

서울시 대기 중 휘발성 유기화합물 농도에 관한 연구

윤중섭 · 어수미 · 김광진 · 김민영 · 신재영
서울시 보건환경연구원

Studies on the Volatile Organic Compounds of Ambient Air in Seoul

Joong Sup Yun, Soo Mi Eo, Kwang Jin Kim, Min Young Kim and Jae Young Shin
Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health & Environment
Seocho-gu Yangjae-dong 202-3, Seoul 137-130, KOREA

VOCs were analyzed in spring('99. 3. 22~25), summer(6. 17~19), and fall(9. 28~30) at 4 sites(Banpo, Hannam, Hwagok and Banghak-dong) in Seoul. The results can be summarized as follows ;

1. The weight percents of VOCs were 47.6% of alkane, 44.4% of aromatic compounds and 8% of alkene. The concentrations of propane was 15.01 ppb, toluene was 13.00 ppb, hexane was 11.13 ppb, and butane was 8.86 ppb. light compounds below C₅ showed relatively high concentrations.
2. The differences of VOCs total concentrations among areas in the city were about 20 ppb, and those were related to the emission gas by mobile vehicles and the type and amount of organic solvent.
3. The VOCs concentrations below C₅ like ethylene, butane were high in summer and those of other compounds were low in summer.

Key word : volatile organic compounds, sorbent, automatic thermal desorption, alkane, alkene, aromatic.

1. 서 론

대기 중 유기화합물들은 여러 가지 측면에서 분류되고 있으나 각 물질의 존재상(phase)에 따라 휘발성(Volatile), 반휘발성(Semi-Volatile), 비휘발성(Non-Volatile)의 세 그룹으로 분류된다. 대체로 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds : 이하 VOCs라 함)은 증기압이 10⁻² kPa 이상이며, 반휘발성 유기화합물(SVOC)은 약 10⁻²에서 10⁻⁸ kPa 정도, 비휘발성 유기화합물(NVOC)은 10⁻⁸ kPa 이하의 증기압을 가지는 물질들이 해당된다.¹⁾ 여기서 VOCs라 함은 탄소와 수소만으로 구성된 탄화수소류와 할로젠화 탄화수소, 질소나 황함유 탄화수소 등 상온·상압에서 기체상태로 존재하는 모든 유기성 물질을 통칭하는 의미로 사용되며 넓은 의미로는 반휘발성 유기화합물도 포함된다.

1950년대 초에 광화학 스모그를 일으키는 지배인자로 휘발성 유기화합물(VOCs)이 주목을 받은 이후 LA를 포함한 선진국의 대도시를 중심으로 VOCs는 심각한 대기환경문제로 대두되었다.²⁾

VOCs는 자체의 화학적 성질로도 인체에 유해할 뿐만 아니라 대기중에서 질소산화물(NO_x)과 함께 광화학 반응에 참여하여 인체 및 동·식물에 유해한 오존 등 2차 오염물질인 광화학 산화물을 형성하는 전구물질로 작용하고 있다.³⁾ 최근에 전세계적으로 대도시 지역에서 오존 농도가 환경규제기준을 초과하는 빈도가 증가함에 따라, VOCs의 대기 중 역할과 광화학 반응에서의 중요성이 새로이 부각되고 있는 실정이다.

그러나, 지금까지는 광화학 스모그에 대한 연구는 오존 농도 분석과 입자 중의 수용성 이온성분 분석이 대부분이었다.⁴⁾ 광화학 스모그를 연구하기 위해서 대기 중의 NO_x뿐만 아니라 탄화수소의 존

재에 대한 중요성이 인식되고 왔으나 총 탄화수소 또는 비메탄계 탄화수소와 같이 VOCs를 총괄하여 집합적으로 규정지은 환경기준의 실효성은 점차 퇴색되어 가고 있는데, 이는 그 자체가 중요하지 않아서가 아니라 수십·수백 중에 이르는 탄화수소의 개별적인 거동과 유해성에 대한 정확한 이해가 뒷받침되지 않고 있기 때문이다.⁵⁾

