

이액상계 생물반응기를 이용한 PAH의 분해

이재영 · 김용기 · 양지원*

한국철도기술연구원 교통핵심연구팀, * 한국과학기술원 생명화학공학과 환경복원공학연구실
e-mail : iyoung@krri.re.kr

요 약 문

In this study, a two-liquid-phase (TLP) bioreactor was conducted to enhance the biodegradation efficiency and rate of PAH. Phenanthrene was degraded efficiently irrespective of the type and the amount of water-immiscible liquid (WIL). The degradation efficiency of anthracene was much higher in paraffine oil than in silicone oil because the mass transfer of anthracene was different in the two WILs. Pyrene was only transferred from soil to WIL during 5 days. It seemed that the degradation of PAH in the TLP bioreactor was mainly dependent on the mass transfer of PAH.

Key word : two-liquid-phase (TLP), water-immiscible liquid (WIL), PAH

1. 서론

최근의 중요한 환경 문제로 부각되고 있는 오염토양에서 가장 대표적인 오염물로는 다환방향족 화합물 (polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH)이 있다. 일반적으로 PAH는 물에 대한 용해도가 낮고 토양에 강하게 흡착되어 있기 때문에 미생물에 의해 분해가 어렵다 [1-4]. 이러한 낮은 PAH의 분해 효율을 향상시키기 위해 액상에서 PAH의 용해도를 증가시킬 수 있는 첨가제를 주입하여 PAH의 거동이나 분해효율을 살펴보는 연구 결과들이 보고되고 있다 [1-4]. 대표적인 첨가제는 계면활성제로 임계농도 이상에서 미셀을 형성하여 액상에서 PAH의 용해도를 증가시킬 수 있다 [1]. 그러나 계면활성제의 경우, 미생물에 대한 독성 및 토양으로의 재흡착으로 인한 2차 오염 야기 등의 문제점을 가지고 있다. 계면활성제 이외에 사용되는 첨가제로는 미생물에 의해 분해는 되지 않지만 (nonbiodegradable) 독성이 없는 (biocompatible) 비수용성 용매 (water-immiscible liquid, WIL)가 있다 [2-4]. 비수용성 용매는 토양으로부터 탈착된 PAH를 용해시키고, 물과 섞이지 않기 때문에 전체적으로 액상과 비수용성 용매상으로 2상 (two-liquid-phase, TLP)이 형성된다 [2-4]. 이액상계에서는 두 상의 계면이나 액상에서 미생물이 PAH를 탄소원으로 이용하면서 빠르게 분해한다 [3, 4]. 본 연구에서는 이액상계를 이용한 토양슬러리 생물반응기에서 비수용성 용매의 종류 및 양에 따라 phenanthrene, anthracene, pyrene의 분해 특성을 살펴보았다.

2. 본론

2.1 실험 방법

본 연구에 사용된 미생물은 유류로 오염된 토양에서 직접 분리한 *Shingomonas* sp. 3Y (Dr. Ahn)이다. 대상오염물질로는 phenanthrene, anthracene, pyrene (Sigma, USA)을 선정하였으며, 비수용성 용매로는 silicone oil (20cs, Sigma, USA)과 paraffine oil (light, Sigma, USA)을 사용하였다. 배지는 탄소원을 제외한 영양배지를 121°C에서 15분간 멸균하여 반응기에 공급하였다. 오염토양은 150 µm 이하 크기의 kaolinite white-O (경남 산청, Korea)에 일정 농도로 세 가지 PAH를 녹인 아세톤 용액과 혼합함으로써 인공적으로 만들었다. 반응기에 이액상계를 적용하기 위해 오염토양과 배지를 30 % (w/v) 슬러리 비율로 공급하고, 비수용성 용매와 미생물도 일정량 주입하여 교반하였다. 미생물 배양 온도는 반응기 외부의 water jacket을 이용하여 30°C로 일정하게 유지하였다. 토양과 비수용성 용매 내에 잔류하는 PAH 농도를 측정하기 위해 반응기에서 슬러리 1 mL와 비수용성 용매 5 mL를 주기적으로 샘플링하였다. 슬러리는 건조 후 토양 1 g에 메탄올, 비수용성 용매는 DMF (*N,N*-dimethyl-formamide, Sigma)를 넣어 교반기에서 24 시간 동안 25°C를 유지하면서 혼합하였다. 일정 시간 정지 후 용매 부분들을 샘플링하여 HPLC (Waters, USA)를 이용하여 분석하였다.

2.2 실험 결과

Fig. 1은 비수용성 용매인 silicone oil의 양을 2.5 % (v/v)에서 15 % (v/v)로 증가시키에 따라 토양상과 비수용성 용매상에 잔류하는 세 가지 PAH의 농도 변화를 나타낸 것이다. Phenanthrene은 반응기 운전 초기 토양으로부터 탈착되어 대부분이 silicone oil 층으로 이동하였으며, 이후 silicone oil 층에서 급격하게 농도가 감소하였다. Silicone oil을 2.5 % 사용하였을 때는 phenanthrene에 대한 silicone oil의 용해도보다 최대 이동농도가 높기 때문에 전체 60 % 정도만이 silicone oil 층으로 이동하였으나, 분해 특성은 비슷하였다.

