

국내토양오염 유발시설별 오염현황 조사
- XX 인근주유소 오염현황조사 -

김 무 훈 · 강 순 기 · 곽 무 영 *

삼성엔지니어링 기술연구소
대조바이오텍 주식회사 *

A Case Study of Site Investigation on XX Gas Station

Moo-Hoon Kim, Sun · Ki Kang, Moo-Young Kwak

*Samsung Engineering R & D Center
DaeJo Biotech Corporation **

ABSTRACT

The purpose of this study is to assess contaminant transfer and environmental impacts to the surroundings by inadequate control of USTs. Several methodologies can be used to approach for the site assessment depending on the appearance of contaminants on the site and their types. In this case study, randomized and/or triangle matrix techniques were used. As a result, the composition of materials in tank station were appeared in several state. From 1 to 1.5m depth, the soil was composed of reclaimed soils. And 1.8-3.5m depth, silty sand was appeared and about 4m, weathered soil was appeared. Based on the preliminary and actual site investigation by DPT methodologies on the width and depth of the site with analysis of BTEX and TPH, the contamination was found in this tank station and already distributed near areas. Finally, it was found that the hydroflow differences during the season affects the area and depth of contamination.

Key words: UST, site contaminants, site investigation, BTEX, TPH

요 약 문

본 조사의 목적은 적절한 조사방법이 미흡한 주유소에서의 오염현황 조사방법 및 그에 따른 주변지역으로의 오염물질이전 및 환경적 영향을 평가하는 것이다. Site assessment 방법에는 몇가지의 접근방

법이 있는데, 본 연구에서는 정덕영(1997)에 의해 제안된 임의선정법/특별조사법 중 임의 격자법을 사용하였다. 조사결과에 의하면, 주유소에서 물질성상은 몇 가지의 형태로 분류할 수 있었다. 지층구조는 약 1.5M까지는 매립토 (잡석&모래)로 충진하였으며, 1.8-3.5M 까지는 부드러운 모래와 미사토 (Silty Sand)의 자연적인 토양층을 나타내고 있었다. 또한 4.0M 가까이에는 풍화토(C층) 출현하였다. (그림3. 지층구조측면도 참조).

또한, 저장탱크지역의 지하수위는 약 2.0M이며 남쪽에 흐르고 있는 개천의 수위와 거의 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 결론적으로, 본 주유소 현황조사에 의하면, 실제의 누출이 UST 및 배관에서 진행되었으며, 오염농도는 대책지역기준인 200PPM을 초과한 것이 확인되었고, 오염원은 면적기준 45M² 내지 50M²에 깊이 약 4M 정도로 확산되어 있으며 2.0M에서 3.5M 사이에 부분적으로 고농도로 축적되어 있는 것이 확인되었고 오염의 정도는 계절에 따른 지하수위의 차이에 의해 이동된 것을 본 연구를 통하여 알아낼 수 있었다.

주제어 : 주유소, 오염현황, 지층구조, 토양치환구간, 복구사업

1. 서 론

토양오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위험을 예방하고 토양을 적정하게 관리·보존하기 위해 토양환경보전법이 96년 1월에 제정되었으나 국내에서는 오염토양복원 및 정화기술이 현재로서는 연구단계 수준이므로 장·단기적으로 문제해결을 위해서는 국·내외에서 이미 실용화된 기술을 우리나라의 전통적인 토양오염지역의 주요 토양오염원을 조사하여 토양오염을 방지하기 위한 처리기술의 개발과 오염된 토양을 복원하는 기술의 개발이 시급한 실정이다. 유류 사용의 증가로 인한 지하저장소의 난립, 저장 시설의 노후로 인한 누출 및 유출 사고, 다량의 독성물질을 취급하는 화학공장과 이들의 사용량의 증가에 따른 누출량 증가는 토양을 오염시키는 중요한 요인이 되고 있고, 국내 지하유류비축 기지, 주유소, 산업체, 군주둔 지역 등의 유류 저장시설에서 유출되는 유류의 양은 조사되지 않았으나, 미국의 경우 유류저장탱크 및 화학물질과 폐기물을 저장한 탱크중 약 20%가량이 유출되는 것

으로 나타났다. 유류 저장시설의 노후화와 시설 안전의 빈약성 등으로 인해 국내에도 많은 수의 저장시설에서 누출이 발생할 것으로 예상된다.

