

유류오염부지의 복원설계

Remedial Design of a Site contaminated with petroleum

윤 성 옥 · 조 병 진 · 유 찬* (경상대)

Yun, Sung-Wook · Cho, Byung-Jin · Yu, Chan*

Abstract

The procedure of investigation and design of the soil contaminated with petroleum was introduced. Soil and water quality analyses were carried out to figure out the type of contaminants and the flume range according to the national regulation.

In the investigation, it was verified that the soils in several dispersed locations were contaminated with petroleum. Therefore, in the design process, it was necessary to select a optimal remediation method after making the conception model of the site, and then the treatment method of incineration was selected.

I. 서론

모든 생태계의 삶의 기반인 토양은 자정작용과 완충능력이 크고, 오염피해가 오랜 시간 후에 나타나기 때문에 지금까지 대기, 수질, 폐기물 오염에 비하여 관심이 적었던 것이 사실이다. 그러나 불량 매립지의 침출수 또는 공단지역이나 대규모 유류 취급소 등에서 사용되어 왔던 유류성분이 토양생태계 내에 잔류하여 발생하는 주변 주민의 피해가 보고되면서 심각한 사회문제가 되고 있다. 특히, 중질유 및 고농도의 경질유로 오염된 토양은 일정 수준까지 복원하는데 고도의 기술과 많은 비용을 필요로 한다.

1990년대 말 미국 연방과 각 주의 법률에 근거하여 복원이 요구되고 있는 지역의 소용비용은 약 870억불 이었으며, 그 기간은 10~30년정도가 필요한 것으로 예상한바 있다. 여기서 오염지역들의 약 70%정도가 휘발성 유기화합물(VOCs)로 오염되어 있었으며, 그 오염경로는 UST(지하저장탱크)로부터의 누출에 있는 것으로 보고된 바 있다.

따라서 우리나라도 2001년 2월 개정된 토양환경 보전법에서는 오염 원인자의 오염지역 조사 강화책임을 강화하고, 주유소, 정유시설 등 유류저장시설 토양오염 검사시에 총석유계 탄화수소(TPH)의 검사를 의무화하고 있다. 특히 지하 매설 대형 송유관시설은 특정 토양 오염 유발시설로 지정하는 등 기존보다는 한층 강화된 내용으로 관리하고 있으며, 2002년 12말 10,999개소에 대한 토양오염도 검사결과, TPH - 95개소(0.9%), BTEX - 49개소(0.6%)에서 토양오염우려기준을 초과한 것으로 발표된 바 있다.

본 발표에서는 유류로 오염된 토양의 실태와 그 복원과정에 대해서 실제 사례를 통하여 소개함으로써 유사한 사례 발생시 효율적이면서 경제적인 환경복원 업무를 수행하는데 도움이 되고자 한다.

II. 재료 및 방법

2.1 현장개요

대상 부지는 주유소로서 2003년 법정검사결과, 경유 저장시설 주변에서 TPH, BTEX 농도가 대책기준을 초과하는 것으로 나타나 정밀조사를 실시하였으며, 금번에 복원공사 실시를 위한 정밀조

사와 실시설계를 실시하였다. 지형조건은 산으로 둘러싸여 있는 분지에 속해 있으며 배후에서는 아직 농경지가 위치하여 영농이 이루어지고 있다.

기존 조사자료에서는 총 12개 조사지점에서 BTEX 성분이 1개소에서 대책기준을 초과하였으며, TPH은 1개소가 대책기준(12,820 mg/kg), 3개소에서 우려기준을 초과(2738 mg/kg, 2663 mg/kg, 2402 mg/kg)한 것으로 나타났다. 이때 오염 예상면적은 164 m², 추정 체적 549 m³로서 중량으로 대략 1,373 ton이었다. 이상의 주 오염유종은 휘발류와 경유인 것으로 분석되었으며, 시료 채취시 아스콘부스러기들이 유류에 용해되어있는 상태로 발견되었다.

2.2 현장조사 및 시료채취/분석

금번 정밀조사는 기존 정밀조사 결과가 3년의 시간이 경과되어 복원설계를 위한 추가 조사로서 주변 지형과 지질 그리고 수평과 연직방향으로의 오염확산 범위 추정을 위한 조사가 추가로 이루어졌으며 조사내용은 다음 표-1과 같다.