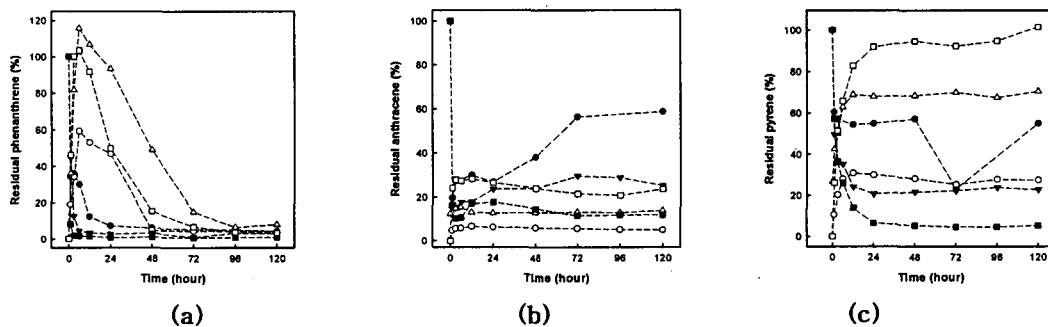


Figure 1 Residual concentrations of phenanthrene (a), anthracene (b), and pyrene (c) on soil and in WIL with the amount of 20 cs silicone oil (v/v) 2.5 % (soil), 2.5 % (WIL), 7.5 % (soil), 7.5 % (WIL), 15 % (soil), and 15 % (WIL).

반면에 anthracene은 silicone oil의 양에 따라 이동성이 크게 감소하였으며, silicone oil 층에서의 농도 감소는 거의 보이지 않았다. Pyrene의 분해는 관찰되지 않았으며, 토양으로부터 탈착된 pyrene이 silicone oil의 양에 따라 다르게 이동하였다.

Paraffine oil을 비수용성 용매로 사용하였을 때, 세 가지 PAH의 토양상과 비수용성 용매상에서의 농도 변화는 Fig. 2에 나타내었다. Paraffine oil은 silicone oil과 비교하여 세 가지 PAH에 대한 용해

도가 매우 높았다 [2]. 따라서 phenanthrene의 경우 2.5 %의 paraffine oil의 양에서도 충분한 이동이 관찰되었으며, 이후 급격하게 미생물에 의해 분해되어짐으로써 paraffine oil 층에서의 농도가 감소하였다. Anthracene은 다른 두 가지 PAH에 비해 paraffine oil에서의 용해도가 상대적으로 낮기 때문에 초기 이동 특성에 차이를 보였으며, 이는 anthracene의 paraffine oil 층 내에서 농도가 감소되는 경향에 영향을 미쳤다. Pyrene은 paraffine oil의 양에 관계없이 대부분이 비수용성 용매층으로 이동하였으며, 5 일간의 배양 기간 동안에는 분해가 관찰되지 않았다.

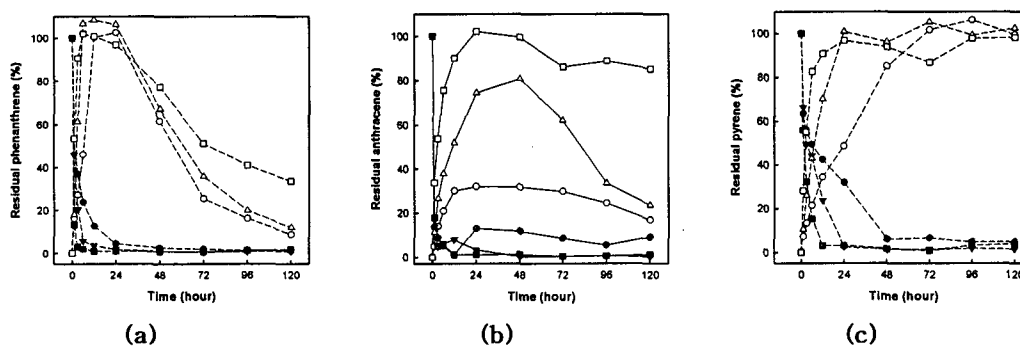


Figure 2 Residual concentrations of phenanthrene (a), anthracene (b), and pyrene (c) on soil and in WIL with the amount of light paraffine oil (v/v) 2.5 % (soil), 2.5 % (WIL), 7.5 % (soil), 7.5 % (WIL), 15 % (soil), and 15 % (WIL).

3. 결론

이액상계를 이용한 PAH의 생물학적 분해에서 사용되는 비수용성 용매가 가지는 각각의 PAH에 대한 용해도의 차이는 상간의 PAH 이동 특성과 전체적인 PAH의 분해 효율에 영향을 주었다. 또한, 비수용성 용매 양에 따라 비수용성 용매층으로 이동되어 분해되는 PAH의 효율도 변화하였다. 결국 PAH의 생물학적 분해 효율은 이액상계에서 배양 초기에 우선적으로 발생하는 PAH의 토양상으로부터 비수용성 용매상으로 이동하는 특성에 주로 의존함을 확인하였다.

4. 감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 환경모니터링 신기술연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원과 국가지정 연구실 사업의 일환으로 수행되었음에 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

- 1) F. Volkering · A. M. Breure and W. H. Rulkens, Microbiological aspects of surfactant use for biological soil remediation. Biodegradation, Vol. 8, pp 401-417, 1998.
- 2) Jae-Young Lee, Hyun-Jeong Cho, Kitae Baek, and Ji-Won Yang, 'Mass transfer of polyaromatic hydrocarbons (PAHs) in a two-liquid-phase system', Journal of Environmental Science and Health, Part A, 40(3), pp 1-11, 2005.

- 3) 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.
- 4) 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.