

## Canister와 GC/MS를 이용한 대구성서산업단지의 BTEX의 분석 및 평가

김 태 섭 · 최 성 우\*  
대구도시개발공사, \*계명대학교 환경과학과  
(2004년 9월 2일 접수; 2005년 3월 23일 채택)

### Analysis and estimation of the BTEX using Canister- GC/MS in Seongseo Industrial Complex

Tae-Sub Kim and Sung-Woo Choi\*  
Daegu Urban Development Corporation, Daegu 702-073, Korea  
\*Department of Environmental Science and Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea  
(Manuscript received 2 September, 2004; accepted 23 March, 2005)

The research in this paper was carried out to examine the BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene) concentrations in Seongseo Industrial Complex. These compounds are the major constituents, more than 60% in composition of total VOCs, mainly charging in ambient air. BTEX samples were collected from the 38 sites, 10 for the source points and 18 for the boundary sites, and were analyzed by canister-GC/MS. The mean concentrations of BTEX were 33 ppbv for benzene, 214 ppbv for toluene, 89 ppbv for ethylbenzene, 77 ppbv for xylene. Among the BTEX, toluene had the highest concentration in the source points and boundary sites. In the source points, BTEX concentration of incineration facility for hazardous wastewater appeared highly in the range of 220 ~ 350 ppbv. BTEX concentrations in source boundary sites appeared in the order of toluene > ethylbenzene > xylene > benzene. As a result of the correlation analysis, the concentration of the source points was related to those of the boundary sites. Correlation of ethylbenzene and xylene was presented to 0.7991( $P < 0.01$ ), 0.6329( $P < 0.05$ ) as the correlation coefficient, respectively.

Key Words : VOCs, BTEX, Canister, GC/MS

#### 1. 서 론

현대사회에서는 산업화된 선진국이나 인구가 집중된 도시지역에서 화석연료를 비롯한 합성유기화합물의 생산과 사용, 그리고 자동차의 이용에 따라 각종 유해물질이 증가하게 되었고, 이로 인하여 발생된 환경오염물질인 질소산화물, 일산화탄소 및 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds, 이하 VOCs)에 대한 관심이 고조되고 있다.

VOCs는 인체에 유해할 뿐만 아니라 광화학 스모그의 주원인 물질이며, 대기 중 오존 농도를 증가시킨다<sup>1)</sup>. 이는 태양빛의 자외선과 공기 중의 NO<sub>2</sub>가 반

응하여 NO<sub>2</sub>는 NO와 O로 분해되고, O는 공기 중의 O<sub>2</sub>와 반응하여 오존을 생성하게 된다. 이때 발생한 오존은 다시 NO와 반응하여 NO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>로 분리되는데 이때 공기 중에 VOCs가 존재할 경우 NO와 O<sub>2</sub>가 반응하지 못하고 공기 중에 그대로 남아있게 만드는 작용을 하게 된다. 또한 VOCs는 지구온난화, 성층권의 오존층 파괴 등의 여러 환경 문제를 일으키는 물질로 관심의 대상이 되어왔으며, 조혈기능장애, 간 및 신장독성, 발암성, 심장병유발 등 무수히 많은 건강장애를 유발하고 있는 것으로 알려져 있다<sup>1,2)</sup>.

VOCs의 대표적인 물질로서 benzene, toluene, ethylbenzene, xylene (이하 BTEX)은 차량에서 뿐만 아니라 산업체에서도 많이 발생하는 물질들이다<sup>3,4)</sup>. 최근 우리나라에서도 급격한 차량 및 산업단지의 증가로 인하여 BTEX의 배출량이 증가하고 있는 추세

Corresponding Author : Tae-Sub Kim, Daegu Urban Development Corporation, Daegu 702-073, Korea  
Phone: +82-53-350-0148  
E-mail: nangkunnim@hanmail.net

이며, 그 결과 인체에 미치는 영향은 호흡을 통해 장기간 유입이 되면 백혈병, 임파암, 혈액암, 병변 및 생리학적 변화, 간질성 세포종양 등이 발생하게 된다<sup>5)</sup>.

BTEX에 대한 국내 선행연구로는 이진홍 등<sup>6)</sup>이 석유화학단지 휘발성 유기화합물에 대한 확률론적 위험도 평가를 했으며, 이영재 등<sup>7,8)</sup>은 광주지역에서 봄 및 여름철 환경대기 중 휘발성 유기화합물 농도 분포에 대한 연구, 김조천 등<sup>9)</sup>은 대기 중 휘발성 유기화합물의 시간적 농도 변화에 대한 연구를 하였다. 국외의 경우에는 L.Y. Chan 등<sup>10)</sup>이 중국 광주지역 대중교통수단에서 방향성 VOCs에 대해 연구했으며, K.F. Ho 등<sup>11)</sup>은 홍콩의 대기 중에서 VOCs의 계절적 주간적 변화를 연구하였다.

