



미생물활성화제를 이용한 유류오염토양 복원에 관한 연구

이채영[†], 정찬교, 김종문

수원대학교 토목공학과[†], 수원대학교 환경에너지공학과

(2011년 6월 13일 접수, 2011년 6월 23일 수정, 2011년 6월 25일 채택)

A Study on the Remediation using Microbial Activator from Oil-Contaminated Soil

Chae-Young Lee[†], Chan-kyo Chung, Jong-moon Kim

Department of Civil Engineering, The University of Suwon[†],

Department of Environmental and energy engineering, The University of Suwon

ABSTRACT

In this study, the soil remediation by landfarming was carried out using microbial activators. Feasibility studies and reduction capacity of TPH(Total Petroleum Hydrocarbons) were investigated in order to find out how fast and eco-friendly the contaminated soil can be recovered. The lab-test confirmed not only the performance and degradation efficiency of microbial activators but also the effect of TPH reduction in the contaminated soil. The optimum growth conditions for indigenous microorganisms were identified using microbial activators. Based on the results of TPH removal, although there had been a little of difference in between natural decomposition and microbial activators until 20 days, the sample groups of microbial activators were higher than the control ones after 20 days. Microbial activators were applied to the field experiments on landfarming. Based on the results of removal rate in each floor of soil, it was found that the removal rates were 85.8 % in the upper, 84.4 % in the middle, and 66.10 % in the bottom. Considering that the reduction rate of TPH for the control group averaged 71.1%, the microbial activators might not be fully transferred into the bottom, which resulted from the piles of soil. As the piles have already reached 1 m in the field experiments, the low piles of soil under 0.6 m may enhance the treatment efficiency of TPH.

Keywords : Total Petroleum Hydrocarbon(TPH), Soil Contamination, Microbial Activator

[†]Corresponding author : chaeyoung@suwon.ac.kr

초록

본 연구에서는 미생물활성화제를 토양경작법에 적용하였을 경우 토양을 복원함에 있어 타 공법에 비해 장시간 걸리는 단점을 최소화하고, 빠른 시일 내에 친환경적으로 복원이 가능한지에 대한 타당성 조사와 더불어 석유계총탄화수소(TPH)의 저감 능력을 확인하였다. Pre-test의 개념으로 미생물활성화제의 성능과 분해 효율을 lab-test를 통해 확인하였으며, 유류오염 토양의 지표인 석유계총탄화수소(TPH)의 효과를 확인하였다. 석유계총탄화수소(TPH)의 처리 효과를 확인한 결과, 20일 정도까지는 자연분해와 미생물활성화제의 차이가 미미하게 발생하였으나, 20일 경과 후에는 처리 효과가 대조군에 비해 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 각층에 따른 제거율을 살펴본 결과, 상층 85.8 %, 중층 84.4 %의 제거율을 나타냈으나, 하층에서는 66.10 % 제거율을 나타냈다. 대조군에서 자연적으로 줄어드는 석유계총탄화수소(TPH)의 저감율이 평균 71.1 %임을 근거로 봤을 때 미생물활성화제가 하층까지 충분히 전달되지 않은 상태로 볼 수 있었으며, 이는 토양 더미의 문제로 판단된다. 현장 실험에서는 토양 더미가 1 m로 진행되었기 때문에 더미 높이를 0.6 m 이하로 낮추게 되면 석유계총탄화수소(TPH)의 처리 효율은 더 높아질 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 석유계총탄화수소(TPH), 토양오염, 미생물활성화제

1. 서론

국내 토양오염 복원은 1995년 토양환경보전법 제정 이후 지금까지 우리나라 토양환경보전 정책은 부분별로 많은 발전을 이뤄왔으며, 휴·폐금속 광산지역 토양오염 조사 및 정화, 산업단지 토양오염 정밀조사, 주한미군 공여구역 주변지역 토양오염 및 군사시설 토양오염 방지 협력체계를 구축하면서 토양오염관리

가 취약한 지역에 대한 관리를 더 강화하였다^{1,2)}.

