

VOCs처리를 위한 미생물의 토양복원화 특성

손종렬 · 장명배* · 조광명*

고려대학교 보건대학 환경위생과 · 인하대학교 환경공학과*

The Characteristics of Bioremediation for VOCs in Soil Column

Jong-Ryeul Sohn · Myung-Bae Jang* · Kwang-Myung Cho*

Dept. of Environmental Sanitation, Korea University

Dept. of Environmental Engineering, Inha University*

Abstract

The study was carried out to evaluate the characteristics of biodegradation by *Pseudomonas putida* G7 in soil column. The reactor system was used to investigate mass transfer of VOCs as Toluene in a column of unsaturated soil.

Determination of the fate of VOCs in unsaturated soil is necessary to evaluate the feasibility of natural attenuation as a VOCs 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 VOCs transport that is induced in engineered remediation processes such as vapor extraction was not considered.

It can be concluded that the coefficient for gas liquid mass-transfer was found to be a key parameter controlling the ability of bacteria to VOCs. Finally, it appeared that bioremediation technology of VOCs which are difficult to be decomposed by chemical methods.

I. 서 론

최근 환경오염은 수질, 대기오염 뿐 만 아니라 토양오염도 심각한 문제로 대두되고 있는데, 이는 산업의 발달과 도시화로 인해 유해폐기물의 발생 및 다량의 유기용매를 사용함으로써 부적절한 관리 및 처리문제 등으로 인해 토양오염을 일으켜 지하수를 서서히 오염시키고 있다. 토양을 오염시키는 대표적인 물질은 휘발성유기화합물(이하 :

VOCs)이며, 이 밖에 농약, PAHs(다환방향족탄화수소류),무기화합물 등으로 알려져 있다.

환경부 조사에 의하면 1995년~1997년 사이에 실시한 지하수 수질검사 결과 인체에 유해한 VOCs인 TCE, PCE 등이 일부 조사시료에서 먹물 수질 기준치를 초과한 것으로 보고된 바 있다.

이러한 VOCs물질들은 최근들어 국내에서도 폐광산, 유류 및 유해물질 저장시설, 공장산업시설, 비위생적 매립시설 등과 같은 배출원에서 주변의

토양 및 지하수를 오염할 우려가 있어 일부지역은 측정하고 있다.

환경부가 밝힌 국내 VOCs 배출실태에 따르면 우리나라 VOCs 배출총량 중 자동차 관련부문 45%, 페인트, 합성도료 40%, 기름저장시설, 출하시 설 5%, 인쇄소 4%, 세탁소 3%, 아스팔트 3% 순으로 매우 다양해 이러한 물질로 인해 오염된 지역을 복원하는 사업은 매우 중요한 일이다. 그러나 국내에서는 토양 및 지하수에 대한 오염문제를 인식하고 있으면서도 아직까지는 이에 대한 대책이 미비한 실정이다.

토양의 복원 방법에는 물리, 화학, 생물학적 처리방법이 있는데 이 중 미생물을 이용한 생물학적 처리방법은 물리, 화학적 처리방법에 비해 높은 효율과 광범위한 적용 등 많은 장점을 가지고 있다. 그러므로 본 연구에서는 토양오염 중 유류등의 유출로 인한 VOCs(휘발성 유기화합물) 물질중 Toluene을 대상물질로 비포화된 토양 Column에서 흡착, 분해되는 거동을 확인하고자 미생물인 *Pseudomonas putida*을 이용하여 분해반응 특성을 알아보고, 결과를 토대로 생물학적 토양 복원화 기술 발전을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

실험대상물질로는 토양중 대부분 존재하는 VOCs 물질 중 Toluene을 선정하여 실험하기 위해 실험재료로 HPLC용 Toluene 1.2mL와 증류수를 혼합하여 2L가 되도록 하고 7일간 희석시킨다. 그리고 이것을 Total 20L가 되도록 증류수를 넣어 희석한 후 실험재료로 조제 사용한다.

사용한 미생물은 미국 Cornell대학에서 가져온 냉동상태의 *Pseudomonas putida* G7을 평판도말하여 생존을 확인하고 이것을 각각 한 Colony씩 떼어내어 Table.1과 같은 액체배지 200mL를 넣은 300mL 플라스크에 접종하고 상온에서 진탕기를 이용하여 교반속도 150rpm으로 배양하여 O.D₆₀₀을 측정하였다.