표-1. 복원설계를 위한 조사항목 및 회수

항 목	목 적	개 수	규 격	비 고
기본조사	부지사용이력 및 주변환경조사	-	-	현장방문 및 관련문헌 조사
시추조사	지질특성조사	2 개소	NX	회전식 시추기
시료채취	지반물리적 특성조사	기반암층 2m까지 1.5m 간격 실시	-	KS F 규격
토양오염조사 시료채취	오염도 확인 (TPH, BTEX) 오염확산범위 추정	18 개소 -배 경 : 1 개소 -부지내 : 17개소 (개소당 3점:1m간격)	-	토양오염공정시험법 적용 (Geoprobe:60cm 라이너 사용)
지하수조사	유류 자유상 확인 지하수수질검사 (BTEX) 지하수 유동 확인	부지주변 2개소	-	수질오염공정시험법 시추조사지점활용

III. 결과 및 고찰

3.1 지반 및 지하수조사 결과

지층단면도는 그림-1과 같고 흙의 물리적 성질 및 지하수 조사결과는 표-2, 표-3에 정리하였다.

본 지역은 원지반의 토층은 풍화토까지 깊이가 8.5~11.7m내외이며, 3m내외의 매립이 이루어진 지역이다. 또한 원지반의 표층부는 전답지 토층으로서 세립질 토층이 1.6m 내외로 위치하고 있어 오염성분이 이층을 통과하여 지층의 하부로 이동하기는 용이하지 않을 것으로 판단되었다.

한편 지하수 관측공을 대상으로 지하수위 측정, 자유상의 존재여부 그리고 수질샘플에 대한 BTEX분석을 실시한 결과, 지하수위는 -3.5m로 매립토와 전답토의 경계부근이었으며, 지하수 표면에 자유상(free products)은 존재하지 않는 것으로 확인되었다. 또한 지하수 샘플 분석결과 BTEX 성분도 검출되지 않아 주변지역으로의 오염성분의 확산은 없는 것으로 판단되었다.

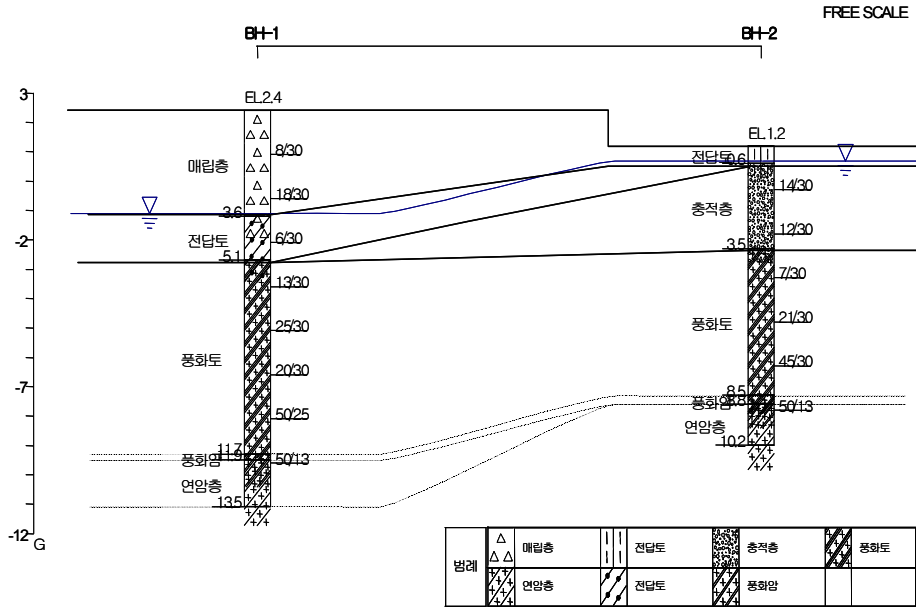


그림-1. 지층단면도

표-2. 흙의 물리성 실험결과

Boring No.	심도(m)	함수비 (%)	비중	연경도(%)		통과백분율(%)				USCS
				액성한계	소성지수	# 4	# 10	# 40	# 200	
BH-1	1.0	20.0	2.69	27.2	6.4	85.9	68.2	53.5	43.6	SM
	5.5	21.3	2.74	35.2	7.3	98.6	83.5	57.9	45.5	SC
	8.5	13.8	2.56	25.7	1.3	94.9	85.6	63.1	45.9	SM
	11.5	6.6	2.76	NP	—	63.2	42.9	20.2	11.1	SP-SM
BH-2	1.0	32.2	2.63	35.0	5.4	89.9	63.1	51.2	42.0	SM
	4.0	34.1	2.37	NP	—	97.8	90.9	80.6	62.9	CL-ML
	7.0	13.4	2.75	NP	—	79.6	56.2	25.7	15.4	SM
	8.5	13.6	2.81	NP	—	39.5	23.1	14.1	4.9	GP-GM

