

국내토양오염 유발시설별 오염현황 조사 I
-○○인근주유소 오염현황조사-

김 무 훈

삼성엔지니어링 기술연구소

A Case Study of Site Investigation on ○○ Gas Station

Moo-Hoon Kim

Samsung Engineering R & D Center

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 in sampling procedure for the site assessment depending on the appearance of contaminants on the site and their types. In this case study because of site contaminants, randomized and/or triangle matrix techniques were used. As a result, the composition of materials in ○○ gas station were appeared in several status. From 1 to 2.5m depth, the soil was composed of silty sand and gravel, around 4m depth, weathered rock 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, no contamination was found in ○○ gas station, however, in one point because of careless dumping after refill by oil company, about 1731.5 ppm of TPH appeared.

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 ○○ 주유소 오염현황조사에서는 임의격자법/삼각매트릭스법을 사용하였다. 조사결과에 의하면, 주유소에서의 물질성상은 몇 가지의 형태로 분류할 수 있었다. 지층구조는 약 2.5M까지는 매립토(잡석 & 모래)로 충전하였으며, 2.5-4M까지는 부드러운 모래와 미사토(Silty Sand)의 자연적인 토양층을 나타내고 있었다. 또한 4.0M 가까이에는 풍화토(C층)가 출현하였다(그림3. 지층구조측면도 참조). 저장탱크지역의 지하수위는 약 2.0M이며 남쪽에 흐르고 있는 개천의 수위와 거의 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 결론적으로, 이 주유소에서의 오염현황조사에서는 실제 UST나 배관 주위에서의 누출에 의한 실제오염은 찾아낼 수 없었지만, 기름을 충전한 후 버려지는 슬러지들이 부분적인 오염의 원인이 될 수 있다는 것을 본 현황조사를 통하여 알아낼 수 있었다.

주제어 : 주유소, 오염현황, 임의선정법, 배관

1. 서론

환경 오염유발 물질들은 수질, 대기, 토양 등의 다양한 매체를 통하여 이동하면서 변화와 변형을 계속하면서 인간을 포함한 자연생태계에 영향을 미치고 있는데, 특히 토양을 매개체로 한 오염물의 거동 및 영향은 수질과 대기를 통한 피해보다 상대적으로 노출속도가 느리고 전달경로도 복잡하여 그 조사와 정확한 현황의 파악이 매우 어렵다. 따라서 토양오염의 정확한 진단과 조사 및 이를 바탕으로 한 오염토양의 정화기술 개발은 장기적이고 체계적으로 연구하여야 할 중요한 과제 중의 하나라 할 것이다.

국내의 경우 산업체 생산활동에서 발생하는 유해폐기물을 처리하기 위해 정부는 1985년부터 특정폐기물의 공공처리시설을 추진하였으나 처리능력의 한계로 많은 문제점들이 나타나고 있다. 또한 1996년 토양환경보전법이 제정되어 시행되고 있으나 아직 국내 토양오염 현황조사 및 그 처리, 정화기술의 확보가 미흡하여 이에 대한 연구가 시급한 실정이다. 현재 국내 토양오염 현황조사는 환경부의 토양측정망에 의하여 다소 지속적으로 수행되어져 왔다. 국내외의 여러 연

구 자료를 보면 많은 산업체 주변 유해 폐기물 매립지, 광산지역, 유류 및 용제류 저장고, 원목 저장고 및 유해물질 누출사고 지역 등의 토양은 오염되어있는 것으로 추정된다.

일반적으로 오염된 지역을 정화하기 위한 접근 방법은 몇가지 단계로 나눌 수 있는데 크게 예비조사, 정밀조사, 정화기술의 선정, 정화작업수행 및 Monitoring으로 구분된다. 예비조사 단계에서는 오염지의 History 규명, 지질학적 성격(토양의 종류, 지하수 흐름 등), 환경변화 등을 수행하며, 본조사(Site Characterization) 단계에서는 오염물질의 존재형태, 이동상태, 주변환경 및 오염물질의 성격(오염물질의 종류, 물리/화학적 성격, 미생물에 의한 분해 가능성) 등을 조사 판단하여 최적의 정화기술을 선정하는 예비자료로 사용된다.

