

VOCs처리를 위한 미생물의 토양복원화 특성

손 종렬 · *장 명배

The Characteristics of Bioremediation for VOCs in Soil Column

고려대학교 보건대학 환경위생과 · (주)대하엔지니어링

ABSTRACT

Diffusive transport of volatile organic compounds(VOCs) and their degradation by bacteria in unsaturated soils are couple by poorly understood mass transfer kinetics at the gas/water interface. Determination of the fate of VOCs in unsaturated soil is necessary to evaluate the feasibility of natural attenuation as a VOC remediation strategy. The objective of this study was to develop a mechanistically based mathematical model that would consider the interdependence of VOC transport, microbial activity, and sorptive interactions in a moist, unsaturated soil. Because the focus of the model was on description of natural attenuation, the advective VOC transport that is induced in engineered remediation processes such as vapor extraction was not considered. The utility of the model was assessed through its ability to describe experimental observations from diffusion experiments using toluene as a representative VOC in well-defined soil columns that contained a toluene degrading bacterium, *Pseudomonas putida*, as the sole active microbial species. The coefficient for gas-liquid mass-transfer, K_{La} , was found to be a key parameter controlling the ability of bacteria to degrade VOCs. This finding indicates that soil size and geometry are likely to be important parameters in assessing the possible success of natural attenuation of VOCs in contaminated unsaturated soils.

I. 연구배경 및 목적

최근 환경오염은 수질, 공기오염 뿐만 아니라 토양오염도 심각한 문제로 대두되고 있는데, 이는 산업의 발달과 도시화로 인해 유해폐기물의 발생 및 다량의 유기용매를 사용함에 따라 부적절한 관리 및 처리문제로 인해 토양오염을 일으켜 지하수를 서서히 오염시키고 있다. 토양을 오염시키는 대표적인 물질은 VOCs(휘발성유기화합물)이며, 이밖에 농약과 PAHs(다환방향족탄화수소류, 연료화합물, 무기질, 폭발성 물질 등으로 알려져 있다. 환경부 조사에 의하면 1995년~1997년 사이에 실시한 지하수 수질조사 결과 인체에 유해한 VOCs인 TCE, PCE 등이 일부 조사시료에서 먹물 수질 기준치를 초과한 것으로 보고된 바 있다.

이러한 VOCs 물질들은 최근들어 국내에서도 폐광산, 유류 및 유해물질 저장시설, 공

장산업시설, 비위생적 매립시설 등지에서 토양 및 지하수 오염문제가 우려되고 있다. 환경부가 밝힌 국내 VOCs 배출실태('94)에 따르면 우리나라 VOCs 배출총량 중 자동차 관련부문 45%, 페인트, 합성도료 40%, 기름저장시설, 출하시설 5%, 인쇄소 4%, 세탁소 3%, 아스팔트 3% 순으로 매우 다양해 이러한 물질로 오염된 지역을 복원하는 것은 매우 중요하다. 그러나 국내에서는 토양 및 지하수에 대한 오염문제를 인식하고 있으면서도 현재까지는 이에 대한 대책이 거의 마련되지 않고 있다.

토양의 복원 방법에는 물리, 화학, 생물학적 처리방법이 있는데 이중 생물학적(미생물을 이용한)처리방법은 물리, 화학적 처리방법에 비해 높은 경제성과 신속한 처리 간단한 사용법으로 많은 장점을 가지고 있다.

그러므로 본 연구에서는 토양오염 중 유류등의 유출로 인한 VOCs(휘발성 유기화합물) 물질등의 복원 방법 즉, 물리, 화학, 생물학적 방법 중 생물학적 미생물을 이용한 토양복원 실험의 효과와 그 가능성을 확인해 보고자 한다.

II. 연구방법

1. 실험재료

우선 Toluene 특급시약 1.2mL와 중류수를 혼합하여 20L가 되도록하고 7일간 희석시킨다. 그리고 이것을 Total 20L가 되도록 중류수를 넣어 시료를 완성한다.

냉동상태의 *Pseudomonas putida* G7을 평판도말 하여 생존을 확인하고 이것을 각각 Colony씩 떼어내어 액체배지200mL를 넣은 300mL 플라스크에 접종하고 상온(25°C)에서 진탕기를 이용하여 교반속도 150rpm으로 배양하였다.

토양은 오염되지 않은 모래를 No.80(0.2mm)의 채로 쳐서 사용했으며 실험전 토양환경 오염 공정법에 준하여 수분을 측정하였다. 미생물 주입은 토양을 멸균 후에 완전히 혼합하여 반응기에 주입하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 실험장치중 반응기는 둥근 철재통으로 구성되어있으며 맨 아래 VOCs 주입구와 위의 출구는 시료채취를 위하여 탄성격막을 부착하였다. 그리고 반응기의 높이에 따라 7개의 시료 채취구(아래부터 No.1-No7)를 설치하였고 각각 뚜껑으로 봉하여 주사기로 바로 가스 시료를 용이하게 채취하도록 하였다. 시료의 주입은 VOCs 물질이 반응기의 아래로 투입이 되며 위로 올라가 밖으로 배출될 수 있도록 설계되었다. VOSs 물질은 HPLC 펌프로 0.5mL/min으로 주입을 하며, Air는 100mL/min으로 중간에 Hydrocarbon trap과 Gas washing bottle을 거치고 반응기 상부에 주입된다.

