

토양세정기법의 유류 오염토양 적용을 위한 기초 연구

소정현 · 최상일 · 한상근

광운대학교 환경공학과

e-mail : jhyun94@explore.gwu.ac.kr

요 약 문

유류로 오염된 부지에 토양세정기법을 적용하기 위한 전 단계로, 실험실 규모의 컬럼실험을 통하여 pilot 규모 현장 적용을 위한 설계인자 및 최적 운전조건을 규명하고자 적정 세척제 종류와 농도, 배합비 및 세정용액 주입유량을 고찰하였다. 회분식실험 결과 POE₁₄와 SDS(1:1)를 1%로 적용한 혼합계면활성제의 효율이 가장 우수하였으나, 예비실험 결과 음이온계 계면활성제인 SDS는 미생물에 독성을 끼치는 경향이 있는 것으로 나타나 같은 농도에서 효율이 거의 유사한 POE₅와 POE₁₄ 혼합계면활성제를 이용하여 실험하였다. 선정된 혼합계면활성제를 적용하여 디젤 오염토양 세척능력을 검토한 결과 세척제 농도 1%까지는 효율이 증가하다가 1% 이상의 농도에서는 다시 감소하는 경향을 나타내었으며, 계면활성제 배합비는 1:1로 혼합하였을 경우 세척효율이 가장 우수하였다. 따라서 POE₅와 POE₁₄ (1:1) 1% 혼합계면활성제를 세척제로 선정하였다.

컬럼실험 결과, 주입 flux가 클수록 세정 제거된 총 유류의 양이 증가하였으며, 같은 pore volume의 세정용액 통과 시에는 flux가 작을수록 제거효율이 좋았다.

key word : *in-situ*, soil flushing, petroleum contaminated soil, diesel, surfactant

1. 서론

현재 국내에는 12,007개소의 주유소 및 4,404개소의 석유류 저장 산업시설이 유류 관련 토양오염 유발시설로 관리되고 있다¹⁾. 설비의 노후화 및 취급 부주의 등의 이유로 누출된 유류에 의한 토양 및 지하수 오염은 매우 심각한 환경문제를 야기 시킬 수 있으며, 특히 인체 및 토양생물에 유해한 성분들을 많이 함유하고 있기 때문에 적절한 정화 처리가 필요하다. 본 연구의 목적은 유류로 오염된 부지에 토양세정기법을 적용하기 위한 전 단계로, 실험실 규모의 컬럼실험을 통하여 pilot 규모 현장 적용을 위한 설계인자 및 최적 운전조건을 규명하고자 적정 세척제 종류와 농도, 배합비 및 세정용액 주입유량에 대하여 고찰하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 사용토양

본 연구에 사용된 토양은 서울특별시 노원구 월계동 도로확장공사 지역에서 채취하였으며, 큰 입径의 토양과 협잡물질을 제거하기 위하여 채취된 토양 중 #4체(4.7mm)를 통과하는 토양만을 사용하여 TPH 기준 13,750 ~ 20,700 mg/kg dry soil 범위의 인공오염 토양을 제조하여 사용하였다.

Table 1. The Characteristics of the Soil Tested

pH	Organic Content [%]	Bulk Density	Particle Density	Porosity	CEC [meq/100g]	Uniformity Coefficient
8.26	1.47	1.33	2.83	0.47	4.24	10.00

2.2 회분식 실험

Pilot 규모 현장 적용을 위한 세정설비를 설계하기 위한 기초 실험으로써 세척제 종류, 농도, 배합비 등에 따른 세척효율을 검토하였다. 비이온계 계면활성제인 polyoxyethylene 계열의 POE₅와 POE₁₄ 및 음이온계 계면활성제인 sodium dodecyl sulfate(SDS)를 이용하여 1%의 단일 계면활성제 및 혼합 계면활성제 세정용액을 적용하였다. 세척효율이 가장 우수하다고 판단되는 2가지 세정용액에 대하여 농도를 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0, 3.0%로 변화시켜 가면서 토양 세척효율을 관찰하였다.

