

## 토양세척공법의 현장 적용을 통한 유류오염토양정화

박인선 · 조종수 · 권오석 · 김영우 · 김석훈

(주)이엔쓰리 (ispark@en3.co.kr)

### <요약문>

Soil washing was applied as a supplementary step of soil remediation at a petroleum oil contaminated site. A soil washing system was designed, assembled, and operated at the site. A field screening method with PetroFlag™ was adopted at the site to find the exact boundary of contaminated area as soil excavation progressed and to verify the concentration of treated soil. The system operation showed the cleanup efficiency of 90% at the compatible cost compared to other methods.

**key words** : soil washing, petroleum oil, soil contamination, remediation, field screening, efficiency, cost

### 1. 서론

본사는 유류로 오염된 탱크 주변 토양을 원위치 생물학적 공법(In-situ Bioremediation) 및 토양세척법(Soil Washing)<sup>1</sup>을 이용하여 약 22개월에 걸쳐 복원작업을 수행하였다. 토양세척법은 물이나 적절한 첨가제를 사용하여 토양을 세척함으로써 오염물질을 제거하는 기법으로 두 가지 과정을 통하여 중금속, 유기오염물질 등이 제거된다. 첫 번째는 물리적인 입자 분리 공정으로써 particle size separation, gravity separation, attrition scrubbing 등을 이용한 오염물질의 농축을 통하여 오염 토양의 부피를 감소시키는 과정이고, 두 번째는 화학적인 오염물질 추출 공정으로써 세척 용매(계면활성제 등)를 이용하여 오염물질을 용해시키는 과정이다. 본 오염토양에 적용된 토양세척법은 위 두 가지 과정 중 주로 첫 번째 과정을 이용하였으며, 첨가제를 사용하지 않고 일반적인 물을 이용하여 오염토양의 표면에 흡착되어 있는 유류를 탈착시키고, 효과적인 토양입자 분리과정을 통하여 오염토양의 부피를 현저히 감소시킴으로써 보다 경제적으로 유류 오염토양을 복원하였다.

정밀조사 보고서에 따르면, 본 지역은 약 20,000톤의 토양이 정화 기준치 1,800mg/kg 이상의 TPH에 의해 오염되었고, 지반부의 토질은 상부의 자갈, 충진토(토양 입자 분포 : 200 mesh 이하 10.8%), 풍화암으로 이루어져 있으며 전 지역에서 암반이 분포하였다(깊이 0~10m). 오염된 토양의 깊이는 평균 지표면에서 1m 이내이며 오염 농도는 최고 38,000mg/kg(TPH), 평균 6,600mg/kg(TPH)이었다. 정화기준은 토양환경보전법 상 우려기준 2,000mg/kg의 90%인 TPH 1,800mg/kg으로 결정하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 토양세척기기

본 공법에서 사용된 토양세척기기는 국내 최초로 본사에서 제작하여 유류오염토양 복원작업에 투입하였으며, log washer, dual screen, screw classifier로 크게 3부분으로 나누어져 있다. 본 토양세척기기는 높이 약 6m의 frame에 수직으로 설치되어 있으며, 그 외 침전조(clarifier), 저류조(baker tank), filter press, 유수분리기 등의 부대시설로 이루어져 있다. 토양세척기기는 부지 중 모니터링을 통하여 비오염 지역임이 확인된 지역(30m × 25m)에 설치하였으며, 오염토양은 굴착하여 토양세척기기로 투입이 용이한 지역에 야적하였다.

