한국환경분석학회지 제7권 (제3호) 135~141, 2004
J. of the Korean Society for Environmental Analysis

주유소 주변 토양의 BTEX 오염 분석에 관한 연구

김미경† · 정란경 · 신정남 · 백형환
경희대학교 지구환경연구소

A Study on the BTEX Contamination in Soil Around Gas Station

Mi-kyoung Kim†, Rankyoung Jung, Joung-Nam Shin, Hyung-Hwan Baik
Institute Global Environment, Kyunghee University,
Hoigi-dong 1, Dongdarmun-gu, Seoul, 130-701, Korea

The BTEX contamination of soil around gas station was investigated in 285 gas stations for 12 months January to December 2002 by an inspection method for soil contamination level. Each gas station was divided into oil tank site, line site and others. The concentration of BTEX in 83 sites of 55 gas stations was N.D.~206.16 mg/kg. The mean value of BTEX in total site was 0.62±7.40 mg/kg and rage of concentration was N.D.~206.16 mg/kg. At tank site, mean value was 1.27±12.53 mg/kg and rage of concentration was N.D.~206.16.

Key words: BTEX, gas station, soil

1. 서 론

토양은 수질이나 대기에 비하여 유동성이 거의 없기 때문에 오염물질의 이동 및 전달이 느려 축적성 오염 현상이 나타나며, 피해가 발생하기까지 오랜 시간이 소요되는 특징을 갖고 있다.[1,2] 오염된 토양은 자정작용이 어렵기 때문에 지표수 및 지하수 오염 등 2차 오염을 유발시키고, 이러한 2차 오염은 유동에 의하여 확산된다[3~6]. 토양오염의 주된 원인으로는 유해한 화학물질의 대량 생산과 생활 폐기물, 사업장 폐기물, 건설 폐기물 등 폐기물의 기하학적 증가를 들 수 있는데, 그중 가장 심각한 문제를 일으키는 것은 유류에 의한 오염이다.[7]

우리나라는 소득 수준의 향상에 따른 자동차 대수의 폭발적인 증가로 유류소비량이 급격히 증가하였다. 1991년 주유소의 거리제한 축소, 1995년 석유판매업의 등록제 시행 이후, 주유소 및 유류 저장 시설이 크게 증가하여 현재 1만여 주유소를 포함하여 총 1만 8천여 곳의 유류저장시설이 운영되고 있다. 이러한 유류 사용량의 증가와 저장시설의 증가에 따른 누출 및 유출사고, 주유소 유류저장탱크의 노후화 등에 의한 누유 등은 토양을 오염시키는 중요한 요인이다. 특히 각 주유소에서 보유하고 있는 지하유류저장탱크 중 매설된 기간이 오래되어 누유가 일어나는 시설도 상당하리라 생각되나 이들 시설의 누유여부에 대한 조사는 아직 초기단계에 머물고 있는 실정이다.[8~10]

지하유류저장탱크의 누유 발생은 감지가 어려울 뿐만 아니라, 일단 발생된 누유는 토양을 오염시키고 다시 지하수를 오염 시켜, 인근 지하수에서 유류성분이 검출되기도 한다. 오염된 토양 및 지하수에서 유류성분의 제거에는 많은 비용이 소요되기 때문에 오염된 토양 및 지하수의 사용을 포기하는 경우 대부분이다.[5]

유류 누출 시 특히 문제가 되고 있는 물질은 BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, xylene)로 불리는 방향족 탄화수소들이다. 이 물질들은 원유생산물의 대부분을 차지하고 있으며 다른 가벼운 탄화수소류에 비하여 상대적으로 휘발성이 작고 수용성이 크기 때문에 자연적인 정화가 매우 힘들다. BTEX 화합물은 오염된 곡물 섭취 및 토양으로부터 나온 증기의 흡입, 오염된 식수의 음용과 피부 노출 등에 의하여 인체에 위해를 일으킬 수 있다.[11~15]

†To whom correspondence should be addressed.

1996년 토양환경보전법이 제정되어, 토양오염도 검사법에 BTEX를 유류에 의한 토양오염 분석 항목으로 규정하여 2002년도부터 휘발유 등의 유류저장 시설이 있을 시에 BTEX 분석을 실시하도록 되어 있다.[16] BTEX의 경우 토양오염확인 기준 32 mg/kg 이하, 토양오염우려기준 80~200 mg/kg 및 토양오염대책기준 200 mg/kg 이상으로 규정하고 있다.