현재 알려져 있는 몇 가지의 오염현황 조사 방법은 아래와 같으며 개황조사의 결과를 토대로 현장조건과 조사방법에 맞는 방법의 선택이 필요하다.

- 1) Point survey : 오염유발시설별로 오염유발시설이 설치된 부지내 또는 주변지역의 특정한 1지점에 대하여 조사하는 방법으로 조사지점의 대표성여부에 따라 오염현황 결과가 크게 달라질 수 있다. 이방법은 토양이 균질할 때 그리고 조사비용과 시기가 제한되었을 때에 한하여 사용하는 것이 좋다. 현행 토양환경법 규상의 오염유발시설에 대한 토양오염도 검사용 시료채취 방법과 같다.
- 2) Areal survey : 오염물질의 2차원 수평분포를 확인하기 위하여 얇은 지표부근을 대상으로 시료를 채취하여 오염현황을 조사하는 방법이다. 물론 비용을 많이 투자하여 깊은심도에 대하여도 수평적인 오염현황을 조사할 수 있다.

현재진행되는 대부분의 방법은 이런방법까지 제한되어 있다.

- 3) Transect survey : 오염물질은 일반적으로 특정한 방향을 통하여 흐르는 경향이 있으므로 사전에 이런 오염물질의 주흐름방향을 알수 있다면 오염물질의 이동방향에 따라 조사를 함으로써 과학적인 조사가 가능하다. 또한 주로 관심의 집중되는 방향으로의 오염물질분포를 확인할 필요가 있을 때 이방법을 이용하면 매우 효과적이다.
- 4) Profile survey : 일반적으로 토양의 불포화층에서는 오염물질의 이동이 토양공극을 통하여 일어나므로 오염물질은 수직적인 분포를 이루게 되며 시간이 흐르면 지하수층에 도달하게 되어 지하를 오염시킨다. 포화층에 도달한 오염물질은 지역적인 지하수 흐름의 영향으로 주변으로 이동하게 되며 오염물질의 분포위치가 변할 수 있다. 이경우에는 얇은 지표부분만의 토양시료조사만으로는 오염여부가 과소평가될수 있으므로 반드시 수직적인 심도별조사를 해야한다. 일반적으로 오염물질의 누출시간이 많이 경과 했거나 지하수층이 낮아 지하수의 오염우려가 있는 경우에는 지하수층과 함께 조사를 해야한다. 본연구에서는 이방법을 적용하여 토양층과 지하수층을 동시에 조사하는 것으로 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 조사대상지역의 선정

현재 우리나라에서 운영하고 있는 주유소의 수가 16,000곳으로 조사/보고되고 있으나 계속 증가추세에 있고, 이에대한 조사 방법이 여러각도에서 제기되고 있지만 정확한 조사 및 오염현황 및 관리방법은 계속 연구되고 있는 실정이다. 본 조사에서는 서울특별시에 위치한 주유소 지역

1곳을 대상으로 오염현황을 파악하였다.

2.2 본 주유소의 주변특성 및 시료채취지점의 선정

본 현장조사에서는 서울특별시에 위치한 주유소를 대상지역으로 선정하였는데, 이 주유소는 출입구가 북쪽으로 향하고 있으며 전방에는 소천(小川)이 흐르며 하천(河川)의 바닥으로부터 3M 위까지 방호벽을 설치하여 좌우에 도로로 이용되고 있다. 또한, 주유소는 하천의 축대로부터 5M 거리에 위치하고 있고, 하천의 바닥은 암반이 발달되어 있으며 그 암반 표면 위로 물이 흐르는 수계(水界)를 형성하고 있다. 또한 주유소 후방인 남쪽방향으로 약간의 상향 경사를 이루고 주택 및 상가건물들이 위치하고 있다. 하천을 중심으로 위치한 주유소의 총 넓이는 27M × 19M의 406.83M²이다.

