

## 서울의 토양측정망중 BTEX 농도 조사에 관한 연구

김 광 래 · 이 재 영\* · 박 찬 구 · 엄 석 원

서울시보건환경연구원 · \*서울시립대학교 환경공학부

### A Study on BTEX Concentration of Soil's Network in Seoul

Kwang-Rae Kim, Jai-Young Lee\*, Chan-Koo Park, Seog-Won Eom

*Seoul Metropolitan Government Institute of Health and Environment*

*\*Department of Environmental Engineering, The University of Seoul*

## ABSTRACT

The soil samples were measured at 90 sites of Soil's Network in 1997~1998 which was established for the investigation of soil contamination in Seoul. This study was more focused to measure and analyze for BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylene) concentration in the Soil Network. Also, the samples were analyzed by Purge & Trap method. As a result, the BTEX were detected at all sampling sites in Seoul. The Min, Max and Mean BTEX concentration were respectively 0.047mg/kg, 2.618mg/kg and 0.437mg/kg in 1998. The concentration of the BTEX detected at all sampling sites was lower than that of the intervention standards(at industrial areas) of Soil Preservation Act.

**Key word** : BTEX, soil, Soil's Network pollution, GC/FID, Purge & Trap, Soil Preservation Act

## 요 약 문

본 연구는 1997년부터 1998년까지 서울시 관할구역 안의 토양오염 실태를 파악하기 위하여 설치한 측정망 90개 지점에서 토양 시료를 채취하여 분석하였다. 이 연구는 토양측정망 내의 BTEX농도를 Purge & Trap방법으로 측정, 분석하였다. 결과로서는 서울시내의 90개 지점 모두 BTEX가 검출되었다. BTEX의 1998년 최소, 최대 평균농도는 각각 0.047mg/kg, 2.618mg/kg, 0.437mg/kg 이었으며 90개 지점모두 토양환경보전법의 토양오염 우려기준(공장·산업지역)보다 낮은 농도를 나타내었다.

**주제어** : 토양오염, 토양시료, 토양측정망, BTEX, Purge & Trap, 환경보전법, 토양오염 우려 기준

### 1. 서 론

인간을 중심으로 미생물에 이르기까지 모든 생물은 생물의 생존을 허용하는 자연환경 즉 생활권을 떠나서 그 존재는 있을 수 없다. 육지는 물론 바다나 하천, 호소를 무시하여 그 존재를 생각할 수 없기 때문이다. 그중 하나의 생활권인 토양은 공기·물과 더불어 인간을 포함한 동·식물 및 토양 생명체의 생존기반이라는 절대적인 기능을 갖고 있으며, 각종 오염물질과 폐기물을 최종 분해하여 생태계가 유지되게 하는 최후의 보루로서의 역할을 담당하고 있다.

우리 나라에서는 이제까지 주로 대기오염, 수질오염에 대하여 대처하여 왔고, 최근에 토양오염의 문제성을 뒤늦게 인식하여 많은 관심을 기울이고 있다. 이는 토양이 각종 오염물질의 유출이나 투기, 매립에 의해 직접 오염될 수도 있으나, 대개는 오염된 대기나 수질에 의해 간접적으로도 오염되기 때문이다<sup>1)</sup>.

토양오염은 인간에게 직접적인 피해를 끼치지 않지만, 토양생물의 증식에 직접적인 영향을 주거나 농작물등 식물의 생육을 저해시키고, 오염된 농작물을 섭취하는 인간에게 커다란 피해를 끼치는

간접 오염이라는 점과 한번 오염된 토양은 자연적인 제거가 어려우며 계속적으로 오염이 가중되어<sup>2), 3)</sup> 환경에 대한 그 영향은 느리게 나타나는 특성으로 그간 소홀히 다루어져 왔던 매립지로부터의 각종 오염물질의 방출, 폐광산에서 광산배수의 유출, 유류저장 탱크로부터 유류 물질의 누출 등으로 인한 토양 및 지하수 오염의 심각성이 최근 대두되면서 이러한 오염문제를 해결하기 위한 오염도 평가 및 복원기술에 많은 관심을 가지게 되었다.

