교 육 학 석 사 학 위 논 문

대기중 휘발성유기화합물 (VOCs)의 특성에 관한 연구

2002년 08월

부경대학교 교육대학원

과학(지구과학)교육 전공

장 영 화

교 육 학 석 사 학 위 논 문

대기중 휘발성유기화합물 (VOCs)의 특성에 관한 연구

지도교수 옥 곤

이 논문을 교육학석사 학위논문으로 제출함

2002년 8월

부경대학교 교육대학원

과학(지구과학)교육 전공

장 영 화

장영화의 교육학석사 학위논문을 인준함

2002년 6월 22일

주 심　이학박사　김영섭 (인)

위 원　이학박사　이동인 (인)

위 원　공학박사　옥　곤 (인)

< 목 차 >

< List of Table >

< List of Figure >

A study of characteristics of volatile organic compounds in ambient air

Young-Hwa Jang

Graduate School of Education

Pukyong National University

Abstract

The air samples have been accomplished at Busan city of Korea during the period of October in 2000 to August in 2001, to investigate concentrations and characteristic of volatile organic compounds (VOCs) using gas chromatography (Agilent 6890 GC) coupled to mass spectrometry detector (Agilent 5973 MSD). The BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene) in total 34 VOC species occupied 75% and showed the predominant compositions. The concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene, *m,p*-xylene and *o*-xylene were in the range of n.d.-11.09 ppb (mean 1.26), 0.60-11.16 ppb (mean 4.31), 0.13-22.49 ppb (mean 2.91), 0.17-19.77 ppb (mean 2.87) and 0.10-12.74 ppb (mean 2.05), respectively. The styrene and 1,2,4-trimethylbenzene concentrations varied from n.d. to 8.79 ppb (mean 0.81) and from n.d. to 5.34 ppb (mean 1.97), respectively. The BTEX concentrations in this study were low or moderate in comparison with several cities of other countries. The relationships among VOC species showed highly significant correlations for ethylbenzene, *m,p*-xylene, *o*-xylene and 1,2,4-trimethylbenzene in analyzed contaminants. Seasonal concentrations of total VOCs represented the high fluctuations and in the order of spring 〉 winter 〉 summer 〉 autumn. The concentrations of total VOCs measured at night were higher than those measured at day in winter, while the higher values at day appeared in other seasons. The VOCs levels in Asian dust event were lower than

those of non-Asian dust period. This result seems that there is no effect of VOCs contaminations by Asian dust event.

Ⅰ. 서 론

대기 중에 존재하는 오염물질들은 식물, 토양 그리고 해양 등과 같은 자연적인 배출원과 인간의 활동에 따른 인위적인 배출원으로부터 발생한다. 대기오염이 지구적인 차원의 문제로 대두되기 시작한 19세기 이전까지는 자연적 배출원의 기여도가 중요한 부분을 차지하였지만, 오늘날에는 인위적 배출원의 기여도가 점차 더 중요한 부분으로 자리잡고 있다. 여러 가지 배출원으로부터 배출되어지는 오염물질들은 화학적 특성에 따라 대기질에 여러 형태로 영향을 미치고 있다.

대기환경에 존재하는 여러 오염물질 중 특히 휘발성유기화합물질 (volatile organic compounds: VOCs)은 ①그 자체가 독성을 지니고 있거나 (Norback et al., 1995, 김 등, 2000), ②대기 중 오존생성의 전구물질이며 (Derwent et al., 1998), 또한 ③악취를 유발하기 때문에 (Rappengluck and Fabian, 1999) 그 역할과 중요성이 새로이 부각되고 있는 실정이다.

VOCs는 공기 중에서 가스상태로 존재하여 피부에 직접 닿지 않더라도 호흡기를 통해 중독증상을 일으킬 수 있다. 독성물질의 발암등급에 대한 분류체계는 US EPA체계가 대표적인데, 발암위험이 있는 22종의 VOCs를 인간에게 발암요인이 있는 물질 (Group A), 인간에게 발암가능성이 높은 물질 (Group B), 인간에게 발암가능성이 있는 물질 (Group C), 인간에게서 발암성의 여부를 확인할 수 없는 물질 (Group D), 인간에게 발암성이 없는 물질 (Group E)로 다섯 개의 그룹으로 나누고 있다 (IRIS, 1986).

VOCs는 지표면 부근에서 광화학 옥시던트 생성에 결정적인 역할을 한다. 국내의 경우 이미 몇 년 전부터 오존주의보/경보제가 이루어지고 있고, 전 세계적으로도 오존 농도가 환경규제기준을 초과하는 빈도가 증가되고

있다. VOCs가 오존을 일으키는 정도를 나타내는 것으로 오존생성능력 (photochemical ozone creation potential: POCP)을 사용하는데, ethylene의 POCP값을 100으로 하여 상대적인 값으로 정의하고 있다 (Derwent et al., 1996, Derwent et al., 1998, Andersson and Holmberg, 2000).

VOCs는 대기 중에서 고농도로 존재하면 악취로 취급되어 악취물질로서 감시 받아야 하는 성분이다 (Wolkoff, 1998). 국내·외에서도 이미 악취민원에 의한 조사결과 VOCs 성분이 악취의 주요 발생원이라는 것을 인식하고 그에 대한 규제를 강화해 나가고 있다.

하지만, 이러한 환경학적 중요성이 있는 VOCs에 대한 통일된 국제적인 정의는 현재 마련되어 있지는 않다. 국내의 경우 VOCs를 상온, 상압에서 기체상태로 존재하는 모든 유기성물질을 통칭하는 의미로 정의하고, 규제대상물질을 아세트알데히드 등 총 37종으로 정의하고 있다 (환경부고시 제 2001-36).

외국의 경우, 80년대부터 VOCs의 중요성을 인식하고 활발한 연구가 진행되어 오고 있으며, 연구분야도 환경대기뿐 아니라, 사업장에서의 규제, 인체 위해성 (독성)연구에 이르기까지 다양하게 이루어지고 있다 (Norback et al., 1995, Gee and Sollars, 1998, Rappengluck et al., 1999). 그러나 국내의 경우에는 80년대에 들어 실내환경에 대한 농도 측정 (김 등, 1995, 백 등, 1999)과, 90년대에 일부 VOCs에 국한된 환경대기중의 농도 측정이 이루어졌다 (青木 祥市 et al., 1989, 나 등 1998, 옥 등 1998).

따라서 본 연구에서는 부산광역시 남구의 일반 환경대기 중의 VOCs의 계절별 농도특성과 주·야간 농도변화를 살펴보고, 그 특성을 파악하였다. 더불어 봄철 중 황사 기간과 일반 환경대기중의 VOCs를 측정 분석하여 농도를 비교하여 그 특성을 살펴보았다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 측정 장소 및 기간

VOCs의 환경 중 농도를 부산광역시 남구 대연3동에 위치한 부경대학교 내의 가로 111 *m*, 세로 45 *m*인 잔디 위의 경도 129°6´28˝, 위도 35°7´53˝인 지점에서 실시하였다. 측정지점은 해안이 가까워 육풍과 해풍의 영향을 다소 받는 지점이지만, 측정지점 주변은 대학건물과 캠퍼스 주변 도로 외에는 특별한 오염원이 없는 지점이다. 채취기간은 2000년 10월과 2001년 2월, 5월, 8월에 각 1일 (2시간 간격, 총 48회)씩 실시하였고, 2002년 4월에는 3일 (2시간 간격, 총 36회)로 황사가 발생한 기간에 측정하였다. Fig. 1은 측정장소인 부경대학교의 위치이다.

