

디젤오염 토양 정화를 위한 토양세정 및 응집효과

박준석, 박종은*, 신철호**, 원찬희*, 김승호

삼척대학교 환경공학과, *전북대학교 환경공학과, ** (재)서해환경과학연구소
(e-mail : wan5155@samcheok.ac.kr)

<요약문>

약 10,000 mg TPH/kg으로 오염시킨 디젤오염토양을 계면활성제로 세정한 결과 단일 계면활성제를 사용한 경우에는 POE12가 63%로 가장 세정효율이 우수하였다. 단일 계면활성제를 혼합하여 세정한 결과 POE12와 SDS를 1%로 혼합하였을 때 10%의 세정증가효과가 있었으나, 다른 혼합액에서는 POE12를 단일로 사용한 경우와 유사하거나 오히려 감소하였다. 토양세정과 응집제를 사용하여 디젤오염토양을 정화할 경우 비이온 계면활성제인 POE12와 음이온 계면활성제인 SDS를 혼합하여 세정한 후 고분자 응집제인 A601P를 사용하여 세정액을 응집처리하는 것이 가장 효과적이었다.

1. 서론

유류로 오염된 토양 및 지하수의 정화방법은 꾸준히 개발되어 왔으며 상용화된 기술도 많으나 다양한 국내 현장특성으로 인하여 오염부지에 바로 적용하기에는 정화효율이 의문시 된다. 또한 단일 기술로는 목적하는 정화효율을 달성할 수 없어서 최근에는 현장특성을 면밀히 파악한 후 적절한 복원방법들을 선택하여 순차적으로 적용하면서 각각의 기술을 상호보완할 수 있는 시스템을 적용하고 있다. 특히 상부에 시설물이 존재하는 주유소 토양이 오염된 경우에는 영업활동과 오염토양 정화를 병행하여야 하므로 지중처리 정화기법의 필요성이 크게 부각되고 있다. 국내에서 지중토양 세정기법(*in situ* soil flushing)을 적용한 연구는 주로 중금속을 대상으로 실시되었으며 소수성 유기화합물에 적용된 사례는 대부분 bench 및 pilot 규모로 이루어져서 현장규모의 보다 많은 연구가 필요한 실정이다.

본 연구는 유류오염토양에 계면활성제를 이용한 *in situ* 토양세정기술을 적용하고 세정된 유출수를 고분자 응집제로 응집처리하여 주유소 오염토양 및 지하수 정화의 가능성을 평가하고자 실시되었다.

2. 실험재료 및 방법

토양은 J사에서 오염되지 않은 것을 채취하여 햇빛이 들지 않는 곳에서 풍건시킨 후 2 mm 체를 통과한 것만을 실험에 사용하였다. 사용된 토양은 pH와 TOC가 각각 6.7과 0.5%인 사질양토(sandy loam)이었다. 풍건된 토양에 수분을 약 15% 정도로 조절한 후 L사의 디젤유를 약 10,000 mg/kg(건조토양)이 되도록 오염시켰고, 밀봉하여 실온에서 3주간 방치시킨 후 실험에 사용하였다. 토양세정에 사용되는 계면활성제는 군산 H사에서 구입한 POE5, POE12, SDS와 SFT85이었다. 고분자 응집제는 음이온계

(A601P, A331P), 비이온계(N100P, N101P), 양이온계(C101P, YCX4)의 응집제를 각각 2가지씩 사용하였다. 토양세정 실험에 사용된 칼럼은 원통형 아크릴로 제작하였으며 지름과 높이는 각각 15 cm와 60 cm이었다(Fig. 1). 칼럼에 디젤오염토양 10 kg을 넣고 높이가 40 cm될 때까지 타격충전하여 용적밀도가 1.4 g/cm^3 가 되도록 하였다. 토양내 TPH 농도는 토양을 20 g 채취하여 토양오염공정시험법(1999)¹⁾의 초음파추출법에 따라 전처리한 후 GC(Varian Saturn 2000, USA)로 분석하였다. 분석에 사용된 GC칼럼은 DB5(60 m length \times 0.32 mm internal diameter \times 0.25 μm film thickness)이었다. 토양세정액과 고분자응집제를 이용하여 처리한 후에 세정액 내에 존재하는 TPH의 분석은 계면활성제의 마이셀(micelle)을 파괴시킨 후 추출하여야 하므로 먼저 대상용액에 NaCl을 넣어 혼합하였다. 여기에 n-hexane을 넣고 교반한 후 초음파 추출하고 1 시간 이상 정치시킨 후 상등액을 동일한 GC로 분석하였다.

