

PCBs 오염토양의 생물학적 처리

나인욱 · 황경엽 · 최지원 · 김선미 · 최수진

한국과학기술연구원 수질환경 및 복원연구센터
e-mail : kyhwang@kist.re.kr

요 약 문

The possibility of removal of PCBs (Polychlorinated Biphenyls) in soil was studied using biological method. The effects of soil and co-substrate on both PCBs reduction rate and chloride ion concentration in soil were investigated. It was shown that PCBs concentration of all the soils used in this study were reduced from 5ppm to below 1ppm after 60days, also chloride ion concentration in slurry increased. Results showed that leaf mold and humic acid as co-substrate do not seem to be effective for biological treatment of PCBs in soil.

key word : biological process, PCB contaminated sludge, PCB contaminated soil

1.서론

PCBs는 여러 가지 유용한 화학적인 특성으로 인하여 1976년도 일본에서 소위 “가네미유증”이라고 일컫는 환경사고가 발발하지 전까지 전세계에서 다양한 목적으로 매우 활발하게 사용되었던 물질이며 우리나라에서도 1979년 전기사업법의 의해 PCBs사용이 제한되기 시작한 이후 1996년 유해화학물질관리법에 의해 제조,수입,판매 또는 사용이 금지되기 전까지 범지역적으로 사용되었었다. 그 결과 PCBs가 매우 광역적으로 확산되었을 것이라는 것은 쉽게 추정할 수 있으며 사용이 금지된 이후부터 오랜 시간이 지났음에도 불구하고 난분해성인 PCBs의 특성상 아직 환경에 잔류하고 있을 가능성 역시 쉽게 추정할 수 있으며 실제로 이러한 현상들이 학술발표나 언론을 통하여 발표된 바 있다[1]. PCBs는 바젤협약, 스톡홀름협약 등 국제적인 협약발효로 인하여 우리정부에서도 2015년까지 PCBs를 완전 제거할 목표를 세우고 있다.

PCBs로 오염된 하상저니의 문제점은, 먹이사슬 계통을 통하여 장기적으로 국민건강을 위협하고 있음에도 불구하고 광범위하게 확산되어 있는 오염저니를 경제적으로 처리할 수 있는 마땅한 방법이 없다는 데에 있다.

본 연구는 저농도의 PCBs로 오염되어 있지만 처리 대상량이 많은 하상저니를 경제적으로 정화할 수 있는 방법을 타진하고자 수행하였다.

2.본론

가. 실험방법 및 분석

1) 대상정화공법

하상저니의 정화방법에 경제성을 부여하기 위하여 필수로 단순한 형태의 혼합조작만이 요구되는 생물학적 공법을 택하였다.

난분해성인 PCBs의 생물학적 처리공법에 몇가지 방법이 문헌상 소개되고 있다. 이에 의하면 PCBs의 생물학적인 분해에 필요한 주요요소는 PCB의 생체호환성을 높이기 위한 수용성화와 이를 깰 수 있는 미생물의 효소분비 등이다[2, 3]. 그러나 이와 같이 미시적인 부분에 대한 연구는 본 연구의 범위에 포함시키지 않았으며 본 연구에서는 오염된 토양에 혼합함으로써 이러한 특성을 나타낼 가능성이 있는 보조물질을 PCBs로 오염된 토양에 첨가하여 그 효과를 검토하는 것으로 국한시켰다. 그림 1은 공정의 개략도를 나타낸 것이다.

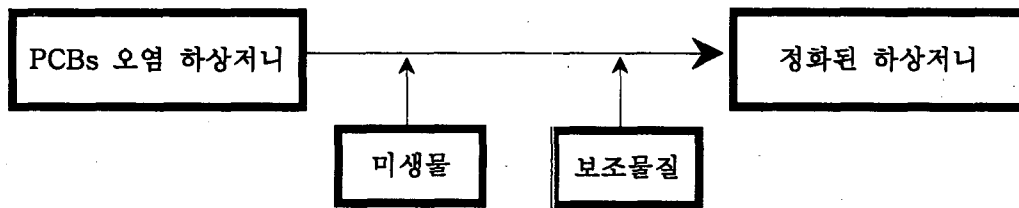


그림 1. PCBs 오염 하상저니 정화공정 개략도

2) 대상시료

본 실험에 사용된 토양은 KIST와 월계천 그리고 산업체에서 채취한 토양으로서 입도 분리하여 입자의 크기가 2mm이하인 토양에 인위적으로 PCBs를 함유한 절연유로 오염시킨 것이다. 토양을 균일하게 오염시키기 위하여 PCBs 함유 절연유를 Hexane에 용해시킨 후 PCBs 오염 농도가 약 5ppm 정도 되도록 혼합하였으며, 상온에서 30일정도 실외에서 통풍시켜 Hexane이 제거되도록 하였다. 오염토양에 대한 PCBs 농도는 매 실험 시에 측정하여 확인 하였다. 그 결과 오염토양 중 PCBs의 초기농도는 5.7ppm으로 나타났다.

