

## 유류오염 토양의 복원을 위한 열탈착 처리기술

유동준, 김영웅, 박용규, 오방일, 구자공  
농업기반공사 지하수사업처 환경복원기획팀  
createnv@karico.co.kr

### 요 약 문

Thermal desorption process is valuable for the remediation of oil contaminated site. The system is physical separation process by volatilizing oil contaminants from soil matrixes and is not designed to provide high levels of oil destruction. The process is not incineration, because the decomposition of oil materials is not the desired result, although some decomposition may occur. The physical and chemical properties that influence the design and operation of the system include boiling points, soil sorption characteristics, aqueous phase solubility, thermal stability, contaminating oil concentration, moisture contents, particle size distribution and etc.

**key word:** oil contaminated soil, remediation, thermal desorption

### 1. 서론

2001년 약237억 달러 규모로 예측되는 세계 지하수 및 토양오염 정화 시장에서 유류 제조 및 이송·저장시설, 군대 주둔지역, 항공기 및 차량정비지역 등 유류 오염지역의 복원사업은 선진국이나 개발도상국 모두에게 가장 큰 관심사 중 하나이다.

우리나라도 전국 토양오염유발 시설 19,625개 중 약 82%가 유류관련 제조 및 저장시설인 바, 전국 석유/유독물질 저장시설 8,637개소의 주변 토양에 대한 국립환경연구원의 BTEX 조사결과, 137개소 (1.6%)가 토양오염확인기준인 32ppm을 크게 초과하였으며, 특히 토양오염대책기준인 200ppm을 초과한 곳도 42개소에 달하였다<sup>(1)</sup>. 특히, 2001년 토양환경보전법과 지하수법이 개정되면서 더욱 엄격해진 기준과 조사로 인하여 오염기준을 초과하는 지역은 더욱 더 늘어날 것이다.

본 고는 ○○지구 유류오염지역 복원사업 현장에 적용된 열탈착시설에 대하여 논하였다. 열 탈착시설의 선정배경과 검토된 운전 영향인자 등에 대하여 서술하였으며, 향후 현장 실증시험과 현장운전을 통해 국내의 열탈착시설 운전인자와 설계인자의 검증과 확증을 위한 기초자료로 활용될 것이다.

### 2. 본론

지하수·토양 정밀조사 및 위해성 평가 결과, 오염 우려기준을 초과한 경우에는 오염물질의 종류와 부지현황 등을 고려한 기술성·사회성·경제성 검토를 거쳐 최적의 오염복원공법을 선정하여야 한다. 오염복원은 복원위치와 적용원리에 따라 다양한 공법이 있으며, 현장여건에 따라 여러 가지 기술을

복합적으로 동시에 사용하는 것이 효과적이다.

대표적인 지질조건과 복원위치, 유류 오염물질의 종류 등에 따라 효율성이 입증되어 제안할 수 있는 주요 복원기술은 그림 1과 같다. 지질조건에 따라서 고투수성지역과 저투수성지역, 복원 위치에 따라 굴착 후 지상처리(Ex-situ)와 원위치처리(Ex-situ), 그리고 적용원리에 따라 물리적/열적, 화학적, 생물학적인 기술로 구분할 수 있다.

