

생물 계면활성제 토양세척을 이용한 토양내 Phenanthrene의 제거와 독성평가

신경희*, 김경웅**

1. 서론

다양한 오염원으로부터 이동되어 토양내에 존재하는 유기 오염물질들은 물에 녹지 않는 소수성을 가지고 있어 오랜 기간을 NAPL(non-aqueous phase liquid)로 남아 지하수를 오염시키는 오염원으로 존재하게 된다. 특히, 소수성 유기 물질인 PAHs는 낮은 농도에서도 독성이 강하며 발암성을 가지고 있는 대표적인 환경오염물질로 알려져 있다.¹⁾ NAPL 제거를 향상시키기 위해 계면활성제를 이용한 세척기법의 적용이 제기되어 왔으며, 현재까지 이러한 계면활성제의 첨가는 토양에 흡착되어 있는 유기물의 표면 장력을 감소시키는 mobilization효과와 마이셀 임계농도 이상에서의 solubilization효과에 의해서 제거를 향상시키게 된다. 최근에는 생물학적으로 형성된 생물 계면활성제 사용에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이는 다음의 몇 가지 장점에 기인한다. 첫째, 토양복원기술 적용에 유리한 화학적 특성, 둘째, 자연적으로 합성가능하고 생물학적으로 분해 가능하여 오염 지역으로의 주입이 긍정적, 셋째, 현장 오염지역에서 생물 계면활성제 생성을 유도할 수 있다는 점등이다.²⁾ 또한, 유기 오염물질로 오염된 토양의 위해성과 생태학적 영향을 이해하기 위해 토양 환형 동물인 지렁이(earthworm)를 이용한 독성평가에 관심이 모아지고 있다. 본 연구에서 사용된 *Eisenia foetida*는 독성물질에 민감하고 실험실 환경에서 유지 관리하기 용이하여 waste site assessment에 자주 이용되어 지는 종(species)이다. 본 연구에서는 소수성 오염물질인 phenanthrene으로 오염된 토양을 생물 계면활성제 세척기법을 이용하여 처리하여 봄으로서 그 적용가능성을 평가하여 보고, phenanthrene과 생물 계면활성제의 독성을 Contact test를 통하여 조사하여 보았다.³⁾

2. 실험방법

실험에서 사용한 토양은 주문진 표준사로서 bulk density는 1.46 g/cm³, 공극률은 약 0.44, 수분 함량은 1.39%였으며, 대상 유기오염물질로는 phenanthrene을 사용하였다. 생물계면활성제는 JENEIL사에서 구입한 것으로 monorhamnolipid와 dirhamnolipid로 이루어져 있다. 생물 계면활성제의 phenanthrene에 대한 solubilization capacity를 조사하기 위해서 다양한 농도의 생물 계면활성제 용액을 제조하고 과량의 유기물과 충분히 접촉시킨 후 수용액상의 phenanthrene의 농도를 HPLC로 분석하였다. 용매(methylene chloride)에 정량의 유기오염물질을 주입한 후, 토양과 충분히 섞이도록 하여 제조한 오염 토양을 직경 4cm, 길이 15cm인 유리 컬럼에 충전시킨 후 3% rhamnolipid 용액을 유량을 변화시키면서 주입 후 유출수내에 phenanthrene을 HPLC로 분석하였다. 지렁이를 이용한 Contact test는 OECD에서 제시한 'earthworm acute toxicity test' 방법을 적용하여 실시하였다.³⁾

주요어: 생물 계면활성제, Phenanthrene, earthworm toxicity

* 광주과학기술원 환경공학과 (khshin@geguri.kjist.ac.kr)

** 광주과학기술원 환경공학과 (kwkim@kjist.ac.kr)

3. 결과

생물 계면활성제의 phenanthrene의 solubilization capacity를 알아보기 위한 회분식 실험의 결과 MSR(Molar solubilization capacity)은 0.0281으로 나타났다. 오염 토양을 생물 계면활성제 용액을 이용하여 세척한 결과, 유량에 따라 다른 제거 양상을 나타내었다. 3% rhamnolipid solution을 5ml/min으로 30 pore volume까지 주입했을 경우 제거 효율은 60%였으며, 같은 조건에서 유량을 2ml/min으로 주입했을 경우 69% 정도가 제거되었다. 처리 pore volume이 증가할수록 낮은 유량으로 처리했을 경우 처리 효율이 높아지는 것을 관찰할 수 있었다.