본 연구에서는 2008년 미군반환기지 오염토양 정화사업(LPP: Land Partnership Plan)이 시행됨에 따라 경기도 P시 반환미군기지 지역 중 일부 구간에서 진행되었다. 반환미군 해당 오염토양은 지중처리가 아닌 모두 굴착 후 정화하는 방법이 적용되었으며, 굴착한 토양은 기지별 오염특성을 고려해 토양경작법, 토양세척법 그리고 열탈착법이 사용되고 있었다.

[Table 1] Experimental Condition of the Lab-Scale

실험기간	2010년 2월 22일~4월 19일(8주간)
토양 시료량	150 g
초기 TPH 농도	14,000 mg/kg
함수율	18.2 %
	15 % 이상 (Paudyn 등, 2008)
	25 % 일때 분해율 50~70 % (Pramer와 Bartha, 1972)
pH	6.8
온도	25 ± 2 °C
미생물제제	메이지바이오社 2종 (BP 200, BP 300)
시료채취 간격	2~4일(3g×3개)

친환경성과 경제성을 고려하여 우리나라 토양 복원방법에서 적합하다고 판단되는 생물학적 처리방법인 토양경작법을 적용하여 유류오염토양을 복원하였으며, 토양경작법은 유류유용미생물을 사용하는 것이 일반적인 방법이지만 미생물활성화제를 적용함으로써 석유계총탄화수소(TPH) 및 중금속의 저감 효과를 확인하였다³⁾.

오염토양 정화가 대규모화되고 토양 정화에 사용되는 제작 및 설치비용 역시 사업비에 큰 영향을 미치는 것이 현실적으로 큰 이슈이다⁴⁾. 정화 사업을 진행함에 있어 필요한 기본 설치비용은 배제할 순 없으나 경제적이고 효율적인 적용에 관한 방향을 본 연구에서 제시하고자 한다.

2. 실험 재료 및 방법

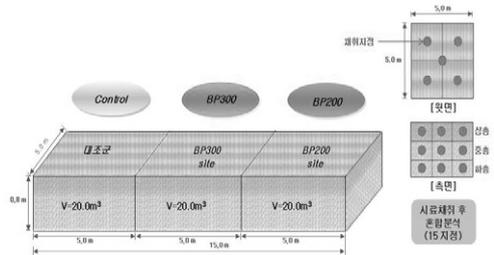
2.1 Lab-scale 실험

본 연구에 사용된 토양시료는 국방부에서 진행하는 미군반환기지 오염토양 정화사업(LPP) 지역 중 미군이 50년 이상 사용하고 반환된 지역인 P시 유류오염 토양이며, 생물학적 처리공법을 이용하여 유류로 오염된 토양의 복원 방안을 적용하여 진행하였다. 현장

적용에 앞서, 토양을 고농도 유류로 인위적으로 오염시켜 실험을 진행하였다. 메이지바이오社에서 제공받은 미생물활성화제 2종 선정하여 유류오염토양의 복원 능력을 확인하고자 하였다. 실험조건은 [Table 1]과 같다.

2.2 현장 실험을 통한 실증 실험

현장 실험은 미군반환기지 오염토양 정화사업(LPP: Land Partnership Plan)이 시행됨에 따라 P시 반환 미군기지 지역 중 일부 구간에서 진행되었다. 현장 실험이 진행된 구간에서 토양 샘플링하는 방법은 [Fig. 1]에 설명하였다²⁾. 토양경작법은 호기성 미생물을 이용하여 석유계총탄화수소(TPH)를 분해하는 것이기 때



[Fig. 1] Sampling method of contaminated soil.

