

음이온 계면활성제를 이용한 유기오염물질 고정화 방안에 관한 연구  
Use of Anionic Surfactants To Modify Soil Surface to Retard  
Migration of Hydrophobic Organic Compounds

박인선 · 조윤경 · 박재우

이화여자대학교 환경공학과

ABSTRACT

In this research, we proposed the immobilization zone where the organic contaminant would be fixed, so that ground water could be prevented from the organic contaminants. The surfactant was adsorbed on the soil particles and the organic contaminants were partitioned into the hydrophobic tails of the surfactant in the immobilization zone. Surfactants with different molecular structures-SDDBS (sodium dodecylbenzenesulfonic acid), MADS(monoalkylated disulfonated diphenyl oxide), DADS(dialkylated disulfonated diphenyl oxide)- were used in this study.

Up to the present, the research on the immobilization simulated the saturated condition. But many site contaminated with organic contaminants and the zones where immobilization would be applied are unsaturated. In this research, in order to investigate the behaviors of surfactants and organic contaminants in unsaturated condition, the unsaturated columns were experimented, and their results were compared with the saturated case.

---

**key word** : soil and groundwater pollution, surfactant, gemini surfactant, oxide, remediation, sorption, organic contaminants, immobilization zone

I. 서론

토양과 지하수 오염은 그 범위와 정도를 정확하게 측정하기도 어렵고 오염지역이 지하라는 특성으로 인하여 처리 방법이 매우 제한적이다. 따라서 오염이 일어난 후 처리하는 것보다는 발생하기 이전에 미리 대비를 두는 것이 경제적 비용과 처리기간을 감소시키는 방법일 것이다. 기존의 복원방법 중의 하나인 토양 세척법(Soil Washing Treatment)은 오염 물질을 토양으로부터 지상으로 이동시킬 뿐 궁극적인 의미의 제거라고는 볼 수 없으며 또한 물에 의해 오염물을 운반하여 제거하는 방법이므로 대수층과 언제든지 접촉할 가능성이 있어 완전한 오염 물질의 제거가 불가능하다는 단점이 있다. 따라서 유기 오염 물질을 토양에 고정화(Immobilization)시켜 아직 오염되지 않은 토양과 지하수를 보호하는 방법이 더 효과적인 대안일 것이다.

고정화(immobilization)방법은 토양에 계면활성제를 투입하여 고정화지역을 설정하고 그 지역에 상부로부터 유입되는 유기 오염 물질을 잡아둠으로써 토양 하부나 지하

수로 유기오염 물질이 유출되는 것을 막을 수 있다. 따라서 오염된 토양으로부터 오염 물질을 제거하는 방법과 비교해 볼 때 이 고정화지역을 비오염 토양에 적용시키는 것이 기존의 토양 오염 방법보다 효과적이고 적극적인 대응방법이라 할 수 있다.

본 연구에서는 기본적으로 음이온성 계면활성제를 사용하여 고정화지역을 설정함에 있어서 i) 음이온성 계면활성제가 산화물 표면에 얼마나 강하게 흡착되는가? 그리고 흡착된 후 탈착은 얼마나 되는가? ii) 음이온성 계면활성제를 흡착시켰을 때 유기 오염 물질을 얼마나 흡수할 수 있는가? 를 알아보았다. 또한 보다 실제적인 환경을 모사하기 위해 회분식 실험 뿐 만 아니라 column 실험을 통하여 연속적인 흐름에서 계면활성제와 유기 오염 물질의 상호작용을 살펴보았으며, 포화지역(saturated zone)이 아닌 불포화지역(unsaturated zone)에의 고정화 지역 설정을 고려하여 포화 상태가 아닌 불포화 상태에서의 유기 오염 물질의 거동 또한 연구하였다.

## II. 실험 방법 및 분석

### 1. 연구재료

본 연구에서 사용한 계면활성제는 MADS, DADS 그리고 SDDBS를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 모든 계면활성제는 수용액상에서 head 그룹의 Na<sup>+</sup>가 이온화되면서 head 그룹이 음전하를 띠는 음이온성 계면활성제이다. 표준 등급의 산화 알루미늄은 토양 입자를 대신할 계면활성제의 흡착질로 사용되었고, 유기 오염 물질로는 나프탈렌을 사용하였다.

