

이액상 시스템에서 토양으로부터 비수용성 액체로의 PAHs의 이동특성

양지원* · 이재영

한국과학기술원 생명화학공학과 환경복원공학연구실

e-mail : iwyang@kaist.ac.kr

요약문

The transfer behaviors of three polyaromatic hydrocarbons (PAHs) from soil to non-aqueous phase liquid (NAPL) were investigated. The three different PAHs were phenanthrene, anthracene, and pyrene. The used NAPLs were silicone oil and paraffine oil. The percentage of the remained PAHs into soil were similar without the relation to kinds of NAPLs. And the transfer of PAHs into NAPLs was fastened until 1 day as the increase of mixing rate but in the case of 450 rpm, the remained PAHs into soil was increased after 1 day because NAPLs was emulsified.

key word : two-liquid phase system, non-aqueous phase liquid, PAHs

1. 서론

토양오염의 주원인 중에 대표적인 물질인 PAHs는 생태계에 해로운 영향을 끼치는 오염물로 환경에 노출시 잠재적으로 발암 및 유전적 문제를 일으키는 것으로 보고되고 있다. 토양에 오염되어 있는 PAHs는 다른 오염물질들과 달리 낮은 휘발성 및 용해도, 결합한 고리의 개수가 증가함에 따라 난분해성의 증가 등의 특징 때문에 다양한 처리 방법들이 개발되고 있으나, 실질적으로 처리율이 낮다. 그래서 PAHs의 제거 효율을 높이기 위해 계면활성제를 이용한 토양세척법(soil washing or flushing)이 많이 이용되고 있으나, 토양에의 계면활성제 흡착, 계면활성제의 독성, 생분해의 어려움 등의 문제점들이 있다 [1, 2]. 따라서 최근에는 계면활성제를 이용하지 않는 이액상(TLP, two-liquid phase) 시스템을 활용한 오염 토양 처리에 대한 연구가 진행되고 있다 [1-3]. 이액상 시스템이란 물과 전혀 섞이지 않는 비수용성 액체(non-aqueous liquid)를 사용하여 슬러리 상태의 오염토양과 혼합하여 토양에 흡착되어 있는 오염 물질을 제거하는 공정을 말한다. 사용되는 비수용성 액체(non-aqueous phase liquid)의 특징으로는 미생물에 의한 분해는 되지 않으면서 생적합한(biocompatible) 성질을 가지고 있고, 또한 오염물질에 대한 용해도가 매우 크다 [1, 2]. 따라서 본 연구에서는 이액상계 시스템을 이용하여 다양한 비수용성 액체들의 PAHs가 토양상에서 비수용성 액체상으로의 이동 특성을 살펴보고 운전 조건에 따른 토양에서의 PAHs의 제거효율을 비교하였다.

2. 본론

2.1 실험방법

본 연구에 사용된 PAHs는 phenanthrene, anthracene, pyrene (Sigma) 3가지이며, 비수용성 액체는 silicone oil (poly(dimethylsiloxane), 20cS & 5cS, Sigma)과 paraffine oil (heavy & light, Sigma)이다. 토양은 경남 산청에서 가져온 kaolinite이고 크기는 200 μm 이하이

며, PAHs를 오염시키기전 미생물의 영향을 완전히 없애기 위하여 121 °C에서 60분간 3회에 걸쳐서 멸균하였다. 멸균된 토양에 세 종류의 PAHs를 각각 500 mg/1kg soil의 농도로 아세톤에 녹여 오염시켰다. 오염된 토양과 물의 혼합비를 30 %로 혼합하여 슬러리 상태로 만들었으며, 비수용성 액체의 양은 전체 슬러리 양의 15 %로 주입하였다. 토양슬러리와 비수용성 액체의 혼합속도는 300 rpm으로 하여 실험하였으며, 샘플링은 1hr, 3hr, 6hr, 12hr, 1day, 2day, 3day, 4day, 5day 간격으로 슬러리상 5 mL를 취하였다. 슬러리상은 90°C에서 하루동안 건조후 1 g을 취하여 methanol 20 mL와 24시간 혼합후 원심분리하여 상등액을 HPLC를 이용하여 분석하였다.

2.2 실험결과

비수용성 액체의 종류에 따른 처리효율의 비교

2가지 다른 종류의 비수용성 액체와 각각의 종류에서 2가지 다른 점도를 가진 비수용성 액체를 사용하여 토양상에서 비수용성 액체상으로의 PAHs의 이동특성을 살펴보았다. Fig. 1에서 보듯이 비수용성 액체의 종류와 점도에 따라 토양속에 남아있는 PAHs의 양에 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 세 가지 PAHs의 종류에 따른 비수용성 액체로의 이동 속도의 차이도 나타나지 않았다. 그러나 paraffine oil(heavy)의 경우 토양에 대한 흡착이 높아 운전기간이 길어질수록 토양내 paraffine oil(heavy)의 흡착도가 증가하여 오히려 토양내 PAHs의 잔류농도가 증가하는 현상을 보였다(Fig. 1-(d)).