효과적인 오염토양의 정화와 방지를 위해서는 이미 언급된 몇가지 단계중에서 오염지에 대한 정확한 특성파악(Site characterization)이 무엇보다도 중요하다. 오염토양의 분포와 그 진행상황을 측정하는 방법은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 첫째는, 굴착을 통한 토양 시료의 채취, 지하수 모니터링 Well의 설치 등을 통해 지하토양 및 지하수에 대한 정보를 직접적으로 얻는 방법(Inva

sive Field Method)이다. 이 직접적인 방법은 조사기간이 길고 비용이 많이 소모되는 반면 실제적이고 비교적 정확한 실측치를 얻을 수 있어 오염지 주변지역에 대한 조사로 필수적이라 할 수 있다. 시료채취와 지하수 관측을 위한 관정의 설치는 그 사용성에 따라 다양한 방법이 있으며, 관정의 디자인 및 설치 위치의 선정에도 세심한 주의가 필요하다. 관정의 설치와 운전은 크게 Well Design, 지하수흐름의 상부, 하부에 대한 Well Placement, 최적운전과 정상상태를 유도하는 Well Development로 나누어진다. 둘째 방법은 땅을 굴착하거나 호트립이 없이 정보를 얻는 Noninvasive Method로 물리탐사가 그 대표적인 방법이다. 물리탐사법은 비접촉, 비파괴적인 방법으로 넓은 지역에 대하여 신속하게 조사할 수 있다는 잇점이 있다. 현재까지 물리탐사법은 주로 지질 구조 파악인 광물자원의 조사를 위하여 사용되어져 왔으나 최근에 와서 토양오염조사 등의 환경공학적인 문제에 적용되기 시작하였다. 흔히 사용되는 물리 탐사법으로는 지표에 접지된 전극으로부터 전위차를 측정하는 전기탐사, 인공 혹은 자연적으로 발생하는 일차 전자장에 의하여 유도되는 이차 전자장을 측정하는 전자탐사, 수십~수천 MHz 주파수의 전자파를 이용하는 지표레이다 탐사가 있다. 토양 및 지하수가 전체 환경에서 차지하는 비중에 비하여 상대적으로 미흡한 관심과 연구가 이루어져온 현 상황에서 지하환경의 보전을 위해서는 우선적으로 현상황에 대한 정확한 파악을 위해 충분한 현장 조사와 실측이 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 또한 이러한 기본 자료를 바탕으로 오염의 최소화 방안, 오염정화를 위한 대책 및 일련의 적절한 기술들을 개발할 수 있을 것이다.

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 ○○ 인근 주유소 지역 1곳을 대상으로 오염현황을 파악하였다.

2.2 본 주유소의 주변특성 및 시료채취지점의 선정

본 현장조사의 대상지역은 충청남도에 위치하고 있는 주유소를 대상지역으로 선정하였고, 주유소는 도로가 남북으로 향하고 있으며 관리실 후방인 서쪽에는 개천이 흐르며 개천의 바닥으로부터 높이 1.5M 위까지 뚝방이 설치되어 있다. 주유소의 지하저장탱크는 주유기 지점과 반대방향인 관리실 후방에 위치하고 개천으로부터 2M 거리에 위치하고 있다. 또한 주유소 후방인 남쪽방향과 도로 건너면 북쪽방향에는 논이 자리하고 있으며, 주유소 북쪽 방향으로 휴게소가 자리하고 있다. 주유소의 총 넓이는 대략 45.5M X 25.8M의 1,183.90M²이다. 주유기와 저장탱크는 관리사무실을 가운데로 하여 격리되어 있으며 거리는 21.6M로 긴 이송배관 시설이 지하로 설치되어 있었다. 유류의 저장탱크지역은 총 5개의 독립된 콘크리트 방으로 구성되어 있으며, 이들 지하저장탱크의 용량 및 내용물은 다음과 같다. 1) 휘발유 : 20,000 리터 (1식) 2) 경유 : 60,000 리터 (3식) 3) 등유 : 20,000 리터 (1식) 4) 지하탱크 총용량 : 100,000 리터. 토양시료 채취는 주유소 주변토양의 토양오염 분포현황 및 정도를 정밀하게 조사하기 위하여