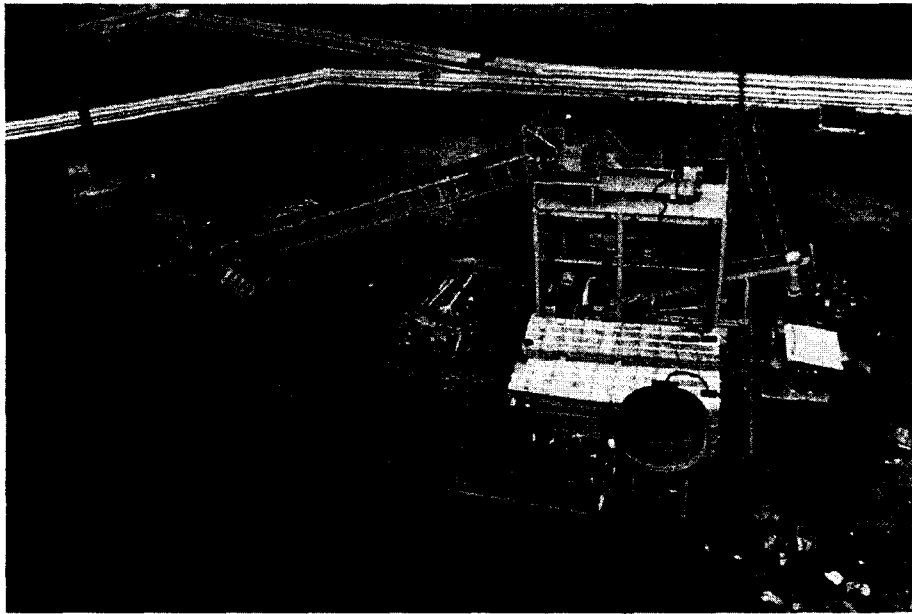


그림1. 토양세척장치

### 2.2 굴착

토양세척공법은 ex-situ 방법으로 오염토양을 굴착하여 일정지역에 야적한 후 backhoe를 이용하여 기기에 투입하는 방법이므로 전체적인 모니터링을 통하여 오염지역의 농도 및 범위를 확인 후 굴착하기 주변 지역에 야적하였다.

토양세척공법을 이용하여 복원할 토양의 굴착 범위를 확인하기 위하여 2일에 걸쳐 backhoe를 이용하여 굴착하였으며, 육안으로 오염여부를 확인한 후 56개의 sample을 채취하여 공인분석기관인 서울대학교 농업과학공동기기센터에 분석을 의뢰하였다. 이 분석 결과를 바탕으로 TPH 1,800mg/kg 이상을 나타내는 지역을 선별하여 굴착지역으로 선정하였다. 굴착방법은 backhoe를 이용하여 굴착지역으로 선정된 지역에 따라 오염 가능성이 있는 깊이만큼 굴착한 후 현장에서 실시간 분석이 가능한 간이 시험 분석기(PetroFlag™)<sup>2</sup>를 이용하여 농도를 분석하고, 분석 결과가 목표치인 1,800mg/kg을 상회하는 경우 덤프트럭을 이용하여 집토 지역에 야적하였다. PetroFlag™ 표준선은 동일한 시료를 2개씩 채취한 후 공인분석기관에서 분석한 결과와 PetroFlag™을 이용하여 분석한 결과를 비교하여 작성하였다. 굴착 범위 및 깊이는 각각의 굴착지역에 따라 다르며 총 굴착량은 약 2,100톤이었다. 또한 지하수 수위가 높은 지역은 굴착 중 기름과 함께 지하수가 흘러나오는 현상이 발생되었다. 따라서 유류와 함께 흘러나오는 지하수 중 부유된 유류는 유흡착포를 이용하여 일부 제거하고 나머지 지하수는 수중펌프를 이용하여 유수분리조로 이송하여 처리하였다.

### 2.3 오염 토양 세척

토양세척기기는 2002년 10월 8일부터 2002년 11월 14일까지 약 32일 동안 운행되었으며, 평균 약 12ton/hr의 속도로 5.5시간 처리하여 일일 평균 65.7톤의 처리량을 나타내었다. 토양 세척 bench test 결과 오염 토양 : 용수 비율은 무게 중량비로 1:1일 경우 효과적임을 나타내고 있으므로, 토양 처리량과 같이 용수량 또한 평균 약 12ton/hr의 속도로 공급하였다. 토양세척공정 중의 세척효율을 모니터링하기 위하여 운행 중 발생하는 세척 토양의 농도를 간이시험분석기인 PetroFlag™을 이용하여 매일 분석하였으며, 전체 세척공정 과정 중 1:1의 용수량을 통하여 충분한 세척효율을 얻을 수 있었다.

