

고정화 미생물을 이용한세척유출수의 처리 Treatment of Flushing Effluent Using Immobilized Cell

전민하 · 소정현 · 최상일 · 김인호*

광운대학교 환경공학과

* 동해대학교 토목공학과

e-mail : minhajeon@hanmail.net

요 약 문

본 연구에서는 endosulfan으로 오염된 토양을 *in-situ* flushing으로 정화시 발생하는 세척유출수의 고정화 미생물에 의한 처리 효율 및 적용성을 검토하였다. 초기 endosulfan 농도 및 pH가 각각 5mg/L, 5.6인 세척유출수의 체류시간을 1, 3, 5시간으로 하여 고정화미생물 충전 컬럼에 적용한 결과, 제거효율은 각각 62, 82, 89%로 체류시간이 증가될수록 향상되었으며 3가지 조건 모두 약 80시간 이후에 정상상태에 도달하였다. 체류시간 3시간에서 유입수내 endosulfan 농도를 50mg/L 및 100mg/L로 증가시킨 결과, 제거효율이 각각 70% 및 50% 부근까지 저하되었다. 유입수의 pH를 4.0과 9.0으로 변화시켜 실험한 결과 각각 73%와 66%의 제거효율을 나타내었다. pH 9.0보다 4.0에서 제거효율이 약간 높은 이유는 사용 배지의 pH가 약산성을 띠기 때문에 알칼리 상태보다 약산성에서 미생물의 활성이 높기 때문으로 판단된다. 유출수를 재순환 시킨 결과 제거효율이 90%까지 향상되는 것을 볼 수 있었으며, 이는 재순환되는 유출수의 농도 저감 및 고정화 미생물과의 재접촉에 기인하는 것으로 판단된다. 유입수에 공기를 주입한 결과, 유출수의 재순환 없이도 약 40시간 후에 93%의 제거효율을 보였으며 이는 미생물 활성의 증가에 기인하는 것으로 판단된다.

주제어 : endosulfan, *in-situ* flushing, 세척유출수, 고정화 미생물

I. 서론

오염토양을 *in-situ* flushing기법을 이용하여 처리하면 세척유출수가 발생되는데, 이 유출수에는 대상 오염물질과 세척제가 함유되어 있다. 대상 오염물질인 endosulfan은 유기염소계 농약으로서 저농도에서는 여타 처리방법 보다 생물학적 처리에 의해 효율적으로 정화되리라 판단된다. 세척유출수를 생물학적으로 처리하는 경우 오염물질의 농도, 미생물의 농도, 저해물질의 존재 유무, 온도, pH, 미생물간의 경쟁, 기질간의 경쟁, 미생물의 적응 등과 같은 환경요인(environmental factors)을 고려해야 한다¹⁾. 오계현 등²⁾이 염소계 농약 성분인 4-chloro-2-methylphenoxyacetic acid에 대하여 고정상 미생물을 적용하여 좋은 효율을 얻었듯이, 세척유출수의 경우 한정된 발생량이 단기간 내에 배출되므로 운전이 간편하고 고농도의 미생물을 담지할 수 있는 충전층 반응기를 이용하여 처리하는 것이 바람직하다고 판단된다.

본 연구에서는 endosulfan으로 오염된 토양을 *in-situ* flushing으로 정화시 발생하는 세척유출수의 고정화 미생물에 의한 처리 효율 및 적용성을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

1. 균주 및 사용배지

Endosulfan 분해균을 분리하기 위하여 경기도에 위치한 S골프장에서 채취한 토양 50g을 NB배지(NaCl 10g/L, Peptone 5g/L, Yeast 5g/L) 200mL에 넣고 30°C에서 48시간 동안 배양한 배양액을 endosulfan이 150mg/L 함유된 N9배지(salt mixture (Na₂HPO₄ 70g/L, KH₂PO₄ 30g/L, NaCl 5g/L, NH₄Cl 10g/L) 100mL, 0.01M CaPO₄ 10mL, 0.1M MgSO₄ 10mL에 증류수로 1L를 맞춤)에 희석 도달하여 30°C에서 집락이 형성될 때까지 배양하였으며, 이 집락에서 분리한 균을 endosulfan이 30mg/L 함유된 Cl⁻ 무첨가 최소 배지에 접종하여 48시간 동안 30°C에서 진탕 배양하여 순응시킨 후 실험에 사용하였다.

