

토양세척공법을 적용한 유류오염토양 정화 사례

신정엽 · 공 준 · 김건우 · 전기식 · 황종식

(주)에코솔루션

e-mail : jyshin@ecosol.co.kr

요 약 문

혼합유류(등,경유)로 오염된 대상부지의 토양특성을 파악하여 세척공법의 적용성을 판단하고, 적용성시험을 통하여 장치별 설계인자를 도출하였다. 시험결과 본 세척대상토양의 경우 계면활성제와 같은 첨가제를 주입하지 않고 물리적인 탈착공정만을 거쳐도 90%이상의 오염물질이 토양입자표면으로부터 탈착됨을 알 수 있었으며, 이를 반영하여 장치를 제작, 설치하였다. 세척대상 오염토량은 총 12,225m³, 사업수행기간은 약 6개월, 세척장치에 주입된 세척토양의 평균오염농도는 약 3,152ppm 이었으며 세척 완료된 토양의 평균농도는 약 150ppm으로 약 97%의 제거효율을 보여 복원목표인 800ppm을 만족시킬 수 있었다. 그리고, 세척토양의 입도분포를 정확히 파악하고 분리시킬 토양입자 크기를 결정하여 현장 적용한 결과 세척공법으로부터 배출되는 응집슬러지를 최소화할 수 있었으며, 발생하는 세척폐수 또한 세척수 처리시스템을 거쳐 재활용 할 수 있도록 하였다. 이런 결과를 통하여 세척공법이 다른 Ex-situ 공법과 비교하였을 경우 현장의 적용성, 경제성, 복원기간 등을 감안하였을 경우 성공적인 세척공법의 적용사례라 할 수 있다.

key word : 토양세척, 진탕비, cut off size, 응집슬러지

1. 서론

현재 우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 오염물질들이 토양 내에 방치되거나 투기되어 토양 및 지하수의 오염문제가 심각하게 대두되고 있다. 미국을 비롯한 선진국에서는 토양 및 지하수를 복원·재생하는데 막대한 재원과 인력을 투입하여 다양한 기술들이 개발되어 일부는 실용화되고 있으며, 국내의 경우에 현 실정에 적합한 토양 및 지하수 복원기술의 개발을 위하여 기술개발 및 실제 현장 적용이 이루어지고 있다.

이에, 우리나라의 경우 복원기술의 도입초기는 원위치 기술이 주를 이루었으나 근래에 들어 수요층의 요구에 따라 경제적이면서 단기간에 복원이 가능한 기술이 요구됨에 따라 여러 가지 위치의 복원기술이 연구되고 있으며, 그중 광범위한 오염물질에 적용이 가능한 토양세척공법이 이슈화되고 있다.

본 사업은 이러한 기술적/사회적 흐름에 발맞추어 유류에 오염된 지역을 대상으로 토양특성자료 및 적용성 실험을 바탕으로 토양세척공법의 주요설계인자를 산출하고 이를 공정에 반영하여 성공적으로 복원완료 한 사례이다.

2. 대상지역의 오염 특성

복원대상지역은 I시에 위치한 00저유소이며 유류저장탱크의 overflower 사고 및 노후화된 유폐

수라인의 누출로 경유와 등유 등의 유류에 의하여 비포화대가 오염된 지역이다. 2004년 3월에 실시한 정밀조사 결과, 지하수위는 지표 하 1.0~1.3m,에 존재하였으며 지하수의 흐름은 동에서 서쪽으로 흐른다. 대상 부지의 지질구조는 표층에서 ~2.0m는 실트질 모래층, 그 이하는 불투수층인 점토층이 존재하고 있어 2m 하부로는 더 이상의 오염 확산이 진행되지 않은 것으로 파악되었으며, 과거 해안을 매립했던 지역이라 지역적으로 점토층이 존재하는 깊이가 약간은 불규칙적으로 나타났다. 대상 부지의 오염현황은 Fig. 1에서와 같이 유류저장지역을 중심으로 깊이 2.0m 까지 오염이 나타났으며 지하 유폐수라인을 따라 수평적으로 확산되었고, 일부 출하대 및 펌프스테이션 지역의 경우 점토층이 나타나는 3.0m 깊이까지 오염이 수직 확산된 것으로 나타났다.

Fig. 2과 같이 TPH 오염원의 농도분포는 최고오염농도 29,995ppm, 평균농도 3,152 ppm으로써 복원목표로 설정된 800ppm을 초과하는 오염토양량은 12,225m³이었으며, 이 중 800 ~ 5,000 ppm 오염토양의 분포가 전체오염토양의 65% 정도를 차지하고 있다. 상기 오염 분포도를 바탕으로 대표적인 지역에 대한 오염토양의 생물학적, 물리화학적 특성을 조사한 결과, 과거 해안을 매립한 특성에 기인하여 염소이온의 농도가 높아(평균 5,000ppm 이상) 생물학적인 복원방법은 적용이 어려운 것으로 판단되었으며, 대상 부지의 지하수위가 높아 In-Situ 공법을 적용할 경우 지하수를 제어해야 하는 문제가 생겨 복원공법의 선정과정에서 제외하였다.

