

## 도시대기 중 방향족 휘발성 유기화합물의 농도변화와 상관성에 관한 연구

옥 곤 · 문효방 · 이동인 · 한영호  
부경대학교 지구환경과학부

### A Study on the variation of concentration and correlation for aromatic VOCs in urban air

Gon Ok, Hyo-Bang Moon, Dong-In Lee and Young-Ho Han

Faculty of Earth Environmental Sciences, Pukyong National University

Nam-gu Daeyeon3-dong 599-1, Pusan 608-737, Korea

This study was carried out to observe the variation of concentration for aromatic VOCs in urban air, Pusan city, which was estimated at sites of PKNU and 21 Century Building during the period of 1996, 1997~1998. As a result, concentration of aromatic VOCs was annually increasing and influenced by the vehicle sources and point sources. The diurnal variation of benzene, toluene and m,p-xylene was shown to the same patterns, it means that their similar sources were existed near the sampling sites. Atmospheric scavenging effect by precipitation, and meteorological factors of wind direction and wind speed played an important variable roles for the variation of VOCs concentration. Vertical concentration was varied as volatile velocity of each VOCs compound and its value was shown at the lowest in the upper level. Each correlation coefficient of aromatic VOCs was generally high. Especially, Benzene had the highest value as compared with other 8 species.

**Key words** : aromatic VOCs, benzene, toluene, m,p-xylene, meteorological factors, correlation coefficients

#### 1. 서론

산업화로 인한 화석연료 및 용매 사용의 증가뿐만 아니라 자동차의 보급증가로 인한 도시 대기 오염은 날로 심각해지고 있는 실정이다. 이들 오염물질 중 대기 중에 극히 미량 수준으로 존재하고 있는 휘발성 유기화합물(VOCs; Volatile Organic Compounds)등에 대해 최근 관심이 집중되고 있다. 이들 중 특히 Benzene, Toluene, Xylene 등으로 대표되는 방향족 휘발성 유기화합물에 대해서 도시대기 중 농도 수준의 현황 파악이 중요한 사항이라고 볼 수 있다.

이들 화합물은 증기압( $10^{-2}$  kPa)이 높아 대기 중으로 쉽게 증발할 뿐만 아니라 피부에 흡수되기 쉽고, 호흡기를 통하여 흡입됨으로서 중추 신경등

주요기관에 영향을 미치는 발암물질(carcinogen)로 알려져 있다<sup>1</sup>.

또한 이들 화합물 자체가 발암성을 가지기도 하지만, 발생원에서 대기 중으로 방출되어 질소산화물등과 함께 광분해반응에 관여하여 2차 대기 오염물질인 광화학 산화제인  $O_3$ , PAN, formaldehyde 등을 형성하게 되어 광화학 스모그의 전구체(precursors)로서의 역할을 하게 된다<sup>2-5</sup>.

이들 화합물이 도시대기에 기여하는 주배출원은 가솔린 자동차와 유기용매를 사용하는 공업시설 뿐만이 아니라 폐기물 등의 소각과정에서도 생성되어 배출되는 것으로 알려져 있다<sup>6-8</sup>.

최근, R. Mukund 등<sup>9</sup>의 미국의 콜롬부스 도시대에 있어서 방향족 휘발성 유기화합물의 일변화와 그 주요 배출원에 대한 연구결과에 의하면 이

들 화합물의 도시대기에 대한 기여도는 유기용매를 사용하는 공업시설인 고정배출원보다는 가솔린 자동차와 같은 이동배출원의 영향이 가장 크며 반응성도 더욱 큰 것으로 알려져 있다.

또한 D. Brocco 등<sup>10</sup>은 로마 도시대기를 자동분석 GC-FID를 사용하여 관측한 결과 총탄화수소 화합물에 대해 alkanes 38.6%, olefins 12.6%, acetylene 3.7%, 그리고 aromatics는 33.7%를 차지하는 것으로 나타났으며, 그리고 방향족 화합물에 대해서는 Toluene이 35.4%, Benzene이 12.6%, 기타 화학종들이 42%를 차지하고 있는 것으로 추산하고 있다. 또한 도시대기의 주배출원은 자동차였으며 이는 교통량이 많은 시간대에 이들 화합물의 농도가 증가하는 것으로 보고되고 있으며, 관측된 데이터를 사용하여 Benzene과 Toluene의 상관관계는, 겨울철의 경우  $r=0.925$ , 여름철은  $r=0.625$ 로서 여름에 상관성이 낮게 나타나, 그 원인으로서는 Toluene과 Benzene이 광화학반응에 있어 다른 반응성으로서 전구체(precursor) 역할을 하기 때문인 것으로 지적되고 있다.