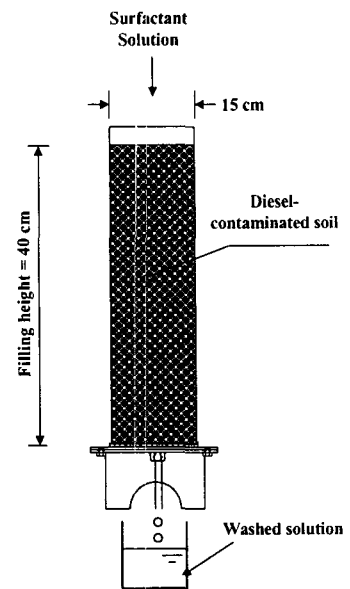


Fig. 1. Experimental schematic for soil flushing.

3. 결과 및 고찰

계면활성제의 사용농도를 결정하기 위하여 POE12를 단독으로 사용한 경우와 POE12에 음이온 계면활성제인 SDS를 1:1 (v:v) 비율로 혼합한 경우에 대하여 회분식 예비실험을 실시한 결과 모두 1%의 농도에서 가장 효율적으로 디젤을 세척하였으며, POE12를 단독으로 사용하는 경우에는 76% 그리고 POE12와 SDS를 혼합한 경우에는 84%의 세척효율을 나타내었다(자료 미제시). 칼럼에 토양을 충전(充填)한 후 한 가지의 1% 계면활성제로 세척횟수를 증가시키면서 세정하였다(Fig. 2). 증류수를 세정용매로 사용한 경우에는 6 pore volume 이상에서는 세정효율이 더 이상 증가하지 않아 최대 세척효율이 약 4%이었다. POE12, SDS, 그리고 SFT85의 계면활성제 용매를 17 pore volume까지 증가시켜 첨가한 결과 세 가지 계면활성제 모두 13 pore volume에서 최대 세척효율을 나타내었으며 그 이상의 용매첨가에서는 세정효과가 없었다. 세 가지 계면활성제 중에서 비이온계면활성제인 POE12가 가장 높은 63%의 세정효율을 나타내었으며, SDS와 SFT85는 각각 41%와 22%를 나타내었다. 혼합 계면활성제는 POE12와 SDS를 혼합한 경우 73%로 가장 세정효율이 좋았으며, POE12와 POE5를 혼합 사용된 경우와 POE12와 SFT85를 혼합한 경우에 각각 64%와 60%의 세정효율을 나타내었다(Fig. 3). 가장 세정효율이 좋았던 POE12를 단독으로 사용한 경우에는 63%의 세정효율을 나타내었는데(Fig. 2 참조), 여기에 특성이 다른 SDS를 혼합하여 사용하였더니 세척효율이 약 10% 증가되었다. 그러나 동일계열의 POE5나 SFT85를 혼합한 경우에는 세척효율의 증가가 없었으며, SDS와 SFT85를 혼합한 경우에는 SDS를 단독으로 사용한 경우보다 오히려 세척효율이 저하하였다. 음이온계면활성제와 비이온계 활성제가 혼합하면 CMC값을 줄일 수 있는데^{2,3)}, 이 때문에 특성이 다른 두개의 계면활성제를 혼합할 경우 세척력이 증가한 것으로 보인다.

약 10,000 mg/kg의 토양에 대하여 증류수 또는 1%의 계면활성제를 13 pore volume으로 세정한 후의 효율을 정리하여 비교하였다(Fig. 4). 앞서서도 언급하였듯이 증류수를 사용한 경우에는 4%의 가장 낮은 세정효율을 나타내었고, POE12 한 가지로 세정한 경우에는 약 60%의 세정효율을 나타내었다. 그러나 다른 계면활성제를 혼합하여 사용한 경우에는 비이온계면활성제인 POE12에 음이온계면활성제인 SDS를 혼합하였을 때 POE12 한 가지를 사용한 경우보다 약 10%의 세정효율이 증가하였으나 그 외에는 오히려 감소하거나 비슷하였다. 이로써 서로 다른 특성을 가진 비이온계 POE12에 음이온계인 SDS를 혼합하는 것이 유류토양 세정에 가장 효과적임을 알 수 있었다. 오염물질의 100% 세정이라는 것은

가능하지 않으며 현실적으로 세척가능 부분과 가능하지 않은 부분으로 나뉘어 지는데 오염농도 위주의 정화목표만을 기준으로 본다면 계면활성제를 이용한 토양세정이 그리 효율적이지 않다고 볼 수도 있다. 그러나 계면활성제로도 세척이 되지 않는 부분은 지하수로 녹아나오지 않기 때문에 위해성이 거의 없는 것으로 볼 수 있다는 미국의 '위해성에 근거한 정화여부 및 목표 설정(risk-based corrective action)'이라는 최근의 추세를 볼 때⁴⁾ 이러한 기술의 한계는 극복될 수 있을 것으로 판단된다.