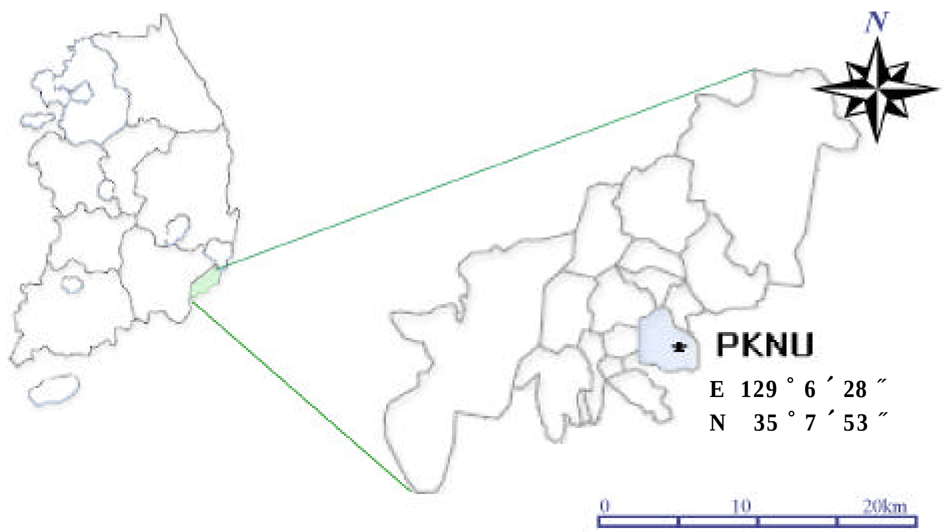

Fig. 1. Map of sampling location (Symbol(*) for PKNU denotes Pukyong National University)

2. 측정 장치 및 채취 방법

일반적으로 VOCs는 환경 중에 미량으로 존재하고 있기 때문에 tedlar bag이나 canister를 사용한 채취방법은 용기에의 흡착이나 광화학 반응 등이 일어날 수 있음으로 안정하게 오랜 시간 보관하기가 어렵다 (나 등, 1998, Dewulf and Langenhove, 1999).

본 연구에서는 VOCs의 시료 채취를 위해 GS1 gas sampler (GERSTEL Co., Germany)에 Carbosieve S-Ⅲ과 Carbopack B와 Carbopack C가 충진된 sampling Tube를 사용하여 시료를 흡착 농축시켰다. Fig. 2는 측정에 사용된 sampler이다.

Fig. 2. GS1 gas sampler (GERSTEL Co., Germany)

지상으로부터 1.5 *m* 위치에 fig. 2에 나타낸 샘플러를 설치한 후 0.2 *L/min*로 2 *L*를 채취하고, 동시에 온도, 습도, 풍향, 풍속 등 기상상태와 특이사항을 기록하였다. 샘플링이 이루어진 시료 tube는 양끝을 밀봉한 뒤 분석장소로 옮긴 뒤 1시간 이내에 분석하였다.

3. 분석 방법 및 분석항목

흡착 농축된 대기 시료 tube는 TDS-2/CIS-4 가열탈착 시스템 (GERSTEL Co., Germany)이 장착된 Agilent 6890 GC/5973 MSD를 사용하여 저온농축-가열·탈착하여 분석하였다. 분석방법은 흡착 농축된 시료 tube를 TDS-2로 순간 가열하여 탈착한 다음, -50℃로 냉각된 CIS-4에 농축시킨다. 그 뒤 CIS-4를 승온시키며 가스크로마토그래피 (GC)의 캐필러리 칼럼으로 주입하여 분리하고 MSD를 사용하여 분석하였다.

분석된 시료를 정량할 때에는 standard 용액으로 calibration하여 VOCs의 보유시간 (retention time (R.T.))과 농도를 산출한다. 다음은 각각의 시료에 대해 보유시간을 확인하고, 동일한 보유시간을 갖는 피크를 찾게 된다. 피크는 다시 mass spectrometry로 spectrum을 확인하고, 시료의 spectrum과 standard의 spectrum이 일치하는 피크만을 정량하여 농도를 구했다. Fig. 3은 분석과 정량에 사용된 TDS-2/CIS-4와 Agilent 6890 GC/5973 MSD이다.

Fig. 3. TDS-2/CIS-4 (GERSTEL Co., Germany) and Agilent 6890 GC/ 5973 MSD

GC/MSD에 대한 분석조건은 Table 1과 같으며, 분석에 사용된 모세관칼럼은 VOCOL (60 *m* length, 320 ㎛ inner diameter, 1.80 ㎛ film thickness, Supelco)을 사용하여 오븐 온도 30℃부터 다단 승온 하였다. 또한 각 주요 휘발성 유기화합물의 이온화 크로마토그램을 확인하여 정성·정량하였다.

Table 1. Instrumental conditions of the TDS (thermo desorption system), CIS (cooled injection compounds) and GC/MSD

TDS (Thermo Desorption System)	
Initial Temperature	25 ℃
Final Temperature	220 ℃
Condition	60 ℃/min
CIS (Cooled Injection Compounds)	
Initial Temperature	-50 ℃
Final Temperature	220 ℃
Condition	8 ℃/sec
GC/MSD	
GC	Agilent 6890 GC
MSD	Agilent 5973 MSD
Column	Supelco VOCOL (60 m × 320 ㎛ × 1.80 ㎛)
Flow	Helium 1.2 ㎖/min
Temperature	30 ℃ (5 min) → 3 ℃/min → 60 ℃ → 5 ℃/min → 150 ℃ → 2 ℃/min → 190 ℃ (2 min)

Fig. 4는 Agilent 6890 GC/5973 MSD를 사용하여 table 1의 분석조건으로 standard를 분석하였을 때의 전체 이온 크로마토그램 (Total Ion Chromatogram: TIC)이다.

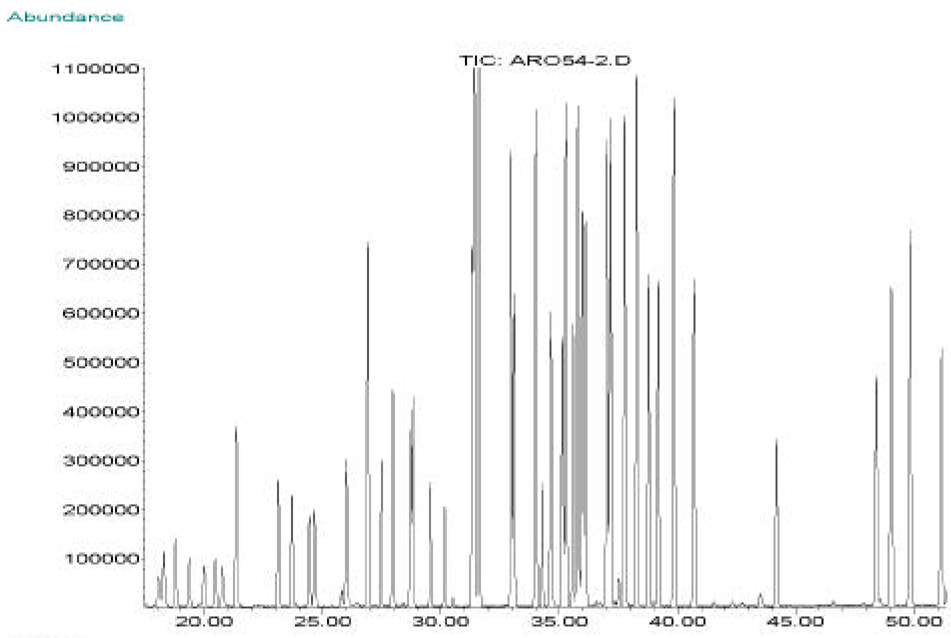

Fig. 4. Representative total ion chromatogram of standard in this study

휘발성유기화합물은 물리·화학적 특성에 따라 방향족 탄화수소류 (aromatic hydrocarbon, 12**종**), **염소계 방향족 화합물류** (chlorinated aromatic compounds, 6**종**) **그리고 기타 화학물질** (other compounds, 16**종**)**로 나눌 수 있다**. **본 연구에서 분석된 휘발성유기화합물의 물리·화학적 특성을 살펴보면** table 2**와 같다**.