대기 중 VOCs는 총 탄화수소 농도보다는 오존의 전구물질로 기여하는 VOCs의 농도를 측정·과약하는 것이 중요하나 대기 중에 존재하는 VOCs의 종류와 그 농도에 대한 국내 연구가 미약한 실정이다. 대기 중의 유기화합물의 종류와 농도에 대한 충분한 정보 없이 광화학 스모그에 대한 효과적인 저감대책을 수립할 수 없다는 점을 고려할 때 서울시 대기 중에서 유기화합물의 종류와 농도 자료를 구하는 것은 매우 중요하리라 사료된다. 따라서 본 연구는 서울시 화곡동, 반포동, 한남동, 방학동 측정망의 4 개 측정망을 선택하여 계절별로 대기 중의 VOCs 농도의 특성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. VOCs 시료의 채취

본 연구에서는 스테인레스 강 재질의 튜브(90mm

×5mm ID, Supelco사)에 Carbotrap CTM(20/40mesh), Carbotrap BTM(60/80mesh), Carbosieve SIIITM(60/80 mesh)를 충전한 다중 흡착튜브를 이용하여 VOCs를 채취하였다. CarbotrapTM는 C₄에서 C₁₄까지를 선택적으로 잘 흡착하고 Carbosieve SIII은 C₂에서 C₆까지를 선택적으로 잘 흡착한다. Carbotrap CTM, Carbotrap BTM는 비표면적이 각각 10.0 m²/g, 100.0 m²/g인 흑연화된 카본블랙 흡착제이고, Carbosieve SIIITM는 비표면적이 800.0 m²/g인 탄소 분자 체(sieve)이다. 튜브에 충전한 흡착제의 총량은 300 mg이었으며, 흡착제의 비표면적이 작은 것에서부터 큰 순서로 충전하였으며, 시료 채취시에는 기체의 흐름을 정방향(흡착제 충전 방향)으로 하고, 분석을 위한 열탈착시에는 기체의 흐름을 반대방향으로 함으로써 탈착효율을 향상되게 하였다.⁶⁾

Fig. 1은 흡착튜브에 대한 일례이다.

2.1.1. 흡착튜브의 전처리

흡착튜브는 사용 전에 열탈착장치(ATD-400, Perkin Elmer사)에서 고순도 질소가스를 분 당 50 ml로 통과시키면서 350℃에서 1시간 Conditioning을 실시하였다. 전처리된 튜브는 Swagelok-type의 fitting과 PTFE 폐물들을 이용하여 보관 중 오염되지 않도록 완전히 밀봉하였으며 컨디션닝 후 24시간 안에 시료채취에 사용하였다.

전처리된 흡착튜브를 시료의 분석과 동일조건으

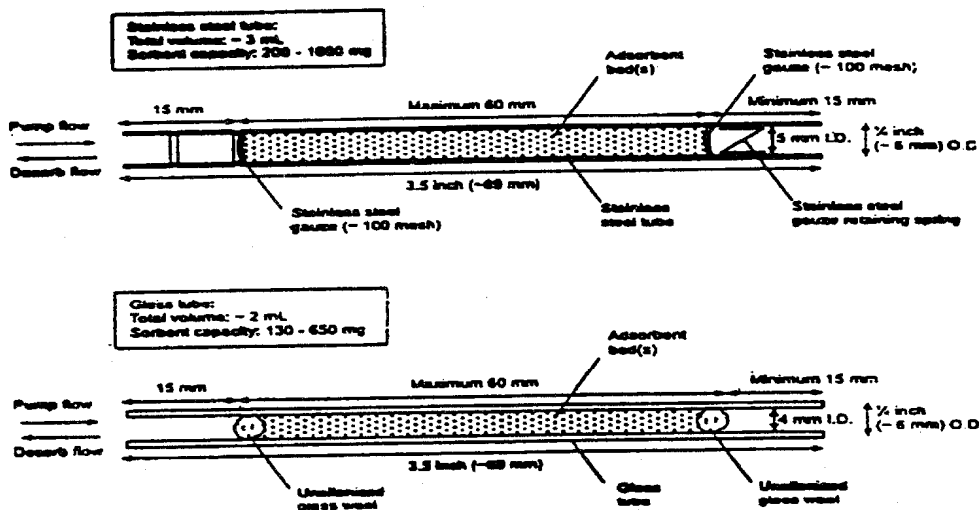


Fig. 1. Example of construction of commercially available sorbent tubes(EPA Method TO-17).