2.3 컬럼실험

인공오염토양을 직경 4.5cm, 길이 25cm인 Pyrex 컬럼에 공극율 0.47이 되도록 타격 충전하였다. 전체 컬럼 중 사용된 체적은 286.3mL 이었다. 토양이 충전된 컬럼에 계면활성제 용액의 flux를 0.5, 1, 2, 3 L/min/m², 상향류 방식으로 주입하면서 168시간 동안 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 회분식 실험

세척제 선정실험 결과 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 POE₁₄와 SDS(1:1)를 1%로 적용한 혼합 계면활성제의 효율이 78.1%로 가장 우수하였다. 음이온계 계면활성제는 거품성이 좋고, 온도 변화에 예민하지 않으며, 고형오염에 대한 세척성이 좋으나 내경수성이 좋지 않다. 반면 비이온계 계면활성제는 거품이 적고, 내경수성이 좋고, 지용성오염에 대한 세척성이 좋으나 온도변화에 민감하다²⁾. 이와 같은 상호 보완적인 성격으로 인하여 음이온계 계면활성제와 비이온계 계면활성제의 혼합계면활성제의 세척효율이 우수하게 나타난 것으로 판단된다. 예비실험 결과 SDS는 미생물에 독성을 끼치는 경향이 있는 것으로 나타나 같은 농도에서 효율이 거의 유사한 POE₅와 POE₁₄ (1:1) 1% 혼합계면활성제를 세척제로 이용하였다. 선정된 혼합계면활성제를 적용하여 디젤 오염토양 세척능력을 검토한 결과 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 세척제 농도 1%까지는 효율이 증가하다가 1% 이상의 농도에서는 다시 감소하는 경향을 나타내었으며, 배합비는 1:1로 혼합하였을 경우의 세척효율이 가장 우수하였다. 이는 혼합계면활성제 용액의 상황에서 흡착이 강하게 일어나는 계면활성제의 흡착량은 CMC 이상의 농도에서 농도가 증가할수록 줄어들게 되고 흡착이 덜 강하게 일어나는 계면활성제의 흡착량보다 더 작게 되는 가능성이 있다³⁾. 즉, 계면활성제를 혼합할 경우, 전체 농도가 증가할수록 monomer의 농도가 줄어들어 흡착의 추진력이 줄어들기 때문에 일어나는 현상으로 판단된다.

3.2 컬럼실험

세정용액 주입 flux 변화에 따른 실험 결과를 세정용액 주입 시간과 주입 pore volume에 대하여 표현하여 Fig. 3에 각각 나타내었다. Fig. 3(a)에서 볼 수 있듯이 주입 flux가 3L/min/m²인 경우에 세정효율이 77% 정도로 가장 높았다. 이는 토양 층을 통과하는 flux가 클수록 물리적인 탈착 강도가 높아지고 농도차에 따른 확산현상이 강하게 작용하기 때문인 것으로 판단된다⁴⁾. 또한 flux가 2, 3L/min/m²인 경우 168시간 후 제거 효율의 차이가 많이 나지 않았는데, 이는 flux가 어느정도 증가하면 계면활성제가 토양에 부착되어 토양의 공극을 감소시켜 오염물질 유동이 감소되기 때문인 것으로 판단된다. 같은 pore volume의 세정용액 통과 시에는 Fig. 3(b)에서 볼 수 있듯이 flux가 작을수록 제거효율이 좋았다. 이는 flux가 작을수록 세정용액의 컬럼 내 체류시간 증가로 인한 오염토양과 세정용액 간의 접촉

시간이 길어졌기 때문으로 판단된다⁵⁾.