Table 2. Physical and chemical properties of classified VOCs

CAS No.*	Species Name	Mol. WT	Molecular formula	Melting point(℃)	Boiling point(℃)
			Aromatic Hydrocarbon		
71-43-2	Benzene	78.05	C_6H_6	5.5	80.1
108-88-3	Toluene	92.06	C_7H_8	−95	110.8
100-41-4	Ethylbenzene	106.08	C_8H_{10}	−94.95	136.2
108-38-3	*m,p*-Xylene	106.08	C_8H_{10}	-47.9/ 13.3	139.1/ 138.4
100-42-5	Styrene	104.06	C_8H_8	−30.69	145.2
95-47-6	*o*-Xylene	106.08	C_8H_{10}	-25.187	144.4
108-86-1	Bromobenzene	155.96	C_6H_5Br	−31	155.2
103-65-1	*n*-Propylbenzene	120.09	C_9H_{12}	-99.2	159.45
95-63-6	1,2,4-Trimethylbenzene	120.09	C_9H_{12}	-43.9	169.4
98-06-6	*tert*-Butylbenzene	134.11	$C_{10}H_{14}$	-**	168.5
135-98-8	*sec*-Butylbenzene	134.11	$C_{10}H_{14}$	-	173.5
104-51-8	*n*-Butylbenzene	134.11	$C_{10}H_{14}$	-	183.1

Table 2. Continued

CAS No.	Species Name	Mol. WT	Molecular formula	Melting point(℃)	Boiling point(℃)
Chlorinated Aromatic Compounds					
95-49-8	2-Chlorotoluene	126.02	C_7H_7Cl	-34	159
106-43-4	4-Chlorotoluene	126.02	C_7H_7Cl	7.5	162
541-73-1	1,3-Dichlorobenzene	145.97	$C_6H_4Cl_2$	-24.4	172
106-46-7	1,4-Dichlorobenzene	145.97	$C_6H_4Cl_2$	53	174
95-50-1	1,2-Dichlorobenzene	145.97	$C_6H_4Cl_2$	-17.5	180-183
120-82-1	1,2,4-Trichlorobenzene	179.93	$C_6H_3Cl_3$	17	214.0
Other Compounds					
124-48-1	Dibromochloromethane	205.81	CH_2Br_4Cl	-	119
127-18-4	Tetrachloroethene	163.88	C_2Cl_4	-19	121
106-93-4	1,2-Dibromoethane	185.87	$C_2H_4Br_2$	9.8	131.7
108-90-7	Chlorobenzene	112.01	C_6H_5Cl	−45.2	132
630-20-6	1,1,1,2-Tetrachloroethane	165.89	$C_2H_2Cl_4$	-	138
75-25-2	Bromoform	249.76	$CHBr_3$	7.8	149.5
79-34-6	1,1,2,2-Tetrachloroethane	165.89	$C_2H_2Cl_4$	-36	146.3
96-18-4	1,2,3-Trichloropropane	145.95	C_3H_5Cl	-15	156.0
79-01-6	Trichloroethylene	129.91	C_2HCl_3	-73	87
78-87-5	1,2-Dichloropropane	111.99	$C_3H_6Cl_2$	-100.42	96.4
74-95-3	Dibromomethane	174	CH_2Br_2	-52.6	98.2
74-97-5	Bromodochloromethane	129.39	CH_2BrCl	-88	69-71
10061-02-6	1,3-Dichloropropene	111	$C_3H_4Cl_2$	-	108
79-00-5	1,1,2-Trichloroethane	133	$C_2H_3Cl_3$	-35.5	116.7
142-28-9	1,3-Dichloropropane	113	$C_3H_6Cl_2$	-	120.4
96-12-8	1,2-Dibromo-3 -chloropropane	236.35	$C_3H_5Br_2Cl$	5	164.5

* Chemical Abstracts Service Registry Numbers

** not reported.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 일반대기 중 VOCs의 연평균 농도

1.1. VOCs의 연평균 농도

본 연구를 통해 관측된 항목을 계절별로 12회 (2시간 간격)씩 총 48회의 개별측정자료를 이용하여 평균값을 구했다.

분석된 주요 VOCs중 BTEX 화합물 (benzene, toluene, ethylbenzene, *m*,*p*,*o*-xylene)이 차지하는 비율이 74.6%로 높게 나타나고 있는 것으로 조사되었다.

각각의 화합물의 농도수준은 benzene은 n.d. 11.09 ppb, toluene은 0.60 11.16 ppb, ethylbenzene은 0.13 22.49 ppb, *m*,*p*-xylene은 0.17 19.77 ppb, *o*-xylene은 0.10 12.74 ppb로 나타나, 연평균 농도는 각각 1.26 ppb, 4.31 ppb, 2.91 ppb, 2.87 ppb, 2.05 ppb로 나타났다.

그 외 화합물의 농도수준은 1,2,4-trimethylbenzene은 n.d. 15.34 ppb, styrene은 n.d. 8.79 ppb, *n*-propylbenzene은 n.d. 2.50 ppb, *n*-butylbenzene은 n.d. 0.66 ppb, 1,3-dichlorobenzene은 n.d. 4.40 ppb, 1,4-dichlorobenzene은 n.d. 1.54 ppb, 1,2,4-trichlorobenzene은 n.d. 3.19 ppb, tetrachloroethene은 n.d. 0.54 ppb, trichloroethene은 n.d. 3.15 ppb로 나타나, 연평균 농도는 각각 1.97 ppb, 0.81 ppb, 0.39 ppb, 0.07 ppb, 0.39 ppb, 0.40 ppb, 0.02 ppb, 0.07 ppb, 0.47 ppb로 나타났다

Fig. 5는 분석된 주요 VOCs 중 대부분을 차지하는 BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, *m,p*-xylene, *o*-xylene)와 styrene, 1,2,4-trimethylbenzene의 농도를 나타내었다.

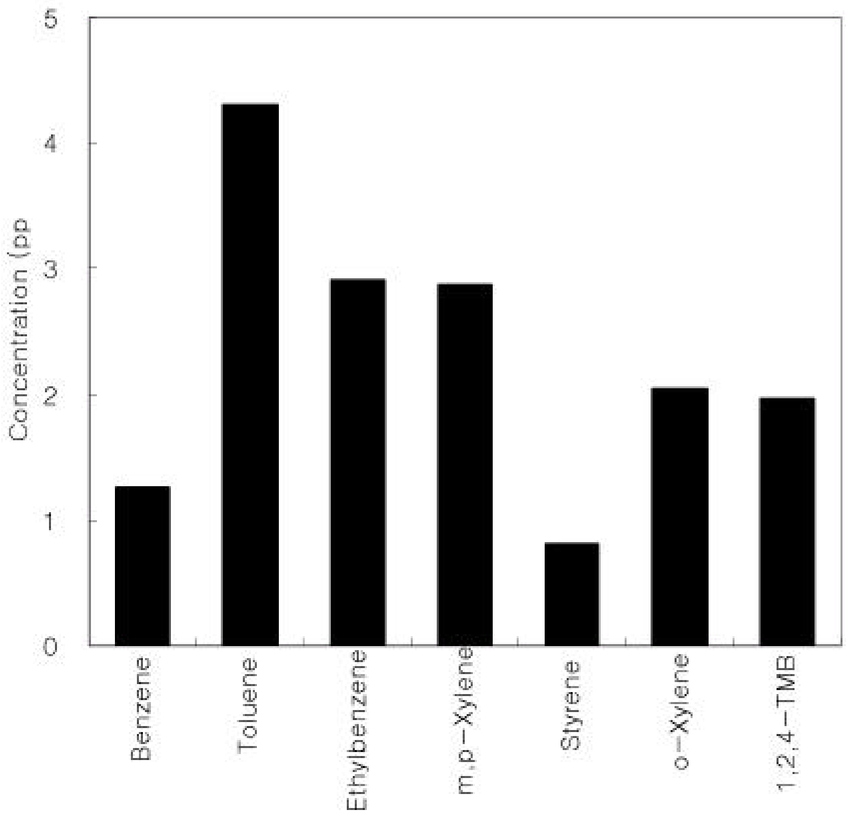

Fig. 5. Annual mean concentration of selected VOCs

본 연구와 외국과 국내 일부지역의 주요 VOCs의 농도수준의 비교한 결과는 table 3과 같다.