토양오염으로 인한 국민건강 및 환경상의 위해를 예방하고 토양을 적정하게 관리·보전하기 위해 토양환경보전법이 1996년 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<sup>4)</sup>.

최근 산업의 발달, 도시화, 소비의 증가로 산업체에서 배출되는 유해 물질의 양이 대폭 증가하였을 뿐만 아니라, 새로운 유해물질도 증가함으로써 토양오염은 심화되어 가고 있다<sup>5), 6)</sup>. 특히 자동차 수요의 증가에 따른 휘발유 및 디젤유 등으로 인한

토양오염 증가는 필연적이라 하겠다. 그리고 앞으로 계속적인 인구의 증가와 도시화의 진전, 산업 발전 등으로 유류에 의한 환경오염도 꾸준히 증가 될 것으로 예상된다.

유류는 휘발성이 큰 가솔린(보통  $C_4 \sim C_{10}$ , 끓는점  $30 \sim 200^\circ\text{C}$ )과 등유(보통  $C_9 \sim C_{13}$ , 끓는점이  $160 \sim 250^\circ\text{C}$ ), 경유(보통  $C_{10} \sim C_{28}$ , 끓는점이  $200 \sim 370^\circ\text{C}$ )로 구분하며, 이들을 TPH(Total Petroleum Hydrocarbon)라고 한다<sup>7)</sup>. 그러나 현행 토양오염공정시험방법<sup>8)</sup>에서는 유류분석과 석유계 총 탄화수소 분석으로의 나누어져 있으며, 유류분석은 저류점 유류 중에 다량 함유되어 있는 BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)의 측정에 적용되고, TPH분석은 비등점이 높은( $150 \sim 500^\circ\text{C}$ )유류에 속하는 제트유, 등유, 경유, 벙커C유, 윤활유의 측정에 적용되고 있으며, 일반적으로 TPH는 디젤유를 의미하고 실제 디젤유의 분석도 TPH의 분포도를 이용하는 경우가 많다.

보통 지하에 설치되어 있는 저장탱크에서의 연료의 누출은 토양 및 지하수 오염의 주요한 원인이 되고 있다. 미국 EPA에 의하면, 미국 내에 약 140만개의 지하 가솔린 저장 탱크가 있고 그 중 80%가 부식 방지가 되어 있지 않은 재질로 이루어져 있고 그들이 조사한 지하 저장탱크 중 약 35%가 누출되어 평균  $29 \text{ l/day}$ 가 토양으로 유출된다고 보고하고 있다<sup>9)</sup>. 지하 저장탱크에서 유출된 가솔린, 디젤, 유해화학물질 등의 일부는 암을 유발시키거나 인체에 독성을 나타낸다고 보고되고 있다.

따라서 본 연구에서는 1997년과 1998년도에 서울시 90개 지점의 토양 측정망 표토층을 채취해서 BTEX의 농도를 측정하여 저류점 유류에 의한 토양오염 실태와 현황을 파악해서 토양오염을 예방하고, 이미 오염이 진행된 지역에 대해서 기초적 자료를 축적하기 위하여 연구하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시료 채취지점 선정

토양 시료 채취는 간단한 작업이지만 토양이 수직으로나 수평적으로 균일하지 않으므로, 채취한 시료가 대상지역의 토양을 대표해야 한다는 점에서 세심한 주의를 기울여야 한다. 시료채취 후 시료의 취급 또는 분석을 아무리 정확히 하더라도 시료채취 오차는 분석측정 오차보다 항상 크기 때문에, 토양시료는 신중하고 정확하게 채취하여야 한다. 따라서 본 연구를 위한 시료채취는 1997년과 1998년 3월부터 5월까지 서울시에서 관할구역 안의 토양오염 실태를 파악하기 위하여 설치한 측정망 90개 지점에서 우리 나라의 "토양오염공정시험방법"<sup>8)</sup>의 시료채취 방법에 따라 대상지역에서 대표치를 구할 수 있는 1개 지점을 선정하여 시료를 채취하였다. 이들 채취지점은 Fig 1.과 같다.