본 논문에서는 전국 285개 주유소에서 보유하고 있는 지하유류저장탱크에서의 누유현황과 누유에 의한 토양오염도를 조사하기 위하여 탱크, 배관 및 주변지역으로 구분하여 토양오염도검사법에 의해 시료를 채취한 후 BTEX를 분석하고, 이들 화합물에 대한 오염도를 살펴보았다.

2. 실험방법

2.1. 시료채취

본 연구소에 2002년 1월부터 12월 사이에 걸쳐 토양오염도 정기검사 의뢰가 들어온 주유소 중 유류 저장지설 용량이 50만 리터 이하의 저장시설이 설치되어 있는 주유소를 대상으로 하였다. 이들 주유소는 서울지역의 주유소 31개소, 경기지역 49개소, 가원지역 96개소, 충청 45개소, 경상도 21개소 및 기타 지역 13개소 등 총 285개이다. 토양오염도검사법에 따라 각 주유소 별 탱크 지점, 배관지점 및 주변지역으로 구분하여 285개 주유소 855개 지점에서 토양을 채취하여 BTEX의 농도를 측정하였다.

시료채취는 토양참사 저용장비인 Geoprobe soil probing system을 사용하여 Fig. 1(a)과 같이 저장시설을 중심으로 각각 서로 반대방향에 있는 배관부위와 저장시설부위(저장탱크 또는 탱크조실)에서 누출 개연성이 높은 곳 각각 1개 지점씩 2개 지점을 선정하였다. 또한 Fig. 1(b)와 (c)에 나타낸 바와 같이 배관부위에서 채취하는 1개 지점은 저장 시설로부터 가장 멀리 떨어진 배관에서 수평방향으로 1 m 이상 떨어진 지점에서 이격거리(A)보다 1.5배 더 깊은 위치까지로 하여 채취하였다. 주변지역의 경우 토양오염유발시설부지의 경계선으로부터 100 m이내의 지역 중 당해 시설이 아닌 다른 오염원으로부터 오염되었을 개연성이 없다고 판단되는 1개 지점에서 부지내의 시료채취지점 중 깊이가 가장 깊은 곳을 기준으로 하고, 그 깊이를 표토에서 해당 깊이까지로 하여 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 미리 무게를 칭량한 메탄올 10 mL가 담겨있는 시료병에 넣고 밀봉하여 전처리 전까지 냉암소에 보관하였다.

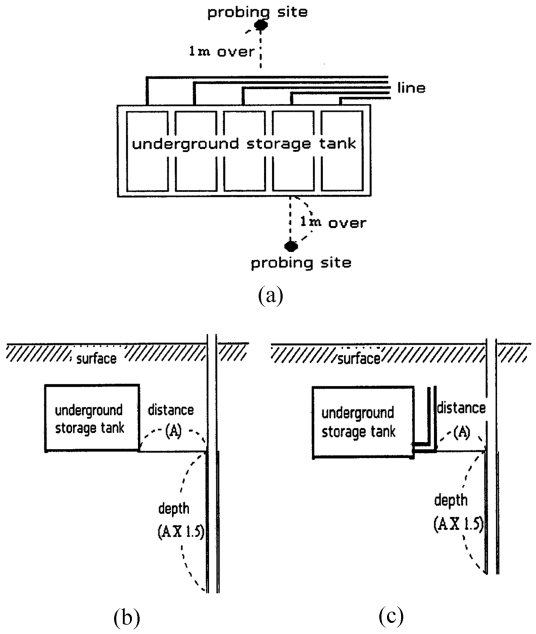

Fig. 1. Soil sample probing site & depth of underground storage tank. (a) Soil sample probing site, (b) Underground storage tank site, (c) Line site.

2.2. 시약 및 장치

본 연구에서는 Tekmar 3000 Purge & Trap을 Varian GC STAR 3400CX에 연결하여 사용하였으며, 검출기는 FID를 사용하였다. 칼럼은 J & W 사제 DB-624 (60 m × 0.32 mm × 1.80 μm)를 사용하였다. 모든 용기는 사용 전에 수돗물, 질산혼합용액(질산/증류수=50/50), 증류수로 세척하고, 오븐에서 가열 건조시킨 후 실온에서 방냉하여 사용하였다.

