

유류오염토양의 정화기술과 적용사례

Remediation Technology and application case of petroleum hydrocarbon contaminated soil



글 | 李哲孝

(Lee, Cheol Hyo)

토양환경기술사, 이학박사,

(주)오이코스 부사장,

E-mail : lch275@oikos.co.kr

The most common soil contaminants are petroleum-based. Hydrocarbons from diesel fuel and gasoline are widespread problems, as are total petroleum hydrocarbon(TPH). There are two distinct classes of soil remediation: in-situ, or on-site, and ex-situ, or off-site. On-site cleanups are often preferred because they are cheaper. On the other hand, excavating a contaminated area and transporting it to a remote site before cleaning it can often be more complete. Ex-situ remediation also has the added bonus of taking the bulk of contaminants off-site before they can spread further. In addition, in-situ situations are limited because only the topside of the soil is accessible.

1. 서론

우리가 귀중하게 여기고 아껴온 우리의 토양은 그 동안의 산업화·도시화 과정에서 어느새 오염이 진행되어 왔다. 그동안 토양의 중요성에도 불구하고 다른 환경 분야에 비하여 토양보전에 대한 인식과 관심이 부족하였던 것이 사실이다. 그 원인으로서는 먼저, 지반오염은 대기·수질오염과는 달리 그 실태를 쉽게 파악하거나 체감할 수 있는 것이 아니며 오랜 기간에 걸쳐 일부지역에 국한하는 경우가 많으므로 그 문제의 심각성에 대한 인식이 절박하지 않다는 것이다.

한편, 오염된 토양을 경제적으로 정화 또는 복원하기 위한 기술이 미개발되어 있기 때문에 정부의 본격적인 정책집행이 곤란하다는 점도 있다. 우리나라의 경우 '96년부터 토양정화 또는 복원방법의 개발을 시작하였으나, 그동안 경제적인 상황과 함께 환경산업의 한축으로서의 자리 매김이 부족했으나 최근 미군부대이전과 관련한 반환지의 오염문제의 해결과 부지개

발이 중요한 사회적 문제로 대두되면서 토양정화산업에 대한 기대가 크게 증대되었다. 본고에서는 최근 이슈가 되고 있는 미군부대 반환기지 토양정화를 포함한 유류오염지역의 정화현황과 정화기술 및 적용사례를 통하여 유류오염토양의 기술과 시장 현황에 대한 이해를 높이고자 한다.

2. 유류오염토양 시장 및 산업동향

지난 2002년 한국과 미군간에 체결한 연합토지관리계획(LPP, Land Partnership Plan)에 따라 향후 2011년까지 주한미군의 총 사용 토지 약 7,400만평의 55%에 해당하는 59개 기지(4,100여 만평)를 반환 예정이며, 현재까지 조사된 29개소 중 26개소가 오염(약 90%)된 것으로 확인되었으며 이들 지역 오염의 95%이상이 유류에 의한 토양과 지하수 오염으로 나타났다.

따라서 미군부대의 오염문제는 유류오염이라고 할 수 있다. 또한 금년 2월에 반환공여지지원에 관한 특별법이 국회를 통과하면서 오염처리와 함께 반환기지의 개발에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히, 지난 3월에는 이화여대가 파주의 에드워드미군기지 주변으로 이전하는 사업승인이 6시간 만에 처리되어 화제가 되기도 하였다.

일반적으로 토양 및 지하수 오염은 비가시성 및 장기적인 지속성, 잔류성 등의 고유한 특징으로 인해, 다른 매체에 비해 오염 취약성이 높으며 오염 물질의 정화가 매우 어렵고 정화비용 역시 막대한 금액이 소요된다.

미군부대에 대한 정화비용도 5000억원~12조원까지 다양하게 추산되고 있다. 일례로 국회 대정부 질의에서 민주노동당 단병호 의원은 반환미군기지 오염치유비용으로 12조원 가량을 추산하였으며, 환경부에서는 기지 1개소 당 50% 초과 근거로 전체 5,000억 전후를 추정하고 있다. 특히 우리나라 군부대 오염은 주한미군기지 보다 더 심각한 것으로 추정되고 있다. 또한 통일한국의 토양지하수분야 환경시장도 10조원에 이를 것이라는 전망도 있다.