### 2.2 시료의 채취, 보관 및 전처리

대상지역에서 선정된 지점의 토양표면에 있는 잡초나 유기물 등 이 물질층을 약 5~10cm정도 제거한 후에 표토층(0~15cm)에서 Scoop로 채취한 토양을 즉시 한쪽 끝이 터진 10ml 플라스틱 주사기를 이용하여, 약 5ml 채취한 5~10g의 토양을 미리 준비한 유류시험용 Methanol(잔류농약시험용 Wako Methanol 300)을 담아 무게를 정밀히 단 30ml용량의 테프론 재질의 마개가 있는 유리병에 넣고 마개로 막아 밀봉한 후  $0^\circ\text{C} \sim 4^\circ\text{C}$ 의 냉장상태로 실험실로 운반하였다. 실험실로 운반된 시료는 도착 즉시 토양시료 및 Methanol이 들어 있는 시험관 전체 무게를 정확히 달아 수분이 함유된 토양의 무게를 구하고, 가능한 즉시 Shaker (LAB-LINE Instruments inc, Model No 3508)를 이용하여 황<sup>10)</sup>, Minnich<sup>11)</sup> 등 처럼 예비시험결과 토

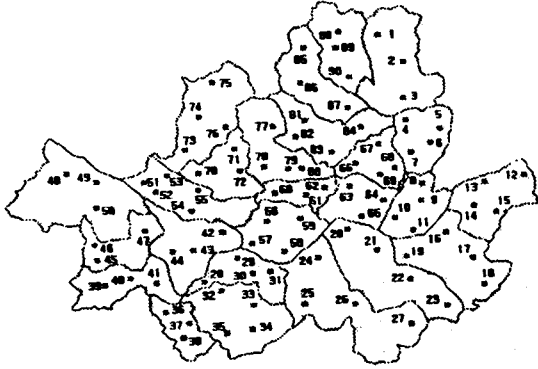


Fig. 1. The locations of 90 individual sampling stations in Seoul

양오염공정시험방법<sup>8)</sup>의 생토시료를 2분간 세계 혼

Table 1. Experimental conditions

Purge & Trap	
· Sample temperature :	40 °C
· Trap :	Tekmar 3000 BTEX TRAPTM
· Purge time :	11 min
· Purge flow/ gas :	40ml/min, N <sub>2</sub>
· Dry purge :	5 min
· Desorb temperature :	180 °C
· Desorb time :	4min
· Desorb flow :	10ml/min
Gas Chromatography	
· Inlet :	250 °C
· Detector transfer line :	300 °C
· Column :	105m Length, 0.53mm Column ID, 3.0µm Film Thickness HP-VOC
· Carrier flow/ gas :	20ml/min, N <sub>2</sub>
· GC oven temperature program :	50 °C iso. 3min: 3 °C/min to 180 °C iso. 1min.
· Split ratio :	Splitless mode

들어 섞는 방법에 비해 회수율이 우수해서 1시간 진탕하였고, 진탕을 마친 후 원심분리하여 실험하였다.

### 2.3 시료의 분석

본 연구에서는 농축시키기 위함과 방해물질을 최대한 제거하고자 토양오염 공정시험 방법의 Purge & Trap( Tekmar 3000)이 부착된 GC FID(HEWLETT PACKARD 5890 SERIES II)로 분석하였다. 원심분리 후 분취한 추출액의 온도를 실온과 같게 한 다음 50µl를 증류수가 담긴 5ml Gas Tight Syringe (RESTEK, Luer lock)에 주입하였고, 분석조건은 Table 1.와 같다. 검량선 작성용 표준용액(BTEX Standard Solution)의 조제는 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, o-Xylene, m-Xylene, p-Xylene이 각각 성분당 200µg/ml인 표준원액(SUPELCO)을 각각 100µl씩 정확히 분취하여 혼합한 후 methanol로 10배 희석하였다.