로 분석시 분석하고자하는 성분이 검출되지 않게 하였다.

2.1.2. 시료채취

대기중의 시료채취는 저유속 정량 펌프(ALPHA 2, AMETEK사)를 테프론 관으로 각각의 흡착튜브를 연결할 수 있는 Fig. 2와 같은 연속 시료 채취 장치(STS-25, Perkin Elmer사)에 연결하여 실시하였다. 연속 시료 채취장치는 대기시료를 지정된 시간 동안 일정한 시간 간격으로 순차적으로 24 개의 시료채취가 가능하다.

시료채취를 위한 튜브는 확산제한(diffusion-limiting) 마개로 밀봉하여, 대기 중 VOCs의 확산에 의한 오염을 차단하였다. 펌프는 자동유량조정기(DC-1 Flow Calibrator, BIOS사)를 사용하여 현장에서 교정하였다. 시료채취 완료 후에 시료채취 전·후의 유량을 점검한 결과, 유량변화는 5% 이내로 확인되었으며, 채취된 시료의 양은 채취 전·후 측정된 유량의 산술 평균값으로 계산하였다. 시료채취시 적정유량은 50ml/min이며, 확산에 의한 VOCs의 유입에 따른 오차를 최소화하기 위하여는 10 ml/min 이상의 유량을 권장하고 있다.⁷⁾ 본 연구에서는 50 ml/min 전후의 유량을 이용하여 1시간 단위로 시료를 채취하였다.

2.2. 분석방법

시료를 채취한 흡착튜브를 자동열탈착 시료주입

장치(Automatic thermal desorption : ATD-400)에 장착한 후 가스 크로마토그래피를 이용하여 VOCs 성분을 분석하였다.

시료흡착관에 흡착된 VOCs는 ATD-400 장치에서 350°C에서 5분간 열탈착되어 -30°C로 유지되는 Cold trap에 농축된 후 다시 300°C에서 5분간 열탈착하여 가스 크로마토그래피에 주입하였다.

주입된 시료는 가스 크로마토그래피에서 C₂에서 C₅까지는 Alumina-PLOT 칼럼(0.32mm×60m, 1 μm), C₅ 이상은 BP-1 칼럼(0.32mm×60m, 1 μm)에 의해 분리한 후 FID 검출기를 이용하여 검출하였다.

자동열탈착 시료주입장치(ATD-400) 및 가스 크로마토그래피의 분석조건은 Table 1과 같다.

Table 1. The analytical conditions of ATD-400 & GC-FID for the VOCs.

	Configuration & condition
ATD-400	<ul style="list-style-type: none"> • Desorption oven Temp. : 350°C • Cold trap low Temp. : -30°C • Cold trap time : 5min • Valve Temp : 220°C • Carrier gas flow : 13psi • Cold trap packing material : Carbotrap 25mg, Carbosieve SIII 55mg • Desorption time : 5min • Cold trap high Temp. : 300°C • Transfer line Temp. : 200°C • Desorb flow : 50ml/min • Split rate : 1/10
GC-FID	<ul style="list-style-type: none"> • Column : - Alumina-PLOT(0.32mm×60m, 1μm) : light - BP-1(0.32mm×60m, 1μm) : heavy • Initial oven Temp. : 40°C (hold time 10min) • Det. Temp. : 200°C(light) • Final oven Temp. : 180°C • Temp. rate : 5°C/min • Det. Temp. : 250°C(heavy)

2.3. 대상물질 선정

대상물질은 VOCs 중 주로 대기중에 존재하고

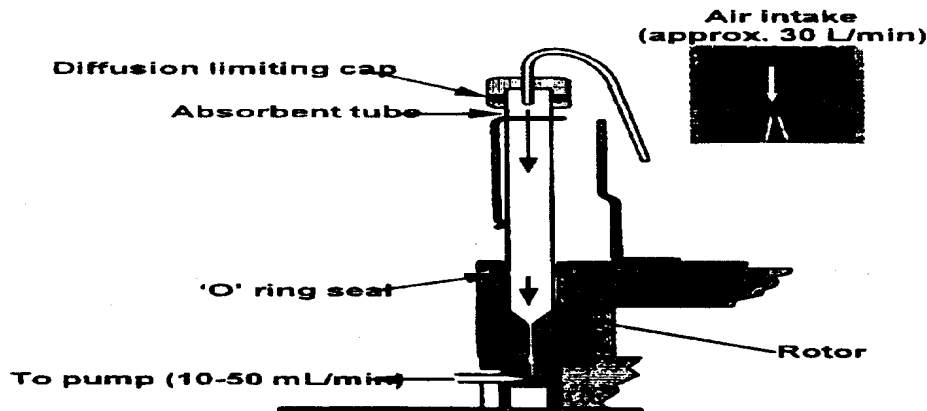


Fig. 2. Schematic diagram of the automatic VOC sampler(STS-25).