한편 환경이 부동산 가치를 결정하는 중요한 요소 가운데 하나로 부각되면서, 오염되었거나 오염된 지역의 부동산을 이용하거나 처분하는데 있어 많은 제약을 받고 있다. 정화사례에서 소개할 인천지역의 유류오염지역은 대상 부지를 부동산 개발을 위해 매각을 추진하는 과정에서 토양오염이 중요한 RISK요인으로 등장하여 개발시간이 다소 소요되더라도 우선 정화처리 후에 토지를 개발하는 것으로 계획이 변경되었다. 이것은 최근에 미군부대 반환과 반환기지의 활용에 참고해야 할 중요한 사항이다.

3. 유류오염토양 정화기술 및 특성

3.1 유류오염토양 정화기술

유류오염토양의 정화기술은 그 분류체계가 다양하지만 국내에서는 환경부 고시 제2005호-124호에 의해 분류한 토양정화기술이 모두 유류오염토양 정화기술에도 해당한다. 유류오염토양 기술의 종류는 일반적인 토양오염정화기술과 같이 생물학적 처리와 물리화학적 처리 및 열적처리로 구분되고 있으며 오염특성과 현장조건에 따라 정화기술을 선정하게 된다. 정화기술의 선정 시에는 오염물질 정 또는 저감 목표치 달성여부, 정화대상 오염물질과 정화방법의 적합성여부, 정화기간 및 소요비용의 충족여부, 대상기술의 적용이 토양환경에 미치는 영향, 대상기술의 상업화 정도를 고려해야 한다. 또한 정화장소에 따른 방법으로는 오염부지 내에서 직접 정화하는 현장 내 정화기술(On Site)과 오염토양을 부지 밖으로 반출하여 정화하는 현장 외 정화(Off Site)로 크게 나뉘며, 현장 내 기술은 지중처리(In-situ, 오염토양을 수거하지 아니하고 현 위치에서 정화)와 굴착처리(Ex-situ, 오염토양을 수거하여 부지내 다른 장소에서 정화)로 구분된다.

3.2 유류오염토양 정화기술의 특성

① 저비용 고효율의 경제적 요인 급부상

규제강화에 따른 시장 확대로 시장참여자가 증가하면서 토양정화기술도 급속히 발전해가면서 단순한 정화 여부보다 저비용 고효율의 경제적 요인이 크게 대두되고 있다. 또한 2006년부터 유류오염에 대한 기준이 특히 강화되었는데, 기존에는 2,000mg/kg 이었던 TPH 기준이 "가지역"은 500mg/kg으로의 강화되면서

이 강화된 기준에 의해 준공된 현장사례는 아직 없다. 따라서 강화된 유류정화기술에 대한 고효율의 기술이 절대적으로 요구되고 있다.

② 한국적 기술의 필요성

많은 기술이 해외의존도가 큰 편이지만 토양 정화기술은 주한미군이 직접 수행하는 일부를 제외하고는 대부분 국내의 기술로 이루어지고 있다. 국가별, 지역별로 지질학적 특성에 따라 토양 구조에 차이가 존재하며, 이러한 토양 구조의 차이는 공법 적용상 차이를 야기할 수 있다. 또한 주요 오염원인과 오염양상이 나라별로 차이가 있는데, 한국에서는 유류에 의한 오염 문제가 심각한 편이다. 따라서 외국기술의 단순한 모방은 많은 차이가 있으므로 토착기술이 요구된다.

③ 종합 엔지니어링 기술

토양정화기술은 토양과 지하수의 복합처리기술이며 환경, 지질, 미생물, 화공, 토목 등 응용과학의 종합엔지니어링 시스템 공학이며, 지식과 경험을 겸비한 고급 전문 인력이 요구된다. 토목공사가 일정부분을 차지하지만 대부분의 경우 복합 설비를 이용해야하는 엔지니어링 기술이 필요하다.

④ 경험과 현장중심의 기술

토양정화는 사업특성상 기술도 중요하지만, 경험 및 인지도가 더 큰 부분을 차지하고 있다는 점도 잊지 말아야 할 것이다. 토양·지하수 오염에 대한 사전예방, 오염탐지, 오염정화 등의 기술개발을 위해서는 실제 현장적용이 필수적으로 진행되어야 하는 특성을 지니고 있다. 충분한 현장이해도를 중심으로 한 복합기술의

적용으로 정화사업의 공기 준수가 정화기술뿐만 아니라 정화사업의 관건이 되고 있다.