이러한 주변 지리여건에 따라 건물 축조시 복토작업에 대한 내용으로 볼 때 주유소는 지하 4M 지점에 이르러 풍화대(풍화토, 풍화암)가 존재하고 있음을 알 수 있었다. 하천의 반대방향인 남쪽 방향으로 지상 2층의 관리건물이 위치하며 지하실을 갖추고 있다. 건물 바로 앞 지하 3M 깊이까지 토양오염 유발시설인 지하저장탱크가 매설되어 있으며 총 5개의 독립된 콘크리트 방으로 구성되어 있다. 이들 탱크들은 동일한 위치에 설치된 주입기로부터 콘크리트벽을 관통하여 Pipe로 연결되어 있으며 다시 주유기로 연결되어 있다. 이들 지하저장탱크의 용량 및 내용물은 다음과 같다. 1) 휘발유 : 12,000리터 (1식), 2) 휘발유 : 20,000리터 (2식), 3) 경유 : 30,000리터 (1식), 4) 등유 : 20,000리터 (1식) 5) 지하탱크 총용량 : 102,000리터

2.3 본 주유소의 시료채취방법

본 토양조사를 위한 시료채취 장비로서는 미국 EPA에서 전문토양조사장비로 추천하는 GEOPROBE SYSTEM (미국, Kejr Engineering사 제품)을 사용하였다. 본 Geoprobe System은 1.4톤 소형차량에 탑재된 장비로서 기동력이 우수하고, 침투기 함마방식이 DPT(Direct Pushing Technology)인 되메우기 기법을 사용하는 장비이다. 본 장비는 시료채취 위치에서 서로 다른 지층의 토양이 교차 혼입되지 않도록 시료를 채취하도록 하며, 시료채취기는 내부에 투명 플라스틱 LINER가 있어서 시료를 손상없이 채취되기 때문에 토양의 구성을 쉽게 파악하도록 하고 있다. 시료채취기의 크기는 60cm Liner를 사용하여 깊이별 시료들 사이에 교차 혼입없도록 정확한 깊이로 Geoprobe의 Sampler를 탐침시켰다. 정확한 위치에서 시료를 채취한 Sampler를 끌어내어 즉시 Liner의 튜브캡으로 양쪽을 밀봉하여 BTEX의 자연회발을 최대한 방지하였다. 시료채취시에는 한 지점에서 깊이별로 2-4개의 시료를 채취하였고, 이렇게 채취된 1개의 시료는 실내에서 2개로 분할하여 1개는 중금속 분석용 시료로 사용하였고 나머지 1개는 즉시 Liner의 튜브캡으로 양쪽을 밀봉하여 BTEX의 자연회발을 최대한 방지하였다. 이때, 시료채취 공변, 채취깊이, 토양구조를 확인한 후 4℃로 준비된 아이스 박스에 보관하였다. 저온상자에 준비된 시료는 분석을 위하여 의과학연구소 분석실로 이송하였다.

2.4 본 주유소의 현장조사방법

본 주유소 조사시는 일반적으로 임의격자법 및 삼각매트릭스법에 의거하여 조사한다. 본 과제에

서는 개황조사와 정밀조사로 나누어 수행하였으며, 개황조사 결과를 분석하여 정밀조사를 수행하였다.

2.4.1 개황조사

개황조사에서는 현장답사와 기존자료 조사에 준하여 수행되었다. 현장답사에서는 주변의 지형과 토지이용현황, 주변 구조물 설치현황, 지형도, 지적도 등을 조사하였고, 소유자 및 업종에 따르는 오염가능물질 파악을 위해 토지(건물)등기부등본, 토지대장, 일반건축물대장을 확보하였다. 현장답사와 기존자료에서 수행한 조사방법에 근거하여 오염도 조사는 1997년 6월 2일부터 1997년 6월 8일까지 용역업체에 의해 수행되었다. 정확한 오염도 파악을 위해 1m에서의 시료를 오염도 파악을 위해 오염현황지침안에 근거 유류저장시설 각 꼭지점에서 4개를 채취하였다. 정밀 조사시에는 개황 조사지역보다 넓은 지역을 선정하여 임의적으로 격자를 선정하여(임의격자법) 넓이별, 깊이별로 조사하였다.

2.4.2 정밀조사

정밀조사(1997년 6월 10일 - 1997년 6월 15일)로 구분하여 수행되었다. 오염현황 2차정밀 조사는 개황조사 결과에서 BTEX농도가 가장 높게 나타난 12-1을 기준 인근지역 및 오염의 개연성이 높은 지역으로부터 시료를 채취하였다. 또한 오염이 진행되었을 경우를 예측, 오염확산 범위를 알아보기 위해 8개의 시료를 임의선정법 및 삼각매트릭스에 의해 채취하였다(그림 2).

