

계면활성제를 이용한 불균질 매질에서의 유기오염물(NAPL)의 정화효율에 관한 실험

서형기, 이민희, 정상용
부경대학교 환경지질과학과
lycoz@maill.pknu.ac.kr

요약문

비 수용성 유기오염물(NAPL; non-aqueous phase liquid)로 오염된 불균질 토양을 계면활성제를 이용하여 정화할 경우 효율성을 알아보기 위해 칼럼 및 박스 실험을 실시하였다. 불균질한 지하 내부구조는 정화효과에 커다란 영향을 끼치는 것으로 알려져 있으나 이에 대한 연구는 매우 미비한 형편이다. 2차원 불균질 분포를 잘 나타내주는 박스실험을 통하여 실제 지하매질에 가까운 조건에서 실험을 실시하였다. PCE(tetrachloroethylene)와 xylene이 NAPL로 올리에마이드(Oleamide)가 비이온-계면활성제로 이용되었으며, 1%용액과 증류수를 주입하여 NAPL을 세정하였고 가스크로마토그래피를 이용하여 NAPL의 농도를 분석하였다. 계면활성제를 주입할 경우가 증류수를 주입할 때보다 최대유출농도가 약 200배 정도가 높게 나타났으며 빠른 시간 내에 대부분의 NAPL이 정화되었다. 본 실험을 통하여, 불균질 매질에서의 계면활성제를 이용한 토양세정방법의 효율성이 정량화 되었으며, 계면활성제를 이용한 채수주입법의 현장 적용가능성을 확인하였다.

key word : surfactant, NAPL, 채수주입법, 정화.

1.서론

본 연구의 목적은 실내에서 칼럼 및 박스 실험을 실시하여 NAPL로 오염된 불균질 매질에서 계면활성제를 이용하여 정화할 경우 정화 효율을 파악하고 현장 적용 가능성을 검토하는 것이다. 계면활성제는 분자구조가 극성과 비극성을 동시에 가지는 화합물이다(Attwood and Florence, 1983; Rosen, 1989). 이런 특별한 구조는 수용액상에서 유기물을 만나게 될 때 "micellization"이 발생하여 유기물의 걸보기 용해도를 증가시키고 결국 이런 현상을 유기물 정화에 이용하게 된다(Fountain, 1998; Lee, 1989). 불균질 매질과 오염물질의 2차원 분포를 나타낼 수 있는 박스를 이용하여 층상구조와 단층구조 모형을 제작하여 실제 지하구조와 비슷하게 재현하고자 하였으며 계면활성제를 이용한 채수주입법을 실시하였다.

2.본론

세정(flushing)에 사용된 세정액은 증류수와 비이온 계면활성제 올리에마이드(Akzo nobel회사) 1%용액이며 주입된 NAPL은 xylene과 PCE(tetrachloroethylene)이다. 칼럼실험에 사용된 매질은 ottawa 모래(US Silica Com. F-35)이다. Ottawa 모래를 오븐에 70℃ 온도에서 12시간 동안 넣어두어 건조시킨 후 지름이 2.5cm, 길이가 15cm인 유리칼럼(Kimble/Kontes회사; 제품명: Chromaflex column)에 넣고 충전하였다. 칼럼에 증류수를 2~3배의 공극체적 만큼 흘려보내어 모든 공극을 증류수로 채웠다. 그리고 염색제(Sigma-Aldrich회사; 제품명: Sudan IV)로 빨갛게 염색시킨 PCE와 xylene을 칼럼중앙부에 오염시키고 계면활성제와 증류수를 펌프를 통해 일정한 속도로 하부에서 상부로 주입시키며 정화하기 시작했다. 유출되는 용액은 테플론용기에 담아 보존하였고 일정한 시간 간격으로 2ml 샘플병에 담아서 가스크로마토그래피로 농도를 측정하였다. 표 1은 실험에 사용된 칼럼과 시료들의 특징을 나타내었다.