[Table 2] Experimental Condition of the Pilot Test

실험기간	2010년 4월 16일 ~ 6월 11일 (8주간)
토양 시료량	약 45 m ³ [15 m(W) × 5 m(H) × 1 m(D)]
초기 TPH농도	3,000 mg/kg
함수율	15 ± 2 %
pH	6.8
온도	30 ± 5 °C
CNP	100 : 10 : 1
미생물개체수	1 × 10 ⁹ CFU/g-soil
미생물활성화제	메이지바이오社 2종 (BP 200, BP 300)
	각각 20L씩 살포
시료채취 간격	14일 (지점별로 20g씩 측정)
	Fig.1과 동일하게 지점별로 15 points(상층, 중층, 하층에 각각 5개씩)

문에 현장에 증장비(포크레인)를 지원받아서 매주 토양 뒤집는 과정을 반복하였으며, 수분 함량이 일정하게 유지할 수 있도록 물을 20L씩 살포해주었다.

[Table 2]에서는 현장 실험을 진행함에 있어 실험 조건을 나타내었으며, 현장 실험을 진행한 후 석유계총탄화수소(TPH) 저감 효과 및 중금속의 오염 여부를 확인하였다.

2.3 석유계총탄화수소(TPH) 분석

유류오염토양의 석유계총탄화수소(TPH) 분석은 GC(Agilent社 7890A)를 사용하였으며 전처리 방법으로는 초음파추출법을 이용하여 추출 및 정제를 진행하였다. 석유계총탄화수소(TPH) 분석에 사용된 column은 DB-5를 사용하였고 검출기는 FID를 이용하여 토양오염공정시험법에 따라 분석하였다²⁾.

2.4 유류오염의 중금속 분석

본 연구에서는 유류오염 내에 존재하고 있을 중금속 함량에 관한 분석을 진행하였다. 유류오염 토양을 용출한 다음 여과 후 상등액을 취하여 분석을 진행하였으며, 분석은 서울대학교 기초과학공동기기원에 분석을 의뢰하여 검출여부를 확인하였다. 분석에 사용된 장비는 ICP-AES(PerkinElmer社 Optima-4300 DV)를 사용하였으며, 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 비소(As), 납(Pb), 아연(Zn), 니켈(Ni), 크롬(Cr) 등 7가지 항목을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Lab-scale result

본 연구에서는 유류에 오염된 토양의 환경오염을 최소화시키는 방안으로 생물학적 방법으로 복원하고자 미생물활성화제를 이용한 유류오염 토양에 미치는 영향을 확인하였다. 실험에 사용된 토양은 P시 미균반환기지 오염토양 정화사업(LPP)이 진행되는 비닐하우스 내의 토양시료를 채취하여 디젤을 사용하여 인위적으로 고농도(14,000 mg/kg)로 오염시킨 후, lab-scale 복원 목표치인 석유계총탄화수소(TPH) 2,000 mg/kg 이하로 저감되는데 소요되는 시간을 확인할 수 있었다.

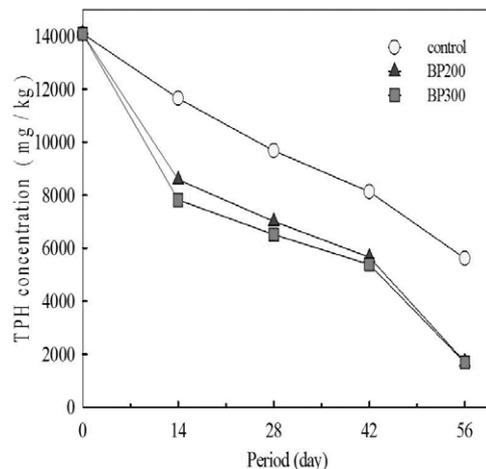
오염토양 정화기술을 오염부지에 적용하는데 있어서는 정화효율에 영향을 미칠 수 있는 인자를 정확히 이해하고 각 부지의 정화에 적합한 조건을 도출하는 것이 매우 중요하다. 생물학적 분해법을 적용하는데 있어서 호기성 분해과정은 산소가 충분하지 않을 경우 일어날 수 없기에 산소가 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 오염토양을 수시로 뒤집어 주었으며 수분 함량은 18.2 %를 유지하였다.