장기적으로 보아 건강상에 악영향을 끼치며 광화학 스모그의 전구물질로서의 역할, 대기 중 광화학 반응 정도, OH 라디칼과의 반응속도, 분석 여건 등을 고려하고 오존, 이산화질소 등 대기환경기준을 초과한 지역을 대기특별규제지역으로 지정하여 VOCs를 측정하도록 한 대상물질 중 16 항목을 선정하였으며 Table 2는 각 물질들의 물성들을 나타내었다.

Table 2. Physical properties of target VOC compounds.

VOCs	Mole. formula	M. W(g)	Boiling point	POCP ^a
Ethylene	C ₂ H ₄	28.05	-104	100
Propane	C ₃ H ₈	44.10	-42.1	40
Butane	C ₄ H ₁₀	58.12	-0.5	-
Isopentane	C ₅ H ₁₂	72.15	27.8	30
1-pentene	C ₅ H ₁₀	70.13	38.6	70
Pentane	C ₅ H ₁₂	72.15	36.1	40
Isoprene	C ₅ H ₈	68.11	34.1	100
Hexane	C ₆ H ₁₄	86.18	69	50
Benzene	C ₆ H ₆	78.11	80.1	20
Heptane	C ₇ H ₁₆	100.21	98	-
Toluene	C ₇ H ₈	92.14	110.6	55
Ethylbenzene	C ₈ H ₈	106.17	136	60
p-Xylene	C ₈ H ₈	106.17	138	90
Styrene	C ₈ H ₈	104.14	145.5	-
o-Xylene	C ₈ H ₈	106.17	144	65
1,2,4-Trimethylbenzene	1,2,4-(CH ₃) ₃ C ₆ H ₃	120.19	213	120
m-Xylene	C ₈ H ₈	106.17	139.3	105

a : Photochemical ozone creating potentials(source : Chemistry & Analysis of Volatile Organic Compounds in the Environment)

3. 결과 및 고찰

3.1. 검량선의 직선성

각 VOCs 물질의 직선성을 파악하기 위하여 혼합 표준가스를 10, 20, 30, 40, 50 ml로 증가시켜 각 성분의 정량용 질량수와 면적의 비를 구하여 검량선을 작성하였다. Fig. 3은 각 계열별 중 Paraffin 계열은 프로판, Olefin 계열은 1-Pentene, 방향족 탄화수소는 벤젠, 톨루엔을 취하여 나타낸 것으로서 모든 물질의 R² 값이 0.95이상으로 직선성을 보

이고 있었으며 재현성이 매우 좋았다.