본 연구는 첫째, 방지시설의 설치가 미비한 발생원에서의 BTEX 농도와 둘째, 부지경계에서의 측정으로 전개했으며, 마지막으로 발생원과 부지경계 간의 상관성을 분석하였다. 대구 성서산업단지에서는 아직 이러한 연구가 수행되지 못했다. 따라서 VOCs 중 일반 대기에서 높게 검출되며, 오존 전구물질로써 잘 알려진 BTEX를 canister로 채취하여 GC/MSD로 분석 및 평가함으로써 성서 산업단지내의 BTEX 현황과 파악 차후 방지대책수립에 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 측정 및 분석

### 2.1. 시료채취장소 및 기간

본 연구에서 BTEX 분석을 위한 시료 채취 구역인 성서산업단지는 면적이 308만평에 공장시설은 192.9

만평으로 1600여개의 업체가 있으며, 1, 2, 3차 단지로 구성되어 있다. 섬유 및 자동차 부품생산 공장, 주정공장, 쓰레기 소각장, 폐수처리장, 유기용제 및 페인트 제조업, 기계 부품 공장, 유기화학 제조업, 음·식료품 제조업, 목재·종이 제조업 등이 밀집해 있는 2, 3차 단지를 중심으로 시료를 채취하였다. 시료 채취는 2, 3차 단지를 대표할 수 있는 지점으로 하였으며, 배출원 부지경계의 시료 채취를 위해 18개 지점을 선정하였고, 특히 유기용매(페인트, 인쇄, 도색 등)가 많이 배출되는 장소를 우선으로 하였다. 그리고 발생원의 경우 조업 시간대를 선택했으며, 시료 채취는 10개 지점으로 장소 당 1~3개의 공정에서 채취하였다.

Fig. 1은 성서공단 내에 발생원 및 발생원 부지경계에서의 시료채취 지점을 나타내었다. 주요 지점별로 그룹화 하였는데, 성서 공업단지에서 여름동안 주풍향이 남동풍 및 남풍이라는 점을 감안해서 그룹1, 그룹2, 그룹3으로 나누었다. 각 지점별 명칭은 Table 1에 나타내었다.

BTEX의 시료포집은 비가 오지 않는 맑은 날을 대상으로 하여 2003년 7월부터 8월까지 약 38개 지점을 채취하였으며, TO14 method<sup>12)</sup>에 준하여 분석하였다.

### 2.2. 시료채취 및 분석

#### 2.2.1. 시료채취 방법

시료를 채취하기 위해 사용된 캐니스트는 미국 Entech사 Silico Can으로 용량은 1ℓ, 6ℓ이며, 재질

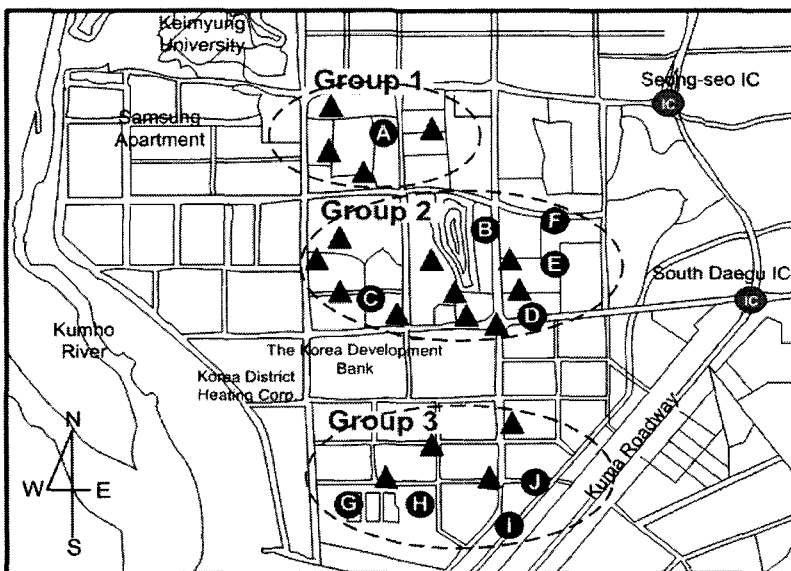


Fig. 1. Sampling points in the source boundary sites and source points in Seong-seo Industrial Complex.

Canister와 GC/MS를 이용한 대구형서산업단지의 BTEX의 분석 및 평가

Table 1. General descriptions of sampling sites

Inventory Source	Source points	Site Code	Source boundary sites
Incineration facility for hazardous waste-water	A waste water inlet waste treatment industry inside incinerator side	A1	Group 1
		A2	
		A3	
food manufacturing industry	B, J waste treatment industry side precocity process waste treatment industry side (aerator) dry outlet cake mixing	B1	Group 2
		B2	
		J1	
		J2	
		J3	
Chemical product manufacturing industry	C reactor 1 I reactor 1	C1	Group 2
		I1	
Incineration facility for general waste	D incinerator 1 incinerator 2,3	D1	Group 2
		D2	
paper industry	E washing process waste treatment industry (reactor)	E1	Group 2
		E2	
textile industry (dyeing processing)	F Denta process	F1	Group 2
Waste treatment industry	G, H dehydration process 2 reservoir dehydration process 1 concentration process pre-treatment process	G1	
		G2	
		H1	
		H2	
		H3	

은 스테인레스 재질로 내면과 밸브는 VOCs 성분 흡착을 방지하기 위해 비활성 silica로 코팅되어 있다.<sup>13)</sup> 캐니스터는 Cleaner 3100(Entech)에서 4시간동안 고순도 질소로 5회 세척한 후 시료를 채취하였다.