3.2 현장 실험을 통한 TPH저감 효과

3.2.1. 각 층에 따른 TPH 농도 변화

본 연구가 진행된 대상지역인 P시 오염부지 내 석유계총탄화수소(TPH)의 오염 농도는 3,000 mg/kg이었으며, 토양경작법이 진행되는 구간 일부를 미생물활성화제 2종을 적용함으로써 석유계총탄화수소의 제거 효율을 확인하고자 하였다. 각 층에 따른 석유계총탄화수소(TPH) 농도의 저감 효과는 [Fig. 3]에 나타내었다.

상층(top)과 중층(middle)에서는 대조군에 비해 미생물활성화제의 제거 효과가 더 높은 것으로 확인되었다. 하층에서는 미생물활성화제가 대조군보다 제거 효과가 높게 나타나지만, 토양오염 우려기준(1 지역) 500 mg/kg 이하로 저감되지는 않았다. 석유계총탄화수소(TPH)의 유류 복원 제거 효과가 하층에서 잘 이루어지지 않은 가장 큰 이유로는 토양의 더미를 이



[Fig. 2] Result of the TPH by lab-scale.

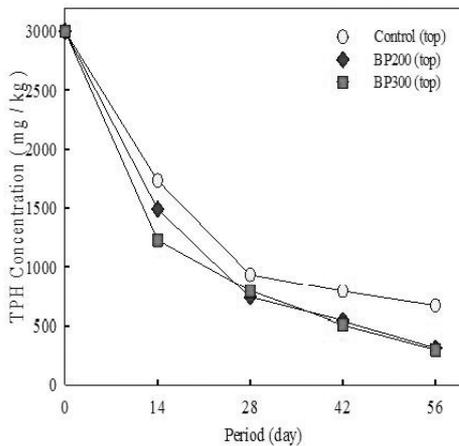
야기 할 수 있다. 토양의 더미가 높아짐에 따라 미생물활성화제가 토양 공극을 통해 전달되어지는데 시간이 오래 소요되는 것으로 확인되었으며, 토양 더미를 낮춰줄 경우에는 미생물활성화제가 하층까지 충분히 전달되어 토착미생물이 유류오염토양을 분해하는데 큰 역할을 할 것으로 판단된다.

3.2.2 토양경작법에 미생물활성물제를 적용한 TPH 농도 변화

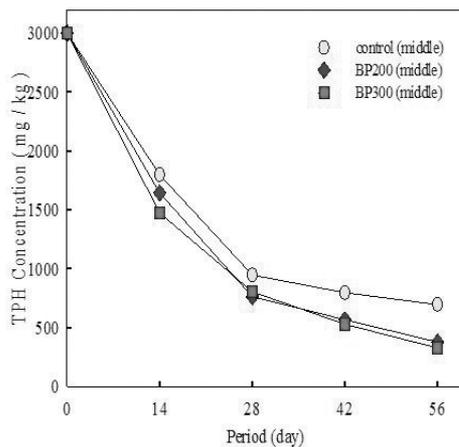
토양경작법은 공간의 제약을 받기 때문에 Biopile 공법과 유사하게 토양 더미를 높게 쌓아 오염토양 복원을 진행하는 것이 특징이다. 실험 결과 미생물활성

화제를 사용하지 않는 경우에는 자연 분해로 일정량이 저감되어지긴 하나 미생물활성화제 2종을 사용한 경우에는 대조군보다 BP200은 10.77 %, BP300은 12.32 % 높게 처리되는 것을 [Fig. 4]에서 확인할 수 있었다. 실험 결과 복원 초기(0~20일)에는 미생물활성화제에 의한 유류분해와 자연적인 유류의 대기 중 휘발이 동시에 진행된 까닭에 농도가 급격하게 감소하였으며, 복원 중기(21~56일) 이후에는 자연적인 유류의 대기 중 휘발은 급격히 줄어들고, 미생물활성화제에 의한 유류 분해가 지속적으로 유지되어, 석유계 총탄화수소(TPH)의 농도가 비교적 완만한 속도로 저감되었다^{5),6)}. 또한, 복원 중기(21~28일)에는 미생물활성화제와 토착미생물이 공존하는 기간이라 볼 수 있으며, 복원 중기(28일) 이후에는 미생물활성화제와 토착미생물이 석유계총탄화수소를 분해하는데 지수성장(Logarithmic Growth)의 경향을 나타내고 있으며 계속적으로 유류 분해가 지속되고 있는 것으로 확인되었다. 이는 미생물활성화제가 함유하고 있는 성분 중 미생물활성화 촉진 역할과 단백질 분해 촉매제 역할로 인해 유류 분해를 활성화시키고 있다고 볼 수 있다.