두 가지를 혼합한 계면활성제로 세정한 후 세정액을 위와 동일한 고분자 응집제를 사용하여 처리하였다(Fig. 5). POE12 + SDS 세정액과 POE5 + POE12 세정액 내의 TPH 농도는 각각 710 mg/L와 673 mg/L로 POE12 + SDS 세정액 내의 농도가 더 높았다. 고분자 응집제 투여 후 제거효율은 한 가지 계면활성제를 사용한 세정액에 대한 응집결과와 마찬가지로 A601P와 A331P를 사용하였을 때 가장 높았으며, POE12 + SDS 세정액에 대해서는 약 80%가 POE5 + POE12 세정액에 대해서는 약 60%가 제거되었다.

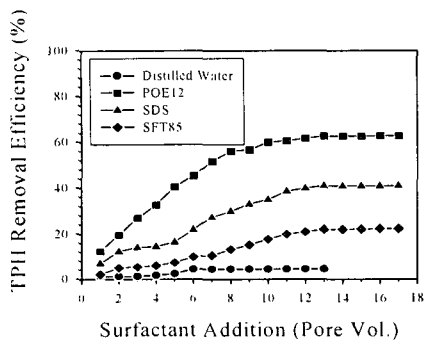


Fig. 1. Flushing efficiency of TPH in soil as a function of surfactant addition (initial TPH conc. = 10,100 mg/kg).

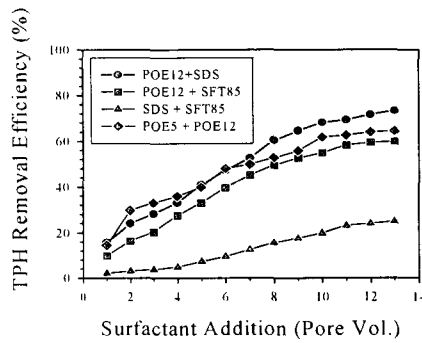


Fig. 2. Flushing efficiency of TPH as a function of surfactant addition (initial TPH conc. = 10,100 mg/kg).

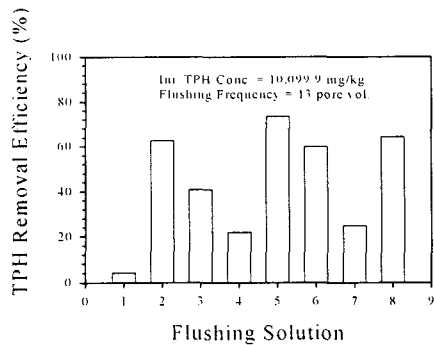


Fig. 3. Comparison of TPH removal efficiency in 13 pore volumes of surfactant flushing (1 = distilled water; 2 = POE12; 3 = SDS; 4 = SFT85; 5 = POE12+SDS; 6 = POE12+SFT85; 7 = SDS+SFT85; 8 = POE5+POE12).

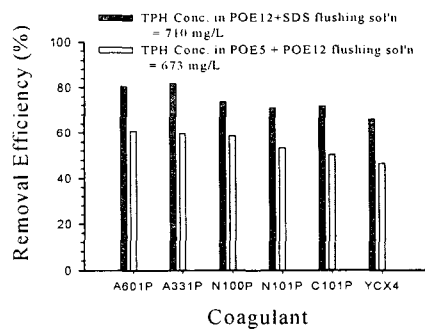


Fig. 4. Removal efficiency of TPH in mixed-surfactant flushing solution by polymer coagulants.

4. 결론

- 1) 비이온 계면활성제인 POE12를 단독으로 사용한 경우에는 63%의 세정효과를 보였으며, 여기에 음이온 계면활성제인 SDS를 1:1(부피비)로 혼합하였더니 약 10%의 세정효율이 증가되어 73%의 효율을 나타내었다.
- 2) 토양세정과 응집제를 사용하여 디젤오염토양을 정화할 경우 비이온 계면활성제인 POE12와 음이온 계면활성제인 SDS를 혼합하여 세정한 후 고분자 응집제인 A601P를 사용하여 세정액을 응집처리하는 것이 가장 효과적이었다.

참고문헌

- 1) 환경부, 토양오염공정시험방법 (1999)
- 2) Raney, K.H., Optimization of Nonionic/Anionic Surfactant Blends for Enhanced Oily Soil Removal, J. American Oil Chemists Society, Vol.68, p525 (1991)
- 3) Sabatini, D.A., Knox, R.C., Harwell, J.H., Emerging technologies in surfactant-enhanced subsurface remediation. In: Sabatini, D.A., Knox, R.C., Harwell, J.H.(Eds.), Surfactant-Enhanced Subsurface Remediation: Emerging Technologies. ACS Symposium Series 594, American Chemical Society, Washington DC, pp.1-9 (1995)
- 4) 염익태, 안규홍, 계면활성제를 이용한 In Situ 토양 세척, 한국토양환경학회지, 제2권, 제2호, pp.9-24 (1997)