생물학적 처리정화를 위해 각 오염토양에 대하여 염소화합물에 순응된 미생물을 접종하였고, 그 외의 보조물질로써 부엽토와 휴믹산을 첨가하였다. 이때 토양과 잘 혼합될 수 있도록 건조토양에 약 10%의 수분을 뿌려주면서 혼합하여 주었다.

생물학적인 분해실험은 혐기성조건하에 수행되었으며 이를 위하여 준비된 토양시료를 용기에 넣고 밀봉한 후 Incubator에 넣고 35℃를 유지하면서 약 1개월 간격으로 토양 중 PCBs농도와 염소이온 농도를 측정하였다.

3) 분석방법

분석방법은 GC/ECD를 이용하여 분석하였다.

나. 실험결과 및 고찰

1) 시간에 따른 PCB 농도변화

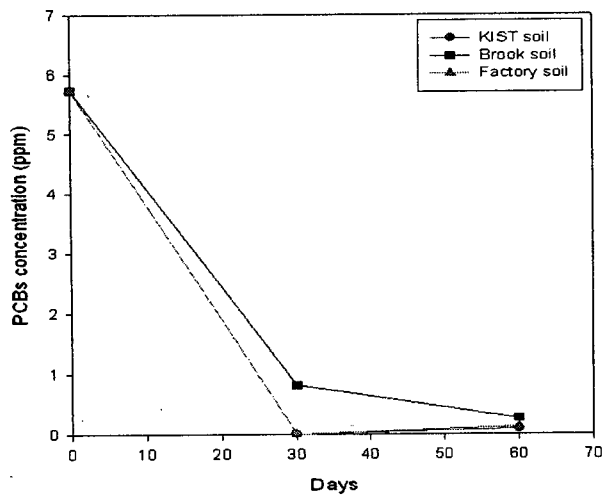


Fig 2. 미생물만 투입시 PCBs 농도

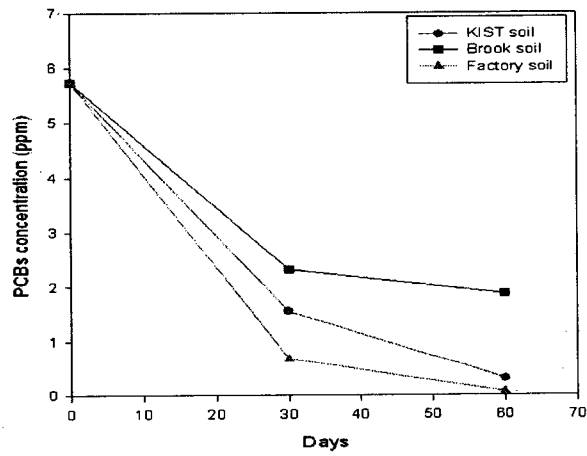


Fig 3. 미생물+부엽토 투입시 PCBs 농도

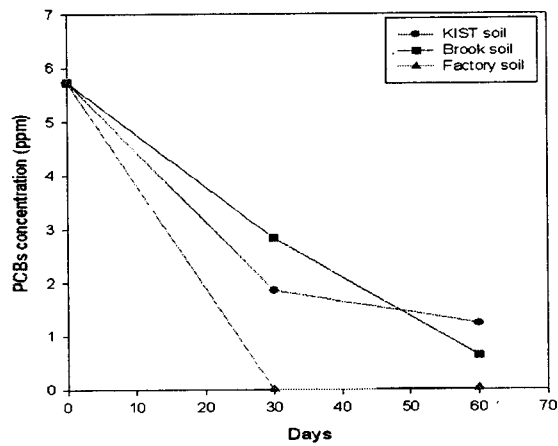


Fig 4. 미생물+휴믹산 투입시 PCBs 농도

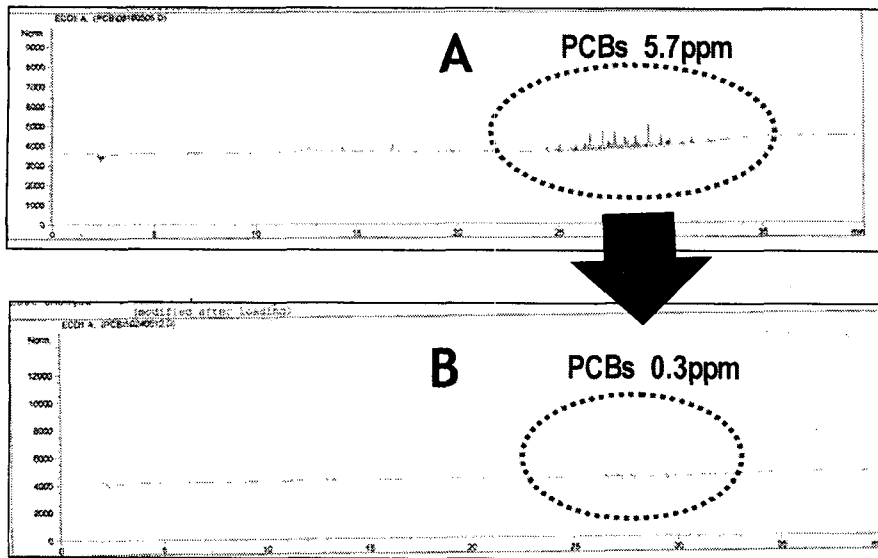


Fig 5. KIST 토양 초기 PCB 농도[A]와 실험 후 농도[B]

그림 2~4에 나타난 바와 같이 PCBs는 모든 경우에 시간이 지남에 따라 점차 감소하여 실험한 기간을 지나면서 거의 분석한계치 이하까지도 제거될 수 있는 것으로 나타났다. 한편, 오염토양에 부엽토와 휴믹산을 첨가하여 비교 실험한 결과, 미생물만 투입한 경우[Fig 2.]에 비하여 PCBs의 감소속도가 낮은 것으로 나타났다.

토양시료의 종류에 따른 제거율을 보면, 월계천에서 채취한 개천토양의 경우 제거율이 가장 낮았으며 산업체토양의 경우가 가장 높았다.

한편 PCBs 분해시 부산물의 생성가능성을 검토한 결과 Chromatogram (Fig.4, Fig.5)에 나타난 바와 같이 새로운 peak가 생성되지 않고 전반적으로 감소하여 비닐 클로라이드등과 같은 독성부산물이 발생하지 않고 분해반응이 진행된 것으로 판단되었다.

3. 결과 및 결론