최근 선진국에서도 휘발성 탄화수소의 감축을 대기질 관리의 주요 정책 수단으로 하고 있으며, 국제적으로도 총탄화수소 혹은 비메탄계 탄화수소와 같은 휘발성 탄화수소를 총괄적으로 규정하는 환경기준의 실효성은 점차 그 의미를 잃어가고 있는 추세에 있다. 이것은 총탄화수소가 환경에 미치는 영향이 퇴색되거나 그 자체가 중요하지 않아서 아니라 수백 종에 달하는 탄화수소 각각의 생성경로나 환경적 운명 그리고 그 위해성에 대한 정확한 자료가 미흡한 상태에서 총탄화수소와 같은 규제방법으로는 환경과 인체에 대한 효과적인 대책이 이루어질 수 없기 때문인 것으로 풀이된다. 최근 일본 통상산업성<sup>11</sup>에서도 「사업자에 관한 유해대기오염물질의 자주관리 촉진 지침」을 발표하여 각 사업장과 개별 사업자는 연간 자주관리 계획안을 작성하여 달성 현황을 발표하는 지침을 시행해 오고 있으며, Benzene, Toluene, Xylene 등의 휘발성 유기화합물을 비롯한 유해대기오염물질의 저농도에서의 장기적 폭로에 대한 건강상 위해도를 위한 연구와 가이드라인을 제시하고 있다. 이러한 실정 속에서 환경뿐만 아니라 인체에 영향을

미치는 이들 휘발성 유기화합물에 대한 대기중 농도 수준과 이들 물질간의 상관성을 규명하여 총농도에 기여하는 대표물질의 파악을 위한 실측 자료는 대단히 중요하다.

따라서 지금까지, 배출원에 대한 아황산가스를 비롯한 기존 규제물질들에 대한 현황파악은 많이 실시되어 왔지만, 환경 대기 중의 휘발성 유기화합물들의 대기중 농도수준과 그 상관성에 관한 연구는 미비한 실정이므로 우리나라 대도시 중 극심한 교통문제로 높은 대기 오염도를 가지고 있는 부산지역을 연구 대상으로 이들 방향족을 중심으로 한 휘발성 유기화합물의 일중 농도변화, 고도별 농도변화 그리고 이들 화합물간의 상관성을 알아보았다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 측정점 및 기간

본 연구는 방향족을 중심으로한 휘발성 유기화합물의 도시 대기중 농도 수준 및 일중 농도변화, 고도별 농도변화 그리고 상관성 등을 파악하기 위하여 부산지역의 대연동에 위치한 부경대학교 4호관 3층(Building 4)에서 96년 9월과 10월, 97년 5월에 각 2회, 그리고 98년 2월에 걸쳐 일중 농도변화

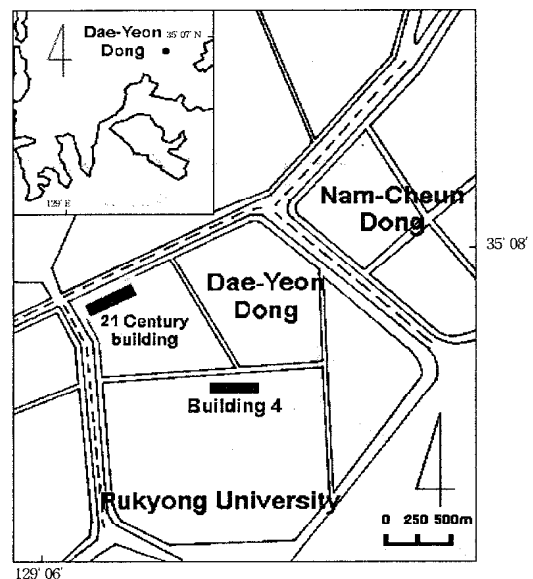


Fig. 1. Two sampling sites of VOCs in Pusan City.

를 관측하였다. 또한 고도별 농도변화 경향을 파악하기 위하여 자동차 배출원과 인접한 부산 대연동 21세기 오피스텔(21 Century building)에서 지상과 12층, 21층에서 96년 10월에 측정하였으며, 측정지역은 Fig. 1에 나타내었다.

## 2.2. 시료채취 및 방법

대기 중 방향족을 중심으로 한 휘발성 유기화합물의 채취를 위하여 10 l 테프론 마일러 백을 사용하여 핸드 샘플러(フレックスポンプ DC1-N型, 近江オドエア-サービス, 日本)로 공기를 포집한 후 흡착제인 GC-Tenax(60~80mesh, Max Temp. 350°C, Chromato Research Ltd.)를 포집관에 충전하여 진공펌프로 매시간 마다 3 l (300 ml/min)씩 채취하였다. 시료 채취관은 충전과정 중의 불순물 제거를 위해 샘플링 전에 250°C에서 고순도 질소(N<sub>2</sub>)가스를 흘려 보내면서 세정하였다.

## 2.3. 분석방법 및 분석조건

질소(N<sub>2</sub>)가스 10 l가 채워진 Air Bag에 29종의 분석대상 항목을 표준시료(Standard)로 만들어 대기 온도 하에서 충분히 휘발시킨 후 표준으로 사용하였다. 이 표준시료는 Tenax-GC로 충전된 흡착관에 상온 흡착(3 l)하고 carrier gas인 질소를 전환밸브를 사용하여 흡착관을 통과하도록 하고, 200°C에서 가열탈착하여 시료 중의 목적 성분이 탈착되어 GC-FID (HP5890A)에 주입되도록 하여 분석하였다.