시료 채취장소 선택 기준은 4~5인으로 구성하여 관능법으로 냄새 및 불쾌감이 특히 심한 곳을 선택하였으며, 1.2m의 높이에서 순간 포집하여 시료를 채취하였다.

2.2.2. 분석 방법

시료 채취 후 8시간 이내에 분석하였으며, 시료를 분석하기 위해 Entech 7100 Preconcentrator (Module1-Glass bead trap, Module2-Tenax trap, Module3-Cryofocusing)전처리 장비를 거쳐 가스크로마토그래피(GC) 시스템(Hewlett Packard, 6890)내의 DB-1 캐필러리 칼럼(J&W Scientific)을 통하여 시료를 성분별로 분리한 뒤, 질량분석기(MSD) (Hewlett Packard, 5973)에서 검출하였다. 분석 방해물 질인 CO<sub>2</sub>는 Module1 단계에서, Module2에서는 H<sub>2</sub>O를 제거한 후 분석하였다.

전처리 장비인 Entech 7100의 계략도는 Fig. 2와 같다.

GC/MSD의 분석조건은 Table 2에 나타내었다.

BTEX의 검량선은 4 Points를 기준으로 했으며, Supelco사의 TO-14 standard gas를 4600 dynamic

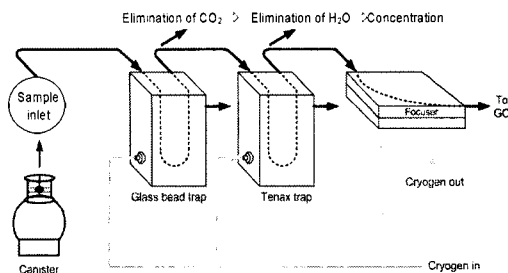


Fig. 2. Entech 7100 for BTEX analysis.

Table 2. Analytical conditions of GC/MSD for BTEX

Chromatography	
Column	DB-1, 60 m×0.32 mm×1.0 μm film thickness, Capillary
Carrier gas	Helium (1 ml/min)
Oven Temperature Program	
Initial Temperature	40°C
Initial Hold Time	5 min
Program	5°C/min to 70°C
Hold Time	3 min
Program	5°C/min to 120°C
Hold Time	3 min
Program	5°C/min to 200°C
Hold Time	3 min

diluter(ENTECH)에서 농도별로 희석하여 작성하였으며, 검량선의 상관계수는 benzene 0.9989, toluene 0.9979, ethylbenzene 0.9975, xylene 0.9979로 나타났다. 또한 검출된 피크면적에 대한 GC의 재현성은 분석결과의 정확성 및 정밀도와 밀접한 관계를 갖게 된다<sup>14)</sup>. BTEX의 피크면적에 대한 상대표준편차(Relative Standard Deviation, RSD)는 7% 이내로 나타나 미지시료를 측정할 경우 재현성은 우수할 것으로 판단된다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 발생원별 BTEX 평가

발생원별 BTEX농도를 Fig. 3에 나타내었다. 발암 위험이 가장 높은 benzene은 폐수소각업에서 220±346 ppbv로 다량 검출되었으며 그 밖에 제지공업, 염색공업 등은 일반대기수준인 1~10 ppbv로 나타났다. 산업지역, 도로 등의 일반 대기환경에서 검출 빈도 및 검출 양이 높은 toluene는 폐수소각업에

서 350±507 ppbv로 가장 높았으며, 다음으로는 제지공업이 249±10 ppbv, 소각업이 165±24 ppbv, 염색공업이 150±42 ppbv순으로 나타났다. Ethylbenzene은 염색공업이 163±127 ppbv, 폐수소각업이 332±480 ppbv, 화학제품제조업이 64±76 ppbv로 다량 검출되었으며, 유류물질을 사용하지 않는 식품산업 등의 업종과는 현저한 차이를 보였다. Xylene도 역시 최근 다량 검출되는 대표적인 화합물로 Ethylbenzene과 비슷한 양상으로 검출되었다. 자료의 변동 범위를 나타내는 표준편차(SD)는 폐수소각업에서 234~507 ppbv 범위로 나타났다. 이는 폐수투입 시 방지시설이 없는 개방상태의 폐수유입구와 방지시설을 갖춘 소각공정에서 큰 차이를 보였기 때문인 것으로 판단되며, 개방 상태의 유입구는 부지경계에 많은 영향을 끼칠 것으로 사료된다.