본 연구지역인 부산의 남구지역의 농도수준은 나 등 (2001)에 의해 서울에서 실시된 연구결과 비교하면 toluene을 제외한 항목에서 높은 농도를 보이고 있었고, 이 등(2000)에 의해 광주에서 실시된 연구와 김 등(2000)에 의해 나주에서 실시된 연구결과와 비교해 보면 낮은 농도수준을 보이는 것으로 나타났다.

본 연구지역의 농도수준은 Derwent 등(2000)에 의해 영국의 London 지역에서 실시된 연구와 Thijsse 등(1999)에 의해 네델란드의 Moerdijk 지역에서 실시된 연구와 비교해서는 모든 항목에서 높은 농도수준을 보이고 있지만, Rappengluck과 Fabian에(1999) 의해 독일의 Munich 지역과 Gee와 Sollars에(1998) 의해 베네주엘라의 Caracas 지역과 칠레의 Santiago 지역에서 실시된 연구와 비교하면 ethylbenzene, *o*-xylene을 제외한 다른 항목에서 높은 농도수준을 나타내고 있었다. Gee와 Sollars에(1998) 의해 아시아의 Bang-kok과 manila 지역과 Chunming 등(2000)에 의해 중국의 chang-chun 지역에서 실시된 연구와 비교하면 모든 항목에서 본 연구결과가 월등히 낮은 농도수준을 보이는 것으로 조사되었다.

Table 3. Comparison between VOCs concentrations (ppb) in Busan and cites of other countries

Sites	Concentration (ppb)				
	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	*m,p*-Xylene	*o*-Xylene
Busan[1] (This study)	1.26	4.31	2.91	2.87	2.05
Seoul[2] (Korea)	1.00	6.40	0.70	2.30	0.80
Kwang-ju[3] (Korea)	0.25	3.32	0.29	0.67	0.30
Na-ju[4] (Korea)	0.51	1.14	0.75	1.48	0.45
London[5] (UK)	1.10	2.00	0.46	1.35	0.55
Moerdijk[6] (Netherlands)	0.65	0.97	0.26	0.35	0.13
Munich[7] (Germany)	3.60	7.00	1.40	3.80	1.50
Caracas[8] (Venezuela)	4.37	7.54	1.12	3.68	1.28
Santiago[9] (Chile)	4.55	7.77	1.46	5.60	1.20
Bang-kok[10] (Thailand)	5.60	48.52	8.21	18.17	6.48
Manila[11] (Philippines)	3.88	43.83	4.91	12.52	3.29
Changchun[12] (China)	8.76	69.70	3.16	3.93	

(1) this study
(2) Na and Kim(2001)
(3) Lee et al.(2000)
(4) Kim et al.(2000)
(5) Derwent et al.(2000)
(6) Thijsse et al.(1999)
(7) Rappengluck and Fabian(1999)
(8) Gee and Sollars(1998)
(9) Gee and Sollars(1998)
(10) Gee and Sollars(1998)
(11) Gee and Sollars(1998)
(12) Chunming et al.(2000).

1.2. VOCs 항목들간 상관관계

분석항목들간 상관관계 조사결과 대기 중 광화학 반응성 정도의 지표가 되는 오존생성능력 (POCP)이 비교적 큰 ethylbenzene (POCP=60), *m,p*-xylene (POCP=90 105), *o*-xylene (POCP=65), 1,2,4-trimethylbenzene (POCP=120)들 간의 상관관계가 높게 나타났다. Fig. 6은 ethylbenzene과 *m,p*-xylene, ethylbenzene과 *o*-xylene, ethylbenzene과 1,2,4-trimethylbenzene, *m,p*-xylene과 *o*-xylene, *m,p*-xylene과 1,2,4-trimethylbenzene, *o*-xylene과 1,2,4-trimethylbenzene과의 상관관계를 나타냈다. 그리고, *m,p*-xylene과 *o*-xylene의 농도의 합을 xylene을 농도로 하여 ethylbenzene과 xylene, 1,2,4-trimethylbenzene과 xylene의 상관관계도 함께 나타내었다.

분석 결과 *m,p*-xylene과 *o*-xylene의 상관계수 (correlation coefficient, r)가 0.996으로 가장 높게 나타났으며, ethylbenzene과 *m,p*-xylene의 상관계수가 0.990, ethylbenzene과 xylene의 상관계수가 0.987, ethylbenzene과 *o*-xylene의 상관계수가 0.982, *o*-xylene과 1,2,4-trimethylbenzene의 상관계수가 0.874, *m,p*-xylene과 1,2,4-trimethylbenzene의 상관계수가 0.870으로 나타났다.