지렁이를 이용한 contact test결과, 72시간 접촉 후 측정된 mortality로 부터 얻어진 phenanthrene의 LC₅₀(concentration of chemical that killed 50% of the test worms)는 0.56 mg/cm² 였다. 30 pore volume 까지 처리 후 토양에 남아있는 농도(0.0055mg/cm²-0.0042mg/cm²)를 LC₅₀ 값과 비교해 볼 때 낮은 값을 알 수 있다.

결론적으로, 컬럼 test 결과에 비추어 볼 때 소수성 유기물로 오염된 토양을 생분해도가 높은 생물 계면활성제를 이용해 처리하는 방법은 효과적이며, 지렁이를 이용한 독성 평가 결과 실제 토양 환경동물에 대한 독성도 감소시킬 수 있는 처리기법으로 판단되어진다.

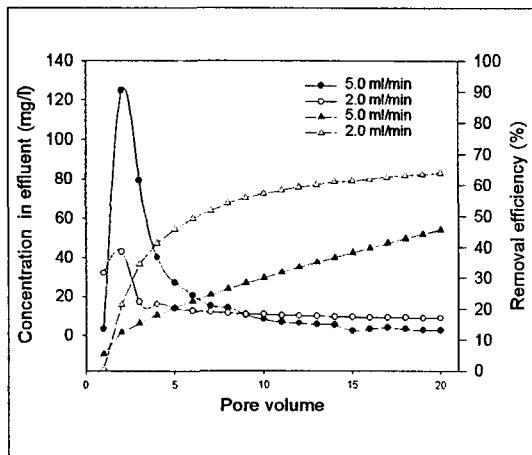


Figure 1. Variation of concentration and Removal efficiency according to the flow rate.

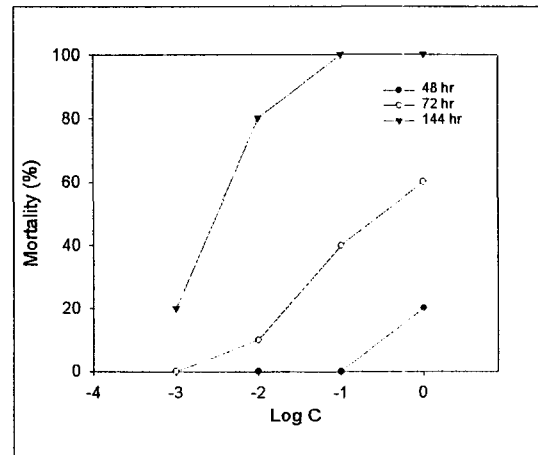


Figure 2. Mortality of earthworm according to the concentration.

4. 참고문헌

- 1) Bettahar, M., Ducreux, J., Schafer, G., and Dorpe, F. V., 1999, "Surfactant-Enhanced In Situ Remediation of LNAPL Contaminated Aquifers: Large Scale Studies on a Controlled Experimental Site", Transport in Porous Media, Vol. 37, pp. 255-276.
- 2) Bai, G., Brusseau, M.L. and Miller, R.M., 1997, "Biosurfactant-enhanced removal of residual hydrocarbon from soil", J. of Contaminated Hydrology, Vol. 25, pp. 157-170.
- 3) OECD, 1984, "Earthworm, acute toxicity tests, OECD guideline for testing of chemicals 207", pp. 1-9.