## 3. 결 과

### 3.1 1997년과 1998년의 서울시 BTEX 농도의 평가

1996년 1월부터 토양환경보전법이 시행함으로써 서울시에서 관할구역안의 토양오염 실태를 파악하기 위하여 설치한 측정망 90개 지점의 1997년과 1998년 BTEX를 분석·조사하였다.

BTEX를 조사한 결과 '97년과 '98년 90개 지점에서 모두 검출되었다. Fig 2.와 같이 '98년 조사 지점중 BTEX의 농도가 0.3mg/kg미만의 농도범위는 64%를 차지하였고, 0.3mg/kg이상 0.6mg/kg미만 농도범위는 9%, 0.6mg/kg이상 0.9mg/kg이하의 농도범위는 10%, 0.9mg/kg초과한 농도는 16%로 나타났다. 이에 비하여 '97년의 조사 자료를 보면

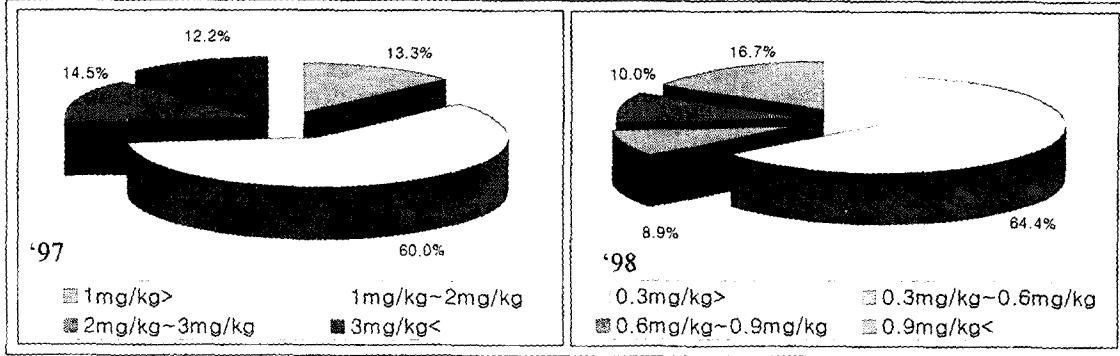


Fig 2. Percentage of '97 and '98 BTEX concentration of soil in Seoul

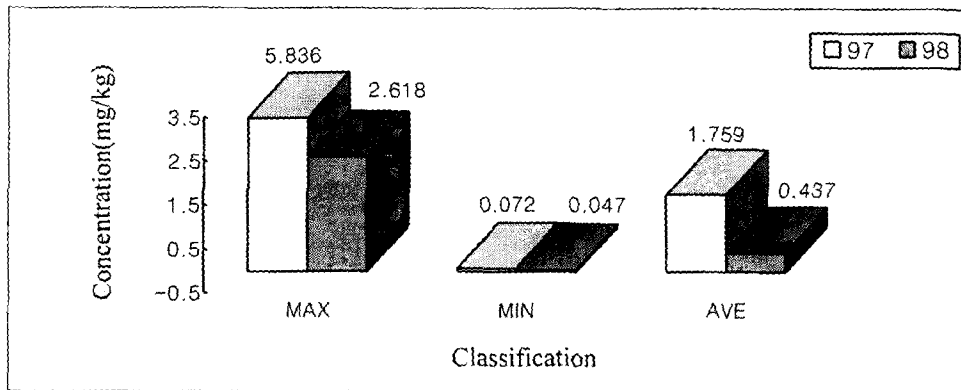


Fig 3. Comparison of '97 and '98 BTEX concentration of soil in Seoul

1.0mg/kg미만의 농도범위는 14%, 1.0mg/kg이상 2.0mg/kg미만의 농도범위는 60%, 2.0mg/kg이상 3.0미만의 농도범위는 15%, 3.0mg/kg 초과 농도는 12%이었다. 또한 Fig 3.과 같이 97년도에 조사된 평균농도는 1.759mg/kg, 최저농도 0.072mg/kg, 최대농도 5.836mg/kg이었으나, 98년 90개 지점의 평균농도는 0.437mg/kg이었고 최대농도는 2.618mg/kg, 최저농도는 0.047mg/kg로 조사되었다. 이는 1997년 평균의 25%, 최저농도의 약 50%, 최대농도의 50%정도로 감소한 농도이다.