2. 미생물 비드 제조 및 반응기 운전

NB배지 200mL에 접종하여 24시간 동안 배양한 후 고농도의 미생물을 얻기 위해 8,000rpm으로 원심분리하여 미생물을 회수하고 증류수로 3회 세척하였다. 이렇게 얻어진 고농도의 미생물을 N9배지 100mL에 현탁시켜 5% 알긴산 나트륨용액 100mL와 충분히 교반한 후 1%, CaCl₂ 용액에 한방울씩 떨어지도록 조절하였으며 2시간 동안 숙성시켜 평균지름 2mm인 탄력성이 있으면서 단단한 비드(bead)를 제조하였다³⁾.

이 비드를 증류수로 3번 세척한 후 길이 10cm, 내경 2cm인 컬럼에 충전하였다. 전체 컬럼의 부피는 32mL이었고, 사용한 부피는 전체 컬럼 중 22mL이었다. 모든 실험은 30°C에서 수행되었다.

III. 결과 및 고찰

1. 체류시간에 따른 영향

유입수의 endosulfan 농도 및 pH가 5mg/L, 5.6인 세척유출수의 체류시간(HRT)을 1, 3, 5시간으로 하여 실험한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 3가지 조건 모두 약 80시간 이후에 정상상태에 도달하였으며 체류시간이 5시간인 경우 89%로 제거효율이 높았고, 3시간과 1시간의 경우 각각 82%와 62%의 제거효율을 보였다. 이는 체류시간이 짧아질수록 비드 속으로 확산되어 미생물과 반응하는 endosulfan의 flux가 작아지기 때문이라 판단된다.

2. 세척유출수 농도에 따른 영향

체류시간 3시간에서 유입수의 endosulfan 농도를 5, 50, 100mg/L로 조절하여 실험을 수행한 결과, 농도가 증가될수록 처리효율은 감소하였으며 초기농도 5, 50, 100mg/L의 경우 각각 82, 70, 50% 정도의 제거효율을 나타내었다(Fig. 2).

3. pH에 의한 영향

유입수의 endosulfan 농도를 5mg/L, 체류시간을 3시간으로 한 뒤 유입수의 pH를 4.0, 5.6, 9.0으로 변화시켜 실험한 결과 pH가 5.6일 경우에 제거효율이 가장 좋았으며, 각각의 제거율은 73, 82, 66%를 나타내었다(Fig. 3). pH 9.0보다 4.0에서 처리효율이 약간 높은 이유는 사용 배지의 pH가 약산성을 띠기 때문에 알칼리 상태보다 약산성에서 미생물의 활성이 높기 때문으로 판단된다.

4. 유출수 재순환에 따른 제거효율 검토

유입수의 endosulfan 농도를 5mg/L, 체류시간을 3시간으로 한 뒤 유출수를 재순환시킨 결과, Fig. 4에서 볼 수 있듯이 제거효율이 90%까지 향상되었으며, 이는 재순환되는 유출수의 농도 저감 및 고정화 미생물과의 재접촉에 기인하는 것으로 판단된다.

5. 유입수 폭기에 의한 영향

Endosulfan 농도 5mg/L인 유입수에 공기를 주입하면서 체류시간을 3시간으로 하여

운전한 결과, 유출수의 재순환 없이도 약 40시간 후에 정상상태에 도달하였고, 93%의 제거효율을 보였다(Fig. 5). 이는 반응기내로 산소가 충분히 공급됨에 따라 미생물의 활성이 증가하였기 때문이라 판단된다.