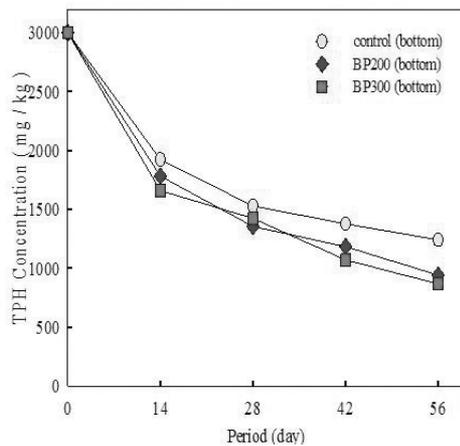
실제 복원이 진행되는 토양경작법 현장에서는 토양 반출 시기에 맞춰 복원이 진행되어야 하기 때문에 최종처리로 펜톤 산화반응을 이용한 과산화수소(H₂O₂) 처리를 하여 석유계총탄화수소(TPH) 토양오



(a) at top points



(b) at middle points



(c) at bottom points

[Fig. 3] TPH removed effect by pilot tes.

염 우려기준(1지역)인 500 mg/kg보다 낮은 약 300 mg/kg으로 처리하여 유류오염 토양 현장을 복원하고 있었다. 과산화수소(H₂O₂)를 이용하여 유류오염 토양을 처리할 경우에는 오염 토양 내 석유계총탄화수소(TPH)의 농도를 빠르게 저감시킬 수 있는 이점이 있지만, 2차적인 환경오염을 고려해야 하며 대응 방안을 마련해야 할 필요가 있다. 반면 미생물활성화제를 사용할 경우에는 2차 오염이 발생하지 않으며 환경적으로 유해하지 않기 때문에 유류오염 토양 복원에 있어 친환경적인 생물학적복원이라는 점에서 주목받고 있다.

국내 토양오염 정화기술은 선진국에서 각 나라의 상황에 맞게 개발되어 상용화까지 이루어진 처리기술을 기반으로 적용하고 있기 때문에 국내 실정에 맞는 토양 정화 기술의 개발 및 활용이 요구되고 있다. 특히 생물학적 처리의 경우 오염부지의 특성에 따라 토착 미생물이 다르며 분해 가능한 균주가 다양해지므로 국내 토양 환경에 적합한 분해 미생물종과 이를 적용할 수 있는 정화기술의 적용이 매우 중요하나 현실적으로 기술개발에 많은 인력과 비용이 소요되어 활발히 진행되고 있지 못하는 점이 미흡하다고 볼 수 있다. 생물학적 처리의 기본조건은 유기오염물 내의 탄소를 미생물이 에너지원으로 이용하는 것에 근거를 둔 것으로 유기오염물질의 처리에 중점을 두고 있으며, 중금속의 경우 생물학적 작용만으로 분해되기 어

렵고 독성과 분해미생물의 활동 둔화로 처리속도가 감소된다. 따라서 미생물을 이용하여 유기오염물(유류)을 에너지원으로 분해하여 정화하고 중금속을 포획하여 생물권에 유출되지 않도록 하는 가능성은 최근에 제시되기 시작하였으며 이에 대한 실용화는 아직 선진국에서도 찾아보기 어렵다고 볼 수 있다.

