

토양세척기법을 이용한 유류계통 오염토양의 정화에 관한 연구

최상일 · 류두현* · 송창수** · 이광표** · 장원용**

광운대학교 환경공학과, *전주대학교 미생물학과
**삼성물산(주) 건설기술연구소

1. 서 론

유류계통의 물질에 의해 토양이 오염되어 있는 경우, 탄소수가 10개 이상인 지방족 화합물이나 phenyl기가 2개 이상인 방향족 화합물은 분자량이 크고 증기압이 낮아 휘발성에만 의존하는 방법으로는 토양으로부터 효율적으로 제거될 수 없다. 또한 이러한 물질들은 저분자량의 지방족 및 방향족 화합물에 비해 토양미생물에 의한 생분해성이 낮으므로 직접 bio-remediation 기법을 적용하기도 곤란하다.

토양세척기법은 세척용액을 이용하여 토양입자에 결합되어 있는 유기물질의 표면장력을 약화시키거나 중금속을 액상으로 변화시켜 토양입자로부터 분리시켜 처리하는 기법이다¹⁾.

본 연구에서는 소수성 유류계통의 물질에 의해 오염된 토양을 in-situ 토양세척기법을 이용하여 정화하기 위하여 회분식 실험 및 실험실 규모의 연속식 실험을 통하여 운전조건을 최적화하기 위한 기초실험을 실시하였다.

2. 실험방법

야산에서 채취한 토양을 #4-#60체(4.75mm-0.25mm)를 이용하여 선별 사용하였다. 토양의 pH는 4.4, bulk density는 1.45 g/cm³, particle density는 2.31 g/cm³, 공극률은 약 0.37, 유효경은 0.33 mm, 균등계수는 5.45이다. 토양의 유기물질 함량은 1.6%(중량비)이었다.

유류 등에 많이 포함되어 오염될 가능성이 많고 휘발성 및 생분해성이 비교적 낮은 지방족의 n-dodecane, 방향족의 naphthalene 및 anthracene을 대상 유기오염물질로 선정하였다.

계면활성제는 유형별로 음이온계 > 비이온계 > 양이온계 순으로 많이 사용되고

있다²⁾. 본 실험에선 양이온계 계면활성제를 배제하고, 비이온계 계면활성제중 보편적으로 널리 사용되는 형태인 Triton X-100와 Tween 80, 음이온계 계면활성제중 SDS를 이용하여 세척력의 차이를 비교 검토하였다.

용매에 용해시킨 정량의 유기오염물질을 건조시킨 토양과 혼합하여 충분히 섞어준 후 완전히 건조시켜 용매를 제거하였다. 각각의 대상 유기오염물질에 대하여 선정된 계면활성제별 세척력을 알아보기 위하여, 50 g의 오염된 토양과 200 mL의 세척용액(1, 5, 10% 중량비)을 2시간 동안 빠른 속도로 진탕시킨 후 세척용액내에 존재하는 오염물질의 농도를 GC를 이용하여 측정하였다.

n-dodecane은 1000, 3000, 5000 mg/kg dry soil, naphthalene 및 anthracene은 100, 300, 500 mg/kg dry soil에 1, 3, 5%(중량비)의 세척용액을 적용하여 20 pore volume까지 운전하며 세척제 종류 및 농도에 따른 영향을 살펴보았다.

또한 세척용액 주입유량에 의한 영향을 살펴보기 위해, anthracene 300 mg/kg으로 오염된 토양에 3% Tween 80 용액을 주입하는 경우에 대해 3가지 유량(3, 5, 7 mL/min)을 적용하여 8 volume까지 운전하였다.

3. 실험결과 및 고찰

회분식 실험 결과, 500 mg/kg의 anthracene으로 오염된 토양에 대한 세척력은 SDS > Tween 80 > Triton X-100 순으로 나타났다. Anthracene의 경우, SDS와 Tween 80는 세척용액의 농도가 높을수록 세척력이 증가되었다. 5000 mg/kg n-dodecane으로 오염된 토양을 5%의 세척용액을 이용하여 실험한 결과, 세척력은 Tween 80 > Triton X-100 > SDS 순으로 나타났다. 계면활성제별 CMC 값은 SDS > Triton X-100 > Tween 80 순으로, 계면활성제의 CMC 값이 낮을수록 n-dodecane에 대한 세척력이 증가됨을 알 수 있었다.