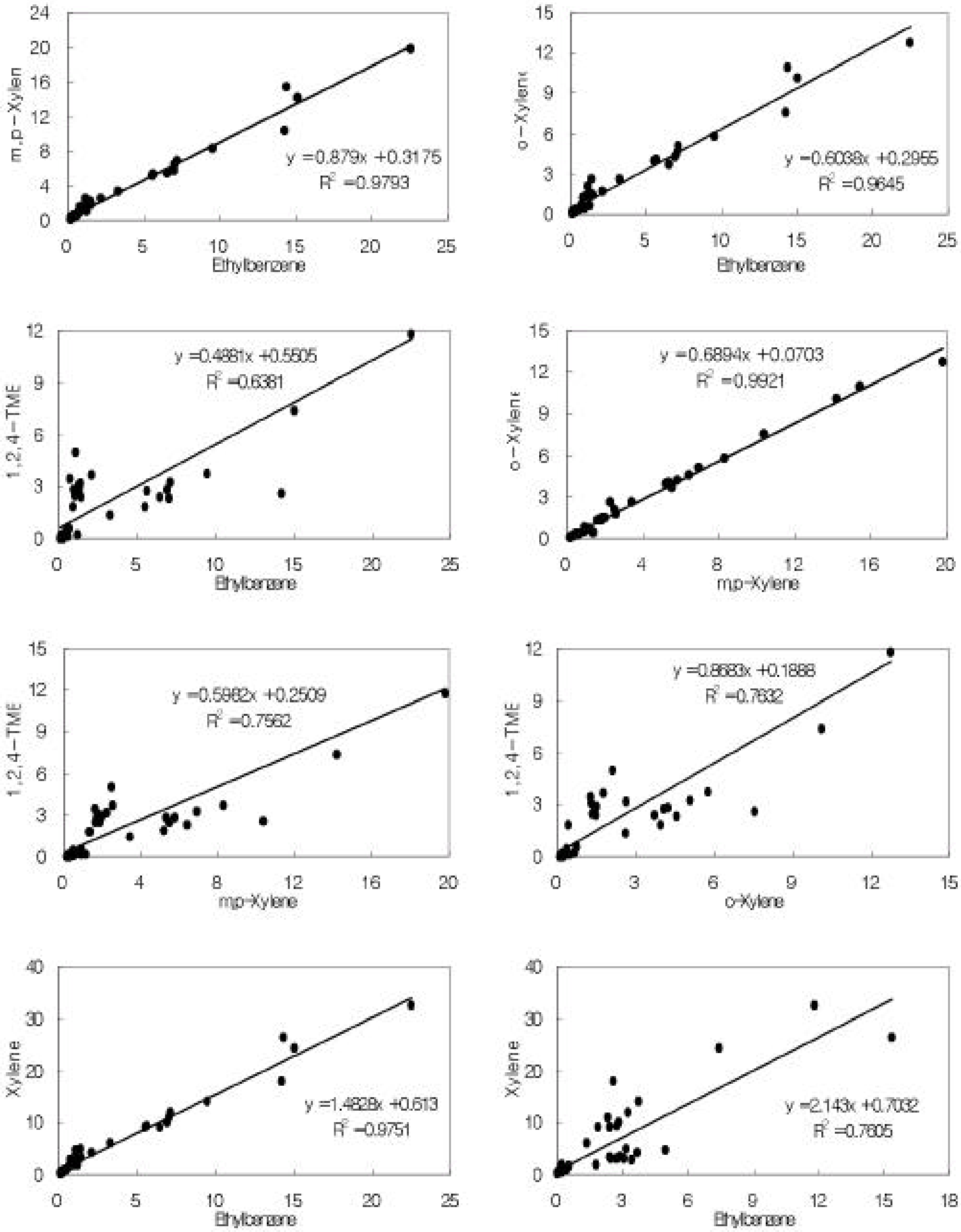

Fig. 6. Correlation between each component of VOCs (unit : ppb)

2. 일반대기 중 VOCs의 계절적 변화

2.1. VOCs의 계열별 계절 농도

본 연구에서 관측된 2000년 가을 (10월)과 2001년 겨울 (2월), 봄 (5월), 여름 (8월)의 VOCs의 평균 측정 자료를 방향족 탄화수소 (aromatic hydrocarbon) (12종), 방향족 염소화합물 (chlorinated aromatic compounds) (6종), 기타 탄화수소류 (other compounds) (16종)로 계열별로 나누어 table. 4, 5, 6에 나타냈다.

연구결과에 의하면 모든 계절에서 방향족 탄화수소의 값이 다른 물질들에 비해 높게 나타났다. 방향족 탄화수소 중 대부분을 차지하고 있는 BTEX 화합물 (benzene, toluene, ethylbenzene, *m*,*p*,*o*-xylene)의 농도의 합을 살펴보면, 봄철이 33.44 ppb로 가장 높은 농도를 보이고, 뒤이어 겨울철은 12.55 ppb, 여름철은 5.25 ppb, 가장 낮은 농도를 보이는 가을철은 2.36 ppb인 것으로 관측되었다.

방향족 탄화수소의 총농도는 봄철이 41.08 ppb로 가장 높은 농도를 나타냈다. 개별 항목들로 나누어서봐도 toluene과 *n*-butylbenzene을 제외한 모든 항목에서 봄철이 두드러지게 높은 농도를 보이는 것으로 나타났다.

방향족 염소화합물의 총농도는 겨울철이 2.79 ppb로 가장 높게 나타났다. 가을철의 경우에는 모든 항목에서 농도를 나타내지 않는 특성을 나타내었다.

기타 탄화수소류의 총 농도는 봄철이 1.59 ppb로 가장 높게 나타났다. 하지만, 계절에 관계없이 전혀 농도값을 나타내지 않는 항목도 많이 나타

났고, 농도값을 갖는 항목이라 할지라도 낮은 농도값에 불과했다.

계절에 따른 VOCs의 총농도값을 살펴보면, 가을철 2.59 ppb, 겨울철은 20.62 ppb, 봄철은 43.04 ppb, 여름철은 5.64 ppb로, BTEX 화합물 총농도 순서와 같은 봄철 〉 겨울철 〉 여름철 〉 가을철의 순으로 조사되었다.

Cheng 등(1997)의 연구결과를 살펴보면, Alberta의 Edmonton 지역을 downtown과 industrial로 나누어 92년 겨울부터 93년 가을까지 2년에 걸쳐 대기 중 VOCs의 농도를 조사하였는데, 이 지역에서도 본 연구와 같이 방향족 탄화수소의 봄철농도가 가장 높은 것으로 보고하고 있다.

Table 4. Seasonal concentration of aromatic hydrocarbons at sampled VOCs

Aromatic hydrocarbon	Spring (ppb)	Summer (ppb)	Autumn (ppb)	Winter (ppb)
Benzene	2.50	1.70	n.d.*	0.84
Toluene	5.99	2.43	1.57	7.25
Ethylbenzene	9.80	0.39	0.25	1.19
m,p-Xylene	8.88	0.45	0.34	1.82
Styrene	1.94	0.11	n.d.	1.18
o-Xylene	6.27	0.28	0.20	1.45
Bromobenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
n-Propylbenzene	0.90	0.03	n.d.	0.62
1,2,4-Trimetylbenzene	4.80	0.16	0.09	2.82
tert-Butylbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
sec-Butylbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
n-Butylbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	0.28
Sum	41.08	5.55	2.45	17.46

n.d.* : not detected.

Table 5. Seasonal concentration of chlorinated aromatic compounds at sampled VOCs

Chlorinated aromatic compounds	Spring (ppb)	Summer (ppb)	Autumn (ppb)	Winter (ppb)
2-Chlorotoluene	n.d.*	n.d.	n.d.	n.d.
4-Chlorotoluene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,3-Dichlorobenzene	0.37	n.d.	n.d.	1.18
1,4-Dichlorobenzene	n.d.	0.06	n.d.	1.54
1,2-Dichlorlbenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,2,4-Trichlorobenzene	n.d.	n.d.	n.d.	0.08
Sum	0.37	0.06	n.d.	2.79

n.d.* : not detected.

Table 6. Seasonal concentration of other compounds at sampled VOCs

Other Compounds	Spring (ppb)	Summer (ppb)	Autumn (ppb)	Winter (ppb)
Dibromochloromethane	n.d.*	n.d.	n.d.	n.d.
Tetrachloroethene	n.d.	0.01	0.03	0.22
1,2-Dibromoethane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Chlorobenzene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,1,1,2-Tetrachloroethane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Bromoform	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,1,2,2-Tetrachloroethane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,2,3-Trichloropropane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Trichloroethene	1.59	0.02	0.11	0.16
1,2-Dichloropropane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Dibromomethane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Bromodochloromethane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,3-Dichloropropene	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,1,2-Trichloroethane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,3-Dichloropropane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1,2-Dibromo-3-chloropropane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Sum	1.59	0.03	0.14	0.37

n.d.* : not detected.

2.2. VOCs의 항목별 계절 농도

계절별 주요 VOCs (benzene, toluene, ethylbenzene, *m*,*p*-xylene, styrene, *o*-xylene, 1,2,4-trimethylbenzene) 항목의 개별 농도를 비교하여 Fig. 7, 8, 9에 나타내었다.

항목에 관계없이 가을철의 농도가 가장 낮은 것으로 나타났다. Benzene과 toluene을 제외한 모든 항목에서 봄철에 가장 높은 농도를 나타내고 겨울철, 여름철, 가을철의 순으로 높은 농도를 나타냈다. Benzene은 봄철, 여름철, 겨울철의 순으로 높은 농도를 보였고, 가을철은 n.d.값을 보였다. Toluene은 겨울철, 봄철, 여름철, 가을철의 순으로 높은 농도를 보이는 것으로 나타났다.