3.3 유류토양의 중금속 분석 결과

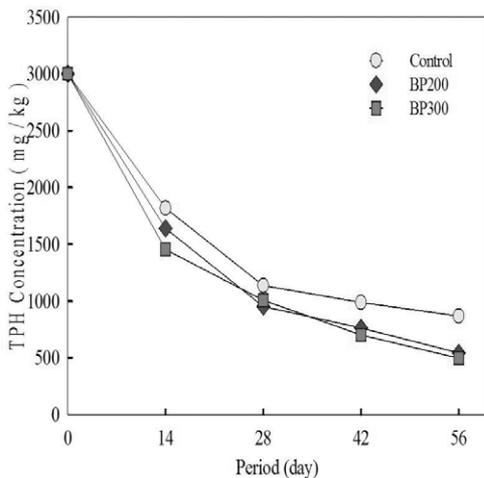
본 연구에서는 미생물활성화제를 사용함에 따라 환경적합성을 가지고 내분비산란작용을 나타내지 않고 생분해성이 쉬우며, 2차 환경오염을 유발시키지 않는지에 관한 중금속 실험을 진행하였다. 중금속 실험 결과는 [Table 3]에 나타내었으며 대조군에서는 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 아연(Zn) 등 3가지 중금속이 검출되었다. 미생물활성화제 2종을 처리한 결과, 카드뮴(Cd)과 구리(Cu)는 검출되지 않았지만 아연(Zn)은 미생물활성화제 2종을 사용할 경우 사용 전·후에 저감 효과가 없는 것으로 나타났다. 카드뮴(Cd)과 구리(Cu)는 미량이 검출되긴 하였으나 자연 상태에 존재하는 것인지 아니면 오염 토양에 존재하고 있는지 확인할 수 없었다. 하지만 검출된 중금속의 미량 농도는 자연 상태에 존재하는 양과 비슷한 것으로 확인되었으며⁹⁾, 미생물활성화제를 사용함으로써 카드뮴(Cd)과 구리(Cu)는 더 이상 검출되지 않았기 때문에 저감 효과가 있는 것으로 보이며, 이는 미생물활성화제의 성분 중 휴믹산(Humic Acid)의 영향으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 미군반환기지 유류오염토양 정화사업(LPP)이 진행되는 현장에서 토양경작법을 적용하여 유류오염 토양 복원실험을 수행하였다.

일반적으로 유류오염 토양의 생물학적 처리방안으로는 유류 유용미생물을 사용한 복원방법을 진행하고 있지만, 본 연구에서는 미생물활성화제를 적용함으로써 석유계총탄화수소(TPH) 저감효과를 확인할 수 있었으며, 본 연구를 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

- (1) 토양의 석유계총탄화수소(TPH) 함유량을 고농도(14,000 mg/kg)로 오염시킨 후 미생물활성화제를 적용하여 복원하는 lab-scale 실험은



[Fig. 4] Result average of removal efficiency at total points.

BP200은 87.8 %, BP300은 87.9 %의 석유계 총탄화수소(TPH) 제거 효과를 보였다. 또한 미생물활성화제를 적용한 현장 실험에서는 유류오염토양(3,000 mg/kg)을 우려기준(1 지역)인 500 mg/kg 이하로 저감시키는데 약 60일이 소요되었으며, 석유계총탄화수소(TPH) 제거율은 BP200 81.7 %, BP300 83.4 %로 나타났다. 이는 lab-scale에서는 운전인자들(공기 공급, 습도 조절, pH 등)의 제어가 용이한 반면 현장에서는 운전인자들의 제어가 비교적 어렵기 때문에 제거율의 차이가 발생하고 있었으며⁴⁾ 향후 각각의 운전인자들에 대한 추가 연구를 통해 토양경작법의 운전조건을 최적화 및 향상 시킬 수 있다면 미생물활성화제가 적용된 토양경작법은 유류

오염 토양을 분해하는데 큰 효과를 가져 올 수 있을 것이라 판단된다.