GC-FID 분석법은 다음과 같이 다단승온을 실시하였으며 분석에 의해 나타난 retention time, peak area에 의하여 정성과 정량분석을 병행하였다. 분석기기 및 분석조건은 다음과 같으며,

GC-FID : HP5890A  
 Column : Methyl silicon 0.32mm I.D. × 25m × 5.0 μ Film  
 Initial temp. : 35°C Time : 15min Rate : 5°C/min  
 Final temp. : 100°C Time : 4min Rate : 2°C/min  
 Final A temp. : 150°C Time : 0min Rate : 5°C/min  
 Final B temp. : 200°C Time : 20min  
 Flow rate : 11.8ml/min Pressure : 10 psi

칼럼의 최종온도의 설정 시간을 20분으로 충분히 설정함으로써 분석대상 물질 이외의 성분을 충분히 제거할 수 있도록 했다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 일중 농도변화

일중 농도변화를 알아보기 위하여 실측된 29종의 VOCs 중 다른 VOCs에 비해 대기 중 농도가 높게 나타났을 뿐만 아니라 일반적으로 잠재적 위해도를 가진 대기 중 VOCs의 지표물질(indicator)로서의 역할을 하고 있는<sup>9,12</sup> Benzene, Toluene, m,p-Xylene과 같은 방향족성 휘발성 유기화합물을 선택하였다.

부경대학교 지점은 서쪽으로부터 북쪽으로 자동차 배출원이 밀접한 지역이며, 북동쪽에서 남동쪽까지는 인근 고정 배출원의 영향이 고려되는 지점이다. 이 지점에서 기상자료를 얻기 위해 AWS (MM900 EMS, ELE International Ltd.)를 설치하여 5분 간격으로 풍향과 풍속을 연속 관측하였다.

96년에서 98년 중 일정기간 동안 관측한 휘발성 유기화합물의 농도값과 시간별 변화도를 각각 Table 1과 Fig. 2에 나타내었다.

96년 9월 11~12일(96A)에 관측한 일중 농도변화는 인근 배출원에 의한 농도경향을 보여주고 있으며, Benzene 2.79 μg/m<sup>3</sup>, Toluene 63.77 μg/m<sup>3</sup>, m,p-Xylene은 17.16 μg/m<sup>3</sup>의 평균농도를 나타내었다. Fig. 2의 96A 일중 농도변화에서 나타나는 오전의 고농도 peak는 샘플링 당일 같은 시간대의 인근 공사장에서 의 쓰레기 소각에 의한 것으로 확인되었다. Fig. 2의 풍배도를 통해서 알 수 있듯이 이 날의 기상상태는 풍속은 약하였으며, 관측점으로부터 북서쪽으로 약 400m 거리에 있는 노천소각장에 의한 국지적 오염의 영향이 있음을 알 수 있었다. 이로 미루어 보아 일반 쓰레기장이나 공장에서 배출되는 연소가스에 의한 국지적 오염은 특별한 제어대책 없이 대기 중으로 방출되는 노천소각에 의한 영향도를 것으로 생각되며 이에 대한 적절한 대책의 강구도 필요할 것으로 판단된다.

Table 1. Concentration measured for 24 hours at PKNU.

	item	concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
		range	median	mean
96A	Benzene	0.18 ~ 11.66	2.04	2.79
	Toluene	0.46 ~ 589.94	12.03	63.77
	m,p-Xylene	0.27 ~ 147.56	3.28	17.16
96B	Benzene	0.57 ~ 5.68	2.51	2.71
	Toluene	2.51 ~ 28.96	13.55	13.09
	m,p-Xylene	0.65 ~ 9.74	4.28	4.45
97A	Benzene	0.41 ~ 6.57	2.61	2.78
	Toluene	1.60 ~ 32.61	14.43	15.82
	m,p-Xylene	2.73 ~ 13.31	5.73	6.60
97B	Benzene	1.04 ~ 5.88	1.87	2.02
	Toluene	1.48 ~ 20.51	8.20	9.54
	m,p-Xylene	0.71 ~ 9.36	2.97	3.68
98	Benzene	1.51 ~ 6.00	3.71	3.66
	Toluene	4.00 ~ 36.3	17.3	19.05
	m,p-Xylene	2.73 ~ 17.73	6.6	6.98

96A: September 11-12th, 96B: September 13-14th, 97A: May 9-10th, 97B: May 15-16th, 98: Feb. 3-4th.

96년 9월 13~14일(96B)에 관측한 일중 농도변화는 Benzene  $2.71\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Toluene  $13.09\mu\text{g}/\text{m}^3$ , m,p-Xylene은  $4.45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 평균농도를 나타내고 있으며, 이 날의 기상상태는 Fig. 2의 풍배도에서 나타나듯이 자동차 거리(서쪽~북쪽)와 인근 고정 배출원(북동쪽~남동쪽)으로부터의 풍향이 관측되었으며 이는 교통량이 집중되는 8~10시와 18~21시에 나타나는 고농도 peak와 야간부터 새벽까지 이어지는 인근 배출원의 연소과정으로 인한 농도 증대와 교통량 증대에 의한 영향으로 사료된다.

### 3.2. 강우에 의한 대기중 농도변화

강우에 의한 대기중 VOC류의 농도변화를 파악하기 위하여 97년 5월 9~10일(97A)의 강수 전관측과 15~16일(97B)의 강수 후 관측값을 비교하였다.