각 발생원의 모든 공정에서의 BTEX 평균농도와 공정별 농도분포를 Fig. 4에 비교하였다. Benzene의 경우 평균이 44 ppbv인 것에 비해 폐수소각업의 유

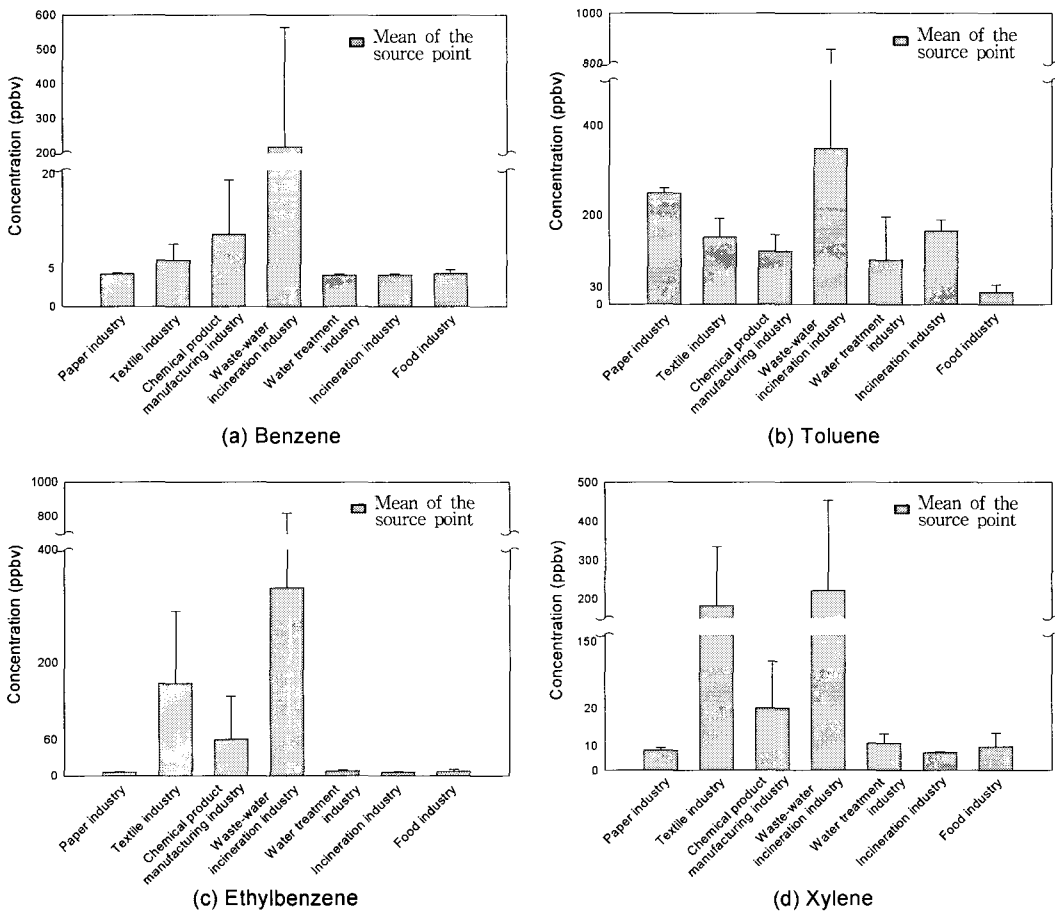


Fig. 3. Mean concentration of BTEX in source points.

입구에서 약 17배인 740 ppbv로 나타나 가장 많이 검출되었으며, Toluene은 제지공업의 세척공정 및 폐수처리장에서 각각 257 ppbv, 241 ppbv, 염색공업의 건조공정이 181 ppbv, 폐수소각업의 유입구 및 소각공정에서 각각 1105 ppbv, 160 ppbv, 수(水)처리업의 저류조가 266 ppbv, 소각업에서 182 ppbv로 평균치를 상회하여 나타났다. Ethylbenzene과 xylene 역시 염색공업의 건조공정, 화학제조업의 반응조, 폐수처리업의 소각공정에서 120~1000 ppbv와 240~550 ppbv 범위로 나타나 평균치 89 ppbv, 64 ppbv를 초과하였다.

3.2. 발생원 부지경계에서의 BTEX 평가

Fig. 5는 그룹1, 그룹2, 그룹3에서의 BTEX 평균 농도를 나타내었다. Benzene이 35 ppbv로 가장 고 농도를 나타내는 그룹2는 염색공업, 소각업, 화학제조 및 페인트 사용업종 등이 밀집해 있는 것으로 조사되었다. 그리고 그룹1, 그룹3에서 benzene이 6 ppbv, 5 ppbv로 나타났는데, 우리나라의 경우 아직 ben-