- (2) 중금속 존재 여부를 분석한 결과, 미량이 검출되었지만, 중금속 기준치보다 훨씬 더 낮은 수치였으며, 자연 상태에 존재하는 중금속으로 판단된다. 미생물활성화제를 사용함으로써 카드뮴(Cd)과 구리(Cu)는 더 이상 검출되지 않았기 때문에 저감 효과가 있는 것으로 보이며, 이는 미생물활성화제의 성분 중 휴믹산(Humic Acid)의 영향으로 판단된다.
- (3) Lab-scale test와 현장 실험 결과에서 공통적으로 미생물활성화제 BP300의 제거효율이 더 높은 것으로 나타났다. 이는 미생물활성화제 성분 중에서 유기물 분해 촉매제(효소원)의 함량이

[Table 3] Result of the Heavy Metal

(단위 : mg/kg)

Classification	Emission Standard	1st(4/16)	2nd(4/23)	3th(4/30)	4th(5/7)	5th(5/8)	6th(5/28)	7th(6/4)	비고	
Control	Cd	1.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.01	N.D.	N.D.	-
	Cu	150	N.D.	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	As	6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Pb	200	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Cr	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Zn	300	0.02	0.04	0.05	0.08	0.05	0.06	0.07	-
	Ni	100	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
BP200 처리	Cd	1.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Cu	150	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	As	6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Pb	200	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Cr	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Zn	300	0.02	0.04	0.03	0.03	0.04	0.08	0.05	-
	Ni	100	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
BP300 처리	Cd	1.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Cu	150	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	As	6	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Pb	200	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Cr	4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	Zn	300	0.02	0.04	0.03	0.06	0.05	0.07	0.04	-
	Ni	100	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-

* N.D. : Not Detected

상대적으로 미생물활성화제 BP200보다 높으며, 유류 분해 박테리아 생장 및 증식 촉진을 위한 박테리아 호르몬이 첨가되어 미생물활성화제 BP300을 적용하는 것이 유류오염 토양을 분해하는데 더 효과적인 것으로 판단된다.

- (4) 토양경작법에서 미생물활성화제 현장 실험에 적용하여 각층에 따른 제거율을 살펴본 결과, 상층 85.8 %, 중층 84.4 %의 제거율을 나타냈으나, 하층에서는 66.10 % 제거율을 나타냈다. 대조군에서 자연적으로 줄어드는 석유계총탄화수소 (TPH)의 제거율이 평균 71.1 %임을 근거로 봤을 때 미생물활성화제가 하층까지 충분하게 전달되지 않은 상태로 볼 수 있었으며, 이는 토양 더미의 문제로 판단된다. 현장 실험에서는 토양 더미가 1 m 로 진행되었기 때문에 0.6 m 이하로 낮추게 되면 석유계총탄화수소(TPH)의 처리 효율은 더 높아질 수 있을 것으로 사료된다.

사사

본 연구는 수원대학교 환경청정기술연구센터 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 환경부 토양지하수과, 오염토양정화방법 가이드라인, 환경부, pp. 1~52 (2007).
2. 환경부 토양지하수과, 토양보전기본계획, 환경부, pp. 1~53 (2009).
3. 정찬교, 유류오염 토양 복원을 위한 Surfactant 개발 및 성능시험, (재)경기테크노파크, pp. 5~47(2009).
4. 고성환, 김용현, 송현주, 김두섭, 정홍배, 구본삼, 최도원 “한국 실정에 적합한 생물학적 처리(토양경작) 방법 및 적용사례”, 한국환경농학회 2007 추계워크샵 자료집, pp. 71~85 (2007).
5. 환경부 토양지하수과, 토양오염공정시험기준 전부개정(안), 환경부, pp. 1~55 (2009).
6. 전권호, 한완수, 정현석, 서창일, 박정구 “토양 경작법(Landfarming)을 이용한 유류오염토양 의 복원 효율 평가”, 한국지하수토양환경학회 2005 춘계학술발표회, pp. 219~222 (2005).
7. 환경부 토양지하수과, 2008년도 토양측정망 및 토양오염 실태조사 결과, pp. 1~79 (2009). 