이에 대상 부지 내 오염토양의 굴토가 가능하며, 복원시스템을 별도로 설치할 수 있는 여유부지가 있어 굴토 후 부지 내 처리하는 방법을 선택하였으며, 유류저장지역이라는 특성을 감안하여 짧은 시간에 고효율의 처리능력을 가지며 경제성이 높은 세척공법을 선택하여 적용하였다.

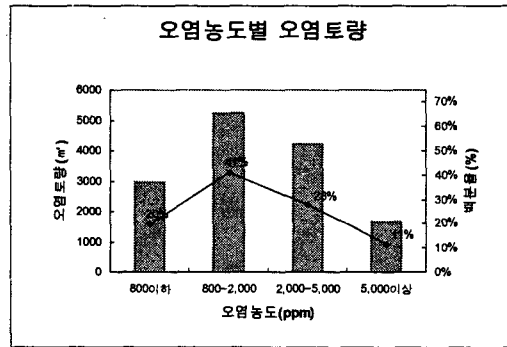
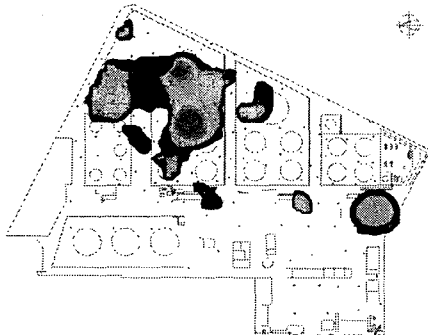


Fig. 1. TPH 오염현황(오염심도 1.25m 단면도) Fig. 2. 농도별 오염토양량 및 백분율

3. 적용성 실험 및 결과

대상 부지의 적용 기술인 세척공법의 설계 시 중요한 영향을 미치는 토양의 물리화학적 특성 (토양입경분포 등), 세척 진탕비, cut off size에 따른 세척효율 및 세척장치의 설계인자를 도출하기 위하여 고농도로 오염된 지역을 대상으로 적용성 실험을 실시하였다.

대상 시료의 물리적 특성을 분석한 결과 토양 pH 7 ~ 8, 수분함량 13 ~ 17%, 유기물 함량은 1.5% 이하, 비중은 약 1.3, 입도분포는 자갈질(2mm 이상), 모래질(2 ~ 0.075mm), 실트 및 점토질(0.075mm 이하)의 비율이 평균 11.4, 71.3, 17.3%로 분석되었으며, 입자가 전체적으로 골고루 분포하는 것으로 나타나 세척공법을 적용하기에 적합한 것으로 판단되었다.

또한 토양입경별 평균 오염부하량을 측정된 결과 오염토양의 TPH 평균농도가 5,500 ~ 6,200 ppm 이었을 경우 자갈질, 모래질, 실트 및 점토질 입자의 오염농도는 450 ~ 750 / 3,700 ~ 4,800 / 12,000 ~ 15,000 ppm 정도로 나타나 많은 오염물질이 실트질 이하에 분포하고 있음을 알 수 있었다. (Fig. 3 참조)

일반적으로 세척공법의 경제성 측면을 재고해 볼 때 세척수의 후단처리공정의 간소화를 위하여 세척보조제 (계면활성제 등)를 첨가하지 않는 것이 좋으며, 상기 오염토양의 물리화학적 특성 분석결과 실트질 이하의 토양을 얼마나 효과적으로 분리 하는가에 세척효율이 좌우된다.

상기 결과를 바탕으로 세척공법의 중요한 인자인 세척 진탕비, cut off size를 결정하기 위하여 적용성 시험을 실시하였다. 진탕비의 경우 오염토양과 세척토양의 무게비로 1:1 ~ 1:4까지 적용하고 Jar Tester를 이용하여 300 rpm, 10분간 진탕 후 세척효율을 비교하였다. 실험결과 진탕비를 1:2 이상 증가하여도 세척효율은 큰 차이를 보이지 않아 세척장치의 효율적 적용과 원활한 운전관리 및 경제성을 위한 최적 진탕비는 1:2 가 적합한 것으로 나타났다. (Fig. 4 참조)

진탕비 결과를 바탕으로 토양 내 효율적인 TPH 제거를 위한 cut-off size 및 체류시간을 결정하고자 Jar Tester를 이용하여 진탕비 1:2 (토양:세척수), 300 rpm, 10분 ~ 30분간 진탕한 후 세척된 토양에 대하여 체 분리를 한 다음 입경 범위별(3mm이상, 3 ~ 0.075mm, 0.075mm 이하)로 TPH 농도를 분석하였다.

