

## ***In-Situ* Flushing기법이 Endosulfan으로 오염된 토양의 생물학적 처리에 미치는 영향**

### Effects of *In-Situ* Flushing on the Bioremediation of Soil Contaminated with Endosulfan

전민하, 최상일

광운대학교 환경공학과

e-mail : minhajeon@hanmail.net

#### 요 약 문

*In-situ* flushing의 적용에 따른 농도 저감이 생물학적 분해에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 초기농도 13mg/kg dry soil과 3mg/kg dry soil인 토양을 생물학적으로 처리한 결과 제거효율은 각각 86% 및 81%였으며, 두 가지 토양 모두 24시간 이후에는 미생물에 의한 작용이 크지 않은 것으로 나타났다. 이것은 토양상에서 용액상으로의 물질전이 속도가 율속 단계로 작용하고 있기 때문이라 생각된다. 토양에 잔류하는 계면활성제가 생물학적 분해에 미치는 영향을 본 결과, 잔류하는 계면활성제에 의해 물질전이 속도가 향상되어 생분해가 지속적으로 일어났으며 초기농도 3mg/kg dry soil인 경우 120시간이 경과한 후 89%의 제거효율을 나타내었다. 계면활성제와 보조용매가 동시에 잔류하는 경우에는 계면활성제에 대한 순응기간이 보다 길어지는 것을 알 수 있었으며, 메탄올과 에탄올의 경우 각각 84% 및 83%의 제거효율을 나타내었다.

---

Key word : 토양 정화, 엔도설판(endosulfan), *in-situ* flushing, 생물학적 처리

#### 1. 서론

1954년 개발된 화학구조상 cyclodiene계열의 농약인 endosulfan(6,7,8,9,10,10-hexachloro-1,5,5a,6,9,9a-hexahydro-6,9-methano-2,4,3-benzodioxathiepine3-oxide)은<sup>1)</sup> 낮은 농도에서도 효과가 크며<sup>2)</sup> pyrethroid계 농약에 저항성이 있는 해충에도 살충력이 뛰어난<sup>1)</sup> 비침투성 광범위 살충제로서 오늘날까지 여러 국가에서 사용되고 있으며<sup>3)</sup> 국내에서도 밭과 과수원 등지에서 많은 양이 사용되고 있다(연간 국내 사용량 91년도 : 148 톤, 94년도 사용량 : 156 톤)<sup>3)</sup>.

농약에 의한 토양오염은 지표수 및 지하수의 수질에도 악영향을 미치게 되는 등 주변환경에 2차 오염을 유발시키므로 오염된 토양은 신속하게 정화되어야 한다.

본 연구에서는 난분해성 유기염소계 농약인 endosulfan으로 오염된 토양을 효율적으로 정화하기 위하여 *in-situ* flushing을 적용하여 오염물질의 농도를 저감시킴과 동시에 미생물에 대한 오염부하를 감소시켜 정화효율을 향상시키고 잔류계면활성제와 보조용매가 endosulfan의 생물학적 분해에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2-1. 실험 조건

*In-situ* flushing 실험은 주입 flux 1.6L/min/m<sup>2</sup>(1.1mL/min), POE<sub>5</sub>+POE<sub>14</sub> (1:1) 1%를 적용하여 실시하였다<sup>4)</sup>. 초기 오염농도 13mg/kg dry soil에서 *in-situ* flushing의 적용 후에는 3mg/kg dry soil로 농도가 저감되었고 POE<sub>5</sub>+POE<sub>14</sub>가 토양중에 일부 잔류하게 된다. 본 실험은 이러한 조건하에서 수행되었다.

### 2-2. 생물학적 분해 양상 검토

#### 가. Endosulfan 분해균의 분리 및 순응

경기도에 위치한 S골프장에서 채취한 토양 50g을 NB배지 200mL에 넣고 30℃에서 48시간 동안 배양하였다. 균배양액은 endosulfan이 150mg/L 함유된 N9 배지에 희석도말하여 30℃에서 집락이 형성될 때까지 배양하였으며 이 집락을 이용하여 실험을 하였다. 분리한 균주는 endosulfan의 농도가 30mg/L이 되도록 조절된 CI 무첨가 최소배지에 접종한 후 48시간 동안 30℃에서 진탕 배양하여 순응시켰다.

#### 나. Microcosm 실험

미생물에 의한 endosulfan의 분해양상을 살펴보기 위하여 microcosm 실험을 실시하였으며, 이때 50mL serum bottle을 사용하였다. serum bottle에는 오염토양을 6g씩 동일하게 넣고, 순응된 미생물은 1mL, 영양분은 CI 무첨가 최소배지 2mL로 하여 주입하였다. Table 1과 같이 조건별로 나누어 실험을 실시하였고, sampling 시간은 6, 12, 24, 48, 72, 96, 120시간으로 하였다. 실험은 정확도를 기하기 위하여 triplicate로 하였다.