서울시 90개 전지점에서의 BTEX 검출은 '97년 조사시 3개지점의 대조군의 토양에서 BTEX가 검출되지 않은 것에 비취볼 때 서울시 토양이 BTEX에 노출되어 있다고 판단된다.

서울은 우리 나라 남한 국토의 0.6%에 해당하는 좁은 면적에 전국민의 22.1%인 10,389천명이 살고 있고, 전국의 12.5%인 90,123천 배럴의 유류를 소비하며, 전국 자동차의 22.7%나 되는 2,168천대가 집중되어 있다<sup>2)</sup>. 이처럼 인구의 집중화와 복잡한 생활·생산활동, 다양한 각종 산업시

설, 자동차의 급증에 따른 유류 사용량의 증가와 유해 화학물질 등의 사용량 증가로 광화학스모그를 유발하는 전구물질로 알려진 VOC는 배출량이 증가하고 있다<sup>13)</sup>.

Table 2.에서 보듯이 대기중의 BTEX 배출은 주로 가솔린 차량의 배기관 배출가스와 정유사 및 저유소, 주유소의 증발배출, 건축도장, 인쇄 잉크, 자동차 도장 등에 의해 발생하는 것으로 보고되었다. 또한 인쇄 시나 자동차, 건축도장에 사용되는 유기용매는 거의 BTEX인 것으로 보고되고 있다.

또한 개략적인 유기용매 사용량으로 추정한 1993년도 환경부 자료에 의하면 VOC 배출원은 운행중인 자동차에서 48.1%로 가장 많고, 건축물, 차량, 산업시설의 도장이 32.8%, 아스팔트 도로포장, 세탁, 인쇄 등에서 11.5%, 주유 및 저장시설에서 7.6%로 나타났다. 자동차운행으로 인한 기타 배출원 즉, 증발배출원(배기관 배출의 약 20%로 가정)등을 고려하면 자동차 부문의 VOC량은 더 증가할 것이고, 추정된 결과는 외국의 배출비중과 유사하다는 것을 알 수 있다<sup>14)</sup>.

본 측정결과 서울시의 토양중 BTEX의 검출은 위에서 설명한 BTEX의 여러 배출원에서 대기 중에 배출된 BTEX가 대기 중에 존재하며 일부는 강우시 빗물에 용해되거나 빗물이나 입자상물질에 수

착되어 표토층에 유입되며 또한 기온 역전층이 형성된 때에도 토양에 흡착<sup>17)</sup>되기도 하는 등의 여러 원인으로 조사지점의 전토양에 노출된 농도에 의한 영향이라 사료된다. 또한 BTEX의 최대농도가 토양환경 보전법의 토양오염 우려기준 (공장·산업지역) 80mg/kg에는 크게 못 미치는 농도이므로 지표면 부근에서의 고농도에 의한 BTEX오염 영향은 없었다고 판단된다.

'97년 측정시보다 '98년 측정에서 BTEX 농도가 감소하게 된 원인중의 하나는 기온의 변화 때문인 것으로 판단된다. 시료채취 기간인 '97, '98년의 3월, 4월, 5월의 기온을 비교해 보면 '98년의 기온이 '97년 보다 더 높았으며, 특히, 주로 시료 채취를 한 4, 5월의 경우에는 '97년보다 '98년이 대부분 지역에서 2°C~5°C정도 더 높았다. 따라서 기온의 상승이 '97년 조사시보다 '98년 조사에 BTEX 농도를 감소시키게 된 원인의 하나라고 생각되어진다.