먼저 체류시간에 따른 세척효율 시험 결과 세척시간을 20분 이상 증가하여도 세척효율은 큰 차이를 보이지 않아 적정 체류시간은 20분으로 설정하였으며(Fig. 5 참조), 세척시간 20분 이후에서 세척토사의 입경 범위별 TPH 농도를 분석한 결과 0.075mm 이상의 입경에서는 복원목표 농도인 800ppm 보다 낮은 농도인 600ppm 정도를 나타냈으나, 0.075mm 이하의 입경에서는 토양오염 우려기준을 상회하는 농도분포를 나타내어 최적의 cut-off size는 0.075mm가 적합한 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 향후 세척장치의 설계 시 세척토양의 입경분리를 위하여 적용되는 하이드로 사이클론의 설계에 반영하였다. (Fig. 6 참조)

4. 현장 적용 및 결론

위의 적용성 실험 결과를 적용하여 세척장치를 설계하여 현장에 설치하였다. 설치된 세척장치는 처리용량이 15m³/hr로 오염토양을 투입하는 투입부, 투입된 토양을 세척하는 세척과

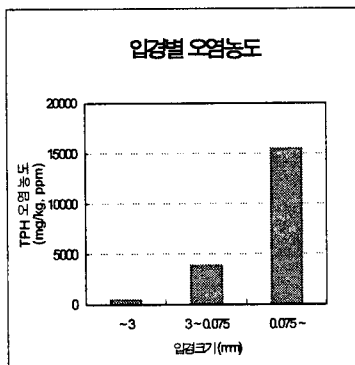


Fig. 3. 입경별 평균 오염농도

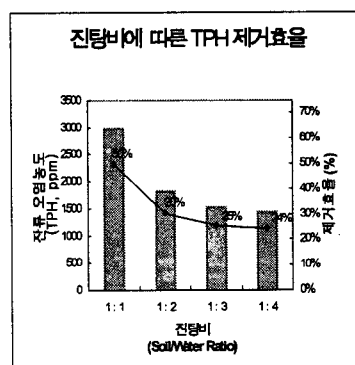


Fig. 4. 진탕비에 따른 세척효율

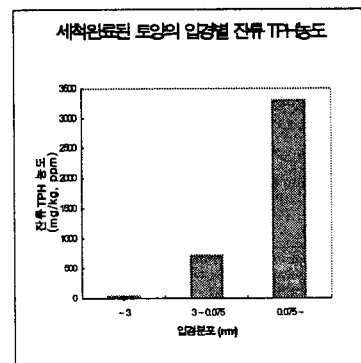


Fig. 6. 세척토사의 입경별 오염농도

트, 세척폐수를 재활용하기 위한 폐수처리장치, 세척 분리된 응집슬러지를 처리하는 탈수장치 등 4개의 Part로 구분된다. 세척장치는 유류저장 탱크지역 내에 설치되어 세척 대상토 및 세척 완료된 토양의 이송거리를 짧게 하였으며, 세척 완료된 토양의 경우 현장에서 그 농도를 측정하여 굴토된 지역에 바로 되메울 수 있도록 하였다. (Fig. 7 참조)

장치 설치 후 시운전을 거쳐 실 가동결과 일일 세척장치로 투입되는 대상토의 오염농도의 변화에 비해 세척 완료된 토양의 잔류 TPH 농도는 복원목표 기준인 800ppm보다 훨씬 낮은 평균 150 ~ 280

ppm으로 거의 변화가 없었으며(Fig. 8 참조), 앞서 감안된 cut off size의 선정으로 인한 배출슬러지 또한 초기 예상치는 17% 수준이었으나 최종 배출되어 처리된량은 전체오염토양의 13%로 많은 양을 감소시킬 수 있었다.

이러한 결과로 볼 때 보다 정확한 적용성 실험에 의한 각 장치의 설계인자 도출을 통해 세척장치를 설계함으로써 세척장치의 효율 및 경제성을 좌우함을 알 수 있었으며, 본 복원공정 또한 토양의 특성 및 현장여건을 감안한 설계/시공/운전을 통하여 성공적으로 과업을 완료 할 수 있었다.



Fig. 7. 설치된 토양세척 시스템

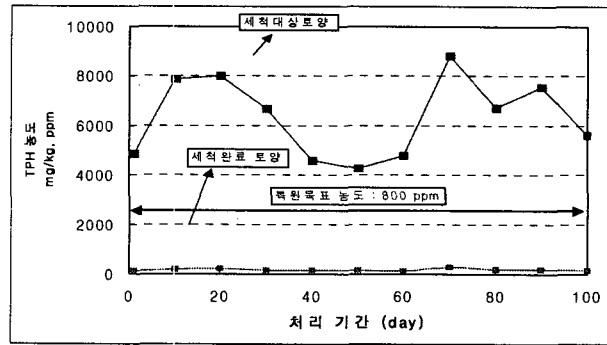


Fig. 8. 복원기간 동안 세척토사의 배출 농도

5. 참고문헌

- 1) “유류 오염토양 복원을 위한 토양세척 공정의 개발” 대한지하수환경학회/토양환경학회 공동 심포지움 및 추계학술대회 논문집, 최상일 외 3인, 1998.11.20