표준 용액은 Supelco (Bellefonte, PA, USA)사의 benzene, toluene, ethylbenzene, xylene의 농도가 각각 2000 μg/mL로 혼합되어 있는 저장용액을 메탄올을 사용하여 20 μg/mL로 희석하여 사용하였다. 내부표준물질로는 Supelco 사의 fluorobenzene(10000 μg/mL)을 사용하였다. 메탄올은 J.T.Baker (Phillipsburg, NJ, U.S.A.)사의 HPLC Grade, 무수황산나트륨은 Yakuri Pure Chemical사의 일반시약을 사용하였다. Carrier gas는 질소기체(순도 99.999%)를 사용하였다.

BTEX의 최적 분석조건은 Table 1과 같다.

2.3. 실험 방법

메탄올이 들어있는 시료용기 전체 무게를 실험실 도착 즉시 정확히 측정하여 시료용기 전체 무게로부터 미리 칭량된 메탄올이 담긴 바이알의 무게를 뺀 값으로

Table 1. Optimum condition of GC and Purge & trap for BTEX

Description	Condition
Purge & trap	
Trap	Carbopack (Vocarb 4000)
sample volumn	2 mL(5 mL sparger)
Purge Flow	mL/min
Purge time	11 min.
Purge temp.	35°C
Desorb time	4 min.
Desorb Preheat	250°C
Bake	10 min at 260°C
GC	
column	DB-624 (60 m×0.32 mm×1.80 μm)
oven temp.	40°C (4 min) 10°C/min to 200°C(1 min)
Injector temp.	200℃
Detector	FID
Detector temp.	250°C
Carrier gas	N_2 gas (99.999%)

수분이 함유된 토양의 무게를 구하였다. 시료용기에 내부표준물질 150 μg을 넣고 수분 제거를 위하여 무수황산나트륨을 토양시료의 양만큼 넣은 후 2분간 세게 흔들어 섞은 후 정치시켰다. 원심분리가 필요 없는 경우 약 2 mL의 상층액을 취하여 적정 용기에 넣고 분석 전까지 냉암소에 보관하였다. 상층액이 혼탁하거나 이물질이 혼입되어 원심분리가 필요한 경우에는 메탄올에 담긴 토양시료를 2분간 세게 흔들어 섞고 상대원심력(relative centrifugal force)이 150 이상인 조건에서 3분 이상 원심분리한 후 약 2 mL의 상층액을 취하여 적정 용기에 넣고 분석 전까지 냉암소에 보관하였다.

표준 검정 곡선은 0.5~10 mg/L 범위에서 7 point를 선택하여 내부표준물질을 주입한 후 농도 단계별로 검정곡선을 작성하였다. 검정곡선의 상관계수는 0.999이상으로 좋은 직선성을 나타내었으며, 상대표준편차는 3% 이내로 좋은 재현성을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

토양오염환경보전법에서 토양오염유발시설로 지정하여 토양오염도 검사 등 오염원의 관리를 행하고 있는 2만 리터 용량 이상의 석유류 제조, 저장 시설 및 3 m^3이상 토양오염물질로 규정된 액상 유독물 저장 시설은 2001년 현재 각각 21,138개소 및 188개소에 달한다. 특히 이들 저장 시설은 대부분 지하에 설치되어 있으며, 이들 시설에 대한 방지시설의 유무에 대해서는 자료의 부족 등으로 알 수 없으나 주유소의 경우 이중벽의 설치나 방조벽의 설치 등은 80년도 후반 수방법의 개정 이후에 규정된 사항들로 법개정 이전에 설치된 상당수의 시설들은 대부분 오염방지시설이 없을 것으로 판단된다.