Fig. 2에서 97A 자료 역시 96년(96A,96B)과 마찬가지로 교통량과 인근배출원의 영향을 함께 받는 것을 알 수 있으며, 출·퇴근 시간대에 교통량

의 증가와 더불어 대기중 농도의 증가를 보이며 야간(24~6시)의 인근 배출원에 의한 영향도 함께 나타나고 있다. 이는 96년 자료(96B)와 비교할 때, Benzene은  $2.78\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 비슷한 농도를 나타내었으나, Toluene은  $15.82\mu\text{g}/\text{m}^3$ , m,p-Xylene은  $6.60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 각각 1.2배, 1.5배 정도의 증가율을 보여 m,p-Xylene의 증가율이 가장 크고, Benzene의 증가율이 거의 없는 것으로 나타나 교통량보다는 인근 배출원에 의한 대기로의 축적이 나타나고 있음을 알 수 있었다.

97B는 전일  $77.6\text{mm}^{13}$ 의 강수로 인한 대기세정의 효과를 나타내는 결과로서 97A와 비교할 때, Benzene은 27% 감소한  $2.02\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Toluene은 40% 감소한  $9.54\mu\text{g}/\text{m}^3$  그리고 m,p-Xylene은 44% 감소한  $3.68\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 나타내었다. 대기가 강수에 의해 세정된 이후에는 일중농도가 다소 감소되어 빗물에 의한 지표 침투 가능성을 보이고 있어 이들 화합물이 토양에 미칠 영향도 다소 있을 것으로 사료된다.

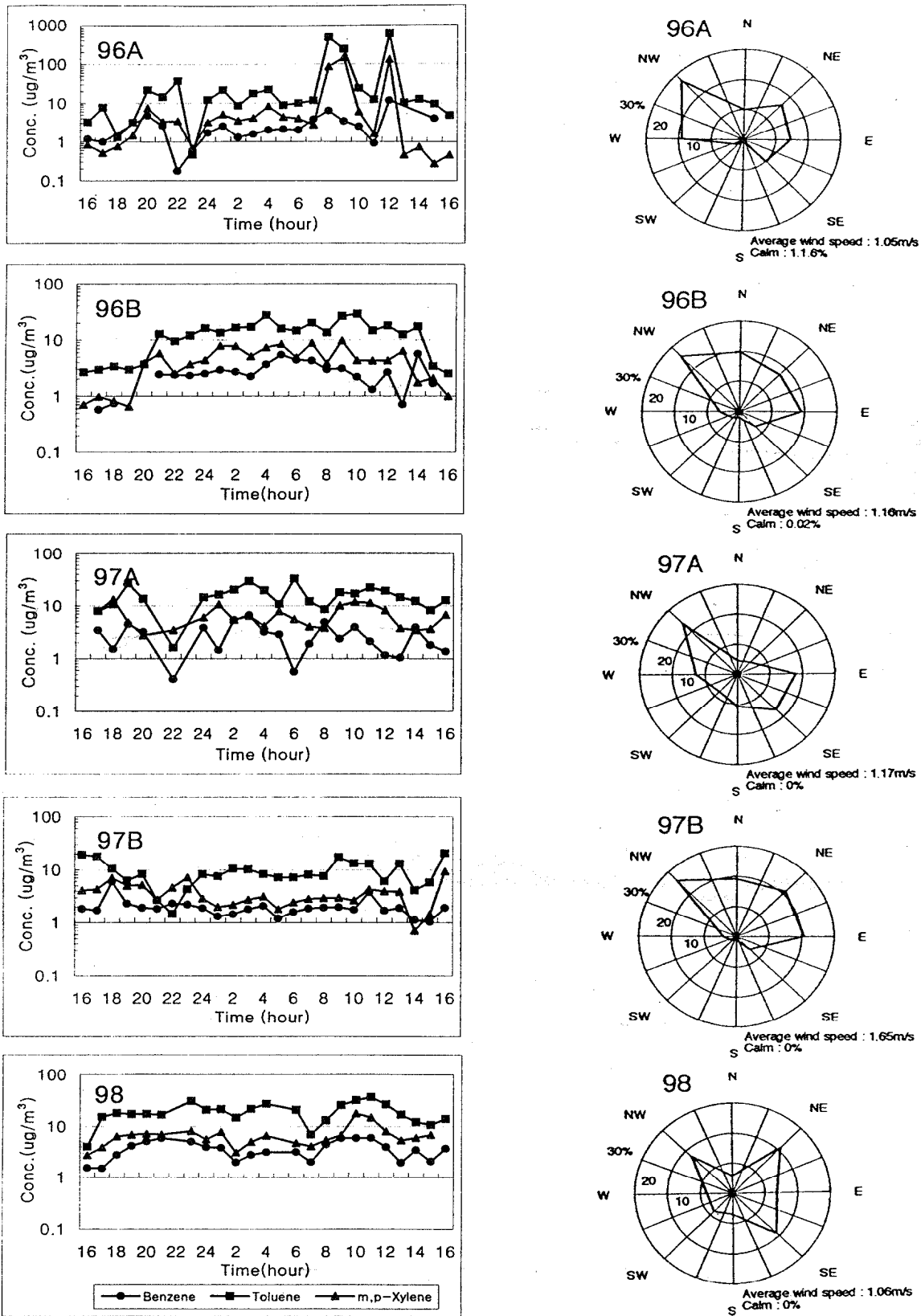


Fig. 2. Variation of concentration for 24 hours and windrose in 1996, 97 and 98.

