한국지하수토양환경학회 춘계학술대회
2003년 4월18-19일 경 원 대 학 교

유류 오염 토양 복원을 위한 Biopile 적용성 연구

조미영 · 김무훈 · 이두명 · 최우진* · 최진규*
삼성엔지니어링 기술연구소
*수원대학교 환경공학과**
(ilen@samsung.co.kr)

요약문

본 연구에서는 유류 오염 토양의 복원에 효율적인 것으로 나타난 Biopile 공법을 오염 토양에 적용하였을 경우, 토양의 생물학적 복원이 가능한지 여부를 평가하고자 하였다. 45일간의 Biopile 실험 결과, 공기 주입 및 영양분 주입 후 TPH의 감소율이 최대 64.75 % 까지 나타났다. 또한 공기만을 주입하였을 경우에도 제거율이 약 33 %를 나타내었다. TPH가 6,000 mg/kg인 인공 오염 토양을 사용하여 Biopile 공법을 적용 하였을 경우에는 30일 반응 후 43.46 %의 높은 제거율을 나타내었다.

오염 토양의 균주를 순화/분리 하였을 때 오염 토양 내에 고 활성의 유류 분해 미생물이 확인되었으며, 이들의 유전자 역시 확인되어 자체적으로 생물학적 분해능을 가지고 있는 토양으로 나타났다.

주제어 : 유류 오염 토양, 토양 복원, 생물학적 복원, 균주 분리, 유류 분해 미생물

1. 서론

본 연구에 사용된 오염 지역은 45년 동안 군사시설로 사용되어 온 지역이다. 이 과정 중 일부 토양이 유류로 오염된 것이 확인되어 복원 사업에 착수하게 되었는데 오염물질은 BTEX, TPH, 유분으로 예상되며 오염 토양 심도는 최대 5 m로 알려져 있다. 이러한 특성을 고려하여 볼 때 오염 토양을 굴착하여 인위적인 공기주입을 통해 호기성 조건하에서 유류를 제거하는 Biopile 기술은 유리[1]할 것으로 판단되며, 이에 앞서 선행되어야 할 것은 Biopile의 최적 운영을 위한 인자들을 확보하는 것이라 할 수 있다.

2. 본론

2.1 실험 방법

오염 부지에서 굴착 작업을 통해 얻어진 토양을 4 ℃ 보관, 실험실로 이동하여 컬럼 실험용 토양 시료로 하였다. 초기 TPH, BTEX 농도를 분석하였으며 토양의 입도 분석[2], 함수율[3], pH, CFUs[4]를 측정하였다. 토양의 생물학적 처리 가능성은 총 균체수 확인 (DAPI)과 유류 분해 유전자 추출을 통한 유전자의 확인 방법을 사용하였다.

Biopile 공법의 현장 적용성 검토를 위해 컬럼을 제작하여 공기 주입, 영양분 주입, 미생물 주입의 유무에 따른 토양내의 TPH 농도 변화를 측정하였다. 컬럼 실험은 효율적인 Biopile운영 인자를 평가하기 위해 공기 주입, 영양분 주입[4], 미생물 처리제 주입 유무로 하여 TPH의 농도 변화를 살펴보았다. Biopile의 전체 반응 시간은 최대 45일이며 15일 단위로 토양을 채취하였다.

2.2 실험 결과

2.2.1 토양의 특성

입도 분석 결과 비 오염 토양은 90 % 가 모래이며 오염 토양은 74 %가 모래, 26 %는 실트와 점토로 구성되어 있어 샌디 롬 (sandy loam)으로 나타났다. pH는 오염 토양은 5.09, 비 오염 토양은 6.15 로 약산성을 띠고 있으며, 함수율은 비오염 토양은 9.81 %로 낮았으나 오염 토양은 26.92 %로 나타나 오염 토양에 Biopile 공법을 적용할 경우 미생물의 성장 조건에 적합할 것으로 판단되었다.

Table 1. Physical/Chemical properties of soil

구분	입도	pH	함수율 (%)	CFUs(cells/g)	BTEX (mg/kg)	TPH (mg/kg)
오염토양	Sandy loam	5.09	26.92	3.75×10^5	<0.01	522
비오염토양	모래	6.15	9.81	2.32×10^5	<0.01	<0.01

오염 토양의 BTEX, TPH 분석 결과 TPH의 양은 552 mg/kg으로 농도가 낮아 고농도 유류 오염토양의 Biopile 공법 효율 평가를 위해서 비 오염 토양에 디젤을 첨가하여 TPH 6,000 mg/kg 의 토양을 만들어 부가 실험을 실시하였다.

2.2.2 생물학적 특성 분석

CFUs를 통하여 유류 오염 토양의 미생물 개체수를 측정한 결과 오염지역의 토양은 3.75×10^5 cells/g (CFUs)이며 비오염 지역의 토양은 2.32×10^5 cells/g (CFUs)을 나타내었다. 이러한 결과는 미생물을 이용한 생물학적 복원 기술의 이용 가능성을 나타낸다. DAPI 염색을 통하여 미생물 세포수를 측정한 결과 비 오염 지역 토양은 5.627×10^7 cells/g을 나타내었고, 오염지역 토양은 9.646×10^9 cells/g의 개체수를 나타내어 오염지역 토양에서 더 많은 세포수를 보였음을 알 수 있었다. 그림 1은 DAPI 실험시 형광 현미경을 이용해 확인한 미생물 염색 사진이다. 오염 토양인 (a)의 그림에서 더 많이 염색된 DNA를 확인 할 수 있다.