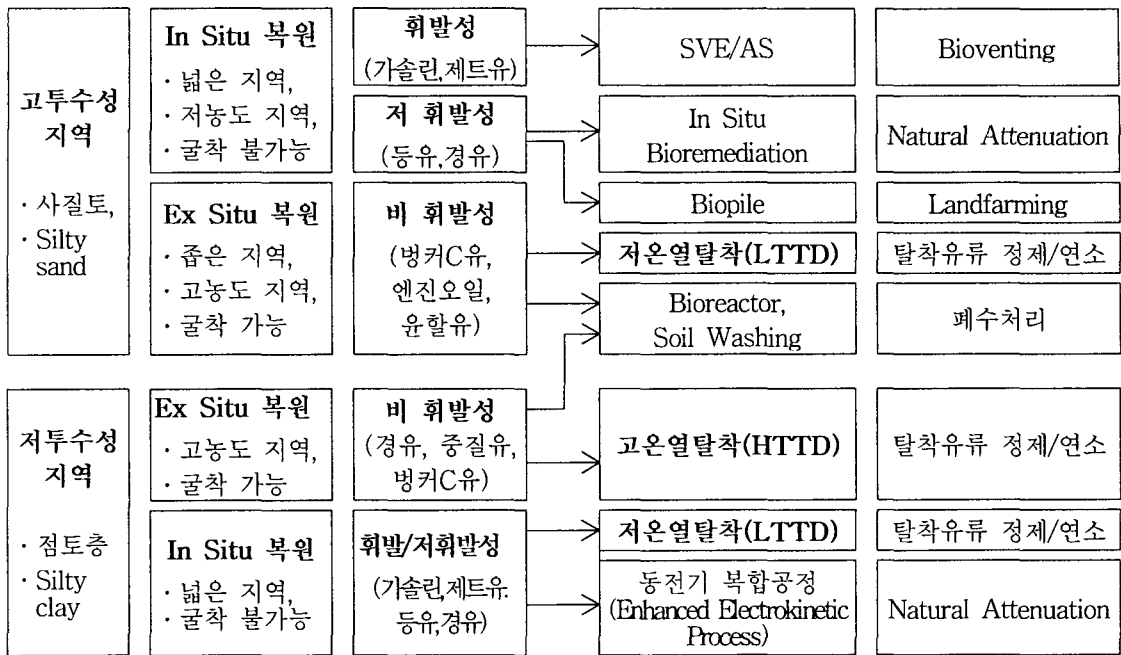


그림 1. 토양 특성 및 유류 종류에 따른 제안 가능한 주요 복원기술

유류는 용도에 따라 가솔린, 등유, 경유, 병커-C유, 엔진오일, 윤활유, 구리이스 등 그 종류가 매우 다양하며, 성분도 탄소수와 배열방법에 따라 200가지 이상으로 매우 복잡하다. 그러나, 중금속에 비하여 상대적으로 끓는점(boiling point)이 매우 낮기 때문에 650°C(1,200°F) 이하에서 대부분 기체화 된다는 공통점이 있다. 이러한 특성을 복원공법에 이용한 것이 열적처리이다.

열적처리는 소각과 열탈착처리로 분류할 수 있으며, 열탈착은 그림2와 같이 2단계로 구성된다.