### 3.3. 연차별 농도 변화

96년, 97년 그리고 98년 관측실험에서 29종의 분석대상 물질 중 농도가 높은 순으로 보면 Toluene, m,p-Xylene, Benzene의 순서로 나타났으며, 관측시의 기상자료와 농도경향을 비교 분석한 결과 자동차뿐만 아니라 연소 과정에서 발생하는 고정 배출원의 영향이 크게 나타남을 알 수 있었다. 이들의 농도변화 양상이 비교적 유사한 형태로 나타나고 있어 동일 배출원에 의한 영향을 받고 있는 것으로 판단된다<sup>14</sup>.

Fig. 3에 89년 6월 9, 10일<sup>15,16</sup>에 같은 지점에서 24시간 연속 측정된 평균농도와 비교해 보면(96B), Benzene은 1.9배인  $2.71\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Toluene은 1.8배인  $13.09\mu\text{g}/\text{m}^3$ , m,p-Xylene은 1.7배인  $4.45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도로 증가한 것으로 나타났다. 이들 중 m,p-Xylene의 농도가 가장 큰 폭으로 증가하고 있으며 Benzene의 증가폭은 작은 것으로 나타났다. 89년도와 비교할 때 96년도는 1.6~1.8배로, 97년도는 96년도에 비해 1.2~1.5배로의 증가가 나타났으며, 98년도는 97년도에 비해 Benzene은 1.3배 증가한  $3.66\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Toluene은 1.2배가 증가한 농도인  $19.05\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 나타내었으며, m,p-Xylene은 1.1배 증가한  $6.98\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 농도를 나타내어, 대기중 VOCs의 축적성과 연차적인 증가 추세의 경향이 나타남을 알 수 있었다. 또한, Fig. 2로부터 98년도 일중 농도변화(98)는 이전과는 다른 양상을 보이는데 이는

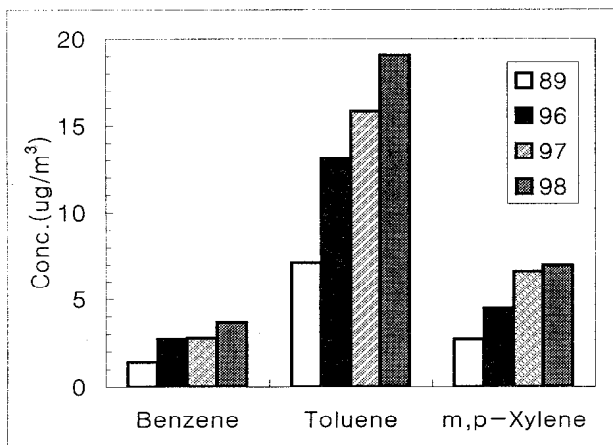


Fig. 3. Comparison of 1989, 1996 and 1998 concentration measured at PKNU.

국가적인 경제위기에 의한 차량운행의 감소로 출퇴근 시간에만 농도의 증가가 두드러지며, 이 시간대 이외에는 96년과 97년도에 비해 확연하게 농도가 감소하였음을 알 수 있었다. 또한, 고정 배출원에 의한 야간 방출은 지속적인 것으로 나타났으나 증가 추세가 과거에 비해 크지 않았다. 그러나 전반적으로 96년과 97년 그리고 98년도의 대기중 VOCs의 일중 변화 농도는 89년에 비교하여 교통량의 증가로 rush hour 시간대가 단시간으로 국한되지 않고, 교통의 정체 시간이 상당히 길어짐으로써 대기 중 농도의 일변화 경향도 연차별로 크게 변화되고 있는 것으로 판단된다.