4. 유류오염토양 적용사례

4.1 정화사업 추진현황

주요 토양정화사례를 살펴보면, 민간부문의 경우에는 비밀유지 등으로 인해 실제 시장규모에 비해 알려진 사례가 드문 편이며, 공공부문의 경우에는 조달청 등을 통해 공개적으로 입찰이 이루어지기 때문에 상대적으로 사례가 많은 편이다.

2004년에서 2005년 사이 발주된 오염 토양·지하수 복원공사는 총 30여건으로 금액은 약 350억에 이르며 이중 '부산철도차량관리단 오염토양 정화사업'이 82억으로서 2001년 120억의 사업비로 수행되었던 '부산시문헌금융단지조성공사' 이후로 가장 큰 금액의 토양·지하수 복원공사에 해당된다. 이외 현재 수행중인 '부산역구내 토양오염 복원공사'가 58억, '서울철도차량관리단 오염토양 복원공사'가 44억으로 대규모 공사에 해당되며 이외 대부분의 복원공사들이 수천~수억원의 작은 규모로 발주되어 수행되고 있다.

조사 및 설계사업의 경우 토양·지하수 복원사업의 약 10% 정도의 소규모 비용으로 사업이 수행되지만, 2005년의 경우 LPP 관련 미군부대 조사사업으로 인하여 복원사업에 버금가는 대규모의 투자가 이루어진 것을 볼 수 있다. 2004년 및 2005년의 토양·지하수 조사 및 복원사업 공공부문의 경우 약 555억에 이르고 잘 노출되지 않은 민간부문을 고려한다면 약 800~1000억원 규모에 이를 것으로 판단된다.

일부 사례를 통해 본 한국의 토양정화 공시기

간은 짧게는 3개월에서 길게는 3년 이상 장기 간에 소요되고 있으며, 정화 비용도 1 m³당 20 천원 미만부터 250 천원 이상 까지 다양하다. 정화비용의 차이는 업체 간 경쟁강도에 의해서도 발생하지만 적용 공법상의 차이에 의한 것이 주된 요인이라 할 수 있다. 한편 정부가 조달청을 통해 발주하는 용역은 대부분 조사·용역들이며, 부산역 구내 오염토양정화사업을 제외하면 대부분 10억원 미만의 소규모 발주가 주류를 이루고 있다.

4.2 정화기술 적용현황

1) 부산 문현 지구 정화사업

부산 문현동 오염부지 정화사업은 국내에서 공식적으로 시작된 최초의 정화사업이라고 할 수 있다. 대상부지는 약 34,000평이며, 1950년대부터 45년의 기간 동안 군사시설(정비창)로 사용되어 왔으며 1996년 금융단지 조성계획에 따라 착수한 시가지 조성 공사 중 토양의 유류 오염이 발견되면서 공정률 31% 상태에서 개발사업이 전면 중단되고, 토양오염 정밀조사를 거쳐 2000년 12월부터 약 3년간 총 122억원의 비용으로 오염토양 정화사업을 실시하였다. 문현 지구 오염부지 정화사업 시기는 토양정화 기술이 미약했던 초창기에 국내 토양정화 사업의 제반기준을 정립했다는 평가와 더불어 현재까지도 유류오염 토양정화 사업의 근간이 되고 있다. 이 지역의 오염특성은 정비과정이 이루어진 건물주변 오염, 폐유의 매립에 의한 오염, 폐유성분 함유 폐기물 매립에 의한 오염, 배관 누유에 의한 오염이었으며, 오염물질은 유류성분의 TPH와 BTEX 성분이었고 오염량은 95,911ton(처리량 기준)이었다. 문현지구 오염부지는 대형 토지개발 사업지구라는 특성과 함

께 부산 도심에 위치하여 오염토 반입반출이 불가능했을 뿐 만 아니라 부지 내 공간이 협소하였고, 정화사업 후 계획된 사업일정으로 공사기간에도 제약이 있었다. 저농도 유류오염토양 정화기술로는 생물학적인 공법으로 바이오파일과 토양경작법을 적용했고 고농도의 유류오염토양에 대해서는 열탈착법을 적용했으며, 이때 열탈착장비는 캐나다의 기술을 도입하여 국내현실에 맞게 개량하여 적용하였다.