표 1. 각 칼럼들의 특징

종류	공극율	공극체적 (cm ³)	매질	오염물질		주입속도 (ml/min)
				PCE(g)	Xylene(g)	
Column A	0.35	26	ottawa sand	1	1	0.5
Column B	0.39	28.58	ottawa sand	1	1	0.5

박스실험은 가로, 세로, 높이가 10, 30, 20cm인 유리박스에 입경이 서로 다른 ottawa 모래(F-35: 0.5mm, F-110: 0.1mm)를 이용하여 층상구조와 단층구조를 만들었으며 변형된 채수주입법을 이용하였다. 층상구조 실험에서는 서로 연결된 4개의 호수를 매질 상부에 꽂아서 계면활성제와 증류수를 주입하였으며 지름이 1.2cm 길이가 25cm인 스테인리스 관에 0.2~0.3cm 간격으로 스크린을 내어 추출정으로 사용하였다. 단층구조 박스실험에서는 같은 방법으로 만든 우물 모형을 주입정과 추출정을 구분하여 이용하여 채수주입법의 형태를 따랐다. 표 2는 실험에 사용된 박스와 시료들의 특징을 나타내었다.

표 2. 각 박스의 특징

종류	공극율	공극 체적 (cm ³)	주입량		주입속도 (ml/min)	배출속도 (ml/min)
			PCE(g)	Xylene(g)		
Box A	0.25	1,335	8	8	1.0	2.0
Box B	0.32	1,750	8	8	1.0	2.0
Box C	0.16	963	8	8	1.0	1.0

칼럼 및 박스에서 유출되는 용액의 PCE와 xylene 농도를 가스크로마토그래피로 분석하고 세정용액의 양과 비교하여 그래프로 나타내었다. Column A와 Column B는 NAPL의 증류수에 대한 계면활성제의 정화 효과를 나타낸다. Column A는 올리에마이드 1%용액을 60 공극체적을 흘려보낸 이후 NAPL이 1 ppm 이하로 떨어지는 반면 Column B는 증류수를 100 공극체적 이상 흘려보낸 이후에도 10 ppm 이상으로 유지되는 결과를 보여줌으로써 정화 시간의 효율성을 보여준다(그림1). Box A와 Box B는 층상구조를 가지며 앞선 칼럼실험 결과와 비슷한 경향을 나타낸다. Box A에서는 계면활성제의 2 공극체적 주입이후 약 50 ppm 이하로 정화되는 반면 Box B에서는 증류수를 4 공극체적을 주입하였을 때 20 ppm으로 유지됨을 보였다(그림2). Box C는 단층구조이며 계면활성제 10 공극체적 주입 후 20 ppm 정화되었다(그림3).

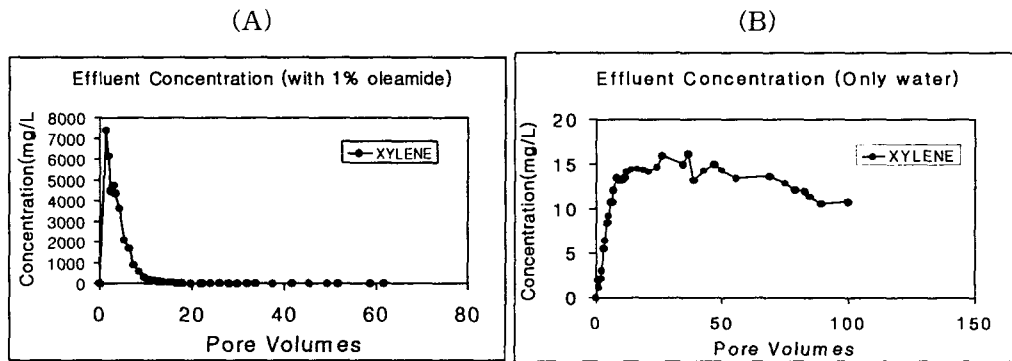


그림 1. (A) Column A, xylene으로 오염시킨 칼럼에서 올리에마이드 1%용액으로 정화한 결과. (B) Column B, xylene으로 오염시킨 칼럼에서 증류수만으로 정화한 결과.