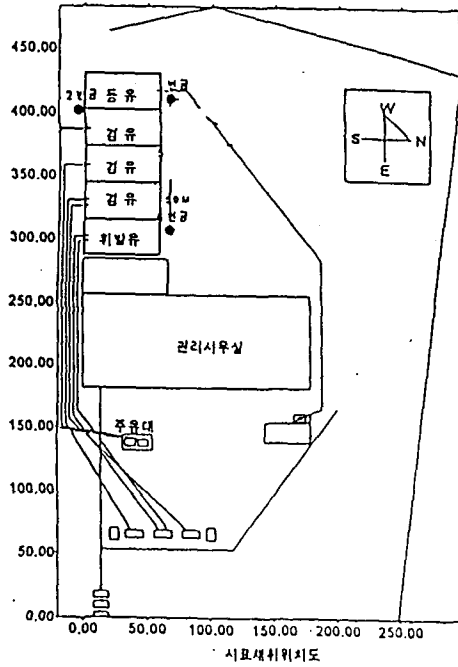


그림1. ○○ 주유소 개황조사 시료채취위치도

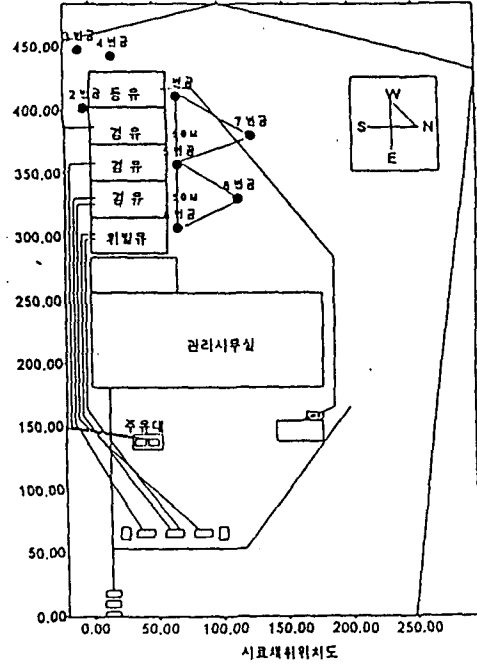


그림2. ○○ 주유소 정밀조사 시료채취위치도

조사대상지의 시설물의 배치 및 용도, 주변지형, 오염물질의 종류, 토양내 평균수분함량 분포 및 추정 오염지속기간 등의 요인을 고려하여 채취 지점을 선정하였다.

2.3 시료채취방법

본 토양조사를 위한 시료채취 장비로서는 미국 EPA에서 전문토양조사장비로 추천하는 GEOPROBE SYSTEM(미국, Kejr Engineering 사 제품)을 사용하였다. 본 Geoprobe System은 1.4톤 소형차량에 탑재된 장비로서 기동력이 우수하고, 칩투기 함마방식이 DPT(Direct Pushing Technology)인 되메우기 기법을 사용하는 장비이다. 본 장비는 시료채취 위치에서 서로 다른 지층의 토양이 교차혼입되지 않도록 시료를 채

취하도록 하며, 시료 채취기는 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 끌어 내어 즉시 Liner의 튜브캡으로 양쪽을 밀봉하여 BTEX의 자연회발을 최대한 방지하였다 시료 채취시에는 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 BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)의 자연회발을 최대한 방지하였다. 이때, 시료채취 공분, 채취깊이, 토양

구조를 확인한 후 4℃로 준비된 아이스 박스에 보관하였다. 저온상자에 준비된 시료는 분석을 위하여 의과학연구소 분석실로 이송하였다.

시료 채취방법은 임의격자법 및 임의선정법 형식을 취했으며(4) 대부분의 시료 채취 심도는 1.2~ 4.4m였다. 시료개수는 총 22개 및 지하수 1개가 채취되었다.

2.4 본 주유소의 현장조사방법

주유소 오염현황 조사는 임의격자법 및 임의선정법에 의거/혼합하여 조사하였고, 조사방법은 개황조사와 정밀조사로 나누어 수행하였으며, 개황조사 결과로부터 얻은 결과를 토대로하여 정밀조사를 수행하였다.

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. 개황조사에서 수행된 현장답사와 기존자료에서 수행한 조사방법에 근거하여 오염현황조사를 1997년 6월 18일부터 1997년 6월 22일까지 조사를 수행하였다. 개황조사시는 기상상태는 맑았으며, 시료채취 시간은 상오 7시부터 하오 5시까지 수행하였다. 우선 배관 및 UST 주위에서의 누출여부를 판단하기 위해서 그림1에서 보는 바와 같이 USTs의 동서남북방향에서 각각의 시료를 취하였다.

2) 정밀조사

정밀조사(1997년 6월24일 -.1997년 6월 28일)로 구분하여 수행되었고 기상상태는 양호하였다.