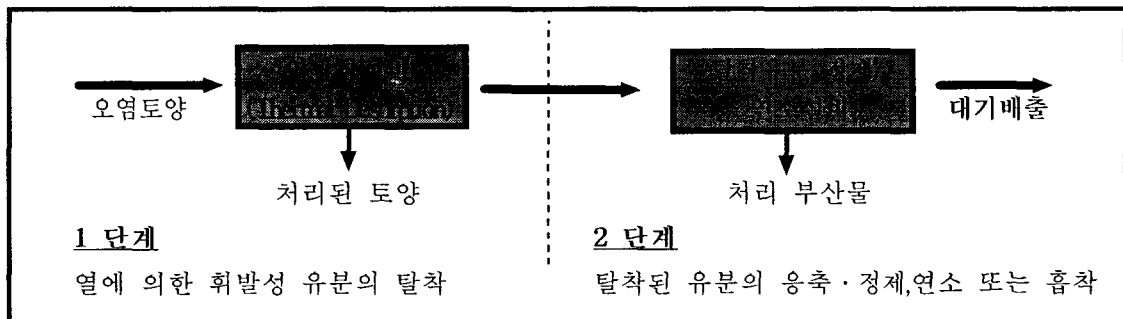


그림 2. 열탈착설비의 처리 공정<sup>(3)</sup>

열탈착은 토양, 침전물, 슬러지, 탈수케익 등의 매체를 약90-550℃로 가열하여 휘발성 또는 준-휘발성의 오염물질을 물리적으로 탈착 분리한 후 처리하는 지상처리 방법으로서, 유기성폐기물에 적용할 수 있으며, 중금속 및 무기물처리에는 적용이 곤란하다. 탈착된 유류가스는 응축정제, 연소 또는 활성탄 흡착 등의 후처리 과정이 필요하다.<sup>(2)</sup> 이와는 달리 소각은 산소가 충분한 분위기에서 매체를 850℃ 이상까지 가열하면서 유분을 휘발·분해시킴과 동시에 연소시킨다.

그림 3과 같이, 휘발성이 크고 끓는점이 300℃ 이하인 가솔린, 등유, 경유 등의 경질유로 오염된 토양을 복원하기 위해서는 탈착온도가 350℃ 미만에서 운전되는 저온 열탈착(Low Temperature Thermal Desorption, LTTD)설비가 적합하다. 반면에, 벙커 C유, 엔진오일, 윤활유, 구리이스, 원유 등과 같이 휘발성이 작고 끓는점(boiling point)이 높은 중질유는 350~650℃에서 운전되는 고온 열탈착(High Temperature Thermal Desorption, HTTD)설비가 적합하다.

○○지구는 지하수위가 1.6~2m로 매우 낮고, 지질구조는 Silt Clay로 저 투수성지역이며, 오염된 유류가 탄소수 20 이상의 중질유이다. 또한 단기간에 복원한 후 부지를 사용해야 하므로 기술·경제적 이유에서, 생물학적 또는 화학적처리 방법에 비해 운전기술이 복잡하고 처리비용이 고가라는 단점이 있지만, 처리효율이 월등히 높고 단기간 처리가 가능한 열탈착처리를 선정하였다.

열탈착 처리의 효율은 오염토양과 오염물질의 물리·화학적 특성과 운전조건에 따라 영향을 받는다.

오염 토양의 물리·화학적 특성은 전처리 설비의 선정 유무와 열탈착기 내부에서의 토양시료 교반 방법, 탈착가스 중의 미세분진 농도 그리고 열전달 장애와 처리 가능 용량 등이 크게 영향을 준다.

영향인자에는 토양 단위중량, 입경분포, 소성도, 열전도도, 용해도, 함수율, 중금속함량, 함수율 등이 있다. 특히, 높은 토양 함수율은 그림 4와 같이 연료소비량 증가와 처리단가 상승의 직접적인 원인이 되므로, 전처리에 의해 적정 함수율 8~15%를 유지하는 것이 중요하다.