한편 유류저장시설로부터 유류의 누출은 국내외의 자료[7,17]로 볼 때 10~29%에 이르는 것으로 추정되고 있으며, 석유류의 제조 및 저장 시설은 차량의 증가 및 석유수요의 증가로 인하여 지속적으로 증가될 것으로 예상된다. 탱크의 부식 등에 의한 내구연한이 10년에서 20년 사이로 감안할 때 지하저장시설에서 유류의 누출에 의한 토양오염은 막대할 것으로 추정된다. 유류에 의하여 오염이 심하게 된 주유소라 하더라도 외관상으로는 청정한 지역으로 보이기 때문에 오염여부를 쉽게 판단할 수는 없다. 우리나라의 경우 토양시료를 채취하여 오염물질 함유정도를 검사하는 토양오염도 검사를 실시하여 토양오염우려기준인 BTEX 80 mg/kg을 초과할 경우 지하 저장 탱크에서의 저장물질이 누출되었는지 여부와 누출량을 확인하기 위하여 토양오염 정밀조사를 실시하도록 규정하고 있다.[16]

본 연구에서는 2002년 1월부터 2002년 12월까지 전국의 285개 주유소의 탱크, 배관, 주변 지역으로 나누어 총 855개 지점에서 채취한 토양시료를 대상으로 BTEX의 함량 분석을 실시하였으며 그중 오염수준이 높은 14개 주유소를 대상으로 토양오염 정밀조사를 실시하였다.

3.1. 농도분포

토양 중 BTEX의 농도측정 결과를 Fig. 2 및 Table 2에 나타내었다. 먼저 농도별로 살펴보면 285개 주유소

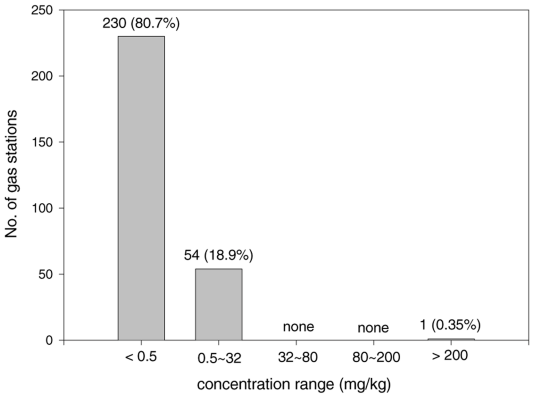

Fig. 2. The configuration for BTEX in soil of gas station.

Table 2. Contamination level of BTEX (Unit: mg/kg)

Site	No. of site	Mean±S.D.	Min.	Max.
Tank site	285	1.27±12.53	N.D.	206.16
Line site	285	0.35± 1.98	N.D.	23.93
Others	285	0.24± 1.77	N.D.	26.88
Totals	855	0.62± 7.40	N.D.	206.16

중 정량한계인 0.5 mg/kg 이상 검출된 주유소는 55개 주유소 83개 지점(19.3%)으로 나타났다. 탱크 지점은 285개 지점 중 35개 지점(12%), 배관지점은 25개 지점(9%), 주변지역은 23개 지점(23%)이 검출되었다. 전체 855개 지점 중 83개 지점에서 검출되어 약 10%에 해당하는 지점이 검출된 것으로 나타났다. BTEX가 검출된 주유소 중 토양오염확인기준인 32 mg/kg 이하로 검출된 주유소는 54개 주유소의 탱크 34개 지점, 배관 25개 지점, 주변지역 23개 지점으로 나타났다. 토양오염 우려기준 80 mg/kg에서 토양오염대책기준 200 mg/kg의 농도로 검출된 주유소는 없었고, 토양오염대책기준 200 mg/kg 이상 검출된 주유소는 0.35%에 해당하는 1개 주유소의 탱크 지점으로 나타났다.

Table 2에서 보는 바와 같이 BTEX에 대한 855개 지점의 농도 범위는 불검출~206.16 mg/kg 이었고, 평균 농도는 0.62±7.40 mg/kg로 나타났다. 탱크 지점은 불검출~206.16 mg/kg의 농도범위를 나타냈으며 평균농도는 1.27±12.53 mg/kg이었다. 배관지점은 불검출~23.93 mg/kg의 농도범위, 평균농도 0.35±1.98 mg/kg을 나타내었다. 주변지역에서는 불검출~26.68 mg/kg 의 농도범위, 평균 농도 0.24±1.77 mg/kg로 각 지점별로 보면 탱크지점, 배관 지점, 주변 지역의 순으로 농도가 높게 나타났다.

