



토양경작법을 이용한 유류오염 토양 복원시 미생물제제 적용 효과

(주)동명엔터프라이즈 토양·지하수 사업팀

Landfarming and a microbial agent were used to treat diesel-contaminated soil. The microbial agent was applied to the contaminated soil in a concentration of 5×10^2 cfu/soil(g) and the total amount of microbial agent, 210 l, was sprinkled on the soil four times for 24 days during 50 day-remediation period. The remediation goal, lower than 800mg/kg of TPH, was achieved from 5,707mg/kg of TPH within 50 days. The total number and activity of indigenous microorganisms were increased by 100 times after the microbial agent, Bioil-D, was applied to the contaminated soil.

I. 서론

유류에 의한 오염토양의 정화방법에는 크게 물리화학적 처리기술과 생물학적인 처리기술로 구분할 수 있으며, 생물학적 처리기술은 물리화학적 처리기술에 비하여 복원 기간이 긴 반면 처리비용이 저렴하며 2차오염원을 발생시키지 않는다는 장점이 있다. 대표적인 방법으로 토지경작(Landfarming), 바이오벤틱(Bioventing), 퇴비화(Compositing), 식물정화법등이 있는데 그 중 토지경작(Landfarming)방법이란 오염토양을 수거하여 처리하는 탈위치(Ex-situ)처리방식으로 오염토양을 굴착하여 지표면에 깔아놓고 정기적으로 뒤집기(Tilling)하여 적정 수분을 유지하고 공기를 공급해줌으로써 호기성 생분해 공정을 촉진시키는 방법으로 토착미생물을 이용하는 Biostimulation 방식과 특정 오염물질에 대한 분해능력이 우수한 미생물을 첨가하는 Bioaugmentation 방식으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 biostimulation 방식과 bioaugmentation 방식의 조합으로서 유류분해용 미생물제제인 Bioil-D를 주로 Diesel로 오염된 실제 유류오염 현장에 투입함으로써 미생

물제제인 Bioil-D의 처리능력과 복원효과에 대한 연구를 수행하였다.

II. 연구내용 및 방법

본 연구가 진행된 대상 지역은 G시에 위치한 오염부지로 주로 Diesel로 오염된 약 600m²의 오염토를 Landfarming(토양경작)공법을 적용하기 위하여 굴착하였다. Landfarming에서 경작단(Soil stack height)의 높이는 40~60cm로 하였으며 수분함량은 10~20% 내외로 유지하였다. Landfarming 현장 처리장 하부에 침출수 포집을 위한 모래, 부직포, 집수정 등을 설치하고 그 위에 오염된 토양을 적층하여 미생물제제인 Bioil-D와 Bioil-D용 영양제를 투입하였다. 최초 대상오염부지에 대한 정밀조사는 2003년 7월 25일에 이루어졌다. 실제적인 Landfarming복원은 2003년 8월 13일부터 29일까지 뒤집기(Tilling)를 하루에 1~2회씩 실시하였으며 이후인 8월29일부터 미생물제제인 Bioil-D를 투입하면서 뒤집기(Tilling)를 하였다. 복원은 뒤집기(Tilling) 시작후 50일만인 10월 3일에 완료하였으며 10월 9일에

원오염장소로 정화도를 되메우기(Backfill)하였다. 이때 투입된 Biol-D의 양과 횟수는 [표-1]과 같다.

〈표 1〉 미생물제제(Biol-D)투입횟수 및 투입량

투입회수	투입일자	투입량(1)	누계 투입량(1)	비고
1차	2003. 8. 29	60	60	현장에서 5배 희석 후 투입
2차	2003. 9. 04	50	110	
3차	2003. 9. 15	40	150	
4차	2003. 9. 23	60	210	

미생물제제인 Biol-D의 투입량 산정은 Lab test를 통하여 산정하였으나 정화효율이 예상보다 높아 총량 210 l로 일부 감소시켜 투입하였으며 총 처리기간 중 4회로 나누어 투입하였다. 미생물제제의 투입농도는 오염토양단위 g 당 5.0×10^2 cfu로 하였으며 미생물제제를 위한 영양제의 조성은 투입된 미생물제제의 농도에 기준하여 탄소원과 질소원, 인산원을 C/N/P 비율이 100:10:1 범위 이내로 조절하여 투입하였다. 미생물제제인 Biol-D를 오염토양에 투입후 오염토와 정화토에서 토양시료 5g씩을 6개 지점에서 채취하여 토착미생물 총균수 변화와 미생물제제에 이용된 효모균의 생존농도를 분석하였다. 이때, 토착미생물 총균수 측정에 이용된 배지는 PDA 및 NA 배지를 사용하였으며, 투입된 미생물제제에 포함된 효모균주의 순수 분리에 이용된 선택 배지는 개발한 2종류 이상의 항생제가 포함된 배지를 사용하여 분석하였다. 토양의 오염도는 토양 중 TPH(Total Petroleum Hydrocarbons)의 농도값으로 나타내었으며 분석은 GC 6850(Hewlett Packard, USA)을 사용하여 EPA Method의 8015B법으로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

그림 1에서와 같이 복원전 최소 949mg/kg~최대 5,707mg/kg범위의 오염농도가 토양경작과 미생물제제를 이용한 복원시 모든 토양에서 토양 대책기준치인 800mg/kg이하 인 ND~761mg/kg으로 분석되었다

(NICEM 분석결과). TPH기준 800mg/kg이상인 값을 대상으로 한 평균값 비교시 16일 동안 뒤집기(Tilling)만을 실시 하였을때 29%의 낮은 처리효율을 보였으나 미생물제제 투입을 병행한 경우 약 34일동안 87%의 높은 처리효율을 보였다.