김 등(2000)에 의해 나주지역에서 실시된 연구와 본 연구를 비교하면, 봄철의 농도 증가와 가을철의 농도저하에 대한 계절적 특성에서 유사한 결과를 나타내었다.

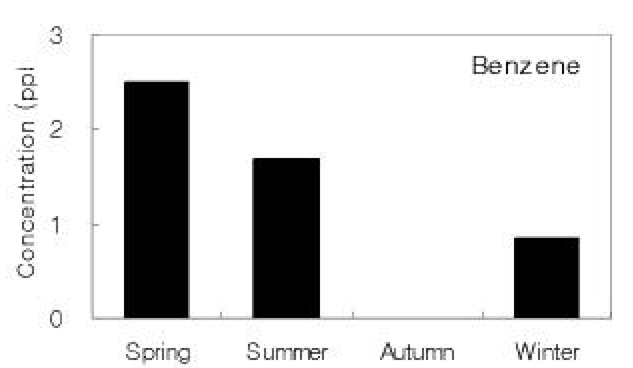

Fig. 7. Comparison of seasonal benzene concentration

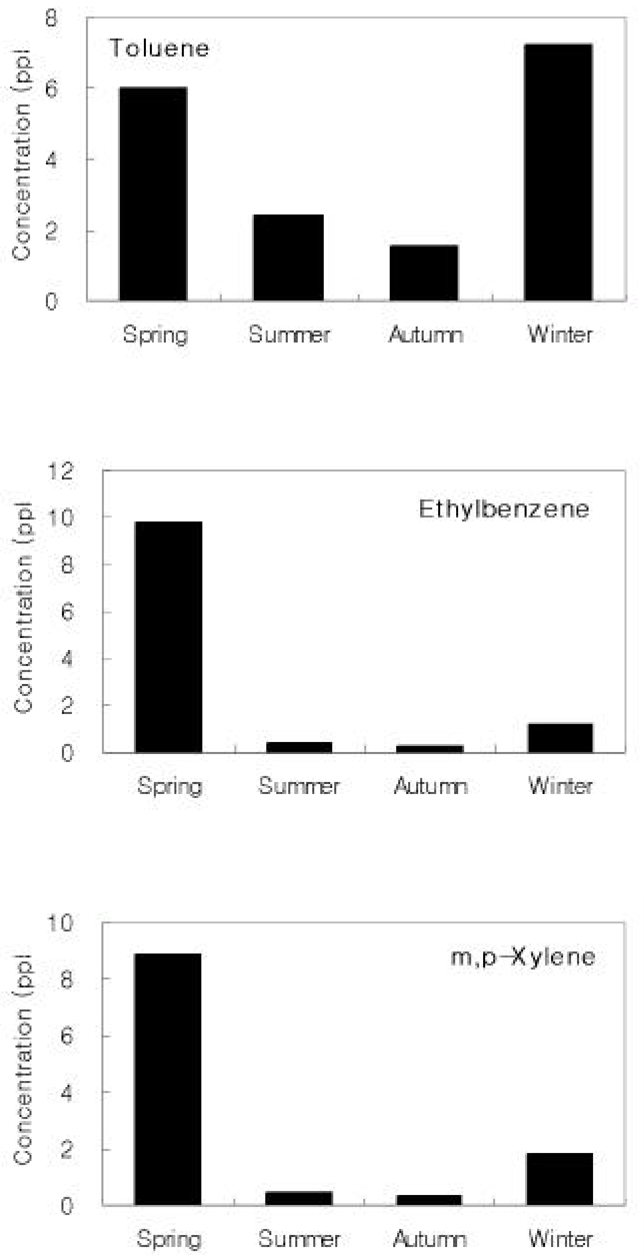

Fig. 8. Same as Fig.7 but for toluene, ethylbenzene and *m,p*-xylene

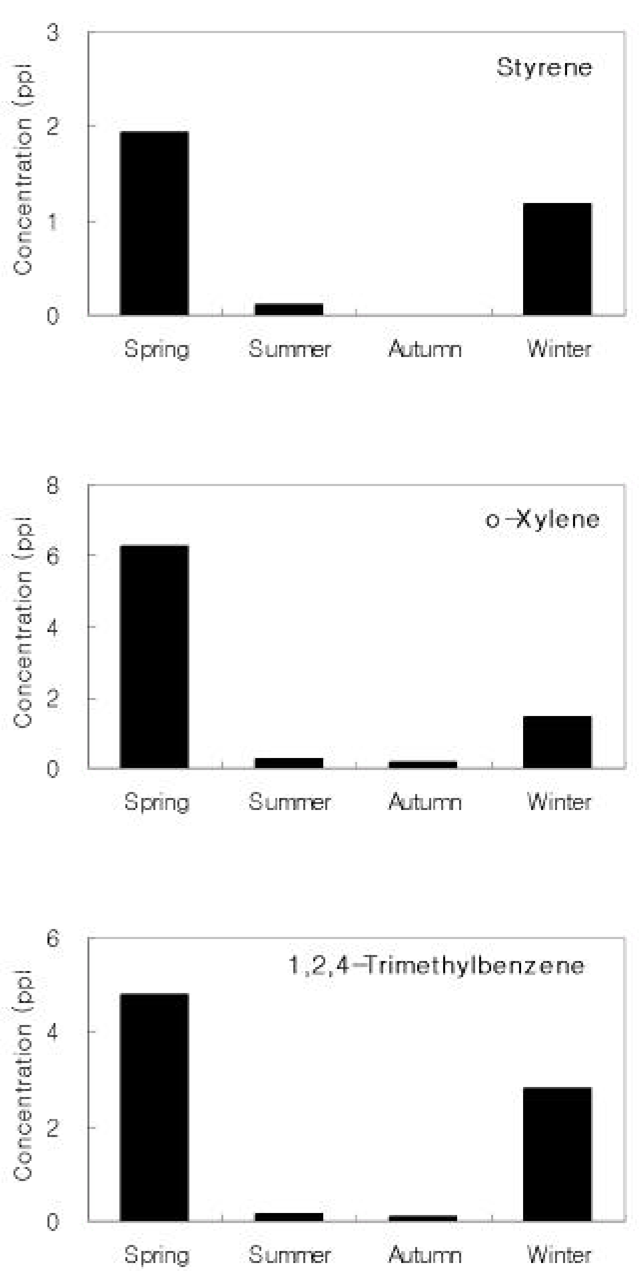

Fig. 9. Same as Fig.7 but for styrene, *o*-xylene and 1,2,4-trimethylbenzene

2.3. VOCs의 분포비

계절별 주요 VOCs 농도비교를 바탕으로 분포비를 나타내어보면, fig. 10과 같다. 봄철을 제외한 모든 계절에서는 toluene이 가장 높은 비중을 차지하고 있었다.

여느 계절과 확연히 다른 양상을 보이는 봄철의 경우 농도 분포비는 ethylbenzene (24%) > *m,p*-xylene (22%) > *o*-xylene (16%) > toluene (15%) > 1,2,4-trimethylbenzene (12%) > benzene (6%) > styrene (5%)의 순으로 나타났다.

여름철의 농도 분포비는 toluene (44%) > benzene (31%) > *m,p*-xylene (8%) > ethylbenzene (7%) > *o*-xylene (5%) > 1,2,4-trimethylbenzene (3%) > styrene (2%)의 순으로 나타났다.

가을철 농도 분포비는 toluene (64%) > *m,p*-xylene (14%) > ethylbenzene (10%) > *o*-xylene (8%) > 1,2,4-trimethylbenzene (4%)의 순으로 나타났고, benzene과 styrene은 그 값이 없었다.