### 2. 계면활성제로 표면 처리된 산화 알루미늄과 나프탈렌의 결합 실험

동일한 양의 산화 알루미늄에 두 가지 농도의 계면활성제 용액과 각기 다른 농도의 나프탈렌 용액을 적용하여 계면활성제로 처리된 산화 알루미늄과 나프탈렌의 상호작용을 살펴보았다. 산화 알루미늄을 centrifuge tube(Corex)에 넣고 여기에 미리 제조해둔 계면활성제 용액을 각각 28 ml씩 넣은 후 나프탈렌 stock solution을 침전이 일어나지 않도록 용해도의 60, 80, 100% 농도로 주입하였으며, 각 샘플은 두 번씩(duplicate) 실험하였다.

### 3. column 실험

계면활성제와 나프탈렌의 거동을 살펴보기 위해 다음과 같은 column 실험을 수행하였다. Column에 산화 알루미늄을 wet-packing 시킨 후 충전 전 후의 질량 변화를 이용하여 pore volume과 산화 알루미늄의 질량을 계산하였다. MADS-12, DADS-12, SDDBS 용액을 농도를 달리하여 column에 유입시키고 배출수의 농도를 측정하여 계면활성제의 흡착양상을 살펴보았다. 이후 증류수를 column에 흘려줌으로서 계면활성제의 탈착양을 알아보고, 배출수의 계면활성제 농도가 0에 가깝게 떨어지면 여기에 다시 나프탈렌 용액을 주입하여 계면활성제로 표면 처리된 산화 알루미늄과 나프탈렌의 결합을 saturated condition 상에서 살펴보았다. 또한 포화 상태와 불포화 상태에서의 계면활성제와 나프탈렌의 거동을 살펴보기 위해 column안의 공극수를 배출(포화 상태의 25, 50, 75%)시킨 후 계면활성제와 나프탈렌을 주입하고 배출수의 농도를 측

정하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

#### 1. 계면활성제로 처리된 산화 알루미늄으로의 나프탈렌 흡수 실험

계면활성제의 초기 농도를 두 가지로 달리하고 나프탈렌의 양을 세 가지로 넣어, 계면활성제로 표면이 처리된 산화 알루미늄에 의하여 나프탈렌이 제거되는 양상을 살펴보았다. 흡착된 계면활성제로 유기 오염 물질이 제거되는 현상은 흡수(partitioning)가 그 주요 기작이며, 그 특징 중의 하나는 직선형 등은 수착식이다. 본 연구의 실험 결과 역시 전형적인 직선 형태를 보였고, 계면활성제의 종류에 상관없이 나프탈렌의 평형농도가 높을수록 산화 알루미늄 표면에 수착된 계면활성제의 양이 많은 것을 볼 수 있으며, 동일한 구조를 가지는 MADS-10, MADS-12, DADS-10, DADS-12를 비교해 본 결과 동종의 계면활성제의 경우 소수성 alkyl chain의 길이가 긴 MADS-12(DADS-12)가 MADS-10(DADS-10)보다 동일한 평형농도에서 더 많은 양의 나프탈렌을 수착하였다. 그리고 alkyl chain이 하나인 MADS와 두개인 DADS를 동일한 탄소 개수 중심으로 살펴보면, DADS가 MADS보다 동일한 평형농도에서 나프탈렌의 수착량이 더 많은 것을 볼 수 있다. 이는 alkyl chain의 탄소개수가 많을수록 유기 오염 물질인 나프탈렌과의 친화도가 더 높기 때문에 탄소의 개수가 많을수록 나프탈렌의 수착정도가 더 큰 것으로 보인다.