표-3. 지하수 관측 및 수질분석결과

지하수 관측공	지하수위	자유상	BTEX
BH-1(부지내)	-3.5	미확인	불검출
BH-2(부지외)	-0.5	미확인	불검출

3.2 토양오염조사

오염의심 지역을 대상으로 그림-2와 같이 18개 지점에 대한 토양시료를 채취하여 환경부 지정 토양분석전문기관에 의뢰하여 TPH와 BTEX 항목에 대한 분석을 실시하였다. 분석결과는 BTEX 성분은 3번지점 2~3m 깊이(3-3지점)에서만 1,395 mg/kg 농도로 대책기준을 초과하는 것으로 나타났으며, TPH성분은 5번은 0~3m, 6번과 10번지점은 0~1m지점에서 대책이나 우려기준을 초과한 것으로 나타났다. 오염유종은 대부분 경유(Diesel) 성분으로서 유출 후 약간 시일이 경과된 것으로 판단되었다.

그림-3은 오염범위를 추정한 그림으로서 개략적인 오염토량의 체적은 **254.2 m³**이었으며, 오염토층이 주로 성토 매립층이므로 단위중량을 1.80 t/m³으로 가정한다면 약 **457.56 ton** 정도로 추정되었다.

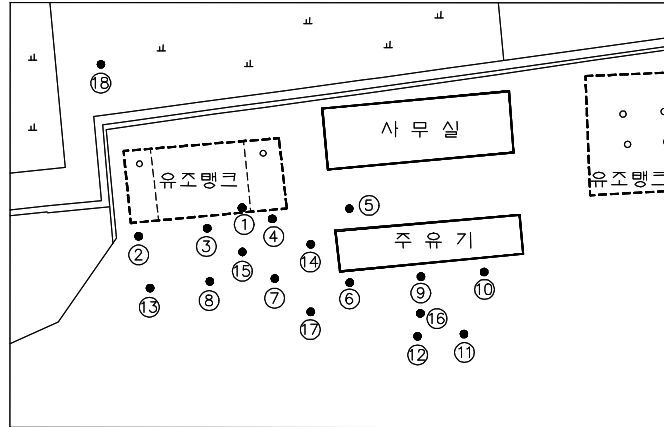


그림-2. 토양시료 채취위치도

표-4. 토양오염 대책 및 우려기준 초과 검출지점

분석항목	대책기준 초과(mg/kg)			우려기준 초과(mg/kg)		
	샘플위치(심도, m)	대책기준	검출농도	샘플위치(심도, m)	우려기준	검출농도
BTEX	3-3 (2~3)	200	1,395	-	80	-
TPH	3-3 (2~3)	5,000	15,600	5-2 (2~3)	2,000	3,099
	5-1 (0~1)		30,085	6-1 (0~1)		2,838
	5-2 (1~2)		13,292	10-1 (0~1)		2,270

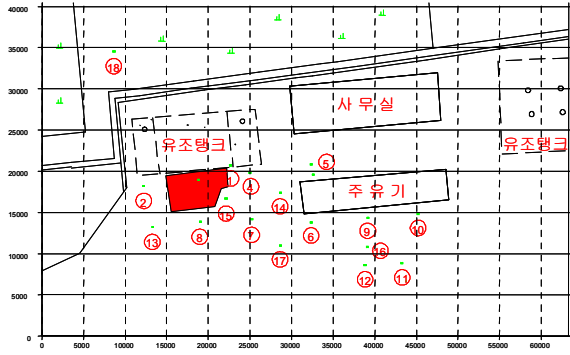
3.3 복원공법의 선정

본 현장은 주요 오염 유종이 경유이고 오염지역이 소규모로 분산되어 있는데 주유기 부근에 처리대상 지역이 많고 일부는 1m심도 내외이기 때문에 공기가 빠른 복원공법을 적용하여 주유소 영업의 연속성을 확보할 필요가 있었다. 따라서 이러한 경우 Ex-situ 혹은 현장외(off-site) 처리공법 적용이 효과적이며, 적용 가능한 공법은 토양경작법, 열탈착법, 소각법 등이 있었다.

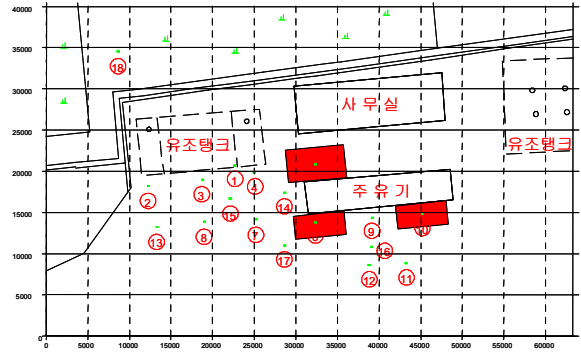
그러나 토양경작법이나 열탈착공법은 현장 주변에서 적절한 부지의 확보가 어렵고 민원의 문제가 예상되었으며, 특히 열탈착공법은 처리량이 작아 비경제적인 것으로 판단되었다.