오염현황 정밀조사는 개황조사 결과에서 TPH농도가 높게 나타난 2-1을 인근지역 및 오염의 개연성이 높은 지역으로부터 시료를 채취하였다. 또한 오염이 진행되었을 경우를 예측, 오염확산 범위를 알아보기 위해 7개의 시료를 임의선정법에 의해 채취하였다

4. 결과 및 고찰

4.1 대상지역의 토질분석결과

시료채취 후 토질을 분석한 결과 저장탱크주변의 지층구조는 약 2.5M까지는 매립토 (잡석 & 모래)로 충진하였으며, 3.0M 까지는 부드러운 모래와 미사토(Silty Sand)의 자연적인 토양층을 나타내고 있었다. 또한 4.0M 가까이에는 풍화토(C층) 출현하였다. 저장탱크지역의 지하수위는 약 2.0M이며 남쪽에 흐르고 있는 개천의 수위와 거의 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 주유대 주변의 매립층의 토양색은 황색 및 자갈색을 띄고 있으며 압밀도가 낮은 연한(Soft) 층으로 구성되어 있었다. 4.0M 깊이의 토양은 지하수가 충분히 섞여있는 풍화토(C층)으로 압밀도가 높은 단단한(Hard) 층으로 구성되어 있었다. (그림3)

이러한 형상으로 볼 때 주유소의 지층구조는 인위적인 공사로 인하여 건물 및 탱크주변에 매립으로 인한 인위적인 구조이며 4.0M 이하의 토양구성은 원래 토층구조를 가지고 있음을 알 수 있었다. 또한 오염이 발생되었다면 지하수층 부근에서 오염이 존재하여 이동하고 있을 것으로 판단되었다.

4.2 토양오염 물질 분석 및 분포도

총 분석시료는 7개공에서 19개 시료를 채취하

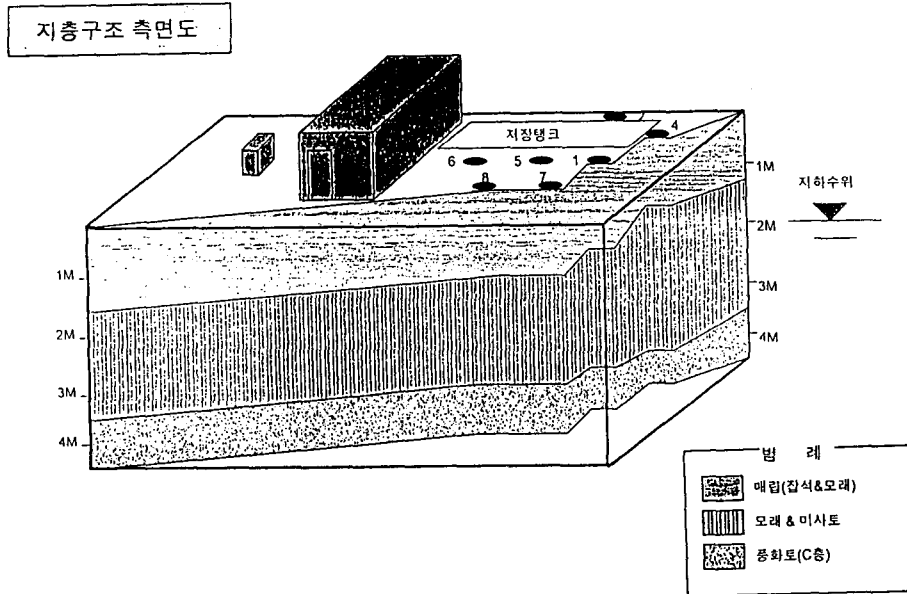


그림 3. ○○ 주유소 지층구조 측면도

표 1. ○○ 주유소 BTEX 분석 결과

(단위 : mg/kg)

구 분	벤젠	톨루엔	에틸벤젠	MP자일렌	O자일렌	합계
1-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
7-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8-2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
8-3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
지하수	0.014	0.067	0.039	0.0	0.272	0.392

표 2. ○○ 주유소 TBH 분석 결과

(단위 : mg/kg)

공변 구분	TPH	BTEX	비고
1-1			
1-2			
1-3	ND	ND	
2-1	1731.5	ND	경유
4-1			
4-2	ND	ND	
4-3			
5-1			
5-2	ND	ND	
5-3			
6-1			
6-2	ND	ND	
6-3			
7-1			
7-2	ND	ND	
7-3			
8-1			
8-2	ND	ND	
8-3			
지하수	ND	0.392	