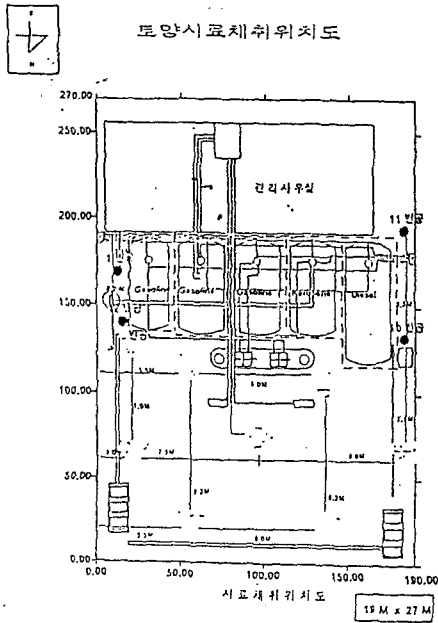


그림 1. 서울인근 주유소 개황조사 시료채취 지점도

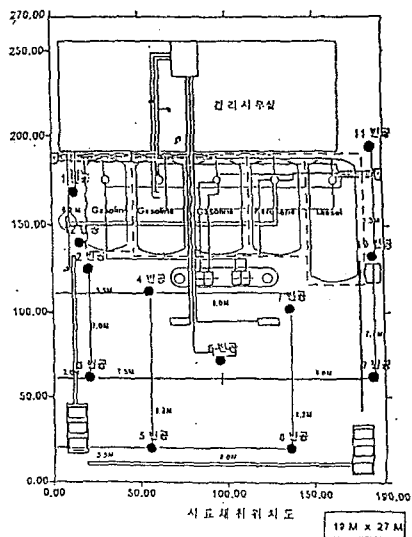


그림 2. 서울인근 주유소 정밀조사 시료채취 지점도

3. 결과 및 고찰

3.1 대상지역의 토질성상

시료채취 후 토질을 분석한 결과 탱크주변의

지층구조는 약 1.5M까지는 매립토(잡석&모래)로 충전하였으며, 1.8 - 3.5M까지는 부드러운 미사토(Silty)를 나타내고 있었다. 또한 4.0M가 까이에는 풍화토 및 풍화암이 출현하였다. 탱크 인접지역을 벗어나 도로변에 가까울수록 미사토(Silty)의 층이 얇아지면서 2.0 - 2.5M 사이에서 풍화토가 형성되어 있었다.

전반적인 지형구조는 약 0.5M까지는 주유소 상부 콘크리트층이며, 0.5 - 1.5M까지는 매립층으로 볼 수 있으며, 여기에 매립은 자갈과 모래로 구성되어 있다. 오염원의 분포여부와 가장 밀접한 관계를 갖는 미사토(Silty)층은 1.5 - 3.5M까지로 구성되어 있다. 석유(등유) 주유대 주변의 미사토층의 토양색은 갈색을 띠고 있으며 압밀도가 낮은 연한(Soft) 층으로 구성되어 있었다. 반대쪽의 디젤탱크 주변은 미사토층의 깊이는 같으나 토양색이 황갈색이며 압밀도가 높은 단단한(Hard) 층으로 구성되어 있었다. 도로방향으로 향할 수록 미사토층이 얇아지면서 단단한(Hard) 층이며 토양색은 황색에 가까게 형성되어 있었다.

이러한 형상으로 볼 때 주유소의 지층구조는 인위적인 공사로 인하여 건물 및 탱크주변에 움푹이기를 가진 형상을 나타낸다고 볼 수 있다. 그리하여 건물 및 탱크 인접지역의 지층구조는 저장탱크와 건물공사를 위해 약 3.5 - 4.0M 정도의 깊이까지 토양을 굴착하여 탱크공사를 실시한 것으로 판단되었다. 결론적으로 주유소의 지하 저장탱크 주변의 경우에는 지층구조가 균질한 지질구조이기보다는 인위적인 공사에 의해 지층구조가 불균일하게 형성되어 이동매체의 개입없이 외부지형과의 물질이동이 차단되거나 극소화 되는 동공형상이 있다고 결론 지을 수 있다. 이러한 주유소의 지형은 유류 오염원의 유출시 오염원이 동공에 갇혀 외부로 이동되기 어려운 지형을 갖는다고 보여진다.