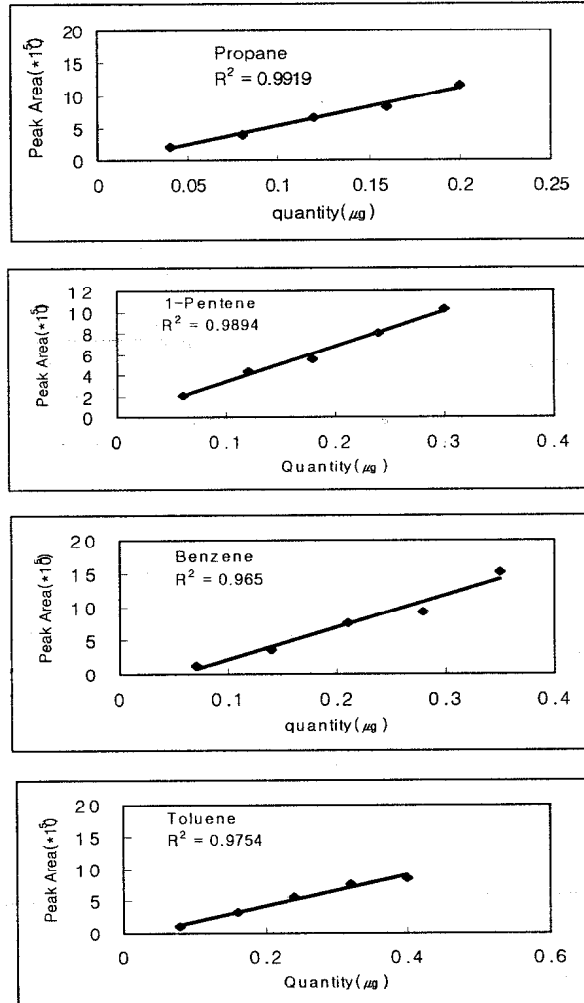


Fig. 3. Regression coefficient of VOC compounds.

3.2. 서울시 대기 중 VOCs 농도 분포

1999년 3월 22일~25일, 6월 17~19일, 9월 28~30일 서울시 반포, 한남, 화곡, 방학 4 개 측정망에서 주간에 측정된 휘발성 유기화합물의 종류별 농도는 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 보는 바와 같이 종류별 휘발성 유기화합물의 농도는 알칸, 방향족 화합물, 알켄(올레핀)의 순으로 높았다. 서울시 전체로는 알칸이 47.6%, 방향족 화합물이 44.4%, 그리고 알켄이 8%이었다.

이는 나 등⁸⁾이 1996년 4월 26일, 8월 17일, 1997년 1월 13일 등 세번에 걸쳐 측정된 값인 알칸

Table 3. Mean concentrations of VOCs in Seoul ambient air.

	Seoul(n=60)				Banpo(n=15)		Hannam(n=15)		Banghak(n=15)		Hwagok(n=15)	
	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
ethylene	4.33	3.79	0.75	11.71	5.83	3.72	4.93	5.22	3.14	3.81	3.30	0.82
propane	15.01	23.71	0.86	86.59	17.02	27.31	10.54	12.74	20.17	33.30	12.78	19.91
butane	8.86	5.39	0.00	18.13	10.33	4.22	8.23	6.12	5.52	4.61	11.07	5.30
isopentane	5.46	10.83	0.07	65.18	5.66	8.02	3.85	3.31	4.14	5.01	8.08	19.57
1-pentene	1.08	0.70	0.00	3.77	1.22	1.07	1.07	0.48	1.15	0.60	0.87	0.55
pentane	1.90	2.32	0.00	14.40	2.60	4.22	1.72	0.72	1.44	1.10	1.81	1.53
isoprene	1.10	1.01	0.14	4.07	0.94	0.99	1.70	1.26	0.83	0.67	0.92	0.88
hexane	11.13	13.09	0.19	44.06	9.67	12.22	6.33	10.44	12.06	13.74	16.54	15.21
benzene	2.32	2.17	0.15	10.53	2.57	2.43	1.78	1.20	3.08	3.29	1.92	1.28
heptane	0.53	0.70	0.00	3.56	0.98	0.99	0.24	0.27	0.27	0.60	0.59	0.53
toluene	13.00	14.21	0.49	64.17	22.18	23.33	8.04	2.32	7.94	4.16	13.36	11.71
ethylbenzene	2.27	2.36	0.17	10.87	3.04	3.16	1.89	1.66	2.01	2.13	2.11	2.35
m,p-xylene	2.76	5.74	0.02	35.50	6.48	10.35	2.08	2.67	1.78	1.53	0.60	0.49
styrene	0.68	1.20	0.00	7.04	0.64	0.88	0.66	0.66	0.96	2.17	0.48	0.64
o-xylene	1.70	2.54	0.05	14.53	2.67	4.09	1.22	1.11	0.79	0.55	2.03	2.56
1,2,4-TMB	1.45	2.61	0.00	12.21	3.61	4.54	1.10	0.49	0.75	0.63	0.26	0.15

* 1,2,4-TMB : 1,2,4-4trimethylbenzene

52.6%, 방향족 27%, 알켄 15.6% 및 자동차 배출가스가 주 오염원인 이태리 로마에서 1992년과 1993년 측정된 무게 %가 알칸 39%, 방향족 화합물 34%, 알켄 13%로 본 연구의 측정결과와 같은 순이지만,^{8,9)} 농도 %에서는 약간의 차이를 나타내고 있다.