겨울철 농도 분포비는 toluene (44%) > 1,2,4-trimethylbenzene (17%) > *m,p*-xylene (11%) > *o*-xylene (9%) > ethylbenzene (7%), styrene (7%) > benzene (5%)의 순으로 나타났다.

봄철의 경우에는 POCP값이 비교적 큰 ethylbenzene, *m,p*-xylene, *o*-xylene, 1,2,4-trimethylbenzene이 전체 농도에서 차지하는 비율이 74%로 나타나 봄철 대기중의 오존농도상승에 큰 역할을 할 것으로 사료된다. 자동측정망 자료에 나타난 O_3의 농도를 살펴보면, 2001년 연평균 O_3의 농도가 0.021 ppm인데 비하여 본 연구의 봄철관측시기인 5월의 O_3의 농도는 0.031 ppm으로 나타나 다소 높게 나왔음을 알 수 있었다.

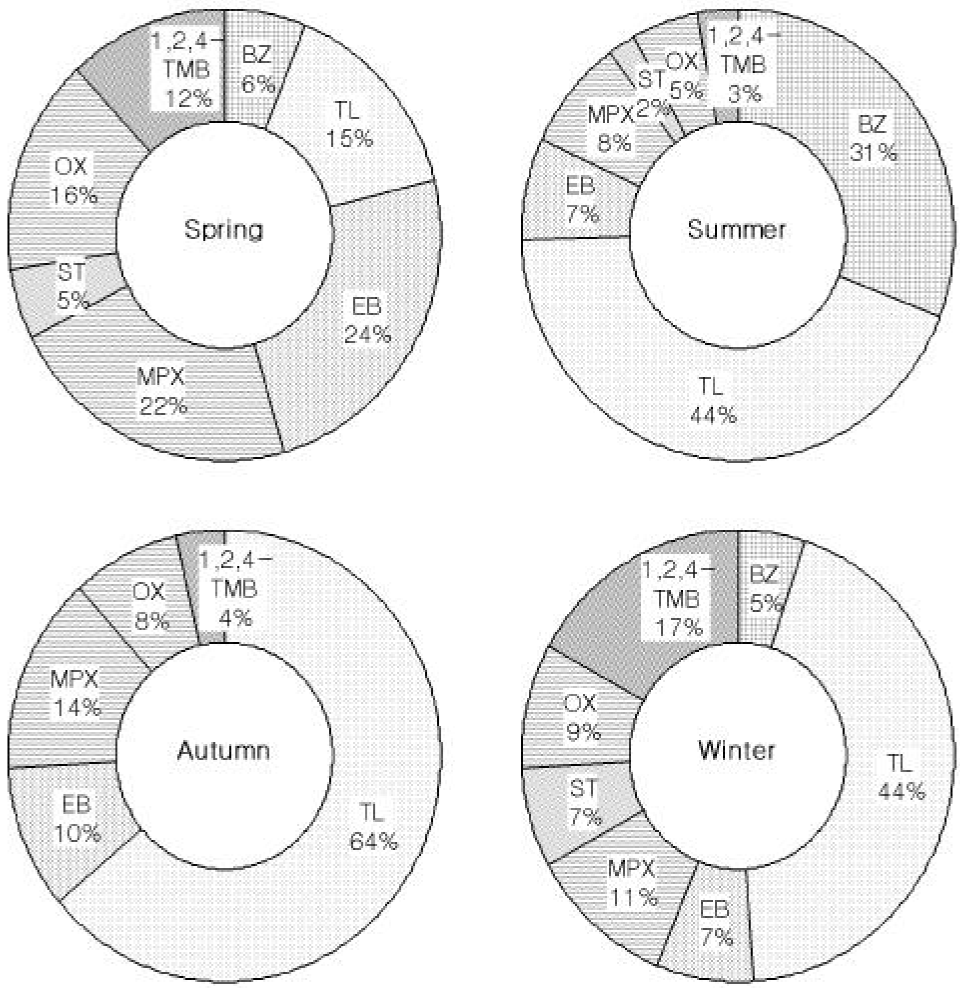

Fig. 10. The frequency distribution at each component of VOCs

(Symbol for BZ, TL, EB, MPX, ST, OX and 1,2,4-TMB denote benzene, toluene, ethylbenzene, *m*,*p*-xylene, styrene, *o*-xylene and 1,2,4-trimethylbenzene)

3. 일반대기 중 VOCs의 주·야 농도비교

계절별로 구분한 자료를 이용하여 주·야간 시간대에 따른 분포특성을 비교하기 위해 주/야 농도를 계산하여 비교하여 fig. 11, 12, 13에 나타내었다. 주간 농도값은 08시부터 18시까지의 측정값이고, 야간 농도값은 20시부터 06시까지의 측정값이다.

봄철은 다른 계절과의 비교에서 모든 항목에서 높은 농도를 보이고 있는 것으로 조사되였다. 특히 ethylbenzene의 경우에는 가장 낮은 농도를 보이는 가을철과 비교해 36배이상, *m,p*-xylene의 경우에는 가을철과 비교해 22배 이상의 높은 농도를 보였다. Benzene의 주간 농도는 2.86 ppb, 야간 농도는 2.14 ppb, toluene의 주간 농도는 7.95 ppb, 야간 농도 4.04 ppb, ethylbenzene의 주간 농도는 11.18 ppb, 야간 농도는 8.42 ppb, *m,p*-xylene의 주간 농도는 10.07 ppb, 야간 농도는 7.69 ppb, styrene의 주간 농도는 1.84 ppb, 야간 농도는 2.04 ppb, *o*-xylene의 주간 농도는 7.19 ppb, 야간 농도는 5.35 ppb, 1,2,4-trimethylbenzene의 주간 농도는 5.69 ppb, 야간 농도는 3.91 ppb로 조사되었다.

여름철의 농도는 전체적으로 가을철보다는 높았지만, 다른 계절에 비해 낮은 농도 수준을 보이는 것으로 조사되었다. Benzene의 주간 농도는 2.35 ppb, 야간 농도는 1.05 ppb, toluene의 주간 농도는 2.90 ppb, 야간 농도는 1.96 ppb, ethylbenzene의 주간 농도는 0.43 ppb, 야간 농도는 0.35 ppb, *m,p*-xylene의 주간 농도는 0.49 ppb, 야간 농도는 0.41 ppb, styrene의 주간 농도는 0.05 ppb, 야간 농도는 0.16 ppb, *o*-xylene의 주간 농도는 0.31 ppb, 야간 농도는 0.25 ppb, 1,2,4-trimethylbenzene의 주간 농도는 0.22 ppb, 야간 농도는 0.10 ppb인 것으로 조사되었다.

가을철은 benzene과 styrene은 농도가 n.d.값을 나타내었고, toluene의 주간 농도는 2.10 ppb, 야간 농도는 1.03 ppb, ethylbenzene의 주간 농도는 0.32 ppb, 야간 농도는 0.19 ppb, *m*,*p*-xylene의 주간 농도는 0.45 ppb, 야간 농도는 0.24 ppb, *o*-xylene의 주간 농도는 0.26 ppb, 야간 농도는 0.14 ppb, 1,2,4-trimethylbenzene의 주간 농도는 0.15 ppb, 야간 농도는 0.03 ppb로 다른 계절에 비해 낮은 농도를 보였다. 측정값이 없는 benzene과 styrene을 제외한 모든 항목들에서 주간의 농도가 야간의 농도보다 높게 나타났다.