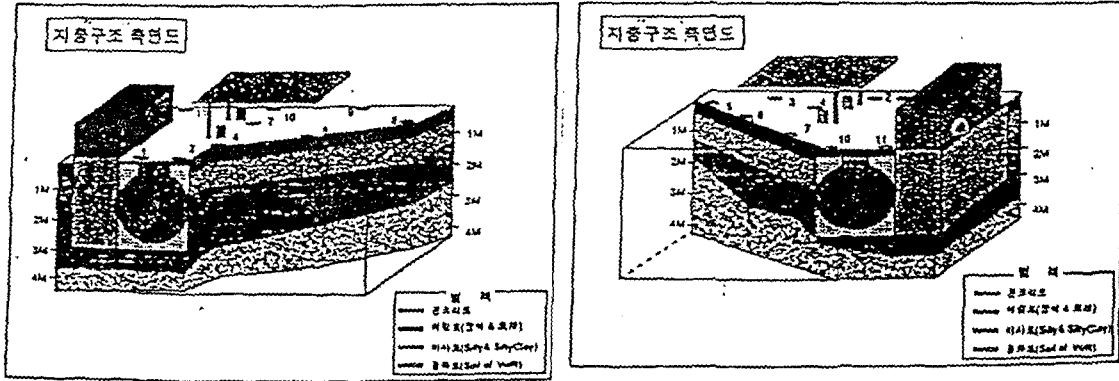


그림3. 주유소 지층구조 측면도

3.2 토양오염 영역 및 오염성분

표준유류의 종류별 BTEX의 함유율과 채취시료의 BTEX의 함유율을 비교해 보면 시료는 석유류(등유)와 유사한 성상의 자료를 보여주었다. 본 Finger-Print의 측정 비교결과에 따라(표1,2), 주유소의 토양오염의 대부분의 원인은 석유의 누출에 의해서 발생된 것이라는 추론이 가능하다. 또한 오염원의 잔류성분은 70 - 80%가 Xylene임으로 나타났으며 벤젠과 톨루엔은 미미하게 나타났다.

표1. 표준유류의 종류별 BTEX 함유율 (단위: mg/kg)

구분	Gasoline	Kerosene (실험실)	Kerosene (주유소)	Diesel	시료의 평균값
BTEX(%)	48.55	1.25	2.98	1.60	3.00
벤젠(B)	11.19	0.0	0.0	0.0	0.0
톨루엔(T)	44.51	6.76	10.67	20.68	11.37
에틸벤젠(E)	11.09	30.43	19.89	32.43	20.57
자일렌(m,p)	18.15	29.30	38.03	26.81	39.93
자일렌(o)	15.07	33.52	31.41	20.08	28.13

3.2.1 오염원 분포도 평가 (Simulation)

오염분포도는 정밀도 및 신뢰도를 확보하기 위

해 연구소 분석실 분석결과에 의하여 BTEX 및 TPH의 깊이별, 거리별로 전체 오염분포도 및 법적우려기준치인 80ppm 근처의 농도를 초과한 지점을 연결하여 오염분포도로 작성하였다. 특히, 오염원인 BTEX 농도가 가장 높게 나타난 지점인 12번째 공에서는 깊이가 2.0M에서 부터 115ppm 정도의 높은 농도의 오염원이 나타났으며 3.0M 하부로 진행되면서 대책기준인 200ppm을 초과하였다. 또한 풍화암이 출현하는 하부 3.5M에서도 155ppm의 고농도 BTEX가 검출되었다. 마찬가지로 1번 및 2번 시료채취공에서도 약 2.5에서 4.0M 사이에 오염원이 집중적으로 고여 있는 것으로 나타났으나 풍화토인 4.0M 이하의 토층에 흡착하여 나타나는 오염원

은 거의 나타나지 않았다. 특히, 4번 시료채취공에서는 상부로부터 3.0M 까지는 BTEX가 극미하게 출현하였으나 풍화암에 도달하는 3.5M 근처에서는 높게 나타났다. 반면에 3번, 6번, 7번 채취 지점의 모든 깊이에서 오염원의 BTEX 농도는 10ppm 이하로 상

당히 낮게 검출되었다. 이상의 BTEX 분포도 작성결과에 따르면 오염원의 분포는 별첨 그림에서 같이 동쪽 경계벽 근처에 설치한 등유 주유기

표2. BTEX 분석결과(단위:mg/kg)