1996년 환경부¹⁰⁾의 자료에 의하면 96년 서울의 VOCs 배출량은 29천톤으로 전국 배출량의 약 19%를 차지한다고 추정하고 있으며, 국내 VOCs의 배출원별 실태를 보면 자동차 부분이 45.0%, 유기용제(페인트)가 40.4%, 유류저장 및 출하시설 4.6%로 자동차와 페인트가 주 오염원으로 작용하고 있다. 서울시의 자동차 등록대수가 200만대를 넘어 230만대에 육박하고 있는 실정에서 서울시 전체적으로는 자동차에 의한 영향이 매우 클 것으로 보인다.

성분별 농도분포는 Fig. 4와 같이 나타내었다.

전반적으로 Table 3 및 Fig 4와 같이 프로판 15.01 ppb, 톨루엔 13.00 ppb, 헥산 11.13 ppb, 부탄 8.86 ppb 순으로 높게 나타나고 있다. 방향족 화합물인 톨루엔을 제외하고는 일반적으로 알칸계열이 높게 나타나고, 특히 C₅ 이하인 가벼운 VOCs 농도가 높게 나타나고 있다.

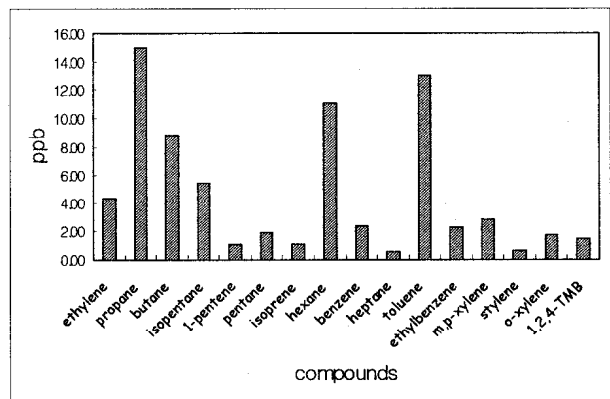


Fig. 4. The mean concentration of VOCs in Seoul ambient air.

김¹¹⁾에 의하면 가솔린 자동차의 배출가스의 배출량 조성에 의하면 에틸렌 17%, 이소펜탄 16%, 부탄 14%, 톨루엔 16% 등이 많은 조성을 나타내며 배출가스의 주 VOCs가 C₂~C₆까지인 물질이라고 하였다. 이들 물질이 4 개 지점에서 농도의 차이는 있지만 동일하게 높게 나타나고 있는 것은 주변의 직접적인 영향보다는 주로 자동차의 배출가스, 휘발유의 증발 배출, 유기용제의 사용에 따른 영향으로 보인다. 또한, 나 등⁸⁾에 의하면 프로판 및 부탄 농도가 서울에서 높은 것은 LPG 택시 및 연

료 이용 때문으로 추정하고 있듯이 본 연구의 측정 지점이 주거지역에 위치하고 있어 이들에 의한 영향이 클 것으로 사료된다. 또한, 서울시 대기 중 헥산의 농도가 11.13 ppb로 다른 성분에 비해 높게 나타나고 있는데, 김 등¹²⁾이 여천공단에서 측정된 농도는 약 8.3 ppb로 서울시보다는 낮지만 다른 성분에 비하여 역시 높은 농도를 나타내고 있다. 이는 헥산이 가솔린 연료에 10.6% 함유되어 있고, 세탁용제에도 다량 함유되어 있어 이들 물질의 증발에 의한 영향으로 사료된다.