zene에 대한 대기환경기준치가 마련되어 있지 않은 관계로 1994년 세계 최초로 benzene에 대한 대기환경기준을 설정한 영국의 기준(2001년까지 5 ppbv, 그 이후부터 1 ppbv로 강화됨)<sup>15)</sup>과 본 연구에서 측정된 benzene의 평균농도를 비교해 본 결과, 강화되기 전 영국의 환경기준을 만족하는 지점도 있지만, 대부분이 1 ppbv를 상당히 초과하는 것으로 나타났다. 부지경계에서 많이 검출된 toluene은 그룹1, 그룹2, 그룹3 각각 300 ppbv, 310 ppbv, 120 ppbv로 나타났는데, 이것은 산업단지의 특성을 지닌 만큼 차량 이동을 배제하지 않을 수 없을 것으로 사료된다. 또한 전체 방향족 화합물 중 toluene의 무게비가 각각 78.3과 93.1%인 것으로 알려진 건축물 코팅제와 인쇄 및 페인트관련 오염원<sup>16)</sup>이 시료채취지점 인근에 존재했던 것으로 추정되어진다. Ethylbenzene과 xylene은 시료포집 기간 동안 남동풍 및 남풍의 주 풍향과 연관지어 볼 때, 그룹1>그룹2>그룹3 순으로 농도가 높게 나타났는데, 이는 덮개 등 방지시설을 갖춘 그룹1, 그룹2에 비하여, 그룹3에서는 주

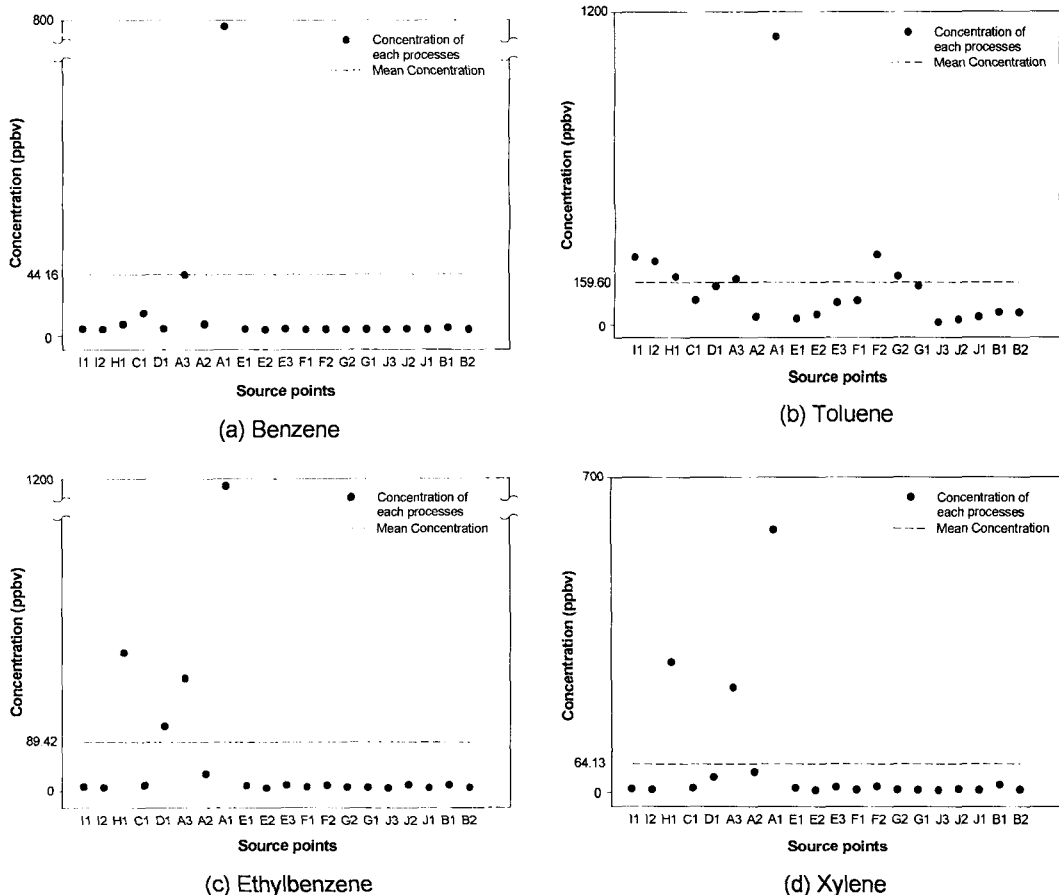


Fig. 4. Comparison of concentration for many kinds of the process in source points.

로 개방상태에서 처리하는 공정이 많아 농도가 낮게 검출된 것으로 사료된다. 전체적으로 높은 BTEX를 나타내는 그룹2를 그룹1, 그룹3과 비교하면 그룹2에서는 많은 업종이 밀집되어 있어 바람의 영향이 적어 확산이 거의 이루어지지 않았던 것으로 판단되어진다.