세척효율 및 세척된 토양의 오염정도를 확인하여, 필요한 조치를 취하기 위해 매일 시료를 채취하여 간이분석시험기인 PetroFlag™을 이용하여 분석하였다. 분석토양의 종류는 세척전의 오염된 토양과 세척과정을 통하여 발생하는 3/8inch 이상의 oversize fraction, 100mesh~3/8inch의 coarse fraction, 100mesh 이하의 fine fraction으로 나눌 수 있으며, 이중 coarse fraction과 세척수에 섞여 나오는 fine fraction의 농도를 계속적으로 모니터링 하였다. 분석 결과 투입되는 세척전 토양의 평균 농도는 4,500mg/kg, 세척과정 후 발생하는 coarse fraction은 평균 460mg/kg으로 약 90.47%의 세척효율을 나타내고 있으나, fine fraction의 경우 평균 10,080mg/kg으로 매우 높은 TPH 농도를 나타내었다.

### 2.4 미세토양 처리

미세토양의 발생량을 추정하기 위하여 settling test 수행하였다. 약 9회에 걸친 시험 결과 토양의 성상에 따라 많은 차이를 나타내었으며, 평균 12.4%의 미세토양이 발생되었다. 따라서 토양세척공정 완료 후 발생된 미세토양은 약 260톤(dry basis) 정도이며, 수분함량을 포함하여 약 430톤이 발생되었다. 본 세척공정을 통하여 발생된 미세토양은 TPH 오염농도가 정화 기준 농도를 크게 상회하였기 때문에 한국화학시험연구원을 통하여 성상분석을 수행한 후 시험성적서를 발급받아 폐기물처리업체에 폐토사로 반출 위탁 처리하였다.

## 3. 투입 비용 및 처리 단가

토양세척장치를 이용한 정화 작업의 총 투입비용은 약 일억팔천만원, 처리단가는 톤당 약 팔만오천원으로 계산되어 다른 유류오염 토양복원공법 비교하여 경제적인 것으로 판단되었다. 본 비용산출은 토양세척장치의 설계 및 제작비용을 감가상각하여 사용료 개념으로 계산하였으며, 전체 총 투입비용을 오염토양 처리 용량인 2,100톤으로 나누어 토양세척공법 이용 시 처리단가를 계산하였다. 다만, 본 공정의 경우 전력 및 용수 등의 공공설비(utility)비용이 소요되지 않는 경우의 처리단가를 나타내고 있다.

## 4. 결 론

본사는 토양세척공법을 이용하여 원유로 오염된 지역의 토양을 복원하는데 성공하였다. 본사에서 제작한 토양 세척 장비를 이용하여 단기간(3개월 내)에 고농도 오염 토양을 복원하였으며, 복원된 토양은 현장에 되메움을 하였으나 부산물로 발생한 260톤 정도의 미세 토양은 농도가 높아 폐토사로 위탁 처리하였다.

토양세척공법을 이용한 복원 공사에 투입된 총 비용은 약 일억팔천만원이며, 토양세척장치의 설계, 제작 및 운행 비용 등이 모두 포함된 금액이다. 비용과 처리 단가는 토양세척장치의 설계 및 제작 비용

을 사용료 개념으로 책정하여 3개월간의 사용료로 계산하였으며, 톤 당 처리비용이 팔만오천원으로 타 공정에 비교 시 가격 경쟁력을 갖춘 것으로 판단된다.

## 5. 참고문헌

1. A Citizen's Guide to Soil Washing, EPA 542-F-01-006, US EPA, OSWER, 2002
2. PetroFlag™ User's Guide, Dexil Inc., 1998