따라서 이상의 검토결과에 따라서 본 현장의 오염토양 처리는 토양오염 우려기준이상인 지역에 대해서는 굴착 후 소각 처리한 후 양질의 토사로 되메우기를 실시하는 것이 타당하다고 판단되었다.

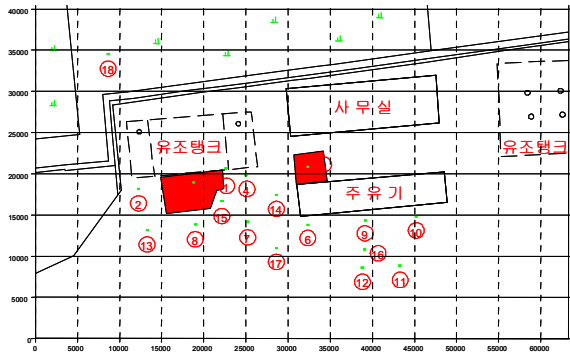
현행 토양환경보전법에서는 오염토양의 정화시 “특정토양오염유발시설의 방지시설 등에 관한 고시”(2002.1.15)의 규정에 의한 정화방법에 따라 처리하도록 규정하고 있다. 그러나 동 고시에서는 구체적인 절차에 대하여는 규정짓지 않고 있으며, 또한 오염토양을 처리하기 위하여 파내어 반출하는 경우에는 폐기물에 해당되는데, 폐기물공정시험방법에 의하여 유류성분이 토양에 5퍼센트(50,000 mg/kg)이상 함유되어 있으면 지정폐기물에 해당하며 그러하지 않은 경우에는 사업장일반 폐기물에 해당된다. 따라서 본 현장의 오염토양은 사업장일반폐기물에 해당된다.



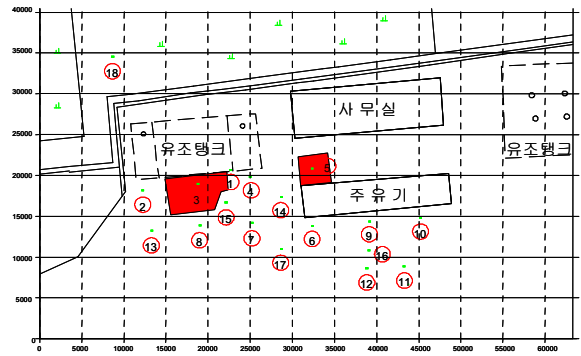
(a) BTEX (2~3m 구간)



(b) TPH (0~1m 구간)



(c) TPH (1~2m 구간)



(d) TPH (2~3m 구간)

그림-8. 오염범위 추정결과

IV. 결론

유류 오염지역에 대한 정밀조사 및 복원설계를 실시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 지역은 원지반(전답지층)위에 3m내외의 매립이 이루어진 지역으로서 풍화토까지 깊이는 8.5~11.7m로 나타났고 지하수위는 -05m~ -3.5m로서 자유상(free product)은 확인되지 않았고 수질분석 결과 등에서 주변지역으로의 오염성분 확산도 없었던 것으로 판단되었다.
2. 토양시료에 대한 분석결과, BTEX 성분은 1개 지점에서 대책기준을 넘는 1,395 mg/kg, TPH는 3개 지점에서 대책기준 혹은 우려기준 이상인 것으로 나타나 복원이 필요한 것으로 나타났다. 그러나 나머지 지점에서는 모두 기준값 이하로 확인되었다. 주요 오염원이 경유성분이며, 누출 후 일정기간이 경과된 것으로 확인되었다.
3. 오염토량의 총 체적은 **254.2 m³**, 체적으로 환산하면 **457.56 ton** 정도로 추정되었다.
4. 복원공법은 본 현장이 고농도의 오염 토량이 소량으로 산재하며 부지확보와 민원문제 등을 감안하여 우려기준이상인 지역에 대해서는 토양오염을 굴착 후 소각 처리하며 양질의 토사로 되메우기를 실시하는 것으로 결정하였다.

참고문헌

1. 경상대학교 부속 농업생명과학연구원(2003), “정밀조사 보고서-○○지역”
2. 환경부(2001), 토양환경보전법(개정)
3. 환경부(2002), 특정토양오염유발시설의 방지사설 등에 관한 고시”
4. 환경부(2005), 토양오염공정시험법
5. 환경부(200), 수질오염공정시험법