#### 2. 계면활성제의 흡착 특성을 비교한 column 실험

실제 환경에서의 계면활성제 흡착특성을 모사하기 위해 DADS-12, MADS-12, SDDBS를 이용하여 column 실험을 수행하였다. 실험 결과를 살펴보면, DADS-12의 breakthrough curve가 가장 먼저 나타나고 그 뒤로 MADS-12, SDDBS 순으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 즉 DADS-12가 가장 먼저 알루미늄 산화물에 포화 흡착되며, 이를 정량적으로 살펴보면 SDDBS는 산화 알루미늄에 704.4 mg이 흡착되었고, MADS-12의 경우는 663.4 mg, DADS-12는 507.5 mg이 흡착된 것으로 나타났다. column안에 충전된 산화 알루미늄의 질량이 모두 약 12g이므로 단위 질량당 흡착량을 계산해보면 SDDBS의 경우는 58.7 mg/g(oxide), MADS-12는 55.3 mg/g (oxide), DADS-12는 42.3 mg/g(oxide)로 SDDBS가 높긴 하지만 거의 비슷한 흡착량을 보여주고 있다. 그러나 탈착량을 비교해보면 SDDBS의 경우는 흡착된 계면활성제의 대부분이, MADS-12는 흡착량의 약 89%가 탈착되지만 DADS-12는 약 22%만이 탈착되는 것으로 나타나 최종 흡착량은 DADS-12가 가장 많은 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 앞서 기술한 회분식 실험 결과와 일치하는 것을 볼 수 있다. 따라서 실제 field에서 적용시 SDDBS, MADS-12보다는 DADS-12가 더 효과적으로 토양에 흡착될 수 있음을 예상할 수 있다.

#### 3. 계면활성제로 표면 처리한 산화 알루미늄으로의 나프탈렌 흡수 경향을 알아보는 column 실험

계면활성제로 표면 처리된 산화 알루미늄의 나프탈렌 흡수 효율을 알아보기 위해

SDDBS, MADS-12로 흡착시킨 산화 알루미늄과 표면 처리를 하지 않은 산화 알루미늄을 사용하여 column 실험을 수행하였다.

실험 결과를 살펴보면, 계면활성제를 표면에 처리하지 않은 산화 알루미늄의 경우 나프탈렌을 흡수하는 효과가 계면활성제를 처리한 산화 알루미늄 보다 월등히 떨어지는 것을 볼 수 있다. 나프탈렌은 유기성 오염 물질로서 소수성을 띠는 물질에 친화도가 높기 때문에 수용액상에서 (+)전하를 띠는 산화 알루미늄 표면에는 쉽게 흡착되지 않는다. 그러나 계면활성제를 표면 처리한 산화 알루미늄의 경우 계면활성제의 소수성 alkyl chain 부분이 유기상의 역할을 하기 때문에 유기 오염 물질인 나프탈렌을 많이 흡수시킬 수 있다. 이 결과는 앞서 서술한 회분식 실험 결과와 일치하며 실제 continuous flow system에서도 계면활성제로 처리된 산화 알루미늄이 나프탈렌과 같은 유기 오염 물질을 제어하는데 효과적으로 사용될 수 있음을 보여주고 있다.

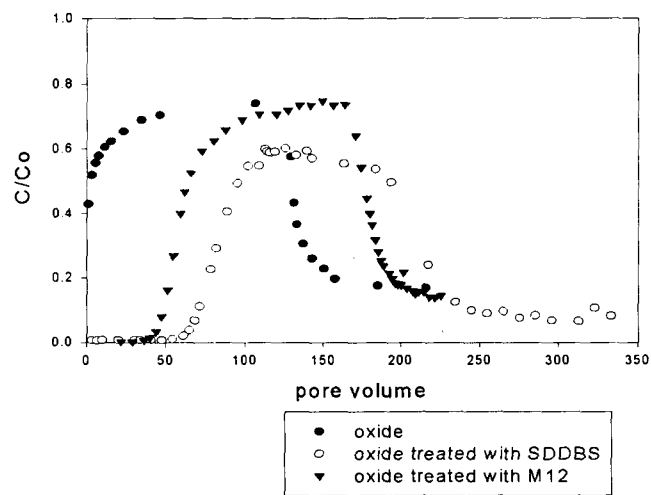


Fig.1. Breakthrough curve of MADS-12 and DADS-12 in saturated and unsaturated condition

## V. 인용문헌

1. Nyer, E. K. et al.. 1996. In situ Treatment Technology. Lewis Publishers :24~35.
2. 배재근, 오종민. 1995. 토양 오염학. 신광 문화사 :17~19, 147~148, 150~159.
3. Park, J-W. and Jaffe, P. R.. 1993. "Partitioning of Three Nonionic Organic Compounds between Adsorbed Surfactants, Micelle and Water". Environmental Science & Technology, Vol. 27, No. 12: 2559~2565.