〈그림 1〉 부산문현지구 토양정화사업 현장 부지

2) 대규모 유류오염부지 정화사업

대상지역의 정화사업은 유류오염의 토양환경기준이 강화된 이후 최초로 시행된 국내의 최대 규모 정화사례이며, 인천지역에 위치한 유류제품의 저장 물류 센터로 사용하던 오염 부지를 주택단지로 개발하고자 정화사업을 진행하고 있다. 대상부지는 약 10만평(350,000m²)이며 사업기간은 2005년부터 시작하여 금년 8월까지 약 3년이다. 이 지역은 토양환경보전법상의 '가'지역 우려기준(주거지역, TPH 500mg/kg이하)에 적합하도록 정화처리를 목적으로 하고 있으며, 향후 주거용지로의 개발에 따른 잠재적 환경피해의 우려를 불식하고자 대규모 사업비를 투자하고 있는 것으로 알려져 있다. 비공개를 원칙으로 추진하는 민간발주의 대규모 정화사업이어서 오염량과 사업비는 정확히 알려지지 않았으나 설계비 기준으로 1000

역에 가까운 정화사업비가 소요되는 것으로 알려져 있다. 대기업 건설사가 정화사업을 주관하면서 5개의 토양오염전문업체가 시공에 참여하고 있다. 이 현장의 특징은 오염토양 정밀조사 → 정화설계 → 정화공사 및 감리와 효율검증의 토양오염사업 전 과정이 체계적으로 추진되었으며 기술적으로 고효율 성능이 요구되는 TPH 500 mg/kg의 정화목표달성이라는 어려운 환경기준을 만족하게 달성한 첫 번째 사례로 평가받고 있다.

이 지역은 1940년대부터 유류저장부지로 사용해오던 해안가 인근부지로서 오염심도는 비교적 낮으며, 국지적으로 고농도 오염지역 존재하며 대부분 경유성분의 오염이나 일부 C30이상의 난분해성 중유성분이 분포하고 있어서 정화처리에 많은 기술적 어려움이 있었다. 적용기술은 저농도 오염토양은 생물학적인 토양경작으로 처리하고 고농도의 오염토양은 토양세척법과 일부에 대하여 열탈착방법을 적용하고 있다.



〈그림 2〉 인천물류센터 토양정화사업 현장 부지

3) 군부대 유류오염토양 정화사업

제1군수지원사령부 예하부대인 강원도 원주시의 313유류중대 토양오염에 대한 정화사업이 약 120억원을 들여 올해 말 완료될 예정이다. 지난 1999년 3월 토양오염이 최초로 발견된 지 꼭 10년 만에 오염처리가 이뤄지는 셈이다. 정화대상 부지 7만1,800m²(정화토량 14만

5,257m³)에 대해 석유계 총탄화수소(TPH)가 1,500mg/kg 이상인 고농도 지역(8만9,183m³)은 토양세척법을 이용하고 저농도 오염지역(5만6,074m³)은 미생물을 이용한 토양경작법으로 정화기준 TPH 500mg/kg 이하로 각각 정화가 진행되고 있다. 유류로 오염된 오염된 지하수는 지속적으로 끌어올린 뒤 활성탄으로 오염물질을 흡착, 제거하는 양수정화공법을 적용하고 있으며 추가 오염을 방지하고 인근 원주천으로의 확산을 막기 위해 300여m 규모의 차수벽을 설치하여 운영하고 있다.

5. 맺음말

갈수록 인간의 삶의 기반인 땅이 오염되고 이것으로 인하여 우리의 먹을거리 문제나 음용수 문제 등 인간의 건강보호 및 생태계의 안정적 유지차원에서 토양오염과 지하수오염의 정화는 모두가 함께 풀어야 할 공통의 과제라고 할 수 있겠다.

최근에 타결된 한미자유무역협정(FTA) 내용에도 토양오염복원 등이 추가로 개방되었으며, 2000년부터 중소전문 업체를 중심의 형성된 토양정화업 시장에 최근 들어 대기업들의 진출이 활발해 지고 있다. 특히 작년에는 삼성건설에 이어 금년 3월에는 현대건설과 GS건설 등 대부분의 대형 건설사가 토양정화업에 진출하면서 토양시장에 대한 수요가 증가하고 있는 현실에서, 대기업과 전문 정화업체간의 유기적인 상생의 협력관계를 통한 오염부지의 환경문제 해결과 대상 부지의 가치상승을 통한 좁은 국토의 효율적 이용을 위한 지혜를 모아야 할 시점이라고 본다.

〈원고 접수일 2008년 4월 22일〉