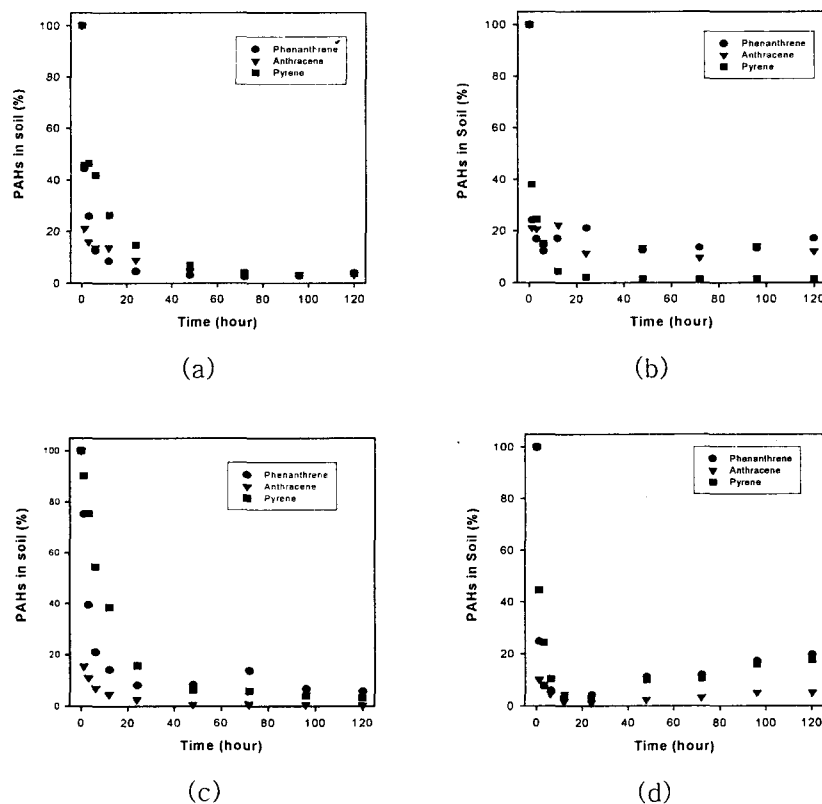


Fig. 1 NAPLs의 종류에 따른 PAHs의 이동 특성; (a) silicone oil (5cS), (b) silicone oil (20cS), (c) paraffine oil (light). and (d) paraffine oil (heavy)

교반속도에 따른 처리효율의 비교

Fig. 2에서 보여지듯이 교반속도가 증가함에 초기상태에는 토양 속에 있는 PAHs의 양이 급격하게 줄어든다. 그러나 450 rpm의 경우에는 교반 시간이 증가함에 따라 토양에 잔존하는

PAHs의 양이 오히려 증가하는 현상을 보였다. 이는 450 rpm의 경우 교반시간이 하루 이상 지나게 되면 이액상 시스템이 깨지고 비수용성 액체가 계면활성제처럼 유화되어 물속에 같이 용해되므로써 토양 내 흡착되는 현상이 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

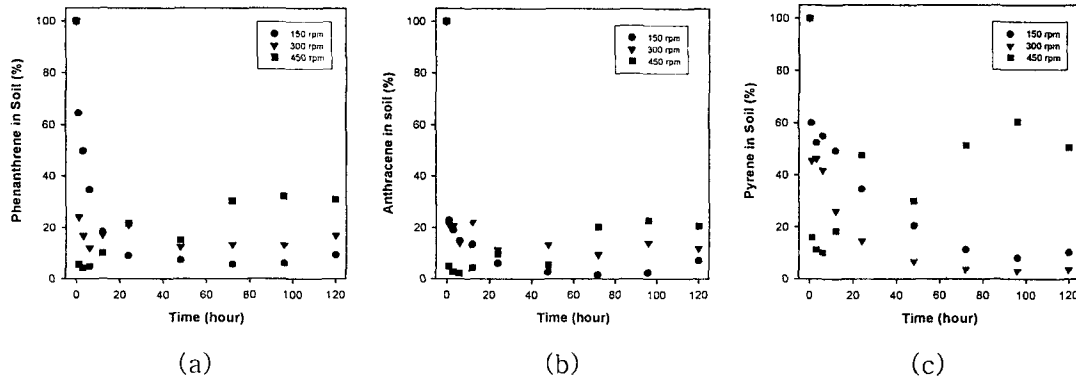


Fig. 2 교반속도에 따른 PAHs의 이동 특성; (a) phenanthrene, (b) anthracene, and (c) pyrene

3. 결론

이액상 시스템을 이용한 토양 내 PAHs의 제거 실험에서 사용되는 비수용성 액체는 종류에 관계없이 토양 내 PAHs의 제거 효율은 비슷하였다. 또한 슬러리상과 비수용성 액체상의 교반속도를 증가시킴으로써 토양 내 PAHs의 제거율은 높일 수 있었으나, 높은 교반속도에서는 비수용성 액체가 유화되어 오히려 토양에 흡착되는 현상이 발생하여 토양 내 잔존하는 PAHs의 양이 증가하는 현상을 보였다.

4. 감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 환경모니터링 신기술연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원과 BK21 사업의 일환으로 LG 칼텍스 정유의 지원으로 수행되었음에 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

- 1) Andrew J. Daugulis, "Two-phase partitioning bioreactors: a new technology platform for destroying xenobiotics' Trends in Biotechnology, Vol. 19, No. 11, pp 457-462, 2001
- 2) Eric Deziel, Yves Comeau and Richard Villemur, "Two-liquid-phase bioreactor for enhanced degradation of hydrophobic/toxic compounds", Biodegradation, Vol. 10, pp 219-233, 1999
- 3) J. Marcoux, et al., "Optimization of high-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons' degradation in a two-liquid-phase bioreactor", Journal of Applied Microbiology, Vol. 88, pp 655-662, 2000