방향족 화합물은 광화학 스모그 전구물질이라는 관점 이외에도 위해성을 가진 물질로 여겨지고, 특히 벤젠과 같은 성분은 암을 유발하는 발암성 물질로 규정하고 있다. 영국은 대기 중 벤젠의 농도를 년 평균 5 ppb의 대기질 기준을 권장하고 있는데,¹³⁾ 이러한 기준치는 인체건강에 미치는 위험이 극히 미미한 것으로 간주되고 있다. 그럼에도 불구하고 벤젠은 잠재적 위험성이 매우 큰 물질인 관계로, 향후 5년 이내에 이 기준을 1ppb 수준으로 강화할 것을 권장하고 있다. 서울시 전반적으로는 평균농도가 2.32 ppb로 영국의 권장기준에는 미치지 못하지만 최대 10.53 ppb의 농도가 측정되기도 하였다. 톨루엔은 평균 13.00 ppb로 방향족 화합물중에서 가장 높은 농도를 나타내고 있다. 이는 자동차 배출가스 중의 톨루엔이 차지하는 비율이 16%이고, 또한 유기용제의 무게 %는 톨루엔 25.91%, 자일렌 5.53%, 벤젠 2.98%¹⁴⁾로 방향족 화합물 중 다른 성분에 비하여 배출량이 많기 때문이다. 또한, table 3에서와 같이 반포동의 경우 톨루엔의 농도가 22.18 ppb로 서울시 전역의 평균보다 높게 나타나고 있다. 이는 1999년 3월 22일~25일에 측정된 농도가 벤젠 2.93 ppb, 톨루엔 42.65 ppb, m,p-자일렌 13.53 ppb로 다른 지역이나 기간보다 월등히 높게 나타나고 있기 때문이다. 이는 이 반포동 측정소 주변에서 페인트와 같은 유기용제가 사용되었던 것으로 추정할 수 있을 것이다.

3.3. 지역별 및 계절별 VOCs 농도 분포

지역별 VOCs 총 농도는 반포동 95.47 ppb, 화곡동 76.71 ppb, 방학동 66.02 ppb, 한남동 55.40 ppb 순으로 지역적으로 총 농도의 차이를 나타내고 있

지만, 반포동의 봄철 톨루엔 농도가 다른 지역보다 상대적으로 월등히 높은 것을 제외하면 지역간의 농도 차이는 약 20 ppb 정도를 나타낸다. 이는 비교지역의 VOCs의 농도 차이는 휘발유의 VOCs의 함유량, 그 지역을 통과하는 차량의 흐름이나 차량의 운행횟수, 그 지역에서 사용하는 유기용제의 사용량 및 축적된 VOCs의 정도에 기인하는 것으로 사료되지만 Fig. 5와 같이 성분별 분포를 보면 프로판, 헥산, 톨루엔등 높은 농도를 나타내는 성분은 모든 지역에서 정도의 차이는 있지만 높게 나타나는 유사한 경향을 나타내고 있듯이 서울시의 지역간의 성분별 변화에서는 큰 차이가 없었다.

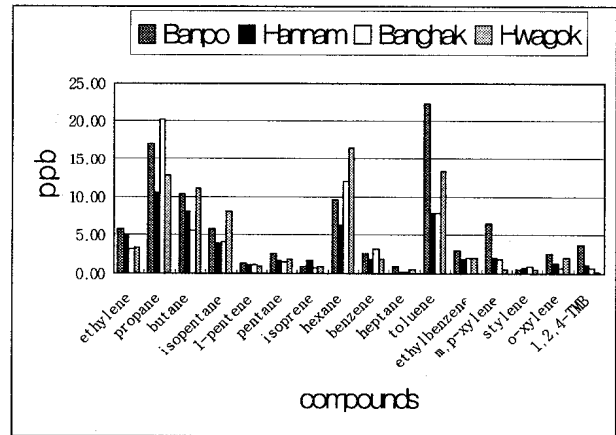


Fig. 5. The comparison of mean VOC concentrations among the sites

Fig. 6은 VOCs 성분들에 대한 계절별 변화를 나타내고 있다. 에틸렌, 부탄같이 가벼운 성분은 여름인 6월 17~19일에 높게 나타나고, 톨루엔을 포함한 다른 성분은 봄에 높았다가 여름에 낮아진 다음 가을에 다시 높아지는 경향이 있다. 이는 일사량이 많고 자외선이 강한 여름에 탄화수소 물질이 광화학 반응에 기여하는 것으로 사료된다.

이와 같이 서울시 대기중에서 검출되는 VOCs의 농도는 자동차의 운행에 따른 배출가스와 주변의 광범위한 오염원에 의해 영향 및 대기중에서 광화학 반응과 같은 이화학적 작용에 의해 대기 중 VOCs의 농도 차이가 발생하는 것으로 추정되므로 VOCs의 측정 및 보다 상세한 배출원 조사가 체계적으로 행하여 질 필요가 있다고 사료된다.