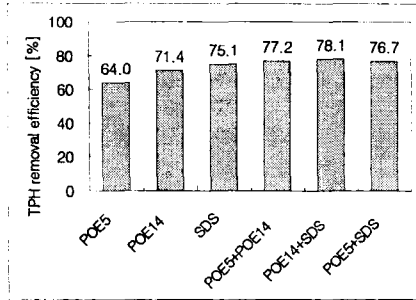


Fig. 1. TPH removal efficiencies vs. types of surfactant solution (initial TPH conc. = 20,696 mg/kg dry soil, surfactant conc. = 1%, dilution ratio = 1:3, shaking time = 3hr)

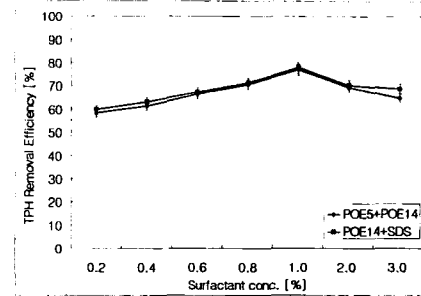
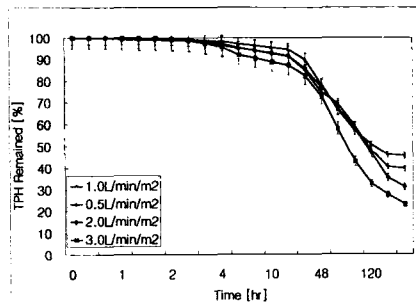
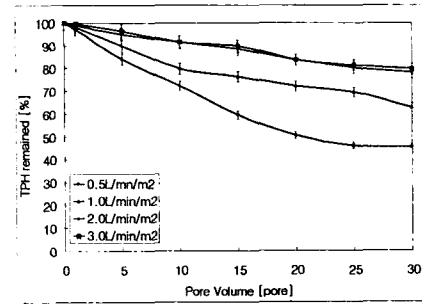


Fig. 2. TPH removal efficiencies vs. concentration of surfactant (initial TPH conc. : 18,600 mg/kg dry soil, dilution ratio = 1:3, shaking time = 3hr)



(a)



(b)

Fig. 3. Effects of the flux of the surfactant solution on removal of TPH (POE₅ + POE₁₄(1:1) 1%, initial TPH concentration and weight of contaminated soil are 13,750 mg/kg dry soil and 500g, respectively), (A) Time vs. remaining TPH percent, (B) Pore volume vs. remaining TPH percent.

4. 결론

회분식 실험결과 POE₁₄와 SDS(1:1)를 1%로 적용한 혼합계면활성제의 효율이 가장 우수하였으며, 이는 음이온 계면활성제와 비이온 계면활성제간의 상호 보완적인 성격 때문에 두 가지 계면활성제의 혼합계면활성제의 세척효율이 우수하게 나타난 것으로 판단된다. 그러나 예비실험 결과 음이온계 계면활성제인 SDS는 미생물에 독성을 끼치는 것으로 나타나 같은 농도에서 효율이 거의 유사한 POE₅와 POE₁₄의 혼합계면활성제를 이용하여 실험하였다. 선정된 혼합계면활성제를 적용하여 디젤 오염토양 세척능력을 검토한 결과 세척제 농도 1%까지는 효율이 증가하다가 1% 이상의 농도에서는 다시 감소하는 경향을 나타내었으며, 배합비는 1:1로 혼합하였을 경우의 세척효율이 가장 우수하였다. 따라서 POE₅와 POE₁₄(1:1) 1% 혼합계면활성제를 세정용액으로 선정하였다.

컬럼 실험결과 주입 flux가 클수록 제거된 총 유류의 양이 증가하였으며 같은 pore volume의 세정용액 통과 시에는 flux가 작을수록 제거효율이 좋았다.

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

1. 환경부, “토양환경보전 정책방향”, 1999. 12.
2. 정혜원, “혼합 계면활성제의 계면활성에 관한 연구”, *한국의류학회지*, 18(3), 348~354(1994).
3. 홍성안, “혼합 계면활성제의 마이셀화, 흡착 및 기공 미디어를 통한 전달현상”, 한국화학공학회 1987년 추계학술발표회, 132~136(1987).
4. 김형수, 최상일, 전민하, “*In-Situ Flushing*을 이용한 농약 오염토양 정화에 관한 연구” 2001년도 대한환경공학회 춘계학술연구발표회, 281~282(2001).
5. Abdul, A. S. and T. L. Gibson, “Laboratory Studies of Surfactant-Enhanced Washing of Polychlorinated Biphenyls from Sandy Materials”, *Environ. Sci. Technol.*, 25, 665~671(1991).