

동절기 유류 오염토양 복원을 위한 Co-Composting 기술의 현장 적용성 연구

The Pilot-scale Treatability test of Co-Composting for The Remediation of Diesel Contaminated Soil in The Winter

마정재 · 고희석 · 황종식 · 정민정* · 최상일* · 김국진**

(주)에코솔루션 기술연구소, *광운대학교 환경공학과, **(주)한국미생물기술

동절기 급격한 온도 저하로 인한 적용한계를 극복하기 위하여 composting 기술을 현장에 적용하여 적용 가능성을 검토하고 온도 변화에 따른 분해 특성을 검토하였다. 기초 실험을 통해 영양원과 유류분해 미생물의 첨가에 따른 분해 효율을 점검한 결과 초기 유효 미생물(유류분해 미생물)의 농도가 낮고 영양원(N, P source)의 불균형으로 인해 영양원의 첨가와 유류분해 미생물을 동시에 투입하는 것이 바람직 한 것으로 나타났으며, 동절기 낮은 온도를 극복하기 위해 퇴비를 투입한 Co-composting 기술은 주입된 퇴비의 영향으로 pile 내부의 온도가 30-40일 동안 중온상태를 유지하였으며, 제거효율은 91%로 나타났다. 따라서 유류 오염토양을 복원함에 있어서 동절기에도 별도의 시설투자 없이 효율적으로 유류를 분해시킬 수 있는 Co-composting 기술의 적용 가능성이 확인되었으며, 난분해성 물질의 생물학적 분해에 있어서도 다양하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

주제어 : Co-Composting, TPH, 퇴비, 동절기, 영양원

1. 서론

동절기 군부대내 유류 오염토양 복원을 위해 biostimulation과 bioaugmentation 기법이 조합된 새로운 기술의 적용을 통해 생물학적 분해에 미치는 영향을 살펴보고, 이를 바탕으로 landfarming 기술을 적용하여 온도 변화에 따른 처리효율을 검토한 후, Co-composting 기술을 pilot 규모로 현장에 직접 적용함으로써 주변의 낮은 온도 조건에서 기술의 적용 가능성과 온도 및 첨가제 주입 여부에 따른 미생물의 분해 특성을 검토하였다.

2. 실험 방법

2.1 Biostimulation과 Bioaugmentation의 생물학적 복원 특성

오염토양 정화용 미생물제로 개발된 Bioremax™의 성능 평가 및 최적 첨가제 시스템의 구축을 위해 초기 디젤 오염토양 (5,704mg TPH/kg dry soil) 100kg에 수분 20%, pH 6-8, 온도 20-25℃로 유지하면서 1달 동안 실험을 실시하였다(Table 1). 1주일에 1회 시료를 채취하여 TPH, 수분함량, pH 변화, 미생물의 총 균수 및 유효 균수에 대한 변화를 살펴보았다.

Table 1. The Conditions of Biostimulation and Bioaugmentation Test.

	C:N:P	총균수(CFU/g)	BMX-103N ^{1M}	BMX-SDK ^{1M}	유효균수(CFU/g)
Class A		$3.2 \times 10^4/g$	×	×	$2.1 \times 10^4/g$
Class B	100:10:1	$3.2 \times 10^4/g$	○	×	$2.1 \times 10^4/g$
Class C	100:10:1	$3.2 \times 10^4/g$	○	○	$4.6 \times 10^9/g$

2.2 Pilot-scale Landfarming 및 Co-composting 기술의 현장 적용성 연구

Landfarming : 온도 변화에 따른 미생물의 분해 특성 검토와 미생물의 디젤 분해

정도를 살펴보기 위해 2가지 온도 조건으로 실내와 실외에서 실시하였다. 실외 실험은 겨울철 온도 조건에서 실험하였으며 실내 실험은 선행실험의 결과를 적용하여 중온 조건을 유지시키며 비교·검토하였다. 2주에 한번씩 시료를 채취하여 TPH, 수분함량, pH 변화, 미생물의 총 균수 및 유효 균수의 변화를 살펴보았다.

Co-composting : 겨울철과 같이 낮은 온도 조건하에서도 효율적으로 복원을 진행시키기 위해 발효가 진행중인 유기성 폐기물에 톱밥을 혼합하고 선행실험을 통해서 결정된 조건으로 첨가제를 주입하여, 초기농도가 2,394 mg TPH/kg dry soil인 대상 군부대 오염토양으로 용적 10m×2.5m×2m, 총량 40ton의 pile을 설치하여 실험을 수행하였다. 2주에 한번씩 시료를 sampling 하여 TPH, 수분함량, pH변화, 미생물의 총 균수 및 유효균수의 변화를 관찰하였다. 온도는 5일 마다 1회씩 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Augmentation에 의한 영향 검토

시간에 따른 TPH 잔류농도를 관찰한 결과 bioaugmentation에 의한 실험에서 27일 후 83%의 제거율을 나타냈다. 유류 오염토양의 초기 미생물의 수가 절대적으로 부족하여 biostimulation 만으로는 적절한 분해속도에 도달하는데 많은 시간이 소요되는 것으로 확인되었다¹⁾(Fig. 1.).