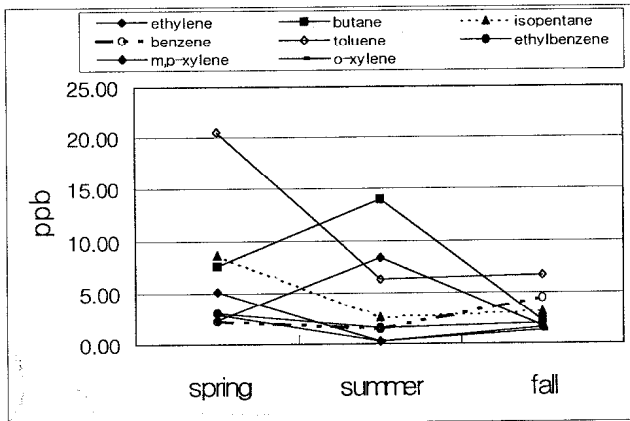


Fig. 6. The seasonal variation of mean VOCs in Seoul ambient air.

4. 결 론

1999년 3월 22~25일, 6월 17~19일, 9월 28~30일 서울시 반포, 한남, 화곡, 방학 4 개 지점에서 하루에 5시간씩 VOCs를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) VOCs의 종류별 무게 %는 알칸 47.6%, 방향족 화합물 44.4%, 알켄 8% 순으로 높았으며, 성분별로는 프로판 15.01 ppb, 톨루엔 13.00 ppb, 헥산 11.13 ppb, 부탄 8.86 ppb순으로 높게 나타나고 톨루엔을 제외하면 C₅이하의 가벼운 성분이 상대적으로 높았다.

2) 지역간의 VOCs의 총 농도는 약 20 ppb 정도 차이를 나타내지만, 성분별 농도변화 경향은 유사하므로 지역간에 농도 차이는 그 지역의 유기용매 및 차량 배출가스와 관련이 깊다.

3) 계절별 농도의 변화는 C₅ 이하인 에틸렌, 부탄 등이 여름철에 높게 나타나고 다른 성분은 여름철에 낮게 나타나고 있다.

참 고 문 헌

1) J. B. Clememts and R. G. Lewis, 1988,

Principles of Environmental Sampling(ed. Keith, L. H.), pp. 285-296, American Chemical Society, Washington D. C., U.S.A.

2) R. McLaren, D. L. Singleton, J. Y. K. Lai, B. Khouw, E. Singer, Z. WU and H. Niki, *Atmos. Environ.*, **1996**, 30(12), 2219-2232.

3) Z. Barbara, C. S. John, H. Gregory, W. G. Alan, and R. P. William, *Atmos. Environ.*, **1996**, 30(12), 2269-2286.

4) 최덕일, 한의정, 한진석, 신찬기, 강인구, 김상균, 김정수, 유승도, 최수연, 권평수, *국립환경연구원보*, **1993**, 15, 123-130.

5) 백성옥, *한국대기보전학회지*, **1996**, 12(1), 1-13.

6) 안덕원, 임동원, 김윤신, *한국환경분석학회지*, **1998**, 1(1), 93-103.

7) U.S. EPA, **1997**, *Compendium of Methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air*, 2nd. (EPA/625/R-96-/010b) Compendium Method TO-17.

8) 나광삼, 김용표, 김영성, *한국대기보전학회지*, **1998**, 14(2), 95-105.

9) D. Brocco, R. Fratarcangeli, L. Lepore, and I. Ventrone, *Atmos. Environ.*, **1997**, 31, 557-566.

10) 환경부, **1997**, *대기오염물질 배출량('96)*, 환경부

11) 김소영, **1998**, *휘발성 유기화합물의 주요 배출원별 배출특성에 관한 연구*, 건국대학교대학원 석사논문.

12) 백성옥, 김기현, *한국대기보전학회지*, **1998**, 14(3), 251-260.

13) 김영성, 송철한, 심상규, 김용표, 문길주, *한국대기보전학회지*, **1998**, 14(2), 153-160.

14) R. A. Wadden, I. Uno and S. Wakamatsu, *Environ. Sci. Techol.*, **1986**, 20, 473-483.

15) 조완근, *한국대기보전학회지*, **1996**, 12(2), 151-157.