본 연구의 BYEX 분석 결과와 환경부의 2001년 토양오염도 분석 자료 및 박현미 등의 토양오염도 검사 결과를 비교하여 Table 3에 수록하였다. 박 현미 등은 1999년부터 2000년까지 전국의 483개 주유소를 대상으로 토양오염도 검사 결과 49개 주유소의 70개 지점에서 0.1 mg/kg 이상의 BTEX 성분이 검출되었다고 보고하였다. 검출된 주유소 중에서 BTEX 농도가 0.5 mg/kg 이하로 검출된 주유소는 23개 주유소 37개 지점으로 가장 많았으며, BTEX 농도가 오염확인 기준인 0.5 mg/kg 이상 32 mg/kg 이하로 검출된 주유소는 25개 주유소 30개 지점이었다. 또한 토양오염우려기준 농도 80 mg/kg과 토양오염대책기준 농도 200 mg/kg 사이의 농도로 검출된 주유소는 없었으며 1개 주유소 탱크의 중앙, 우측 및 좌측의 3개 지점에서 채취한 토양에서 토양오염대책기준 농도 200 mg/kg을 초과하였다. 현재의 BTEX 정량 한계인 0.5 mg/kg 이상 검출된 주유소는 26개 주유소의 33개 지점으로 토양 오염확인 기준인 32 mg/kg 이하로 검출된 주유소는 약 5.2%에 해당하는 25개 주유소로 나타났으며 0.2%에 해당하는 1개 주유소에서 토양오염대책기준 이상 검출되었다.

환경부의 2001년 토양오염도 분석 자료에서는 총 6,637개의 주유소 중 85.9%에 해당하는 5,702개 주유소에서 BTEX 함량 분석 결과 1 mg/kg 이하로 검출되었으며 12.9%에 해당하는 856개 주유소에서 토양오염확인기준인 32 mg/kg 이하로 검출되었다. 또한 0.22%에 해당하는 15개 주유소에서 토양오염확인 기준 32 mg/kg에서 토양오염우려기준 80 mg/kg 사이의 농도로 검출되었으며, 0.96%에 해당하는 64개 주유소에서 토양오염우려기준 80 mg/kg 이상 검출되었다.

본 연구에서 1 mg/kg 이하로 검출된 주유소의 비율과 토양오염확인기준이하의 농도로 검출된 주유소의 비

Table 3. Comparison of contaminated gas stations with BTEX as a function of contamination level (Unit: mg/kg)

	<0.5[a] <1.0[b]	0.5~32a 1.0~32b	32~80	>80	Total
Park et al	457 (94.6%)	25 (5.2%)	none	1 (0.20%)	485
Ministry of environment	5,702 (85.9%)	856 (12.9%)	15 (0.22%)	64 (0.96%)	6,637
In this study	251 (88.1%)	33 (11.6%)	none	1 (0.35%)	285

a: 한국환경분석학회지(박현미 등, 2000)
b: 환경부(2001), 본 연구

율을 비교해보면 본 연구소에서는 각각 88.1%, 11.6%로 나타났으며, 환경부 자료에서는 85.9%, 12.9%로 나타났다. 토양오염확인기준에서 토양오염우려기준의 농도로 검출된 주유소의 경우 본 연구에서는 나타나지 않았으나 환경부 자료에서는 0.22%로 나타났으며, 토양우려기준 이상의 농도로 검출된 주유소의 비율은 본 연구에서는 0.35%로 나타났으나 환경부 자료에서는 0.96%로 나타났다. 본 연구의 BTEX 분석 결과와 환경부 자료와의 BTEX 결과 비교시 토양오염확인 기준 이하의 농도에서는 검출 비율이 거의 비슷하게 나타났지만 토양오염우려기준 이상의 농도로 나타난 주유소의 비율이 환경부 자료에서 본 연구의 결과보다 약 0.6% 정도 높게 나타난 것을 확인할 수 있었는데 이는 본 연구의 제한점이기도 한 분석대상 주유소의 수가 많지 않기 때문으로 판단되며 조사대상 시료 수의 증가를 통하여 이를 보완하는 것이 필요하다고 판단된다.