3.2 서울시 토양의 오염원별 BTEX 비교 평가

본 연구에서는 '97년 조사나 '98년 조사 모두 먼 오염원이나 점오염원에서 비교적 격리되어 있다고 생각되는 지점과 이동 오염원에 근접한 도로변지역, 점오염원으로서의 공장지역간에 평균 BTEX농

Table 2. The Ratio BTEX Composition with Emission Sources<sup>15), 16)</sup>

Component	Emission Sources											
	Mobile		Gas. Station		Building Painting		Printing		Laundry Shop		Car Painting	
	% <sup>16)</sup>	ton <sup>15)</sup>	% <sup>16)</sup>	ton <sup>15)</sup>	% <sup>16)</sup>	ton <sup>15)</sup>	% <sup>16)</sup>	ton <sup>15)</sup>	% <sup>16)</sup>	ton <sup>15)</sup>	% <sup>16)</sup>	ton <sup>15)</sup>
Benzene	6.64	2,058.9	1.28	67.7	0.27	64.6	—	—	—	—	—	—
Toluene	14.16	4,390.7	1.32	69.8	78.34	18,742.1	93.09	4,630.3	—	—	67.42	—
Ethylbenzene	2.01	623.3	0.36	19.0	1.36	325.4	—	—	—	—	6.24	—
p-m-Xylene	6.64	2,058.9	0.37	19.6	8.08	1,933.1	6.91	343.7	—	—	17.10	—
o-Xylene	3.90	1,209.3	0.19	10.0	8.65	2,069.4	-	-	—	—	5.54	—
TOTAL	33.35	10,341.1	3.52	186.1	96.70	23,134.6	100.0	4,974.0	—	—	96.30	—

도를 비교하여 보면 조사 지점간의 오염 경향은 단정적으로 결론짓기는 어려울 것으로 생각된다. 또한 토지 사용 용도별 범위도 상당히 차이를 보였다. 따라서 평균값만을 신뢰하기에 어려움이 있을 것으로 사료된다.

토양 중의 공극은 물과 공기로 채워지는데, 여러 가지 조건에 따라 달라진다.

토양공기의 특징은 단지 대기가 토양 속으로 연장된 것이라고 생각하면 안 된다. 연속적인 대기와는 달라서 토양 공기는 고도로 분산된 상태이기 때문에 그 토양의 종류·계절·위치·운동·조성, 그 밖에 여러 가지 조건에 의해서 다르게 되므로 고르지 못하다<sup>18)</sup>.

하층토는 대기와의 관계가 그 반대에 있으므로, 순환이 순조롭게 행해지지 못할 때에는 O<sub>2</sub>의 결핍과 CO<sub>2</sub>가 집적할 가능성이 많다. 표층토에는 유기물의 함량이 많고 미생물의 작용과 식물근의 호흡작용이 왕성하기 때문에 O<sub>2</sub>의 소모와 CO<sub>2</sub>의 생성량이 많다. 그럼에도 불구하고, 토양표면 부근 공기의 조성은 대기와 큰 차이가 없다는 것이 밝혀졌다. 이것은 대기와의 교환이 심하게 행해졌기 때문이라 볼 수 있다.

'97년 조사시에는 Fig 1.의 48번 지점에서 조사 지점 중 5.836mg/kg으로 최대의 농도를 나타냈고, '98년 조사시에는 2.618mg/kg으로 2번 지점이 최대 농도를 나타냈다. 전자는 조사지점 주변에 폐비닐 등의 재활용단지와 주유소가 있고 또한 대기오염 배출시설들이 있어 BTEX의 농도가 높았다고 생각할 수 있고, 후자는 수락산 자연공원을 끼고 있는 주차장 부근이다. 도로에서 발생한 자동차 배기가스와 주차장에서 배출한 자동차 배기가스 및 주차시 연료증발에 의한 BTEX가 확산되지 않고 바로 토양층에 침적되어 최대의 농도를 나타낸 원인이라 판단 되어진다.

'98년 시료 채취 지점 중 뒤쪽에 산이 위치해 있어 오염물질의 확산이 이루어지지 않아 채취지점에

영향을 주었다고 생각되는 대표적인 지점은 불암산, 북한산 3지점 및 우면산 이었다.