### 3.4. 고도별 농도변화

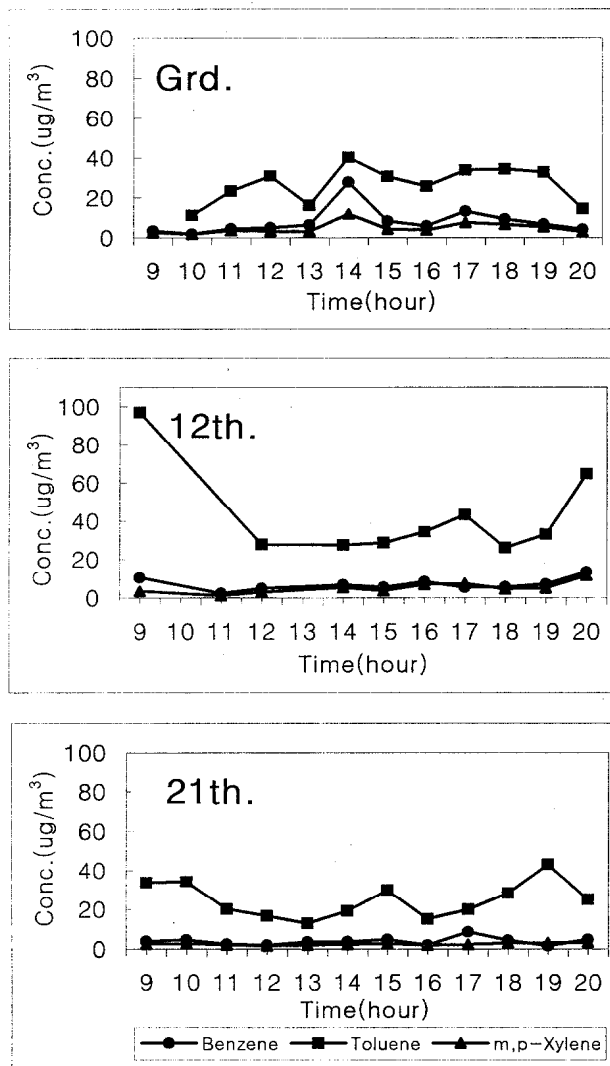
고도별 농도변화는 차량의 지속적인 정체와 지하철 공사 등으로 교통량이 많은 자동차 오염원 지역으로 간주할 수 있는 부산 대연동 21세기 오피스텔에서 측정하였으며 96년 10월 4일 지상과 12층(약 30m)과 옥상(60m)의 세 지점으로 나누어 측정하였다. 이곳에서 실측한 Benzene, Toluene, m,p-Xylene의 일중 연직농도는 Table 2와 같다.

지상에서의 평균농도는 Benzene이  $8.02\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Toluene이  $26.62\mu\text{g}/\text{m}^3$ , m,p-Xylene은  $4.71\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 12층에서의 평균농도는 Benzene  $6.92\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Toluene  $42.34\mu\text{g}/\text{m}^3$ , m,p-Xylene  $5.15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났고, 가장 높은 고도인 21층에서는 Benzene이  $3.87\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Toluene이  $24.82\mu\text{g}/\text{m}^3$ , m,p-Xylene은  $2.45\mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 평균농도를 나타내었다.

Fig. 4의 고도별 일중 농도변화를 보면, 지상보다는 12층에서 농도가 가장 높으며 교통량 증가와 감소에 의한 영향이 가장 뚜렷하게 나타났다. 이것은 지속적인 교통체증과 발생원인 자동차 배기구로부터의 휘발성 유기화합물의 휘발속도에 기인하여 지표면보다는 약간 높은 고도에서 고농도가 나타난 것으로 사료된다. 이는 가스상 물질이 대기중 지상 30m 높이 부근에서 고농도로 정체하고 있음으로, 지형적 특성에 따른 미기상학적인 기류의 이동과 대류 현상 등에 관한 조사가 장기적으로 필요할 것으로 판단된다. 또한 21층 옥상에서 각 성분의 가장 낮은 농도를 보여 고도의 증가와 풍속

**Table 2.** Concentration measured for 12 hours at 21 century building.

site	item	concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
		range	median	mean
Ground	Benzene	1.84 ~ 27.76	6.10	8.02
	Toluene	11.21 ~ 40.10	30.49	26.62
	m,p-Xylene	1.73 ~ 11.84	3.66	4.71
12th Floor	Benzene	2.30 ~ 13.34	6.09	6.92
	Toluene	25.94 ~ 96.87	32.86	42.34
	m,p-Xylene	1.15 ~ 11.49	4.75	5.15
21th Floor	Benzene	1.62 ~ 8.68	3.83	3.87
	Toluene	12.90 ~ 43.00	22.56	24.82
	m,p-Xylene	1.56 ~ 3.31	2.46	2.45



**Fig. 4.** Diurnal variation of concentration at each height of 21 Century building, Pusan.

의 증가에 의한 농도 희석현상이 있는 것으로 판단된다.

### 3.5. 상관관계

분석 대상 물질들 간의 상관관계를 알아보기 위하여 29종의 대상 물질 중 9종을 선택하였으며, 사용된 자료는 96년 9월 11일, 13일과 97년 5월 9일, 15일에 측정된 24시간 측정 자료와 96년 10월 4일 21 Century building에서 측정된 12시간 측정자료를 사용하여 분석하였다.

Table 3은 물질간의 상관계수( $r$ )를 나타내었으며, Fig. 5는 각 물질들간의 상관성을 그래프로 나타내었다. 분석한 결과 Toluene과 Ethylbenzene의 상관계수(correlation coefficient,  $r$ )가 가장 높게 나타났으며( $r=0.91$ ), Ethylbenzene과 m,p-Xylene( $r=0.90$ ), Benzene과 Toluene ( $r=0.87$ ), Toluene과 m,p-Xylene( $r=0.87$ ), m,p-Xylene과 o-Xylene( $r=0.87$ ) 등의 순으로 나타났다. 이는 浦野雄平 등의 연구 논문<sup>17</sup>에서 나타난 m,p-Xylene과 o-Xylene( $r=0.93$ ), Ethylbenzene과 m,p-Xylene( $r=0.92$ ), Toluene과 o-Xylene( $r=0.90$ ), Benzene과 Toluene( $r=0.85$ )의 상관계수와 비슷한 결과이다.