3.2. 지역별 BTEX 검출비교

국내 주유소의 지역별 BTEX 검출 비율을 살펴보기 위하여 서울 31개 주유소, 경기 79개 주유소, 강원도 96개 주유소, 충청도 45개 주유소, 경상도 21개 주유소, 기타 13개소로 지역을 분류하여 BTEX 검출 비율을 살펴보았다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 BTEX 농도가 정량한계인 0.5 mg/kg 이상 검출된 지역의 검출 비율은 8~32%로, 서울은 31개 주유소 중 10개소에서 검출(32%)되었으며, 경기지역은 79개 주유소 중 17개소에서(22%), 강원도는 96개 주유소 중 8개소(8%), 충청도는 45개 주유소중 12개소(27%), 경상도는 21개 주유소중 5개소(24%), 기타 지역 13개 주유소 중 3개소(23%)의 검출 비율을 나타내었다. 강원도지역에서 8%의 검출비율을 나타내어 BTEX 검출 비율이 가장 낮은 지역으로 나타났으며, 서울 지역이 32%로 BTEX 검출 비율이 가장 높은 지역으로 나타났다.

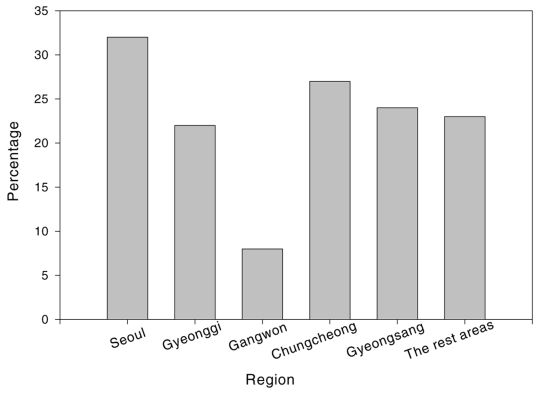

Fig. 3. The ration of BTEX contaminated gas station over the detected level.

3.3. 유류 저장탱크 설치 경과 연도별 검출 비율

주유소 유류 저장 탱크의 설치 경과 연도에 따른 검출 비율을 살펴보기 위하여 유류 저장 탱크 설치 경과 20년 전인 1965년부터 1980년 사이에 설치된 유류저장탱크로부터 5년 단위로 그룹을 지어 탱크설치 경과별 BTEX 검출 비율을 조사한 결과를 Table 4에 나타내었다.

유류 저장 탱크 설치 경과 연도에 따른 BTEX 함량 0.5 mg/kg이상 검출된 주유소의 검출 비율은 18~25%로 나타났다. 1965년부터 1980년 사이에 유류 저장 탱크를 설치한 주유소에서 검출비율이 25%로 가장 높게 나타났으며 1991년부터 2002년 사이에 유류저장탱크를 설치한 주유소에서 검출 비율이 모두 18%로 나타났다.

또한 Fig 4에서 유류 저장 탱크 설치 경과 연도에 따른 농도 분포를 살펴보면 1996년~2000년에 유류 저장 탱크를 설치한 1개 주유소 탱크 지점에서 토양오염대책기준 이상의 농도로 검출되었으며 이 이외의 유류저장탱크를 설치한 주유소에서의 BTEX 농도는 토양오염확인기준 이하의 농도로 검출됨을 알 수 있었다.

즉, 유류 저장 탱크 설치 연도가 오래된 탱크일수록 BTEX의 검출 비율이 조금씩 높게 검출되었으나 주유소 유류 저장 탱크 설치 경과별 시료의 수가 많지 않았으며 검출 비율의 차이가 모두 근소한 차이인 것을 볼 수 있었다. 이는 박현미 등이 주유소 유류 저장 탱

Table 4. The ratio of BTEX on the contaminated gas stations according to the installation year of underground storage tank

Installation year of UST[a]	No. of gas stations	No. of contaminated gas stations[b]	Ratio (%)
1965~1980	24	6	25
1981~1985	30	7	23
1986~1990	30	8	21
1991~1995	108	19	18
1996~2000	67	12	18
2001~2002	17	3	18

a: underground storage tank
b: over the detected level

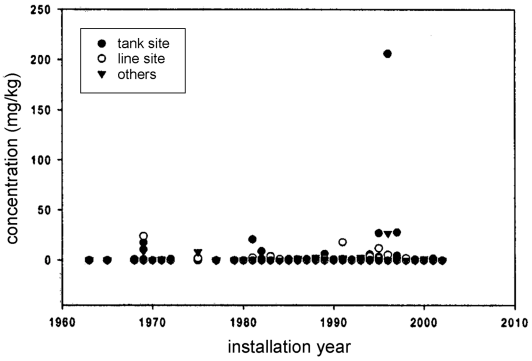

Fig. 4. Distribution of BTEX of tank, line and other sites at gas stations according to installation year of underground storage tank.

