

유류 오염토양 복원을 위한 이동형 토양세척 장비의 개발 Development of Moving-Type Soil Washing Device for the Remediation of Oil-Contaminated Soil

소정현, 김형수, 박준형, 최상일

광운대학교 환경공학과

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

요 약 문

본 연구에서는 유류 오염토양 복원을 위한 효율적인 이동형 연속식 토양세척 장비를 개발하여 현장 적용 가능성을 검토하였다. 전세척조는 내부에 스크류를 설치함으로써 주입되는 오염토양과 세척용액의 기계적 교반에 의한 원활한 접촉과 토양간의 마찰 등으로 인하여 토양으로부터 오염물질의 탈착이 효과적으로 이루어 지도록 하였다. 전세척조 외부에 위치한 주세척조는 전세척조에서 탈착된 오염물질과 미세입자를 원 토양으로부터 효율적으로 분리하기 위한 행굼작용과 배출부에서 미세입자를 포함하는 세척 유출수가 효율적으로 분리 배출이 될 수 있도록 설계·제작하였다. 현장 적용 실험결과, 설계 목표치인 토양 주입 속도 $15\text{m}^3/\text{day}$, 계면활성제 $\text{POE}_5/\text{POE}_{14}$ 의 비 1:1 (농도 0.1%), 세척수/토양 비 (부피/중량비) 1, 전세척조 회전속도 18rpm, 주세척조 회전속도 5rpm의 운전조건에서 90% 이상의 높은 세척효율을 나타내었다.

주제어 : 유류 오염토양, 복원, 토양세척, 이동형 토양세척 장비, 현장 적용, 세척 유출수

1. 서론

토양오염의 경우 일단 오염이 되고 나면 지표수 및 지하수의 수질에도 악영향을 미치게 되는 등 주변 환경에 2차 오염을 유발시킬 가능성이 있으므로 오염된 토양은 반드시 현장에서 빠른 시간 내에 정화·복원되어야 한다.

토양세척기법은 70년대 말 미국에서 처음 개발되어 현재는 미국을 비롯하여 독일, 네덜란드 등 많은 나라에서 사용 빈도가 가장 높은 복원기술중 하나이다¹⁾. 또한 적용범위가 매우 광범위하여 다양한 유기 오염물질 및 중금속이 다량으로 배출되고 있는 현 실정에 비추어 보아 현장 적용성이 크고 경제적으로도 효율성이 뛰어난 정화기법의 하나로 인식되고 있다²⁾.

최근들어 정유공장을 비롯한 각종 유류취급 공장지역내의 토양오염이 심각한 사회문제로 대두되고 있으며, 이러한 오염토양을 효율적으로 굴착·복원하기 위해서는 *ex-situ*형 복원장비의 개발이 필수적이다.

본 연구에서는 오염토양 복원에 높은 효율성이 입증된 토양세척기법을 적용하여 토양에 흡착된 유류를 탈착시키고 세척시 발생하는 유출수는 처리·정화한 후 반송시켜 공정수로 재활용할 수 있는 최적화된 이동형 연속식 토양세척 장비를 개발하여 현장에 적용하면서 효율성을 검토하고 실용화하고자 하였다.

2. 실험방법 및 결과

본 연구에서 설계·제작된 세척장비는 유류 화합물로 오염된 토양을 효율적으로 세척 정화하기 위한 이동형 연속식 토양세척장치이다. 장치의 공정을 간략히 살펴보면 전세척조는 내부에 스크류를 설치함으로써 주입되는 오염토양과 세척용액의 기계적 교반에 의한 원활한 접촉과 토양간의 마찰 등으로 인하여 토양으로부터 효과적인 오염물질의 탈착이 이루어 지도록 하였다. 전세척조 외부에 위치한 주세척조는 전세척조에서 탈착된 오염물질과 미세입자를 원 토양으로부터 효율적으로 분리하기 위한 헝겍작용과 배출부에서 미세입자를 포함하는 세척 유출수가 효율적으로 분리배출이 될 수 있도록 설계·제작하였다.