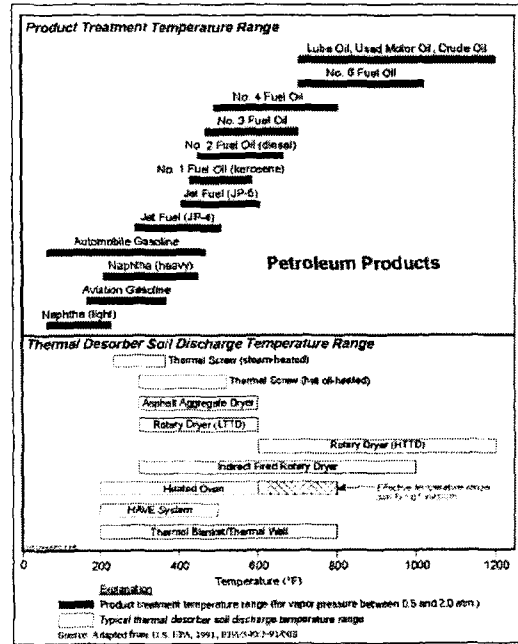


그림 3. 유류 종류 별, 끓는점과 적용 가능한 열탈착설비의 비교<sup>(4)</sup>

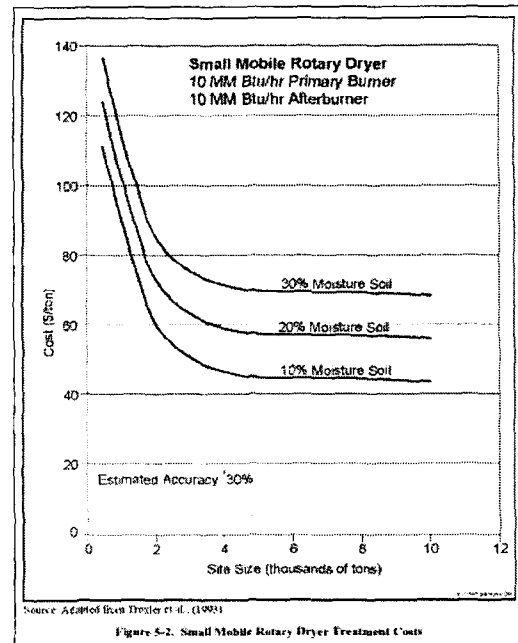


그림 4. 토양함수율에 따른 원 단위처리 비용<sup>(4)</sup>

오염물질의 물리·화학적 특성인 끓는점, 분자량,  $K_{ow}$ , 용해도, 자연발화점, 오염농도, 증기속 함량 등은 열탈착 운전온도와 토양시료의 체류시간은 탈착유분의 정화설비 선정과 운전에 영향을 준다.

오염물질의 농도가 높은 경우에는 탈착유분의 자연발화점 검토가 필요하며,  $K_{ow}$ 와 분자량이 클수록 열탈착 요구시간이 증가한다. 또한 중질유와 같이 휘발온도가 높은 유류는 고온 열탈착 설비를 선정되어야 한다.

또한, 기본공정 및 운전조건을 어떻게 유지하는가에 따라 처리의 성공 여부와 처리효율, 운전비용이 크게 달라진다. 요구되는 열탈착 온도에 따라 직접가열과 간접가열 방법이 결정되며, 집진기의 입구온도에 따라 집진기 및 대기방지시설의 형식과 위치를 결정한다.

본 사업지구에서 선정된 고온열탈착설비는 향후 실증시험을 거쳐 현장 운전을 수행할 것이며, 국내 실정을 고려한 최적의 운전 및 설계인자를 도출하여 국내 유류 오염토양 복원기술 다변화에 기여할 것이다.

### 3. 결 론

유류 오염토양 정화를 위한 열탈착 설비는 타 공법에 비하여 상대적으로 단기간에 처리가 가능하고 처리효율도 매우 높다. 또한, 경질유(경유, 디젤) 뿐 아니라, 다른 처리방법으로는 복원이 어려운 중질유(엔진유, 윤활유)에 대해서도 높은 처리효율을 기대할 수 있다.

그러나, 운전기술이 복잡하고 처리비용이 고가이기 때문에, 타 공법 사용이 가능하거나 처리대상 지역이 너무 광범위할 경우에는 본 공법의 선정에 신중을 기하여야 하며, 대상오염물질, 처리지역의 토양 특성, 처리요구 기간, 처리요구 수준 등을 다각적으로 검토하여 선정되어야 한다.

### 4. 참고문헌

- (1) 천정용(2000), 오염토양 정화기술의 동향과 당면과제, 환경VIP리포트, 제43호, 2000
- (2) EPA Engineering Bulletin(1991), Thermal Desorption Treatment, EPA/540/2-91/008.
- (3) Dharam Pal, Steve Fann and Scott Wight(1998), Application Guide for Thermal Desorption Systems, 236P.
- (4) R. J. Feeney, P. J. Nicotri and D. S. Janke(1999), Overview of Thermal Desorption Technology, 32P
- (5) U.S. Army(1998), Remediation of Contaminated Soils by Thermal Desorption, 27P