9종의 분석 대상 물질에 대해 모두 정의 상관성이 나타났으며 이들 물질 중 8종 모두의 물질에 대해 전반적으로 높은 정의 상관도를 가지는 것은 Benzene이었으며 이는 선택된 9종의 물질이 모두

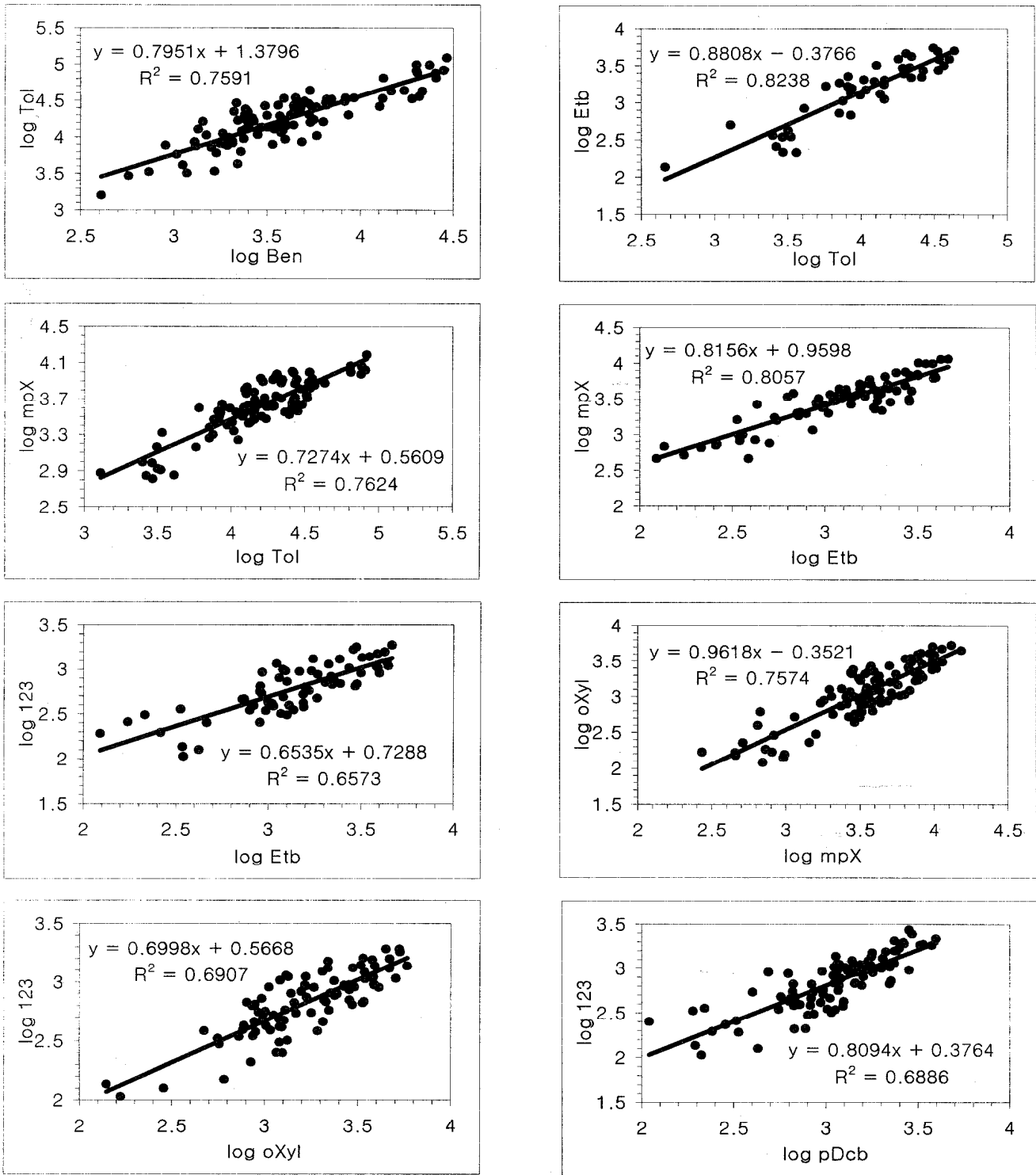


Fig. 5. Correlation for each component. (ng/m<sup>3</sup>)

**Table 3.** Correlation coefficients(r) for each item.

Chemical	Abbreviation	Ben	Tol	Etb	mpX	oXyl	pDcb	123T	pDeb	Nap
Benzene	Ben	1.00								
Toluene	Tol	0.87	1.00							
Ethylbenzene	Etb	0.82	0.91	1.00						
m,p-Xylene	mpX	0.79	0.87	0.90	1.00					
o-Xylene	oXyl	0.79	0.65	0.86	0.87	1.00				
p-Dichlorobenzene	pDcb	0.65	0.61	0.69	0.75	0.85	1.00			
1,2,3-Trimethylbenzene	123T	0.80	0.74	0.81	0.80	0.83	0.83	1.00		
p-Diethylbenzene	pDeb	0.67	0.34	0.54	0.59	0.74	0.78	0.64	1.00	
Napthalene	Nap	0.79	0.78	0.59	0.73	0.55	0.80	0.60	0.59	1.00

벤젠 고리를 기본 고리로 하는 물질이기 때문인 것으로 사료된다. 또한 Toluene, Ethylbenzene, m,p-Xylene 등의 순으로 다른 물질과의 높은 상관도를 가지는 것으로 나타났다.