3.3. 전체 BTEX 평균농도와 발생원 및 부지경계 평균농도와의 비교

발생원과 부지경계 사이의 평균을 나타내는 성서 산업단지 전체 BTEX 평균농도와 발생원 및 부지경계에서의 각 평균농도를 Fig. 6에 나타내었다. 전체 BTEX 평균농도는 33 ppbv, 214 ppbv, 89 ppbv, 77

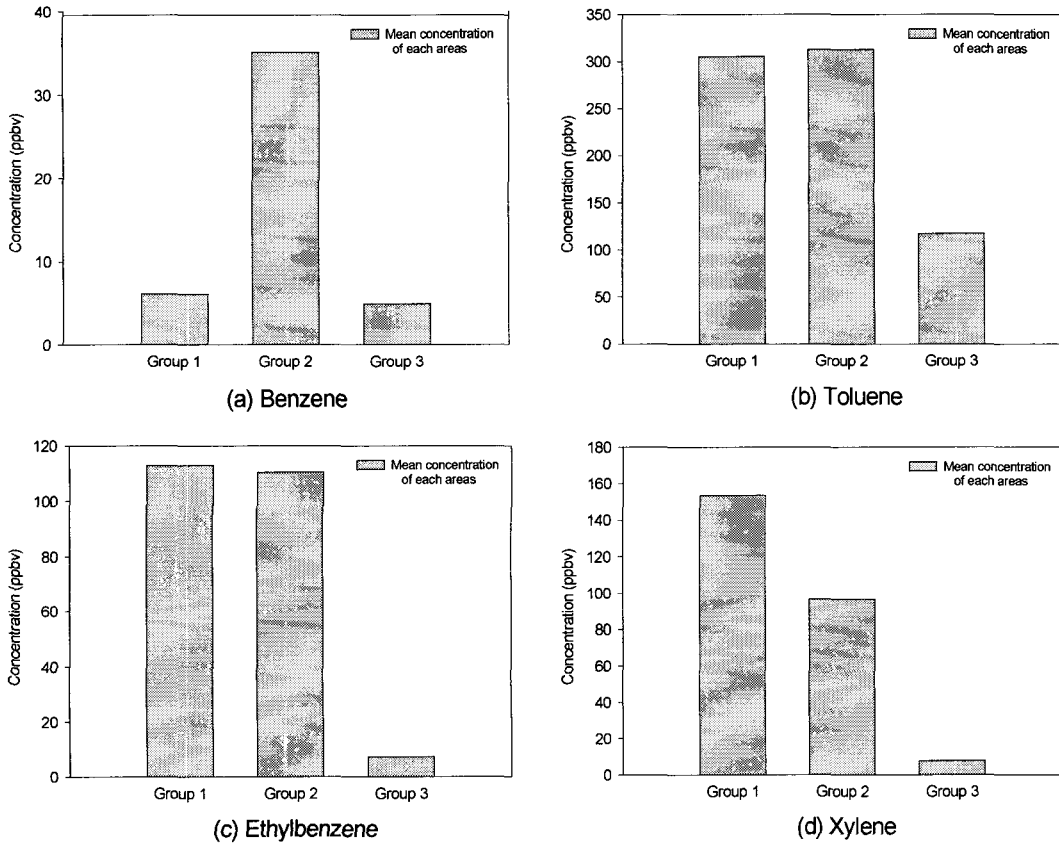


Fig. 5. Mean concentration of BTEX in Seong-seo industrial complex.

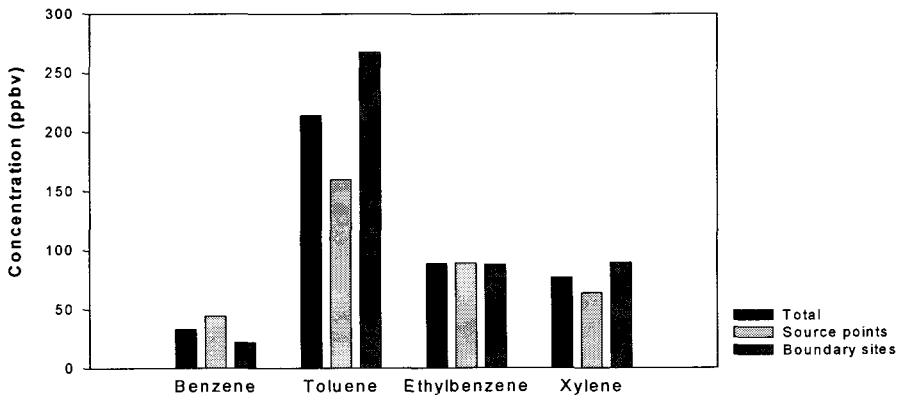


Fig. 6. Total mean concentration of BTEX in Seong-seo industrial complex.

