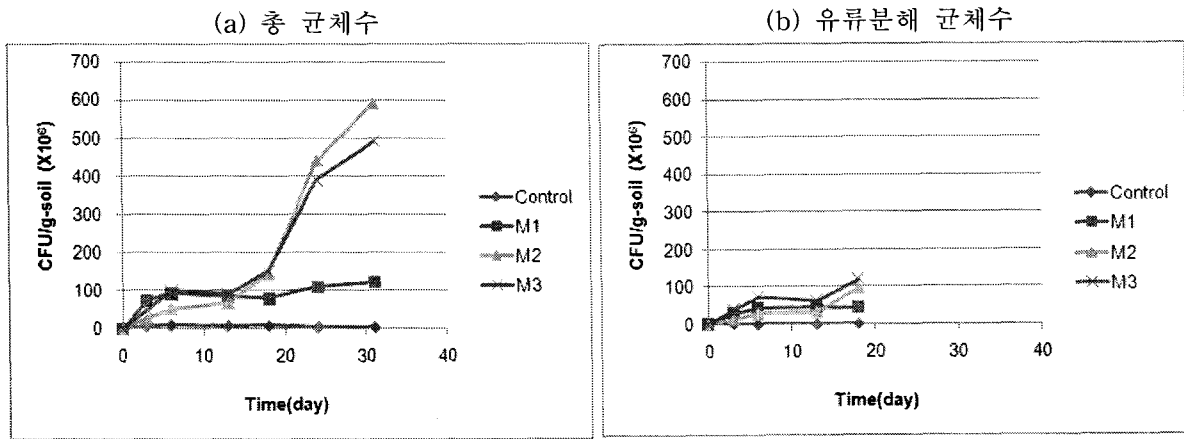


Fig 3. Bioremediation에 의한 미생물 균체수 변화

4. 결론

철도의 유지·보수 시 사용되는 윤활유는 토양오염의 주요 원인 중에 하나이다. 본 연구에서는 일반적인 유류 토양오염과는 달리 윤활유 오염 철도토양의 현장 특성을 고려하여 탄소수가 높은 윤활유 처리에 효과적인 생물학적 처리법을 적용하여 처리 특성을 살펴보았다. 유류분해 미생물을 주입함으로써 오염토양 내 윤활유의 농도는 저감되었으며, co-oxidation 효과를 유도하기 위해 추가로 등유를 주입한 실험군에서 가장 높은 윤활유 처리 효율을 확인할 수 있었다. 유류분해 미생물 균체수가 지속적으로 증가하는 경향으로 보임에 따라 추후 윤활유 분해가 더 진행될 것으로 판단된다. 윤활유에 의한 철도 오염 토양은 미생물의 유류분해 특성을 이용하여 처리가 가능하였으며, 향후 처리효율 및 속도 향상을 위한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

5. 감사의 글

본 연구는 ‘철도선도기술개발-복합오염 철도토양 정화공법 개발’ 및 ‘철도 선로분기기 하부 토양 정화방법 연구’ 과제의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

6. 참고문헌

- (1) 한국철도기술연구원, 철도 토양환경 개선에 관한 연구 1차년도 보고서, 1998
- (2) 에코필, 폐윤활유 오염토양 정화기술 최종보고서, 2004
- (3) John Haddad, et al., Integrating physical, chemical, and biological technologies to remediate an active railroad site, Principles and Practices for Diesel Contaminated Soils, Vol. V, 1996, p129-147