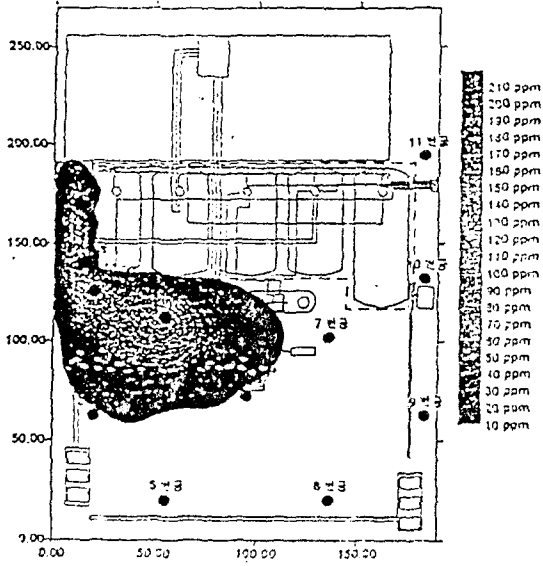
구 분	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	MP자일렌	O 자일렌	합 계
1-1	0.0	0.0	6.05	4.71	5.74	16.50
1-2	0.68	6.99	16.87	50.67	25.14	100.35
1-3	0.64	7.97	14.85	42.75	27.08	94.18
1-4	0.36	1.45	2.99	7.65	2.83	15.28
2-1	0.22	2.60	4.77	12.21	5.68	25.47
2-2	1.90	0.69	15.58	60.90	32.97	112.03
2-3	0.26	2.16	5.26	13.47	6.11	27.25
2-4	0.0	0.0	8.10	0.0	0.0	8.10
3-1	0.0	0.0	6.11	0.0	0.0	6.11
3-2	0.0	0.0	6.23	0.0	0.0	6.23
3-3	0.0	0.0	5.87	0.0	0.0	5.87
4-1	0.0	0.0	4.16	0.0	0.0	4.16
4-2	0.0	1.37	8.31	2.43	1.91	14.02
4-3	0.65	18.16	25.56	39.31	36.05	119.73
5-1	0.0	0.0	3.91	0.0	0.0	3.91
5-2	0.0	0.0	3.28	0.0	0.0	3.28
6-1	0.0	0.0	3.51	0.0	0.0	3.51
6-2	0.0	0.0	4.10	0.78	0.91	5.79
7-1	0.0	0.0	0.08	0.03	0.0	0.12
7-2	0.0	0.0	2.21	0.0	0.0	2.21
8-1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8-2	0.0	0.0	3.13	0.0	0.0	3.13
9-1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9-2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10-1	0.0	5.92	3.95	0.94	0.0	10.8
10-2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11-1	0.0	3.52	0.0	0.0	0.0	3.52
11-2	0.18	0.61	0.64	1.63	1.16	4.22
11-3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12-1	3.53	16.37	26.07	54.93	55.42	156.93
12-2	1.60	23.77	42.06	86.23	61.37	215.03
12-3	0.0	17.62	31.89	61.90	43.61	155.02

하부 위치에 집점적으로 몰려있는 것으로 나타났으며 하부로 내려가면서 주변으로 다소 제한적으로 확산된 양상을 보여 주었다. 오염원이 집중적으로 나타난 등유 주유기 하부는 지하 3.5M 위치까지 탱크박스가 매설되어 콘크리트벽으로 막혀 있으므로 오염원의 이동은 도로변을 향하여 탱크박스를 타고 이행하였음을 보여 주는 것이다. 결론적으로 오염원은 등유 주유기 지점을 중심으로 도로변을 향하여 탱크박스로 부터 3.0M 내지

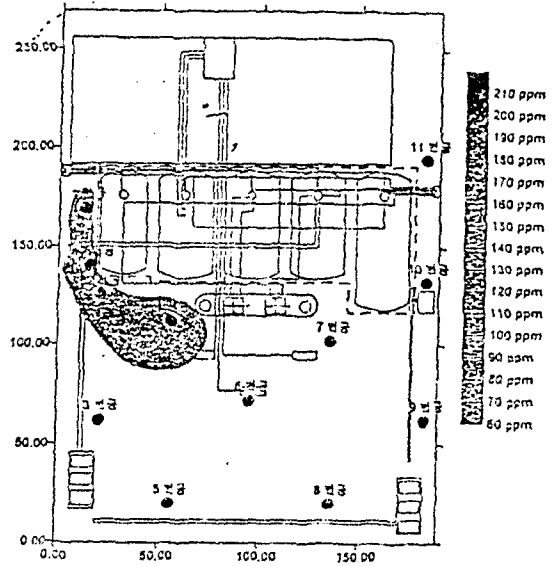
3.5M 정도에 하부로 확산하여 있으며 깊이는 1.0M에서부터 풍화암이 출현하는 지점인 3.5M에서 4.0M 까지 도달하면서 BTEX 농도가 증가하는 자루 모양으로 감혀 있다고 판단된다.