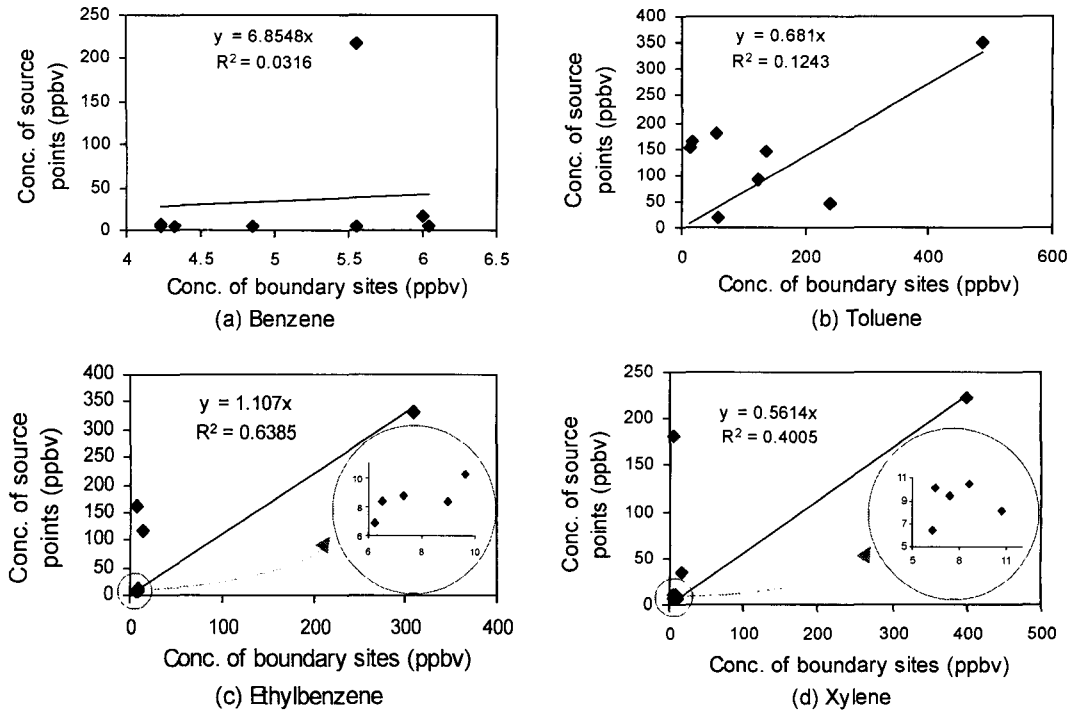


Fig. 7. Correlation between boundary sites and source points.

ppbv로 나타났다. 그러나 benzene, ethylbenzene, xylene은 전체평균과 발생원 및 부지경계 각각의 평균이 거의 유사하게 나타나는 반면, toluene은 부지경계에서 다소 높게 나타나는데, 이는 화물차량의 교통량이 많았던 시료채취현장의 특성과도 연관지을 수 있다고 사료된다. 따라서 Fig. 6에서 발생원에서의 농도가 성서산업단지 전체 농도를 잘 대변하는 것으로 사료되어진다.

### 3.4. BTEX 상관성의 평가

Fig. 7은 BTEX의 발생원과 부지경계 간의 상관성을 나타내었으며, 또한 Pearson 상관계수를 이용하여 상관분석을 실시하였다. 상관분석의 결과에 따르면, Benzene의 경우 발생원과 부지경계에서 농도가 거의 일정하게 나타나 상관성 적용이 어려울 것으로 판단되며, toluene 역시 발생원 및 부지경계에서 고른 분포를 보이고 있으므로 상관성 규명에 어려움이 있을 것으로 사료된다. 반면, Ethylbenzene과 xylene이 각각  $P < 0.01$ 에서 “통계적으로 매우 유의하다”와  $P < 0.05$ 에서 “통계적으로 유의하다”는 결과가 도출되어 발생원과 부지경계 간의 관계를 잘 대변함을 알 수 있었다.

## 4. 결 론

성서산업단지의 내에 산재해 있는 중·소규모의 사업장을 중심으로 여러 공정에서 폭로되는 BTEX와 공정상에서 폭로된 BTEX를 부지경계에서 채취하여 분석 및 평가하였으며, 또한 발생원 및 발생원 부지경계간의 상관성을 알아보고자 하였다. 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 발생원에서 발암위험이 가장 큰 benzene은 폐수처리업에서 220 ppbv으로 가장 높았고, toluene은 폐수처리업이 350 ppbv, 소각업이 165 ppbv, 염색공업이 151 ppbv 그리고 화학제조업이 120 ppbv로 검출되었으며, 모두가 평균치를 초과하는 것으로 나타났다. Ethylbenzene과 xylene은 폐수처리업 330 ppbv, 220 ppbv, 염색공업 163 ppbv, 182 ppbv로 나타나 대부분 발생원이 밀폐상태인데 반해, 폐수처리업의 폐수투입구 그리고 각 공정의 포기조 등이 개방상태라는 점에서 성서공단 대기오염에 많은 영향을 미칠 것으로 판단되며, 대기의 오염원이 소각, 매립에 국한된 것이 아니라, 폐수에 엄청난 양이 포함되어 있다는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 배출원 부지경계에서 benzene의 경우 페인트 사