1) 초기 농도 5.7ppm의 PCB로 오염된 토양의 정화실험을 한 결과, 부산물이 생성되지 않고 수개월내에 거의 완전히 정화할 수 있었다. 따라서 수 ppb의 PCB로 오염되어 있는 하상저니 또는 PCB의 오염도가 5ppm 정도인 오염토양을 정화시에는, 본 방법에 의해 매우 용이하게 정화할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 시료의 종류에 대한 제거양상을 비교한 결과, 미생물만 투입된 시료가 부가적으로 부엽토나 휴믹산이 투입된 시료에 비하여 PCBs의 감소속도가 더 높은 것으로 나타나 moderator 역할을 할 것으로 기대되었던 휴믹산과 부엽토의 기능은 확인할 수 없었다.

3) PCB농도의 감소 및 이에 따른 염소이온농도의 증가를 토대로 토양 종류별 분해양상을 비교한 결과 산업체오염토양의 경우 분해속도가 가장 높았으며 KIST토양, 개천토양 순으로 나타났다.

4. 참고문헌

1. M. Maeda, S.Y. Chung, E. Song, and T. Kudo, (1995) Applied and Environmental Microbiology, 61(2), 549-555.
2. Josephine Borja*, Donna Marie Taleon, Joseph Auresenia, Susan Gallardo (2005) Process Biochemistry, 40, 199-2013
3. Ning H. Tang, Tommy E. Myers, (2002) Chemosphere, 40, 477-484
4. Lee, K. T., Tanaba, S., and Koh, C. H., "Contamination of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Sediments from Kyeonggi Bay and Nearby Areas, Korea", *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 42, pp. 273-279 (2001).
5. Joeng, G. H., Kim, H. J., Joo, Y. J., Kim, Y. B., and So, H.Y., "Distribution characteristics of PCBs in the sediments of the lower Nakdong River, Korea", *Chemosphere*, 44, pp.1403-1411 (2001).