또한 Toluene과 p-Diethylbenzene의 상관계수가 가장 낮게 나타났으며( $r=0.34$ ), 전반적으로 p-Diethylbenzene과 p-Dichlorobenzene이 다른 종(種)과의 상관도가 낮은 것으로 나타났으나, 전반적으로 선택된 9종의 물질에 있어서 각 물질의 상관관계는 높은 것으로 판단된다.

이상과 같은 결과에 의해서 일반 대기중에 존재하는 다종의 VOCs에 대한 각각의 관측을 토대로 분석 이전에 상관성이 높은 물질을 VOCs의 지표물질(indicator)로 규정하여 총탄화수소에 기여도가 높은 물질을 사용하여 대기질의 평가기준으로 사용하면 유용할 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구의 결과 부산 대기 중의 방향족 휘발성 유기화합물은 차량수의 급증에 따른 자동차 배출원과 인근 고정 배출원의 영향에 의한 것으로 사료되며, 대기중에 항상 존재하고 있고 연차적으로 점점 증가하는 추세임을 알 수 있었다. Benzene, Toluene, m,p-Xylene의 일중 농도변화는 그 양상이 비교적 일치하는 것으로 나타났으며 이는 동일 배출원에 의한 영향인 것을 알 수 있었다. 또한 강

수에 의한 대기세정의 의존도가 약 30에서 40% 가량으로 나타났으며, 이는 휘발성 유기화합물의 강수에 의한 세정효과에 의해 대기중으로부터 제거 과정을 거쳐 지표로의 침착이 이루어질 것으로 생각된다. 휘발성 유기화합물의 고도별 분포는 배출원으로부터의 휘발 속도에 기인하여 지상보다는 12층에서 교통량에 의한 상관성이 가장 뚜렷하게 나타났으며 상층에서는 희석 효과가 나타남을 알 수 있었다. 따라서 관측시 기상학적 인자가 중요한 변수로 작용한 것으로 나타났다. 휘발성 유기화합물 상호간의 상관성은 전반적으로 높게 나타났으며 선택된 9종의 물질 중 Benzene이 다른 물질과의 상관성이 가장 높고 p-Diethylbenzene이 가장 낮게 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육부의 기초과학연구소의 1997년 재정지원에 의하여 이루어졌으므로 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. J. A. Bukowski, M. G. Robson, B. T. Buckley, D. W. Russel and L. W. Meyer, *Environ. Sci. Technol.*, **1996**, 30, 2543-2546.
2. 花井義道·加藤龍夫·山下曉, **1979**, “*横浜國立大學 環境科學研究センター紀要*”, 5, 53-70.
3. S. Leggett, *Atmos. Env.*, **1996**, 30, 215-226.

4. J. Chung, R. A. Wadden and P. A. Scheff, *Atmos. Env.*, **1996**, 30, 3167-3179.
5. 花井義道 · 加藤龍夫 · 青木祥市, *横浜國立大學 環境科學研究センター紀要*, **1985**, 12, 41-46.
6. 花井義道 · 玉坤 · 大塚眞志 · 加藤龍夫, *横浜國立大學 環境科學研究センター紀要*, **1992**, 18, 1-8.
7. 青木祥市 · 玉坤 · 花井義道 · 加藤龍夫, *大氣汚染調査研究報告*, 神奈川縣, 日本, **1990** 31, 82-87.
8. B. D. Eitzer, *Environ. Sci. Technol.*, **1995**, 29(4), 896-902.
9. R. Mukund, T. J. Kelly and C. W. Spicer, *Atmos. Env.*, **1996**, 30(20), 3457-3470.
10. D. Brocco, R. Fratarcangeli, L. Lepore, M. Petricca and I. Ventrone, *Atmos. Env.*, **1997**, 31, 557-566.
11. 森田昌敏 等, **1997**, “有害大氣汚染物質測定の實際”, pp 4-9, 環境序大氣保全局, 日本.
12. S. P. Thomas, R. S. Ranjan, G. R. Barrie Webster and L. P. Sarna, *Environ. Sci. Technol.*, **1996**, 30(5), 1521-1526.
13. “기상월보”, **1997**, pp 21, 기상청, 한국.
14. 烏蘭參丹 · 花井義道 · 加藤龍夫, *横浜國立大學 環境科學研究センター紀要*, **1987**, 14, 27-32.
15. 玉坤 · 青木祥市 · 花井義道 · 韓英鎬, **1989**, 第30回大氣汚染學會 講演要旨集, 山崎, 日本.
16. 青木祥市 · 玉坤 · 花井義道 · 韓英鎬, *横浜國立大學 環境科學研究センター紀要*, **1989**, 16(1), 23-28.
17. 浦野雄平 · 官本建一 · 奥山勝男 · 藤江幸一, *大氣汚染學會誌*, **1992**, 27(5), 227-236.