이와 같이 자루 모양으로 오염원이 감혀 있는 양상으로 나타난 것은 3번, 6번, 및 7번의 채취지점 하부에 풍화암이 출현하는 깊이가 3.2M 정도인 반면에 1번, 2번 및 12번의 채취 지점의 풍화암은 4.0M 위치에 출현하고 있으므로 함몰되어 있

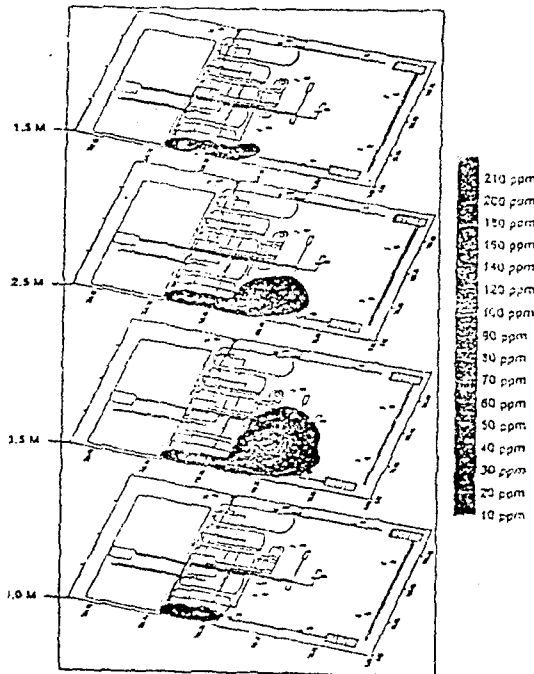
BTEX 오염분포도(10-215 ppm)



BTEX 오염분포도(60 ppm 이상)



깊이별 BTEX 오염분포도(10-215 ppm)



토양치환시 작업구간

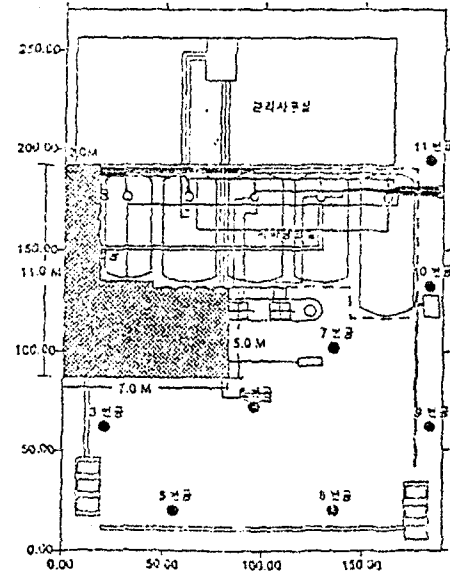


그림4. (1) BTEX 오염분포도 (10-215 PPM)(2) 깊이별 BTEX 오염분포도(60 PPM 이상)

(3) 깊이별 BTEX 오염분포도 (4) 오염분포에 따른 토양치환시 작업구간

는 토층으로 인하여 오염원이 이행하지 못한 것으로 판단되었다.

3.2.2 오염물질의 종류 및 농도.

표준유류의 종류별 유류총량에서 BTEX의 함유율과 채취시료의 오염총량에서 BTEX의 함유율을 비교해 보면 시료는 석유와 유사한 성상의 자료를 보여주었다. 본 Finger-Print의 비교측정 결과에 따라, 주유소의 토양오염의 원인은 석유 누출에 의해서 발생된 것이라는 추론이 가능하다. 또한 본 조사결과 오염원은 BTEX 총량기준으로 200ppm을 초과하여 나타났으므로 법적으로 복원을 실시하여야 하는 대책지역임이 확인되었으며, 잔류성분은 70 - 80%가 Xylene임으로 나타났으며 벤젠과 톨루엔은 미미하게 나타났다. (참조 분석결과표)

분석결과에 따라서 오염원의 출처는 등유 주유기에 연결된 Pipe Line의 콘크리트박스의 접촉부위인 구멍으로부터 주유기까지 이르는 모든 시설재의 결함에 의한 누출 또는 탱크박스 내부에서 유출된 유류가 접촉부까지 도달하여 구멍을 통하여 토양으로 이행된 것이라고 판단된다.