토양은 오염되지 않은 모래를 No.80(0.2mm)의 체로 쳐서 사용했으며, 실험전 토양오염 공정시험

Table 1. Composition of the MMS liquid medium for cell growth

Compound	Concentration(mg/L)
Pyruvate	2000
CaCl ₂ · 2H ₂ O	30
MgSO ₄ · 7H ₂ O	35
(NH ₄) ₂ SO ₄	120
KNO ₃	15
NaHCO ₃	0.84
KH ₂ PO ₄	0.70
Vitamin B ₁₂	0.002
FeSO ₄	0.015

법에 준하여 수분을 측정하였고, 미생물 주입은 토양을 멸균 후에 완전히 혼합하여 반응기에 주입하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 실험장치는 Fig.1과 같으며, 반응기는 등근 철재통으로 구성되어있으며 맨 아래 VOCs 주입구와 위의 출구는 시료채취를 위하여 탄성격막(septum)을 부착하였다.

그리고 반응기의 높이에 따라 7개의 시료 채취구를 설치하였고 각각의 채취구도 주사기로 바로 가스 시료를 용이하게 채취하도록 하였다. 시료의 주입은 VOCs 물질이 반응기의 아래로 투입이 되며 위로 올라가 밖으로 배출될 수 있도록 설계하였다.

VOCs 물질은 HPLC 펌프로 0.5mL/min로 주입을 하였으며, Air는 100mL/min으로 중간에 Hydrocarbon trap과 Gas washing bottle을 거치고 반응기 상부에 주입되도록 하였다.

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

사용한 미생물은 Toluene 분해능력이 우수한 *Pseudomonas putida* G7을 사용하고 반응시간별 반응기의 입구, 출구에서 Gas-tight syringe로 VOCs 가스인 Toluene을 채취하여 GC(HP-5890 II, USA)로 분석하였다.

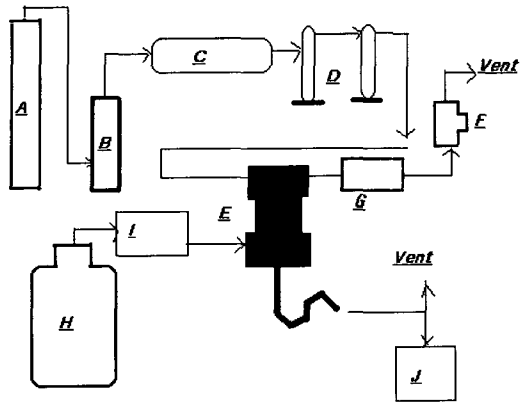


Fig. 1. Experimental Apparatus

- A : Compressed air and regulator
- B : Flow meter and needle valve
- C : Hydrocarbon trap
- D : Gas washing bottle
- E : Reactor
- F : Gas sampling tee
- G : Flow meter
- H : Solvent source reservoir
- I : HPLC solvent pump
- J : Liquid waste container

III. 실험결과 및 고찰

미생물 없이 토양(수분 6.3%)만을 반응기에 넣어 실험장치를 운전하였을 경우 반응시간에 따른 반응기 입구, 출구에서의 각각 Toluene 농도와 미생물을 주입하여 실험장치를 운전하였을 경우 반응시간에 따른 반응기 입구, 출구에서의 각각 Toluene 농도를 측정하여 비교한 결과는 Fig. 2~5와 같다.

Fig 2, 3과 같이 미생물을 주입하지 않았을 경우 시간에 따라 토양내에 Toluene이 거의 모두 흡착되었고 이에 비해 Fig.4,5와 같이 미생물을 이용한 경우 흡착 후 시간이 경과함에 따라 Toluene이 미생물에 의해 분해됨을 알 수 있었다.

이는 토양에 의해 흡착된 Toluene과 같은 오염 물질들이 미생물에 의해 완전히 제거될 수 있음을 보여준 결과로서 이러한 결과를 석유계 화학물질로

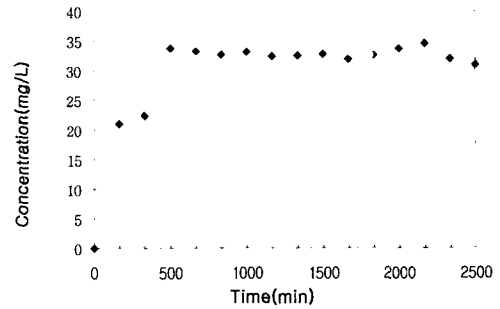


Fig. 2. Experimentally measured concentration of toluene in influent from unsaturated soil column without bacteria

오염된 토양의 복원화사업을 위해서 사용한다면 매우 효율적인 방법으로 적용될 수 있을 것이다.