세척수와 토양의 비율, 세척장치의 회전속도 변화에 따른 세척효율의 비교를 통해 본 연구에서 설계·제작한 토양세척 장비의 최적 운전조건을 도출하였다.

2-1. 세척수와 토양의 비율 변화에 따른 세척효과

설계 목표치인 토양주입속도 $15\text{m}^3/\text{day}$, 계면활성제 $\text{POE}_3/\text{POE}_{11}$ 의 비 1:1 (농도 0.1%), 전세척조 및 주세척조 회전속도를 각각 16rpm 및 4rpm으로 고정하고 세척수와 토양의 비율(부피/중량비)을 각각 1, 2, 3으로 변화시키면서 세척효율을 비교하였다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 본 연구에서 주어진 세척수와 토양의 비율 범위 내에서 처리효율이 80% 정도로 차이가 크게 없음을 알 수 있었다. 따라서 경제적 운전을 위하여 세척수/토양 비를 1로 정하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

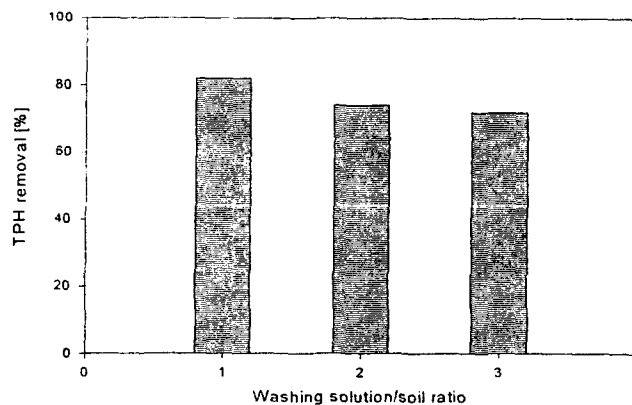


Fig. 1. TPH removal vs washing solution/soil ratio(soil injection rate= $15\text{m}^3/\text{day}$, $\text{POE}_3/\text{POE}_{11}=1:1$ & 0.1%, pre-washer=16rpm, main washer=4rpm)

2-2. 세척장치의 회전속도에 따른 세척효율

토양의 체류시간과 세척강도에 영향을 미치는 세척장치 회전속도의 변화에 의한 세척효율을 알아보기 위하여 설계식에 의한 계산과 실제실험을 통한 결과 자료를 바탕으로 정상상태의 토양 흐름이 이루어 질 수 있도록 전세척조와 주세척조의 회전 비율을 보정하여 주었다. 토양 주입속도 $15\text{m}^3/\text{day}$, 계면활성제 $\text{POE}_5/\text{POE}_{14}$ 의 비 1:1(농도 0.1%), 세척수/토양 비 1인 운전조건에서 회전속도를 전세척조의 경우 16, 18, 20 rpm(이때 일정한 토양흐름을 위한 주세척조 회전속도는 각각 4, 5, 6rpm 임)으로 변화시키면서 세척실험을 수행하였다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 본 연구에서 제작한 토양세척장치의 세척효율은 주어진 세척장치의 회전속도 변화에 대해서 크게 차이가 나타나지는 않았으나 rpm의 증가에 따라 세척효율이 다소 감소하는 경향이 나타났다. 이는 회전속도의 증가에 따라 토양과 세척수의 교반강도는 다소 증가하나 세척공정 내에서 토양 체류시간의 단축으로 세척기간이 짧아진 결과로 해석할 수 있다. 따라서 본 운전조건에서는 적절한 세척운전을 위하여 세척장치의 회전력을 16-18 rpm의 범위로 운전하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