300 mg/kg anthracene으로 오염된 토양 칼럼에 Tween 80 3% 세척용액을 3, 5, 7 mL/min으로 유량을 변경하며 주입한 결과, 주입 유량이 5 mL/min인 경우 3 mL/min으로 주입하는 경우보다 초기에는 세척효율이 다소 저조하였으나 세척이 진행됨에 따라 차이가 거의 없었다. 반면 유량이 5 mL/min에서 7 mL/min으로 증가된 경우 세척효율의 감소폭이 큰 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 유속이 지나치게 큰 경우, 세척용액과 제거대상 오염물질간의 접촉시간이 짧아 평형에 도달되지 않음으로써 오염물질이 충분히 용출되지 않은 것에 그 원인이 있는 것으로 추측된다. 이 경우 세척용액은 0.85 cm/min 정도의 속도로 충전 토양층을 통과하게 되며, 실제 현장에서는

토양의 투수성에 따라 다소의 차이는 있겠으나 이보다 더 빠른 속도로 세척용액을 주입하는 것은 현실적으로 곤란하다고 판단된다.

계면활성제의 종류 및 농도에 따른 영향은, n-dodecane의 경우 초기 오염농도와 관계없이 모든 경우 Tween 80 > Triton X-100 > SDS의 순으로 세척효율이 나타났다. CMC 값은 SDS > Triton X-100 > Tween 80 순으로, 계면활성제의 CMC 값이 낮을수록 n-dodecane에 대한 세척효율이 증가됨을 알 수 있다. 이러한 경향은 회분식 실험에서도 확인되었다. Anthracene에 대한 세척효율은 SDS = Tween 80 > Triton X-100 순이었다. 즉, SDS와 Tween 80는 경우에 따라 다소간 세척효율의 우열을 보였으나 전체적으로 보면 우열을 판단하기가 어려웠다. Naphthalene의 경우는, 전반적으로 SDS > Tween 80 > Triton X-100의 순으로 세척효율이 좋음을 알 수 있다.

또한 주입되는 계면활성제 농도에 따른 세척효율을 비교하였다. n-dodecane의 경우, 3000 및 5000 mg/kg의 비교적 높은 초기 농도에 대해서는 3가지 계면활성제 모두 세척용액의 농도가 높을수록 세척효율이 좋았으나, 1000 mg/kg의 저농도 영역에서는 3가지 계면활성제 모두 중간 농도인 3%에서도 세척효율이 좋았다. 이러한 현상은 naphthalene에서도 오염물질의 농도와 상관없이 전반적으로 관찰되었다. 반면, anthracene은 적용된 세척용액의 농도가 높을수록 세척효율이 향상되었다. 두 방향족 유기물질의 세척특성 차이는 물에 대한 용해도 차이 때문에 발생한다. 계면활성제의 세척력에 영향을 미치는 중요한 요소로는 계면활성제의 CMC 값과 대상물질의 물에 대한 용해도 등이 있다. 즉, CMC 값이 낮을수록 대상물질의 물에 대한 용해도가 높을수록 세척력이 증진된다.

4. 결 론

n-dodecane에는 Tween 80가, anthracene과 naphthalene에는 Tween 80와 SDS의 세척효율이 가장 우수하였다. 세척용액의 주입 유량이 지나치게 높은 경우(5mL/min 이상)에는 세척에 필요한 접촉시간이 충분하지 못하여 세척효율이 오히려 감소하였다.

참고문헌

1. West, C. C. and H. H. Jaffrey, Surfactant and Subsurface Remediation, Environmental Science and Technology, 26(12), 2324-2330(1992).
2. Grasso, D., Hazardous Waste Site Remediation, Lewis Publisher, Inc, USA(1993).