3.2 동절기 분해 특성 검토

Landfarming에서 온도에 따른 분해 특성 : 오염토양의 TPH 분해 정도와 유효균의 변화를 검토한 결과 실내 실험에서 10일 경과 후 TPH는 60%의 제거율로 급격한 감소가 관찰되었다(Fig. 2.). 반면에 온도의 직접적인 영향을 받는 실외에 설치된 경우에는 TPH의 변화가 거의 없었다. 이상의 결과로 온도가 미생물에 의한 TPH의 분해 제거시 중요한 운전 인자²⁾라는 사실을 확인 할 수 있었다.

Co-composting 기술의 적용에 따른 분해 특성 : 주변의 온도는 -10℃~0℃를 나타냈으나 pile 내부의 온도는 초기 50℃에서 시작하여 30-40일 정도 중온의 상태를 유지하였으며, pile의 내부온도가 중온상태를 유지하는 초기 10-30일 사이에 급격한 TPH의 분해 제거 현상이 나타났으며, 제거율은 91%였다(Fig. 3 & 4). 또한 bioaugmentation의 영향을 검토한 결과 유효균수가 증가하여 우점종화 되었다(Fig. 5). 따라서 퇴비화가 진행중인 퇴비를 이용한 Co-composting기술은 동절기의 온도 영향을 극복할 수 있는 적절한 기술이라고 판단되며, 유류 오염토양 복원을 위한 생물학적인 복원기술을 적용함에 있어서 bioaugmentation을 이용하면 반응 초기 유효 미생물의 수적 우위를 확보함으로써 유류분해 속도를 증가시켜 효과적인 복원이 진행될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

동절기 유류 오염토양의 복원을 위한 본 연구에서는 Co-composting과 bioaugmentation을 통하여 동절기의 저온에 의한 영향을 극복하고 오염원에 적절한 분해 미생물을 초기에 다량 주입함으로써 초기의 미생물 적응시간(lag time)을 최소화하여 미생물에 의한 오염원의 분해 속도를 극대화하였다. 본 기술은 퇴비 뿐 만 아니라 주위에서 손쉽게 구할 수 있는 유기성 폐기물을 병용함으로써 유류 오염토양 정화시 처리 비용절감 및 효율의 극대화를 이룰 수 있을 것으로 기대된다.

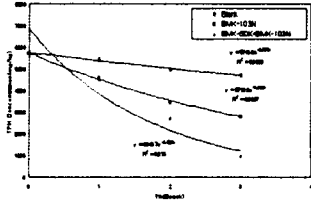


Fig 1. Time course of Biodegradation velocity in lab-test.

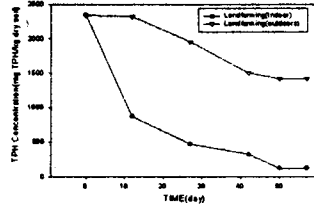


Fig 2. Time course of TPH biodegradation in Open-air and Indoors of landfarming.

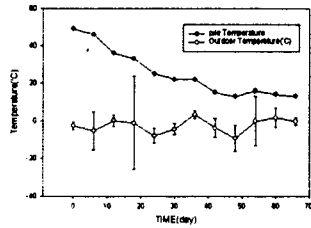


Fig 3. Temperatures in pilot pile and Open-air during the Co-composting.

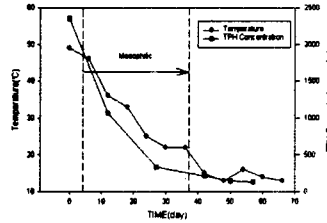


Fig 4. The change of Temperature and TPH biodegradation during the Co-composting.

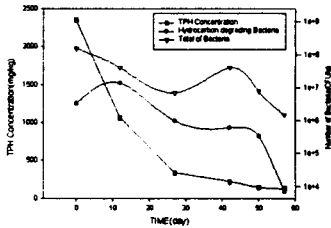


Fig 5. Time course of TPH biodegradation microbial numbers in Co-composting.

참고 문헌

- 1) Baker, Katherine H. and Diane S. Herson., Bioremediation, 1st Edition, Mc Graw-Hill, Inc, New York(1994).
- 2) Autry, Andrew R. and Gray M. Ellis. "An Effective Remedial Alternative for Petroleum Hydrocarbon-Contaminated Soil", Environmental Progress., 11(4) pp. 318-322 (1992)