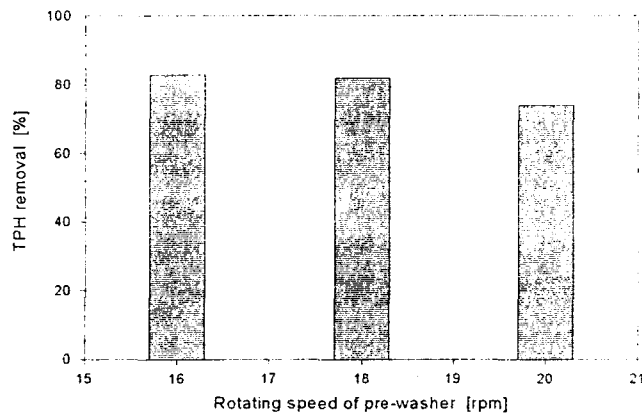


Fig. 2. TPH removal vs rotating speed of pre-washer(soil injection rate= $15\text{m}^3/\text{day}$, $\text{POE}_5/\text{POE}_{14}=1:1$ & 0.1%, washing solution/soil ratio=1)

2-3. 현장 디젤오염토양 세척실험

설계 목표치인 토양주입속도 $15\text{m}^3/\text{d}$, 계면활성제 $\text{POE}_5/\text{POE}_{14}$ 의 비 1:1 (농도 0.1%), 세척수/토양 비 1, 전세척조 및 주세척조 회전속도를 각각 18 rpm 및 5rpm으로 현장 디젤오염토양을 처리한 실험결과, Fig. 3에서 볼 수 있듯이 토양의 처리효과는 90%이상으로 비교적 높은 처리효율을 나타내었다.

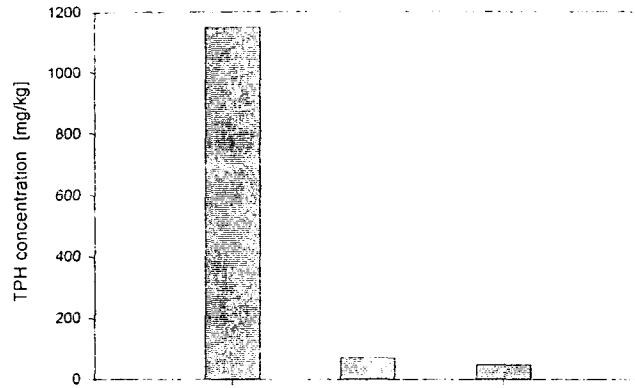


Fig. 3. Field test of the soil washing

device for contaminated soil(soil
 before washing
 soil precipitated in 1st sedimentation tank
 after washing

injection rate=15m³/day, POE₃/POE₁₄=1:1 & 0.1%, washing solution/soil ratio=1, pre-washer=18rpm, main washer=5rpm)

3. 결론

본 연구에서 설계·제작한 토양세척 장비는 유류 화합물로 오염된 부지의 복원에 효율적으로 적용될 수 있는 처리용량과 성능을 가진 현장규모의 이동형 연속식 토양세척 장비로써 차량 탑재가 가능하여 이동의 편의성과 소형화를 이루어 적용 범위를 확대하였으며 세척 유출수의 처리, 재활용이 가능하므로 토양세척 중 발생하는 방대한 양의 오염수 발생을 억제할 수 있을 뿐만 아니라 사용되는 계면활성제의 사용량도 최소화 할 수 있다.

계면활성제 POE₃/POE₁₄의 비 1:1 (농도 0.1%)가 선정되었고, 현장 디젤오염토양에 대하여 토양주입속도 15m³/day, 전세척조 회전속도 18rpm, 주세척조 회전속도 5rpm, 세척수/토양비 1 에서 90% 이상의 세척효율을 나타내었다.

향후 다양한 종류의 토양세척 실험을 통하여 토양 성상 및 오염물질의 종류별 운전조건에 대한 자료를 수집·축적함으로써 장치의 완성도를 높여야 하며, 세척시 최종적으로 발생하는 미세토양 처리에 관한 연구가 병행되어야 할 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- 1) Grasso, D., Hazardous Waste Site Remediation, Lewis Publishers, USA.(1993)
- 2) West, C. C. and J. F. Harwell, Surfactant and Subsurface Remediation, *Environ. Sci. Technol.*, 26(1993)