미생물을 주입하지 않을 때 토양의 VOCs 흡착능력을 확인하는 실험을 진행하고, 이를 토대로 미생물에 의한 VOCs 흡착 분해 능력을 비교실험 고찰하였다.

사용한 미생물은 Toluene 분해능력이 우수한 *pseudomonas putida* G7을 사용하고 반응 시간별 반응기의 Inlet, No.4, Outlet에서 Gas-tight syringe로 VOCs 가스를 채취하여 GC(HP-5890 II, USA)로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

미생물 없이 토양(수분 6.3%)만을 반응기에 넣어 실험장치를 운전하였을 경우 반응시간에 따른 반응기 입구, 출구에서의 각각 Toluene GC 측정치와 미생물을 주입하여 실험장치를 운전하였을 경우 반응시간에 따른 반응기 입구, No.4, 그리고 출구에서의 각각 Toluene GC 측정치(Fig. 5-7)는 다음과 같다 그리고 반응기에 토양과 미생물을 섞어서 실험한 경우의 시간에 따른 반응기 입구, No.4, 그리고 출구에서의 각각 Toluene GC 측정치는 다음과 같다.

Fig 2~4와 같이 미생물을 주입하지 않았을 경우 시간에 따라 토양내에 Tolune이 거의 모두 흡착되었고 이에 비해 Fig.5~7과 같이 미생물을 이용한 경우 흡착 후 시간이 경과함에 따라 Tolune이 미생물에 의해 분해됨을 보여주었다.

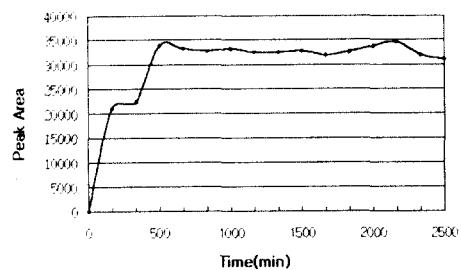


Fig. 1. 미생물 주입안한 토양에서의 측정 결과 (반응기 입구)

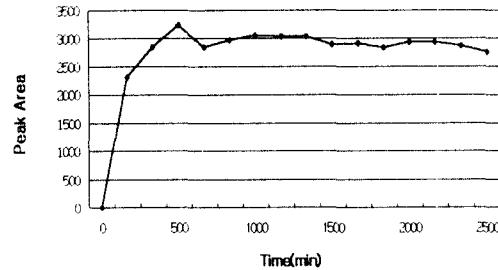


Fig. 2. 미생물 주입안한 토양에서의 측정 결과 (반응기 출구)

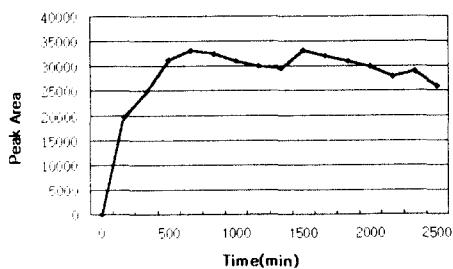


Fig. 3. 미생물을 주입한 토양에서 측정 결과 (반응기 입구)

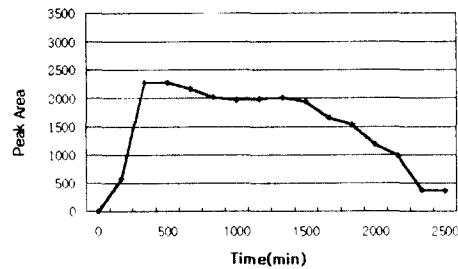


Fig. 4. 미생물을 주입한 토양에서의 측정 결과 (반응기 출구)

IV. 결 론

본 연구에서는 여러 가지 오염원에서 발생되는 VOCs 물질에 의해 오염된 토양을 생물학적으로 처리하기 위한 방법으로 *Pseudomonas putida G7*을 이용하여 Toluene의 제거 가능성을 판단하고 확인하여 보았다.

토양에 의해 Toluene이 모두 잘 흡착된 결과를 보여주었으며 미생물을 주입한 경우는 주입하지 않은 결과와 비교할 때 시간이 경과함에 따라 흡착된 토양중의 Toluene이 미생물에 의해 제거됨을 나타냈다.

이상의 결과에서 미생물을 이용한 토양복원화 기술개발의 연구가 더욱 필요함을 알 수 있었다.