표 3 〇〇 주유소 중금속 분석결과

시 험 결 과

단위 : mg/kg

자료명	시험항목						
	pH	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb
1-1	7.0	0.005	0.040	0.30	1.00	0.010	4.97
1-2	7.1	0.005	0.085	2.48	1.83	0.015	5.95
1-3	7.9	0.005	0.055	0.53	2.14	0.010	6.30
2-1	7.2	0.005	0.230	0.42	1.07	0.005	4.37
4-1	7.3	0.005	0.060	0.27	1.40	0.015	5.65
4-2	8.5	0.005	0.045	0.68	1.52	0.005	3.19
4-3	7.4	0.005	0.065	0.25	1.09	0.005	3.93
5-1	6.9	0.005	0.045	0.48	0.85	0.005	4.26
5-2	6.9	0.005	0.125	0.54	1.60	0.005	5.45
5-3	7.5	0.005	0.045	0.18	0.90	0.005	5.25
6-1	8.4	0.005	0.080	1.32	2.25	0.005	4.24
6-2	7.0	0.005	0.115	0.37	2.38	0.005	6.90
6-3	7.4	0.005	0.050	0.33	0.77	0.005	4.09
7-1	8.7	0.005	0.080	1.36	1.70	0.005	4.35
7-2	6.1	0.005	0.095	0.14	1.62	0.005	4.62
7-3	7.2	0.005	0.050	0.26	0.90	0.920	2.65
8-1	7.2	0.005	0.090	1.48	0.50	0.145	4.13
8-2	7.5	0.005	0.110	0.43	0.80	0.010	3.29
8-3	7.4	0.090	0.045	0.13	0.62	0.005	1.82

여 분석하였다. 시료분석결과 토양중의 BTEX는 전혀 나타나지 않았으며, 지하수에는 극히 미세한 0.392 PPM이 분석되었다. 중금속농도는 표 3에서 보는 바와 같이 주유소 및 주변지역 모두 비교적 낮은 분포를 나타내었는데 카드뮴, 구리, 비소, 수은, 납, 6가크롬 모두 토양환경보전법의 토양오염 우려기준값 이하인 것으로 평가되었다.

5. 결론

주유소의 정밀조사를 위한 시료채취 지점은 개황조사시 시료를 채취한 지점을 중심으로 오염농도가 높게 출현한 지점 2-1 및 지하수 흐름을 임의적자법으로 구획하여 설정하였다. 이때, 각 채취지점에서는 1 - 2M의 깊이별로 시료를 채취하였는데, 이것은 토질에 따라 오염원이 수직 수평적으로 거동한다는 것을 전제로 한 것이다. 시료분석 결과 오염원의 BTEX 농도는 전시료에서 전혀 검출되지 않았으며 단지, 2번 지점에서 고농도의 TPH 1,731 PPM가 확인되었다. 이 지점은 유류회사가 기름을 충전한 후 잔여유류슬러지를 수거하게 되어 있으나 유류슬러지를 주변에 투기 대기예의 노출로 BTEX가 휘발되었으며 잔류하는 유류가 빗물등에 의해 하부로 이동하였을 것으로 판단된다. 또한 오염원의 유출을 의심하게 한 휘발유 탱크지역은 지하수에서 미약한 BTEX 만이 검출되었다. 본 연구결과 지하수는 약 2.0M를 기준으로 존재하게 되는데 오염원이 유동하리라 판단된 이 지점은 전반적으로 깨끗한 것으로 분석되었다. 단, 소량의 오염이 발생되었다고 가정할 경우 오염이 지하수층을 기준으로 존재한다 빠른 지하수 흐름으로 인해 하류방향(개천쪽)으로 오염원이 이동되었을 가능성이 있으며 이때 잔류하는 오염은 희박하다고 판단할 수 있었다.

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)
2. 국립환경연구원, "오염토양복원기술 및 발전에 관한 용역" 2차 중간보고서(1997)
3. 국립환경연구원, "오염토양복원기술 및 발전에 관한 용역" 3차 중간보고서(1997)
4. 국립환경연구원, "오염토양복원기술 및 발전에 관한 용역" 최종보고서(1997)
5. Tchobanoglous G., and Vigil S.A Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues, McGraw-Hill Inc. (1993)
6. Wilson N., "Soil and Groundwater Sampling" Lewis Publishers (1995)
7. Mattney Cole, "Assessment and Remediation of Petroleum Contaminated Sites" Lewis Publishers (1994)
8. EPA, "Subsurface Characterization and Monitoring Techniques: Volume II(1993)
9. Sayles G et al. "Applied Biotechnology for Site Remediation" (1994)