J구는 다른 구보다 채취지점에서 0.527mg/kg ~ 1.747mg/kg로 고른 농도 분포와 다른 지점보다 높은 BTEX의 농도 분포를 보이고 있는데 이는 시내 중심부의 교통 소통량이 많고, 인쇄소가 약 1,200개 가량 존재하며, 고층건물에 둘러싸여 환기를 어렵게 만들어 대기 내에서 오염물질의 농도가 높아진 영향이라 보여진다.

C구는 시내중심부에 위치해 있어 고층 건물에 둘러싸여 차량속도의 감소와 차량밀도가 주원인인 오염물질이 환기를 방해하며, 그리고 도로의 포장율이 99.5%에 달해 오염물의 소멸원이 적다. 따라서 환기를 더욱 어렵게 만들어 대기내에서 오염물질의 이동과 제거를 방해하여 오염물질의 농도를 높게 되며, 중구와 교통부문에서 인구대비 통행 발생량과 도착/발생 통행비율이 다른 구에 비해서 높다. 또한 강남구와 송파구의 인구는 약 56만명, 68만명<sup>19)</sup>으로 서울시에서 가장 인구가 많은 구이며, 서울시내 토양오염 유발시설 중 주유소도 80개소, 58개소로 가장 많다. 윤<sup>20)</sup>의 연구에 의하면 서울 대기 중 BTEX의 일 변화는 Toluene과 Benzene이 정오 경에 최대치를 나타내었으며, 이는 BTEX의 배출량이 사람의 사회활동과 밀접한 관련이 있다고 한다. 신<sup>21)</sup>등의 연구에도 실내농도가 실외농도보다 대부분 높으며, 거주자의 활동시간대가 비활동 시간대에 비해 높은 농도를 보였다고 조사하였다. 또한 신<sup>22)</sup>의 연구에서는 주유소와 도로변을 비교한 결과 주유소 쪽이 도로변보다 BTEX가 약 2~5배정도 높게 나타났다고 한다. 만약 고농도의 BTEX에 오염이 되었다고 해도 BTEX의 오염이 반드시 유류에 의한 것으로는 보기 어렵다. BTEX는 일반 용제로도 많이 사용되고 있기 때문이다. 가솔린의 주성분이 BTEX이고 특히 톨루엔이 가장 많은 함량을 나타내고 있으나 실제 시간이 경과한 오염에서는 Benzene, Toluene

은 거의 검출되지 않으며 Ethylbenzene, Xylene이 주로 검출된다. 본 조사에서 Benzene은 불검출에서부터 최대 1.867mg/kg이 검출되었고, Toluene은 0.018mg/kg에서 0.646mg/kg, Ethylbenzene은 불검출에서 0.142mg/kg, Xylene은 0.011mg/kg에서 0.498mg/kg가 검출되었다. 대부분의 측정지점에서 Toluene이 높게 나타났으나, 일부지점에서 Benzene의 농도가 높게 나타나 평균값에 크게 영향을 주어 평균치는 Benzene이 0.245mg/kg, Toluene은 0.104mg/kg, Ethylbenzene은 0.016mg/kg, Xylene은 0.073mg/kg으로 나타났다. BTEX 성분중 Toluene의 농도가 대부분의 지점에서 높게 나타난 이유는 VOC의 주 배출원인 석유류 저장시설, 자동차의 배출가스 및 용제 성분들 중에 Toluene의 성분이 다량 포함되어 있어 배출량이 많기 때문에 농도가 높게 나타난 것이라 사료된다.

#### 4. 결론 및 고찰

본 연구는 1997년 3월부터 1998년 5월까지 서울시 관할구역 안의 토양오염 실태를 파악하기 위하여 설치한 측정망 90개 지점에서 토양 시료를 채취하여 Purge & Trap이 부착된 GC/FID로 채취한 시료를 분석하였다. 측정 결과 '97년 평균농도는 1.759mg/kg이었고, 최대농도는 5.836mg/kg, 최저농도는 0.072mg/kg로 측정되었으며, '98년 평균농도는 0.437mg/kg이었고, 최대농도는 2.168mg/kg, 최저농도는 0.047mg/kg로 측정되었다.