크의 설치 년도에 따른 BTEX 검출 비율을 비교한 결과에서도 1981년부터 1985년 사이에 설치한 유류 저장 탱크에서 16.7%로 가장 많이 관측되어졌고 나머지 연도에는 약 10% 정도의 주유소가 검출된 것으로 나타나 주유소 유류 저장 탱크 설치 경과 연도와 검출비율 간에 큰 연관성이 없는 것으로 나타났다. 위의 결과 모두 오래된 유류 저장 탱크일수록 오염이 많을 것이라는 예상과는 다르게 주유소 유류 저장 탱크 설치 연도와 검출비율과는 큰 연관이 없거나 연관성이 있더라도 근소한 차이였음을 알 수 있었다. 이러한 결과가 나타난 이유는 토양오염도 검사 시 시료 채취 지점수의 부족으로 인하여 주유소에서 발생한 유류 오염을 확인하지 못하였기 때문으로 판단되어진다.

3.4. 토양오염정밀조사 결과

토양오염도 검사 결과 오염수준이 높은 14개 주유소를 대상으로 토양오염정밀조사를 실시한 결과를 Table 5에 수록하였다. 각 주유소의 평균 농도는 6.26±21.26~231.22±311.38 mg/kg으로 나타났으며, 각 주유소의 표준편차는 21.26~311.38 mg/kg으로 나타났다. 각 주유소의 최소값과 최대값의 차이는 D에서 불검출~92.10 mg/kg으로 가장 작게 나타났으며, E에서 876.80 mg/kg으로 가장 크게 나타났다. 시료 채취공별 깊이에

Table 5. BTEX contamination at gas stations by soil depth (Unit: mg/kg)

soil depth	gas station	A	B	C	D	E	F
a (0.3~3.5m)	No. of site	37	12	15	15	8	28
	Mean	6.81	28.76	9.08	0.49	364.49	40.36
	S.D.	23.48	53.75	13.97	0.61	354.60	56.19
	Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	3.10	0.00
	Max.	111.90	173.30	31.70	1.70	809.20	191.80
b (1.0~4.5m)	No. of site	12	12	5	14	10	-
	Mean	10.02	22.45	157.24	0.96	132.10	-
	S.D.	23.35	51.76	350.37	1.52	267.46	-
	Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	-
	Max.	67.50	178.10	784.00	4.50	876.80	-
c (2.0~5.5m)	No. of site	7	-	4	2	2	-
	Mean	0.41	-	8.85	44.65	193.70	-
	S.D.	0.75	-	14.95	63.14	273.93	-
	Min.	0.00	-	0.00	0.00	0.00	-
	Max.	1.90	-	31.20	89.30	387.40	-
d (2.5~7m)	No. of site	4	-	3	3	-	-
	Mean	0.15	-	0.50	73.93	-	-
	S.D.	0.30	-	0.87	28.16	-	-
	Min.	0.00	-	0.00	41.50	-	-
	Max.	0.60	-	1.50	92.10	-	-
Total	No. of site	60	24	17	34	20	28
	Mean	6.26	25.60	51.09	9.76	232.22	40.36
	S.D.	21.16	51.71	189.15	26.27	31.38	56.19
	Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Max.	111.90	178.10	784.00	92.10	876.80	191.80

따른 BTEX 분석 결과를 보면 동일한 시료채취공이라도 시료채취 깊이에 따라 평균, 표준편차, 최소값 및 최대값의 차이가 크게 나는 것을 알 수 있었으며, 오염형태는 국소적 오염형태로 나타남을 확인할 수 있었다.

유류저장 시설로부터 유류의 누출은 국내외의 자료로 볼 때 10~29%에 이르는 것으로 추정되나 토양오염도 분석 결과 주유소의 유류 누출이 의심되어 정밀조사를 실시해야 하는 주유소가 0.35% 정도에 불과하였다. 이는 토양오염도 검사 시 시료 채취 지점의 부족으로 인하여 유류의 누출을 확인하지 못한 주유소가 상당수로 판단된다. 따라서 토양오염도검사 시 시료 채취 지점수의 증가가 반드시 필요하다고 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 2002년 1월부터 12월에 걸쳐 전국의 285개 주유소에서 토양오염공정시험법에 의하여 채취한 토양시료 및 오염 수준이 높은 14개 주유소를 대상으로 BTEX 함량 분석을 실시하여 주유소 주변 토양의 유류 토양오염도를 조사하였다.