Table 1. Experimental conditions of microcosms

	Conditions		Conditions
I	· Initial concentration 13mg/kg dry soil · Seeding	IV	· Initial concentration 3mg/kg dry soil · Seeding · Surfactant added · Cosolvent added (ethanol)
II	· Initial concentration 3mg/kg dry soil · Seeding · Surfactant added	V	· Initial concentration 3mg/kg dry soil · Seeding · Surfactant added · Cosolvent added (methanol)
III	· Initial concentration 3mg/kg dry soil · Seeding	VI	· Initial concentration 3mg/kg dry soil · Sterile condition

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 생물학적 분해 양상 검토

가. 오염농도 저감에 따른 영향

*In-situ* flushing이 생물학적 분해에 미치는 영향중 오염농도 저감에 따른 영향을 Fig. 1에 나타내었다. 초기농도 13mg/kg dry soil과 3mg/kg dry soil 모두 24시간 이후에는 분해가 거의 일어나지 않는 것을 알 수 있었다. 이것은 토양상에서 용액상으로의 물질전이 속도가 율속 단계로 작용하고 있는 것으로 생각된다<sup>5),6)</sup>. 제거효율은 각각 86%, 81%였다.

나. 계면활성제의 잔류에 의한 영향

계면활성제의 잔류에 의한 영향을 Fig. 2에 나타내었다. 6시간 이후부터 미생물이 계면활성제에 대한 순응 양상을 보였고, 24시간이 지나면서 순응된 미생물에 의해 점차적으로 분해도가 향상되는 것을 볼 수 있었으며, 잔류하는 계면활성제에 의해 물질전이 속도가 향상되어 생분해가 지속적으로 일어나는 것으로 판단된다. 120시간이 경과한 후의 제거효율은 89%였다.

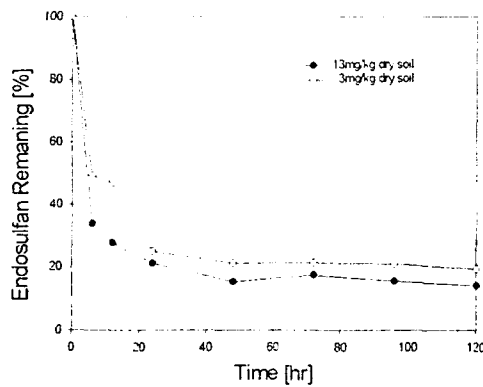


Fig. 1. Effects of the initial endosulfan concentration on the biodegradation of endosulfan

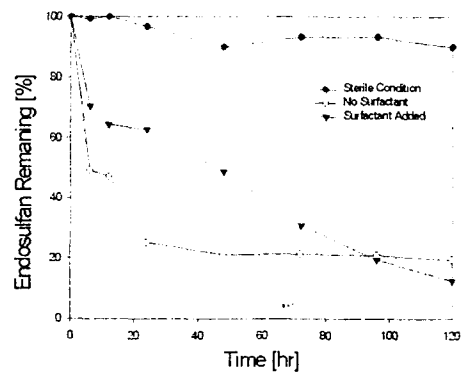


Fig. 2. Effects of the remaining surfactant on the biodegradation of endosulfan (initial endosulfan concentration = 3mg/kg dry soil)

다. 보조용매의 잔류에 의한 영향

초기농도 3mg/kg dry soil일 때 보조용매의 잔류가 endosulfan의 생물학적 분해에 미치는 영향을 Fig. 3에 나타내었다. 미생물의 순응기간이 보다 길어진 것을 볼 수 있는데, 이는 계면활성제와 보조용매를 함께 적용하는 경우 혼합 주입함으로써 계면활성제의 탄화수소 chain과 보조용매인 알코올 단량체의 탄화수소 chain이 서로 얽혀 미셀 구조의 동적 안정도가 증가하여 단단하고 안정한 미셀이 형성되기 때문에<sup>7)</sup> 미생물이 미셀을 깨는데 약 영향을 미치는 것으로 판단된다. 최종 제거효율은 메탄올과 에탄올이 각각 84% 및 83%였다.

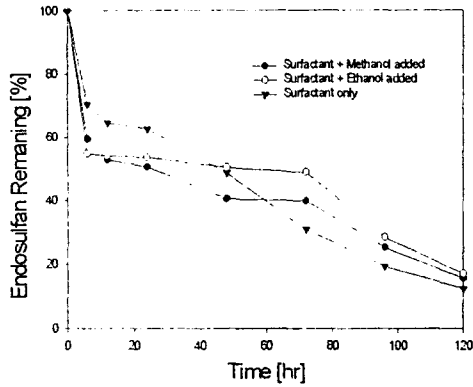


Fig. 3. Effects of the remaining cosolvent on the biodegradation of endosulfan (initial endosulfan concentration = 3mg kg dry soil)

#### 감사의 글

본 연구는 1999년 한국학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

#### 4. 참고문헌

- 1) 강종국. 토양중 살충제 Endosulfan의 흡탈착 특성에 관한 연구, 전남대학교 박사학위논문. (1996).
- 2) Sutherland, T. D. et al, Enrichment of Endosulfan-Degrading Mixed Bacterial Culture, Applied and Environmental Microbiology, 66(7), pp. 2822-2828, (2000).
- 3) 한국의 농약 사용현황과 안전성, 한국농학과학기술원 (1994).
- 4) 전민하, *In-Situ Flushing* 기법이 Endosulfan으로 오염된 토양의 생물학적 처리에 미치는 영향, 광운대학교 석사학위논문, (2000).
- 5) 염익태, 이상현, 안규홍. Biotreatability of Diesel Compounds in aContaminated Soil, 대한환경공학회, 21(8), pp. 1519-1527, (1999).
- 6) Andrew, R. A. and G. M. Ellis, Bioremediation: An Effective Remedial Alternative for Petroleum Hydrocarbon-contaminated Soil, Environmental Progress, 11(4), pp. 318-322. (1992).
- 7) 장 민, 오염토양 정화를 위한 세척제의 특성에 관한 연구, 광운대학교 석사학위논문. (1997).