- 용업종 및 업색공업 등이 밀집해 있는 그룹2에서 고농도로 나타났으며, benzene에 대한 환경기준을 설정한 영국의 기준과 비교하면 1 ppbv를 훨씬 초과하였다. 모든 구역에서 가장 고농도를 나타내는 toluene의 경우에는 시료채취지점 인근에 존재했던 건축물 코팅제, 인쇄 및 페인트관련 오염원 외에 그룹1, 그룹2 주위를 지나치는 차량에 의한 배기가스도 상당량 차지하는 것으로 사료된다. Ethylbenzene과 xylene은 그룹1>그룹2>그룹3 순으로 농도가 높게 나타나 주 풍향인 남동풍 및 남풍의 영향을 받았을 것으로 판단되어지며, 그룹1, 그룹2에 비해 그룹3이 농도가 낮은 것은 개방상태에서 처리하는 공정이 많아 확산이 이루어 졌을 것으로 사료된다.
- 3) 발생원에서의 BTEX 평균농도는 성서산업단지 전체 평균농도(benzene 33 ppbv, toluene 214 ppbv, ethylbenzene 89 ppbv, xylene 77 ppbv)와 비슷하게 나타났으며, 이것은 발생원에서의 BTEX 농도가 성서산업단지 전체의 평균농도를 대표한다고 할 수 있을 것이다.
  - 4) 발생원과 부지경계 간의 BTEX 상관관계는 각각 0.3526, 0.1778, 0.7991( $P < 0.01$ ), 0.6329( $P < 0.05$ )로 나타나 benzene이나 toluene은 통계적으로 유의하지 않은 반면, ethylbenzene과 xylene은 발생원과 부지경계 간에 어느 정도 상관성을 나타내었다. 이번 연구에서 대구 성서산업단지를 중심으로 분석·수행된 BTEX 자료는 초기단계이므로 향후 더 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 대구지역환경기술개발센터 연구개발사업 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다(과제번호: 03-2-40-41).

### 참 고 문 헌

- 1) 박현미, 김지현, 박일용, 김영만, 이강봉, 2002, 대기 중 휘발성 유기화합물 측정을 통한 군포시 대기 오염 특성 규명, ANALYTICAL SCIENCE & TECHNOLOGY, 15(6), 556-566.
- 2) Heo, G. S., J. H. Lee, D. W. Kim and D. W. Lee, Comparison of analytical methods for ozone precursors using adsorption tube and canister, Microchemical Journal, 70, 275-283.
- 3) 조정규, 이승민, 유은철, 김현실, 박좌행, 빈재훈, 이상훈, 2002, 오존발생기전에 미치는 주요인자의 농도특성에 관한 연구, 부산광역시 보건환경연구원보, 12, 155-169.
- 4) 김미현, 박상곤, 백성욱, 2002, 대도시 교통밀집 지역 도로변 대기 중 휘발성유기화합물의 농도 분포 특성, 한국대기환경학회지, 18(2), 113-126.
- 5) 김미경, 박연신, 정용, 2000, VOCs 측정 및 VOCs가 인체에 미치는 영향에 관한 연구, ANALYTICAL SCIENCE & TECHNOLOGY, 13(1), 55-65.
- 6) 이진홍, 김윤신, 남병현, 1998, 석유화학단지의 휘발성 유기 화합물에 대한 확률론적 위해도 평가, 대한환경공학회지, 20(6), 841-850.
- 7) 이영재, 신대운, 전준민, 2000, 광주지역 봄철 환경대기 중 휘발성유기화합물질의 농도 분포, 환경관리학회지, 6(3), 333-340.
- 8) 이영재, 신대운, 이학성, 강병욱, 한중수, 2001, 광주지역 여름철 대기 중 주야간 VOC 농도 특성, 한국대기환경학회지, 17(2), 169-177.
- 9) 김조천, 김기현, 2000, 대기 중 휘발성 유기화합물의 시간적 농도 변화에 대한 연구, 한국환경과학회지, 9(6), 483-488.
- 10) Chan, L. Y., W. L. Lau, X. M. Wang and J. H. Tang, 2003, Preliminary measurements of aromatic VOCs in public transportation modes in Guangzhou, China, Environment International, 29, 429-435.
- 11) Ho, K. F., S. C. Lee, H. Guo and W. Y. Tsai, 2004, Seasonal and diurnal variations of volatile organic compounds(VOCs) in the atmosphere of Hong Kong, Science of the Total Environment, 322, 155-166.
- 12) US EPA, 1999, Compendium method TO-14A Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) In Ambient Air using specially prepared Canisters with Subsequent Analysis by Gas Chromatography, 2nd ed., EPA/625/R-96/010b.
- 13) 전준민, 허당, 김동술, 2002, Canister와 GC/MSD를 이용한 대기 중 VOCs 분석 시스템의 정도관리(QC), 한국대기환경학회지, 18(6), 527-538.
- 14) 김학민, 박민수, 김선태, 1999, Passive Sampler를 이용한 환경대기 중 VOC 분석에 관한 연구, 대전대학교 환경문제연구소 논문집, 4, 3-15.
- 15) 백성욱, 김성렬, 김배갑, 2002, 도시 대기 중 휘발성 유기화합물의 농도변동 및 영향인자, 대한환경공학회지, 24(8), 1391-1404.
- 16) Aronian, P. F., P. A. Scheff and P. A. Wadden, 1985, Wintertime Source-reconciliation of ambient organics, Atmos. Environ., 23(5), 911-920.