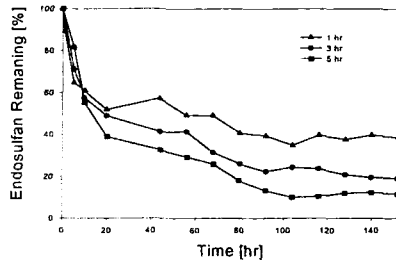


Fig. 1. Effects of the HRT of the flushing effluent on the removal of endosulfan (influent endosulfan concentration = 5mg/L, pH = 5.6)

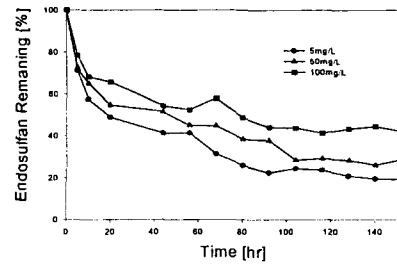


Fig. 2. Effects of the concentration of the flushing effluent on the removal of endosulfan (HRT = 3hr, pH = 5.6)

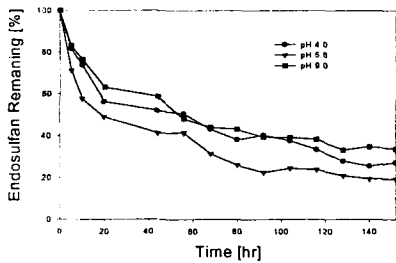


Fig. 3. Effects of the pH of the flushing effluent on the removal of endosulfan (influent endosulfan concentration = 5mg/L, HRT = 3hr)

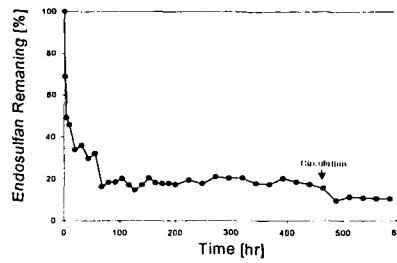


Fig. 4. Removal efficiency vs. operation time (influent endosulfan concentration = 5mg/L, HRT = 3hr, pH = 5.6)

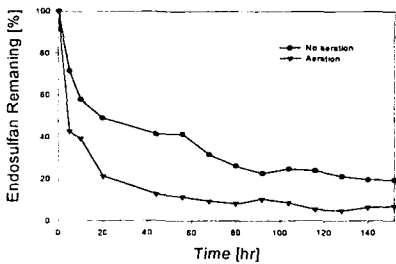


Fig. 5. Effects of the aeration of the flushing effluent on the removal of endosulfan (influent endosulfan concentration = 5mg/L, HRT = 3hr, pH = 5.6)

IV. 결론

1. 세척유출수 체류시간을 1, 3, 5시간으로 하여 실험한 결과, 3가지 조건에서 80시간 후에 정상상태에 도달하였고, 각각의 제거효율은 62%, 82%, 89%를 나타내었다.

2. 유입수의 endosulfan 농도를 5, 50, 100mg/L로 조절하여 실험한 결과, 주입농도가 증가할수록 처리효율은 감소하였고 각각 82%, 70%, 50% 정도의 제거효율을 나타내었다
3. 유입수의 endosulfan 농도를 5mg/L, 체류시간을 3시간으로 한 뒤 유입수의 pH를 4.0, 5.6, 9.0으로 변화시켜 실험한 결과 pH가 5.6일 경우에 제거효율이 가장 좋았고, 각각의 제거율은 73, 82, 66%를 나타내었다
4. 유입수의 endosulfan 농도를 5mg/L, 체류시간을 3시간으로 한 뒤 유출수를 재순환 시킨 경우 제거효율이 90%까지 향상되는 것을 볼 수 있었다.
5. 유입수의 endosulfan 농도 5mg/L, 체류시간을 3시간으로 하고, 반응기 주입전 세척 유출수를 폭기한 결과, 유출수의 재순환 없이도 약 40시간 후에 93%의 제거효율을 보였다.

감사의 글

본 연구는 2001년 광운대학교 교내학술 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

V. 참고문헌

1. Arvin, E., B. K. Jensen, and A. T. Gundersen, Substrate Interaction during Aerobic Biodegradation of Benzene, *Applied and Environmental Microbiology*, 55(12), pp. 3221-3225, 1989.
2. 오계현, 차민석, 컬럼반응조내에서의 고정된 생물막에 의한 농약 4-chloro-2-methylphenoxyacetic acid의 분해, *한국생물공학회지*, 11(5), pp. 524-528, 1996.
3. 염승호, 최석순, 충전층 반응기를 이용한 폐수처리에서 페놀의 분해 특성, *대한위생학회지*, 11(3), pp. 13-19, 1996.