(a) Contaminated soil (b) Non-contaminated soil

Fig. 1. Photomicrograph of various bacterial DNA (DAPI staining method)

2.2.3 유류 분해 DNA 확인[5)]

오염 및 비오염 토양의 DNA를 추출하여 유류 분해 유전자 보유 유무를 확인하였다. 오염 토양이 비오염 토양보다 더 뚜렷한 유전자를 보유하고 있음을 알 수 있었다. 이는 오염 토양의 경우 유류 오염에 의해 자체적으로 유류를 분해할 수 있는 미생물의 성장이 있었음을 나타낸다. 또한 적절한 미생물 성장 조건 조성 시 토양 내에 있는 자체 미생물에 의해 오염 물질의 생물학적 분해가 가능함을 나타낸다.

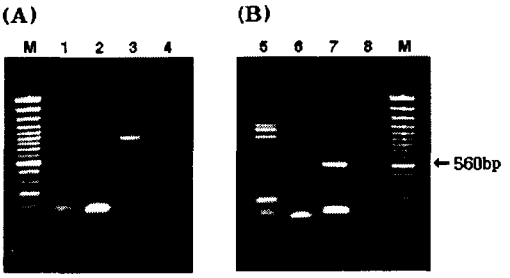

Fig. 2. Detection of catabolic enzyme encoding gene by PCR

(Lane M, 100 bp DNA ladder plus marker ; Lane 1,5, amplified by alkB primer ; Lane 2, 6, amplified by ndoB primer ; Lane 3, 7, amplified by todC1 primer ; Lane 4, 8, amplified by C23DO primer ; PCR products were analyzed by horizontal electrophoresis in 1.5 % agarose gel.)

2.2.4 Biopile 공법 적용을 통한 유류 오염물질 제거능 평가

멸균하여 6,000 mg/kg으로 오염시킨 인공 오염 토양은 반응시간을 최대 30일로 하였다. 이때 제거율은 공기만을 주입 하였을 경우 27.32 %, 미생물 처리제 및 공기 주입을 동시에 하였을 경우 43.46 %로 나타났다. 미생물 처리제 주입 없이도 TPH의 제거가 이루어진 것은 미생물 처리제 주입 없이 실험이 진행되었을 지라도, 컬럼 내 공기 주입으로 27.32 %의 TPH 제거율을 보인 것으로 판단된다. 미생물 처리제를 주입한 컬럼은 충분한 생물학적 조건 조성이 이루어져 43.46 %의 제거율이 나타났다.

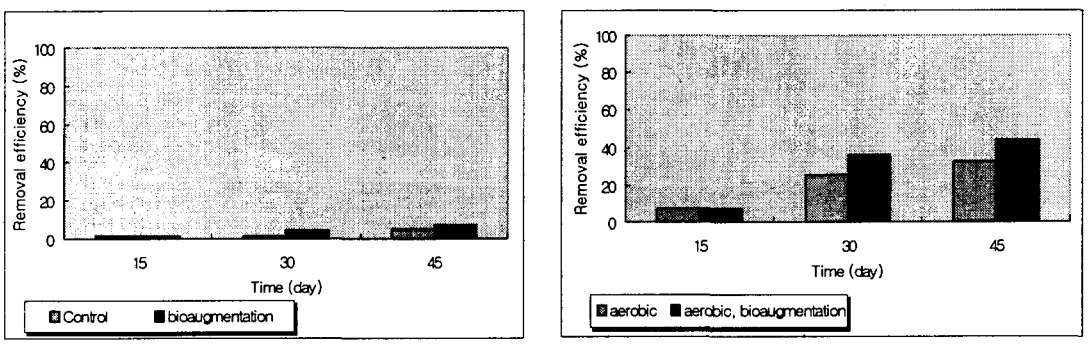

Fig 3. Relative of the TPH removal efficiency in aerobic and bioaugmentation

3. 결론

Biopile 공법 효율 실험 결과, 공기 주입 및 영양분 주입 후 TPH의 감소율이 최대 64.75 % 까지 나타났다. 공기만을 주입한 경우는 32.95 %의 제거율을 나타내었다. 오염이 크지 않을 경우에는 공기 주입만으로도 미생물 성장 조건에 적합한 생물학적 조건이 조성되어 오염 기준 이하로 TPH를 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다. TPH가 6,000 mg/kg의 인공 오염 토양을 사용하여 Biopile 공법을 적용 하였을 때 30일 반응 후 43.46 %의 제거율로 높은 효율을 나타내었다. 오염 토양의 균주를 순화/분리 하였을 때 오염 토양 내에 고 활성의 유류 분해 미생물이 확인되었으며, 이들의 유전자 역시 확인되어 자체적으로 생물학적 분해능을 가지고 있는 토양으로 나타났다. 초기 토양의 pH가 약산성이어서 미생물의 성장에 영향을 주었을 것으로 생각되었으나 파일 (pile)내 균체수를 분석한 결과 pH 5의 조건에서도 그 활성능은 다소 증가하여 Biopile 공법 적용이 효율적인 것으로 나타났다.

4. 참고 문헌

1. F.M von Fahnestock, Biopile design Handbook, Battelle (1998).

2. 농업 진흥청, 토양 화학 분석법 (1988).

3. 강헌, 미생물학 시험, 동화 기술 (1995).

4. Brown, R. A., and R.T. Cartwright. "Biotreat sludge and Soils." Hydrocarbon Processing. 68(10), pp. 93-97 (1990).

5. Zhou, J., M. A. Bruns, and J. M. Tiedje, DNA recovery from soils of diverse composition, Appl. Environ. Microbiol. 62, pp. 316-322 (1996).