만일 등유탱크의 유출에 의해 오염이 진행되었다면 탱크박스중 등유를 저장하는 탱크는 오염지역으로부터 멀리 떨어진 지역에 위치하고 있으므로 인근 가솔린 및 디젤의 탱크박스가 모두 오염되었다고 판단된다. 한편 주유기 관련시설에서 누출이 발생하였다면 지속적으로 오염이 진행되고 있다고 판단된다.

그러므로 본 토양오염도 정밀검사의 신뢰성을 높이고 복원을 수행하기에 앞서서 추가적으로 석유류 저장시설 및 주입구 파이프 라인, 등유 주유대등의 유출 및 누출검사를 실시하여 누출방지를 위한 보완조치를 수행하여야만 한다. 이것은 오염물질이 발견된 지점이 등유 주유대 주변지역이고, 오염물질 발견 깊이가 1.5 - 4.0M 이기 때문이다.

3.2.3 오염원 분포도

오염원은 탱크박스과 동쪽으로 이웃과 인접된 경계면 사이에 집중되어 있으며 탱크박스로부터 도로변으로 5M 정도 그리고 경계면으로부터 7M 정도까지 확산 전개되어 있었다. 또한 이때 오염원은 풍화암이 출현하는 4.0M 정도의 깊이까지 오염원이 하부로 진행하면서 측면 확산이 진행하였다고 결론지을 수 있다. 이것은 계절의 변화에 따른 지하수위의 차이에 따른 영향으로 볼 수 있다. 또한 등유 주유기의 하부가 가장 높은 농도로 오염되었으며 암반층 근처에서 높게 나타났다. 아울러 오염원의 하부 이동시 휘발성 성분이 상하좌우 방향으로 확산되어 낮은 농도로 비교적 넓게 나타나고 있다.

4. 결 론

본 주유소의 정밀조사 결과 오염원 현황은 BTEX 기준으로 200ppm이 초과하여 대책지역으로 확인되었다. 오염원의 유출은 등유 주유기의 시설물 자체 또는 콘크리트 박스의 Pipe 연결부위에서 유출되었을 것으로 판단되며 이것은 별도로 누유검사를 필요로 하고 있다.

오염원은 탱크박스의 동쪽방향으로 제한된 범위에 고여 있는 양상을 보여 주었으며 이것은 건물 및 저장탱크의 토목공사시 인위적으로 조성된 지형조건에 의한 것으로 밝혀졌다. 오염원이 존재하는 지점은 지하 4M 내지 4.2M 정도에서 풍화토 및 풍화암이 출현하였으며, 풍화토 상부의 토양은 주로 미세토였으며 오염원에 의해 연약한 토질로 변질된 것으로 파악되었다. 오염원은 면적기준 45M² 내지 50M²에 깊이 약 4M 정도로 확산되어 있으며 2.0M에서 3.5M 사이에 부분적으로 고농도로 축적되어 있는 것이 확인되었다.

사사의 글

본 연구는 오염토양복원기술 및 제도발전에 관한 연구의 일환으로 지원/수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. EPA, "Subsurface Characterization and Monitoring techniques: Volume I(1993)
pp.111~123
2. 국립환경연구원, "오염토양복원기술 및 발전에 관한 용역" 최종결과보고서(1997)
pp.82~93
3. Tchobanoglous G., and Vigil S.A Integrated Solid Waste Management: Engineering principles and Management Issues, McGraw-Hill Inc. (1993) pp.78~81
4. Wilson N "Soil and Groundwater Sampling" Lewis Publishers (1995) pp.23~25
5. Mattney Cole "Assessment and Remediation of Petroleum Contaminated Sites" Lewis Publishers (1994) pp.197~236
6. EPA, "Subsurface Characterization and Monitoring techniques: Volume II(1993) pp.26~31
7. Sayles G et al. "Applied Biotechnology for Site Remediation" (1994) pp.86~203