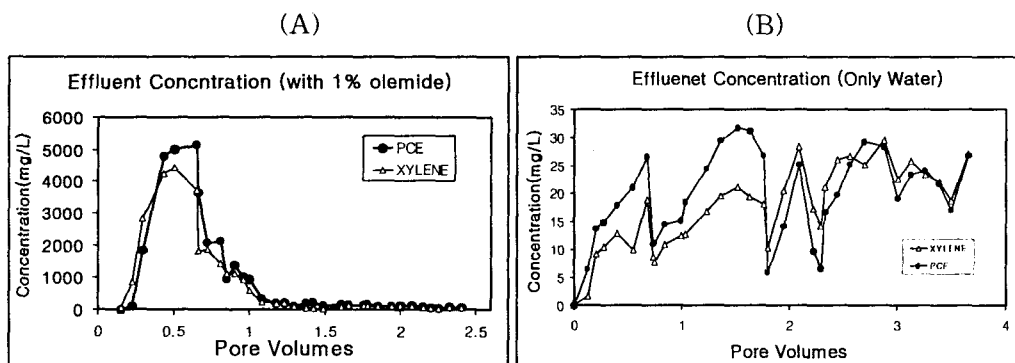


그림 2. (A) Box A, PCE와 xylene을 혼합하여 오염시킨 층상구조 박스에 올리에마이드 1% 용액으로 정화한 결과. (B) Box B, PCE와 xylene을 혼합하여 오염시킨 층상구조 박스에 증류수만으로 정화한 결과

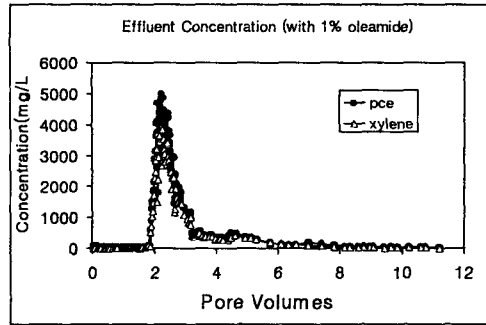


그림 3. PCE와 xylene을 혼합하여 오염시킨 단층구조 박스에 올리에마이드 1%용액으로 정화한 결과.

3. 결론

칼럼과 박스를 이용한 세정실험을 통해 불균질 매질에서의 NAPL에 대한 계면활성제의 정화효과를 검증하였다. 1% 농도의 계면활성제를 주입할 경우 PCE와 xylene의 최대유출농도가 약 200배정도 증가하였으며, 정화 시간도 단축되는 결과를 얻었다. 본 실험결과는 일반적으로 정화가 어렵다고 여겨져 왔던 불균질 매질에서의 유기오염정화가 계면활성제를 이용한 채수주입법으로 효과가 있다는 것을 나타내며, 정화방법으로의 현장 적용가능성을 확인하였다.

4. 사사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 2000-2-13200-001-2) 지원으로 수행하였음.

5. 참고문헌

- Attwood, D., and Florence, A.T., 1983, Surfactant system. Chapman and Hall, New York, 794p.
- Fountain, J.C., 1995, Bench test for a treatability study of surfactant enhanced aquifer remediation at Hill Air Force Base, Utah, Final Report. Buffalo, State Univ. of New York at Buffalo.
- Lee, M., 1998, The remediation of tetrachloroethylene by surfactant flushing in both the saturated and the unsaturated zone. Environmental Technology, 19, 1073-1083
- Rosen, M.J., 1989, Surfactant and interfacial phenomena. John Wiley and Sons, New York, 170-202.