BTEX 분석 결과 55개 주유소 83개 지점에서 0.5 mg/kg 이상 검출되었으며, 토양오염대책기준인 200 mg/kg 이상 검출된 1개 주유소 탱크 지점을 제외하고 54개 주유소 탱크 34개 지점, 배관 25개 지점, 주변지역 23개 지점 시료 모두 토양오염확인기준인 32 mg/kg 이하로 검출되었다. 또한 BTEX 전체지점의 평균 농도는 0.62±7.40 mg/kg으로 나타났으며, 농도 범위는 불검출에서 206.16 mg/kg으로 나타났다. 탱크 지점은 평균 1.27±12.53 mg/kg이었고, 농도 범위는 불검출에서 206.16 mg/kg 이었다. 배관 지점은 평균 0.35±1.98 mg/kg, 농도범위는 불검출에서 23.93 mg/kg 이었다. 주변지역은 평균 0.4±1.77 mg/kg, 농도범위는 불검출에서 26.88 mg/kg로 나타나 각 지점별 탱크 지점, 배관 지점, 주변지역의 순으로 농도가 높게 나타났다. 또한 유류에 의하여 토양이 오염된 주유소라 하더라도 시료채취 지점과 깊이에 따라서 각 주유소의 유류 오염정도의 분포가 매우 크게 나타났다.

토양오염도 검사 결과 토양오염우려기준 이상 검출된 주유소는 휘발유 등 경질유 오염판단을 위한 BTEX 분석 결과 0.35%로 나타났는데 이는 유류저장 시설로부터 유류의 누출에 대한 국내외 자료에 근거한 10~29%에 훨씬 못 미치고 있다. 이러한 결과는 토양오염도 검사 시 유류저장 시설 용량이 50만 리터 이하의 주유소의 경우 시료채취 지점의 수를 탱크에서 1개 지점과 배관에서 1개 지점, 주변지역에서 1개 지점을 채취하여 주유소의 토양오염여부를 판단하도록 규정되어 있어 주유소의 토양오염여부를 확인하기 어렵기 때문이고 따라서 시료 채취 지점수의 증가가 반드시 필요하다고 사료된다.

5. 참고문헌

1. 이민효, "*토양오염관리를 위한 발전방향*", **1999**, 49~58, 토양 및 지하수 오염에 관한 국 제 심포지움.
2. 이민효, "*21세기 토양환경의 문제 및 발전 방안*", **2000**, 15-42.
3. 최상일, *지구환경연구소 논문집*, **1997**, 8, 47-60.
4. 서은영, 송홍규, *Kor. J. Enviro. Biol.*, **1994**, 12(1), 35-42.
5. 신정엽, 이수구, 장윤영, 최대기, 황경엽, *대한환경공학회지*, **1997**, 383-387.
6. 구자경, 권혁, *한국물환경학회지*, **1989**, 70-77.
7. 김무훈, 강순기, 곽무영, *한국토양환경학회지*, **1998**, 3 (1), 21-30.
8. 최관영, 유동한, 양지원, *대한환경공학회지*, **1999**, 21 (9), 1761-1771.
9. 이의상, 상명대학교 *산업과학연구소논문집*, **2000**, 9, 1-8.
10. 박현미, 김지현, 김영만, 이강봉, *환경분석학회지*, **2000**, 3(4), 223-227.
11. 장순웅, 라현주, 이시진, *대한환경공학회지*, **2001**, 23, 329-335.
12. 정규철, *대한산업보건협회지*, **1986**, 22-27.
13. H. B. Richard, *J. Environ.*, **1999**, 1, 115-116.
14. L. W. Masten, R. L. Boeri and J. D. Walker, *Ecotoxicology and environmental Safety*, **1994**, 335-348.
15. M. G. Lisa, and M. S. Joseph, *Envio, Sci. Technol.*, **2002**, 36, 3755-3762.
16. 환경부, 토양환경보전법, 2002.
17. 김종석, 권은미, 정욱진, *대한공학회지*, 2002, 243-244.