미생물제제 처리전후 휘발성유기물함량을 비교해 보면 약 0.72% 증가하였으며 수분함량은 6.54%감소하였다(그림 3). 또한 미생물제제 처리전후 영양성분 변화를 보면 T-N농도는 7.07mg/kg 감소하였으며 T-P농도는 11.41mg/kg 감소하였다(그림. 2). 그림. 4는 미생물제제 투입시 토착미생물과 유류분해용 미생물균주의 농도변화이다. 미생물제제 투입시 토착미생물의 농도는 약 100배와 Biol-D의 균수는 약 10배가 증가되는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 Biol-D투입으로 인하여 고중합체의 오염물질이 분해되어 생성된 저단위의 오염물질이 쉽게 토착미생물에 탄소원으로 이용되어 토착미생물 수가 증가한 것으로 판단되며 투입된 Biol-D에 포함된 효모 균주들은 토착미생물들과의 경쟁이나 오염물질들에 의한 활성의 저하 없이 오염토에서 생존하고 있는 것으로 사료된다.

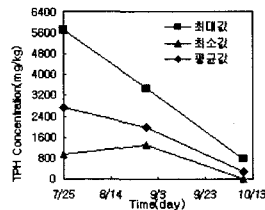


그림 1 복원전후 TPH값의 변화

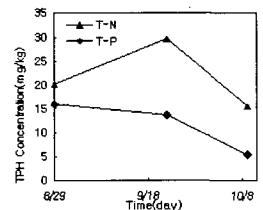


그림 2 T-N과 T-P의 변화

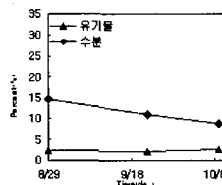


그림 3 미생물제 처리전후 유기물과 수분의 변화

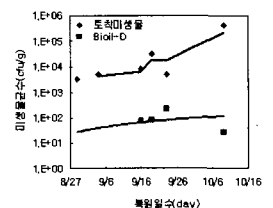


그림 4 미생물제제 투입시 토착미생물과 Biol-D균 농도의 변화



VI. 결론

본 연구에서는 주로 Diesel로 오염된 토양의 처리기간을 최소화하고자 물리적 처리방법인 Landfarming과 미생물제제인 Bioil-D를 이용한 생물학적 처리방법을 병행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Landfarming공법의 물리적인 기법인 뒤집기(Tilling)만으로 16일 처리하였을때는 TPH농도기준시 29%의 제거효율을 보였으나 유류분해용 미생물제제인 Bioil-D를 투입한 경우 약 34일동안 87%의 높은 제거효율을 보였다. 토양경작법에 미생물제제를 병행한 경우 50일의 짧은 기간안에 오염토를 토양오염 대책 기준치인 800mg/kg이하로 정확할 수 있었다. 위의 결과를 볼때 Bioil-D를 유류에 의한 오염토양복원에 이용하는 경우 전체 정확효율 향상을 통한 복원기간의 단축이 가능할 것으로 판단된다.

V. 참고문헌

1. Robert E. Hinchee and Jeffery A. Kittel, "Applied Bioremediation of Petroleum Hydrocarbons", Battele Press
2. Daniel B. Anderson and F. Blaine Metting, Jr, "Applied Biotechnologie for Site Remediation", Lewis Publishers
3. 박영준, 염규진, 김선미, "SVE 및 미생물제제를 이용한 유류 오염토양의 현장 복원", 2003년 (사)한국지하수토양환경학회 춘계 학술발표회, pp. 103-106.

* 본 투고는 한국지하수토양환경학회 춘계 학술발표회 (2004년 4월 16-17일 국립환경연구원)의 내용중 부분 수정한 내용입니다.

* 보다 자세한 사항은 (주)동명엔터프라이즈로 문의하시기 바랍니다.
(☎) (02) 554-1888

아름다운 한강 사진공모전

■ 공모대상 : 전국 사진 애호가

■ 작품주제

- 한강의 생태계 등 아름다운 한강의 수질보전활동 및 물사랑 정신을 고취시킬 수 있는 미발표 작품

■ 공모기간 : 2004년 5월 29일 ~ 6월 4일(일) 17시 까지 접수

■ 공모요령

· 작품종류

※ 작품 및 신청은 공모처 상경, 집(주소, 전화, 유래품, 이메일) / 학교(학원) <학년, 반>

작품제목, 촬영장소, 촬영의도 등 해당사항을 모두 기재

■ 접수방법 및 제출처

· 접수방법 : 우편 또는 직접 방문 접수

· 제출처 : (130-805) 서울특별시 동대문구 답십리 5동 497-66 서울상공회의소 동부지소 빌딩
환경보전협회 기획홍보관리실 "아름다운 한강 사진 공모전" 담당자 앞
문의전화 : (02)2249-5265 (내선 616, 632번)

■ 당선자 발표 : 2004. 6월 중순경

- 한강유역환경청(www.hanriver.me.go.kr) 환경보전협회(www.epa.or.kr)홈페이지 게재 및 개별통보

■ 시상내역

대 상(1명) : 상장 및 상금 100만원 / 금상(2명) : 상장 및 상금 50만원

은 상(4명) : 상장 및 상금 30만원 / 동상(6명) : 상장 및 상금 20만원

가작(10명) : 상장 및 10만원문화상품권 / 입선(20명) : 상장 및 5만원문화상품권

주최 : 한강유역환경청 주관 : 환경보전협회