토지 사용 용도별 오염 경향은 지역에 따른 상이점을 찾아 볼 수 없었으며, 토지 권역별 오염 경향을 예측하기는 어려우나 일부지점에서는 주유소, 인쇄시설, 도장시설, 세탁시설 및 자동차 등에 의한 영향으로 인하여 다른 지점보다 오염 정도에 영향을 받고 있다고 할 수 있다.

서울시의 BTEX 검출농도는 토양환경보전법의

토양오염 우려기준(공장·산업지역) 80mg/kg보다 낮은 농도를 나타내었다. 주유소, 인쇄시설, 도장시설, 세탁시설, 자동차등이 토양의 BTEX 농도에 영향을 미치고 있다고 판단되어 지속적인 오염원 관리가 필요하다고 본다.

토양시료 채취는 간단하지만 수직으로나 수평적으로 불균질 하므로 대표성이 있다고 판단되는 지점을 선정함과 토양의 분석이 수질분석에 비해 까다로우므로 세심한 주의를 하였지만 어느 정도의 편차는 있으리라 생각되며, 보다 정확한 원인을 규명하기 위해서는 좀 더 많은 연구가 진행되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

1. 변종각 외 4인, "서울시 일원의 중금속 오염도에 관한 조사연구", Report of S.I.H.E., 26(1990), p248~253
2. 변종각 외 4인, "서울시 일원의 중금속 오염도에 관한 조사연구", Report of S.I.H.E., 27(1991), p279~284
3. 김좌관, 수질오염개론(서울 : 동화기술, 1997), p255~279
4. 김무훈, 이원권, 박대원, "국내토양오염 유발 시설별 오염현황조사", J.Korea Solid Wastes Engineering Society Vol15, No.4(1998), p300~308
5. 최상복, 환경학개론(서울 : 배영출판사, 1987), p342~353
6. 박창근, 환경오염개론(서울 : 녹화출판사, 1983), p274~290
7. 대한석유협회, "석유의 이해"(1993)
8. 환경부, "토양오염공정시험방법"(1998)
9. S. G. Donaldson, et al. "Remediation of Gasoline Contaminated Soil by Passive Volatilization" J. Environ. Qual., 21(1992), p94~102



10. 황건중, Asmare Atalay, "Determination of soil washing condition for light hydrocarbon contaminated soils", J. Env. Hlth. Soc., Vol.23, No. 4(1997), p82~90
11. Minnich, Marti M., Zimmerman, John H. ; Schumacher, Briam A, "Long-term study of volatile organic compound recovery from amputated, dry fortified soils", Journal of Environmental Quality, Vol. 26 No. 1(1997) : p108~114
12. 서울특별시, 서울의 환경(1998)
13. 정일록외 13인, "유해가스 배출량 산정에 관한 조사연구-대기중 휘발성유기화합물 배출량 산정에 관한 조사연구-(1995). 국립환경연구원(1995)
14. 대한석유협회, "석유년보". (서울 : 명성 문화사(1994)
15. 대한 석유 협회, "VOC 배출원별 배출량 산정 및 저감기술 연구" (1996) p25~52
16. 色材(日本) Vol. 66. No. 2(1993), p96~103
17. 박찬구의 6인, "서울지역 토양에서의 BTEX 거동에 관한 연구", Report of S.I.H.E., 33(1997), p333~342
18. 곽관주. 노신규, 토양학원론, 정음사(1986)
19. 서울특별시, 서울시 도면으로 보는 서울의 지역별 생활환경 특성비교(1998)
20. 윤중섭외 3인, "서울대기중 휘발성유기물질 일중변화에 대한 연구" Report of S.I.H.E. 33(1997), p216~220
21. 신혜수, 김윤신, 허귀석 : 실내외 공기중 휘발성 유기화합물질(VOCs)의 농도조사에 관한 연구. 한양대학교 환경과학대학원 석사학위논문(1993)
22. 신경아, "도시의 도로변 및 주유소에서의 대기중 휘발성 유기화합물의정성적 분석 및 정량화 연구". 서울시립대학교 석사학위논문