

계면활성제를 이용한 토양내 유기오염물 (NAPL) 정화 방법의 연구

이 민 희

부경대학교 환경지질과학과
(e-mail: heelee@pknu.ac.kr)

ABSTRACT

Column experiments were performed to evaluate the efficiency of surfactant flushing for remediation of non-aqueous phase liquid (NAPL) in the soil under controlled conditions. In column experiment less than 0.1 % of the original mass of tetrachloroethylene (PCE), remained in the column after 15 pore volumes of 1 % sorbitan monooleate solution were passed through columns. To determine the influence of soil parameters that may affect the remediation process, column tests were repeated with different values of grain size, application rate, surfactant type, surfactant concentration, and solution viscosity (polymer mixed with surfactant). Experimental works suggest that surfactant flushing has a great potential to rapidly remove mass from NAPL in the soil.

Key words: remediation, surfactant, PCE, NAPL

I. 서론

계면활성제를 이용하여 NAPL의 용해도를 증가시켜 수용액상으로 NAPL을 정화하는 방법이 최근 활발히 연구되고 있다.^{1),2),3)} 본 칼럼 실험을 통하여 계면활성제를 이용한 정화 방법의 정화 효율에 영향을 주는 인자들에 대한 비교 분석이 이루어졌으며, 이들은 실제 오염된 지역에서 계면활성제를 이용하여 토양내 NAPL을 정화하는데 중요한 기술적 자료로 사용될 수 있을 것이다.

II. 실험 방법

비이온 계면활성제 (non-ionic surfactant)인 솔비탄모노올리에이트 (sorbitan

monooleate)가 칼럼 실험에 이용되었으며, 유기오염물 (NAPL)로서는 PCE (tetrachloroethylene: Eastman Kodac Co. 제품)가, 토양 매체로는 Ottawa silica sand 와 캐나다의 Hill Air Force Base Borden 토양이 이용되었다.

중립질 Ottawa 모래(F-45와 F52)와 Base Borden 토양을 지름 5 cm, 길이가 30 cm인 유리 칼럼 (Kimble/Kontes회사제품명: Chromaflex column)에 채웠다. 유리 칼럼의 상 하부는 Teflon 여과판과 튜브가 연결된 스크루캡으로 되어 있다. 유리 칼럼의 하부로부터 이산화탄소 가스를 주입시켜 약 10분 동안 칼럼 내를 통과시켰다. 증류수 (끓인 후 냉각하여 미생물을 제거한 비-이온수)를 0.2 ml/min의 일정한 속도로 칼럼 하부로부터 펌프를 통하여 칼럼의 공극체적 (pore volume)의 2배 정도를 주입하고, 칼럼 상부로 흘러나오게 하여 칼럼을 물로 포화시켰다. 하부 연결캡의 튜브와 뷰렛과 연결시켜서 칼럼의 높이보다 2 m 상부에 위치시켰다. 뷰렛은 6ml의 증류수로 채운 후, Sudan IV로 빨강계 염색된 4ml의 PCE와 4ml의 증류수로 채워서 PCE의 휘발을 막았으며, 뷰렛꼭을 열어 칼럼과 뷰렛간 수두 차이에 의하여 PCE가 칼럼 내로 주입되도록 하였다. 칼럼 내 PCE의 분포가 안정될 수 있도록 칼럼의 양쪽 캡을 막고 1시간을 경과시킨 후, 양쪽 캡을 다시 열고 증류수나 1%의 계면활성제 용액을 칼럼 하부로부터 0.5 ml/min의 일정 속도로 주입시켰다. 칼럼 상부캡과 연결된 튜브로부터 일정한 시간 간격으로 2 ml 샘플링을 실시하였으며, 모아진 샘플들은 가스크로마토그래프 (GC, 모델명: HP5890)를 이용하여 PCE 농도를 분석하였다. 칼럼 상부로부터 흘러나온 모든 용액은 밀폐된 Teflon 용기에 담겨진 후 가스크로마토그래프로 분석함으로서, 칼럼으로부터 제거된 PCE 양을 계산하였다. 시간에 따른 칼럼 유출 농도와 세척 (flushing) 실험에 사용된 용액 양과의 관계를 그래프로 나타내어 비교함으로서, 계면활성제를 이용한 칼럼 세척의 정화 효율을 정량화 하였다. 용액의 칼럼 세척은 칼럼으로부터 나오는 유출 용액의 PCE 농도가 0.1 mg/l 이하가 될 때까지 실시하였으며, 칼럼 세척이 끝난 후, 칼럼 내의 모든 모래는 메타놀에 집적되어져, 다시 가스크로마토그래프로 분석함으로서 칼럼 내에 남아 있는 PCE의 양을 계산하였다. 계면활성제의 농도와 정화 효율과의 관계를 알아내기 위해 각각 1%, 5%, 10%의 용액에 대해 칼럼 실험을 반복하였으며, 토양 입자 크기와 flow rate이 정화 효율에 미치는 영향을 알아내기 위해 입자 크기가 다른 세 종류의 칼럼 실험을 flow rate을 달리하여 반복 실시하였다. 또한 polymer를 첨가하여 칼럼 실험에서의 kinetic 효과를 줄였을 때의 정화 효율을 측정하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

솔비탄모노올리에이트 1% 용액의 칼럼내 세척시, 칼럼의 PCE 외부 유출 농도는

최대 5000 ppm 이었으며, 12 공극체적 (pore volume) 주입 후 유출농도는 0.1 ppm 이하를 나타내었으며 초기 PCE 주입값의 0.1% 만이 칼럼내에 남아 있었다. 그러나 증류수 만을 이용한 실험에서는 PCE 유출 농도는 최대 130 ppm 이었으며, 30 공극체적을 주입한 후에도 유출 농도는 100 ppm 정도를 유지하였고, 칼럼내 PCE의 97%를 정화하는데 약 300 공극체적 이상이 필요하였다. Flow rate의 증가와 함께 정화 효율은 감소하였으며, 이것은 kinetics의 효과라고 사료되며, 현장 적용 시 정화 효율과 경제성을 고려하여 적절한 pumping rate을 결정하는 것이 중요하다고 판단된다. 입자가 큰 토양일수록 정화 효율이 증가하였으며, polymer를 함께 사용한 칼럼에서 정화 효율이 높은 것으로 나타났다.

본 실험 결과로부터 계면활성제를 이용한 토양내 유기오염물 (NAPL)의 정화가 현장에서의 실제적인 정화 방법으로 사용되어질 수 있는 가능성을 발견할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Lee, M., 1998, The remediation of tetrachloroethylene by surfactant flushing in both the saturated and the unsaturated zone. *Environmental Technology*, 19, 1073-1083.
- 2) Martel, R., Gelinas, P.J., and Desnoyers, J.E., 1998, Aquifer washing by micellar solutions: 1. optimization of alcohol-surfactant-solvent solutions. *Journal of Contaminant Hydrology*, 29, 319-346.
- 3) Bettahar, M., Ducreux, J., Schafer, G., and Dorpe, F., 1999, Surfactant enhanced in situ remediation of LNAPL contaminated aquifers: Large scale studies on a controlled experimental site. *Transport in Porous Media*, 37, 255-276.