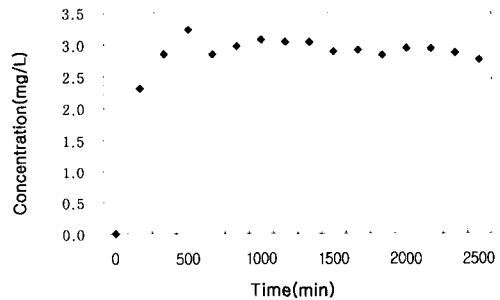


Fig. 3. Experimentally measured concentration of toluene in effluent from unsaturated soil column without bacteria

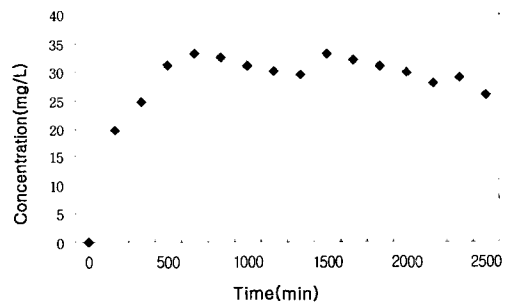


Fig. 4. Experimentally measured concentration of toluene in influent from unsaturated soil column with bacteria

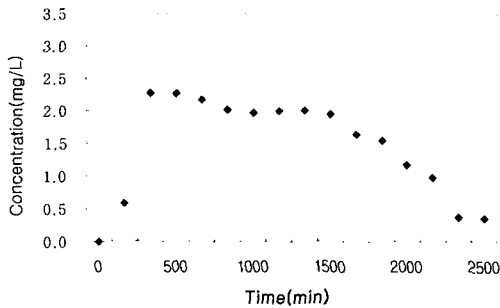


Fig. 5. Experimentally measured concentration of toluene in effluent from unsaturated soil column with bacteria

IV. 결 론

본 연구에서는 여러 가지 오염원에서 발생하는 VOCs물질에 의해 오염된 토양을 생물학적으로 처리하기 위한 방법으로 *Pseudomonas putida G7*을 이용하여 Toluene의 제거가능성을 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 투입된 미생물인 *Pseudomonas putida G7*에 의해 완전히 분해됨을 알 수 있었다.

이는 토양을 오염시킨 Toluene과 같은 오염물질들이 미생물에 의해 완전히 제거될 수 있음을 보여준 결과로서 이러한 결과를 석유계 화학물질로 오염된 토양의 복원화사업에 적용한다면 매우 효과적일 것이다.

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

감사의 글

본 논문은 (주)대하엔지니어링의 연구지원 사업에 의해 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원, 유류오염토양 현장복원기술개발, 1998.
2. 한국토양환경학회, 오염토양복원 기술 국제세미나, 1997.
3. 환경부, 토양오염공정시험법, 2000.
4. Abriola, L.M., Kurt D. Pennell, Walter J. Weber, John R. Lang, Mark D. Wilkins, Persistence and Interphase Mass Transfer of Organic Contaminants in the Unsaturated Zone: Experimental Observations and Mathematical Modeling, 1995.
5. Allen-King, R.M., K.E. O'Leary, R.W. Gillham, J.F. Barker, Limitations of the biodegradation rate of dissolved BTEX in a natural, unsaturated, sandy soil: Evidence from field and laboratory experiments, Hydrocarbon Bioremediation, 175-191, 1993.
6. Brown, D.S., S.W. Karickhoff, E.W. Flag, Empirical Prediction of Organic Pollutant Sorption in Natural Sediments, Journal of Environmental Quality, 10(3): 382-386, 1981.
7. Button, D. K., Kinetics of Nutrient-Limited Transport and Microbial Growth, Microbiological Reviews 49.3 270-297, 1997.
8. Chiou, C.T. and T.D. Shoup., Soil sorption of organic vapors and effects of humidity on sorptive mechanism and capacity. Environ. Sci. Technol. 19(12): 1196-1200, 1985.
9. Devanny, J.S., V.F. Medina, and D.S. Hodeg, Biofiltration for treatment of gasoline vapors, Hydrocarbon Remediation, 12-19, 1993.
10. Duetz, Wouter A., Caroline de Jong, Peter A. Willians, Johan G. van Andel, Cp, letotopm in Chemostat Culture between Pseudomonas Strains That Use Different Pathways for the Dregradation of Toluene, Applied and Environmental Microbiology 60.8, 2858-2863, 1994.
11. 권선순, PAHs로 오염된 토양의 생물학적 복원 기술에 관한 연구, 2000.

12. Falta, Ronald W., Iraj Javandel, Karsten Pruess, Paul A. Witherspoon, Density-Driven Flow of Gas in the Unsaturated Zone Due to the Evaporation of Volatile Organic Compounds, *Water Resources Research* 25.10, 2159-2169, 1989.