겨울철은 benzene의 주간 농도는 0.96 ppb, 야간 농도는 0.71 ppb, toluene의 주간 농도는 6.47 ppb, 야간 농도는 8.03 ppb, ethylbenzene의 주간 농도는 1.10 ppb, 야간 농도는 1.27 ppb, *m*,*p*-xylene의 주간 농도는 1.80 ppb, 야간 농도는 1.85 ppb, styrene의 주간 농도는 1.14 ppb, 야간 농도는 1.23 ppb, *o*-xylene의 주간 농도는 1.36 ppb, 야간 농도는 1.54 ppb, 1,2,4-trimethylbenzene의 주간 농도는 2.86 ppb, 야간 농도는 2.79 ppb로 조사되었다. 특히 겨울철은 benzene과 1,2,4-trimethylbenzene을 제외한 모든 항목에서 주간에 비해 야간에 높은 농도를 보여 다른 계절과 다른 양상을 보이는 것으로 조사되었다.

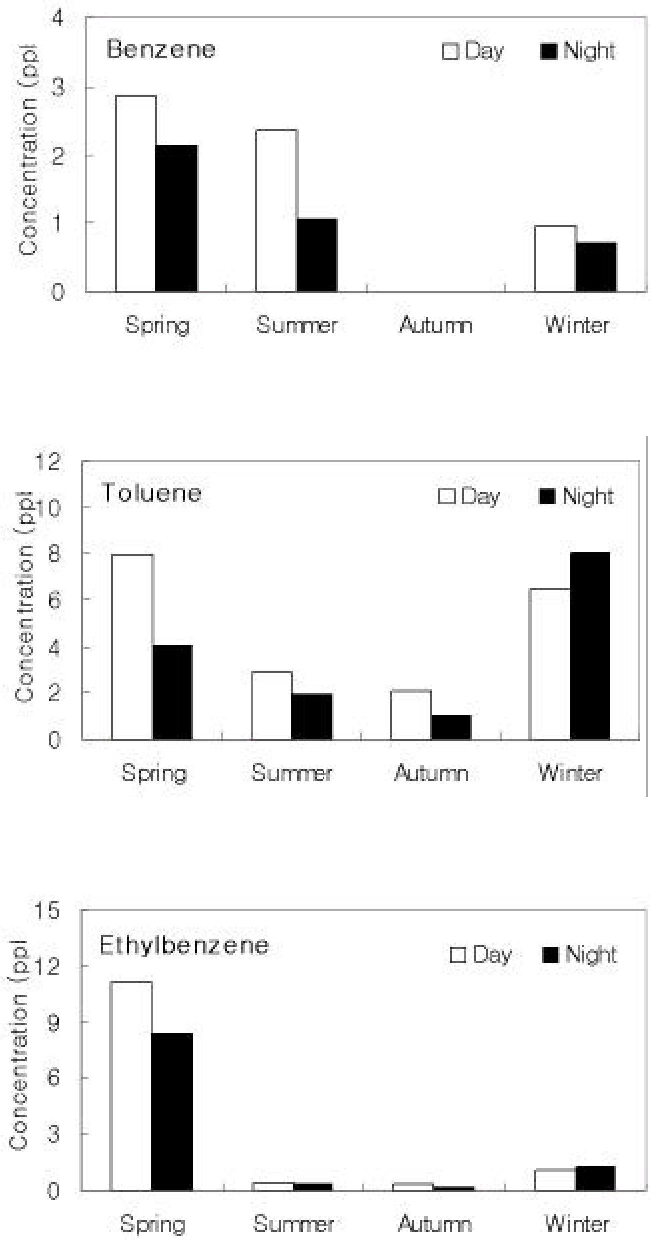

Fig. 11. Comparison between benzene, toluene and ethylbenzene concentrations at day and night time by each season

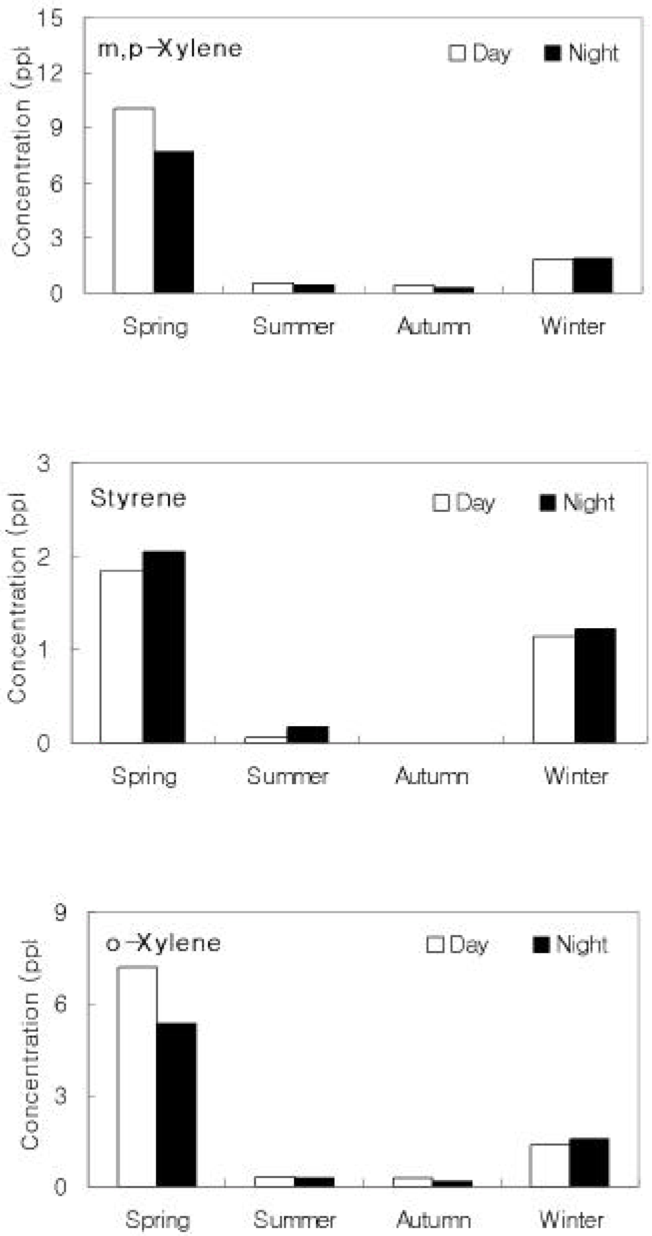

Fig. 12. Same as Fig.11 but for *m,p*-xylene, styrene and *o*-xylene

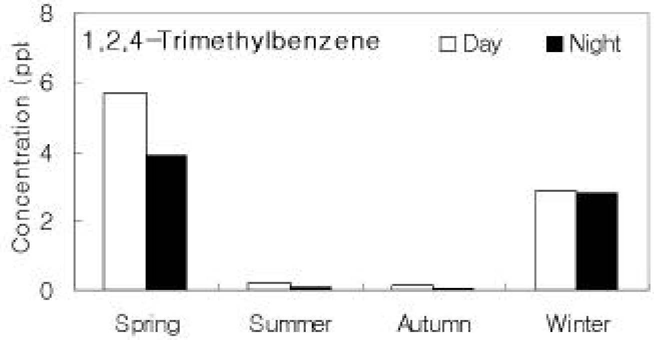

Fig. 13. Same as Fig.11 but for 1,2,4-trimethylbenzene

또 주/야간 비값을 (day/night ratio)을 이용하여 계절별·항목별 농도를 비교하여 table 7에 나타내었다. 가을철의 경우 benzene과 styrene은 측정값이 없어 비율을 구할 수 없었다.

겨울철의 경우는 benzene과 1,2,4-trimethylbenzene을 제외한 모든 항목에서 1보다 작은 값을 보여 주간에 비해 야간에 높은 농도를 보이는 것으로 관측되었다. 이는 자동차 등 이동발생원에 의한 VOCs 배출보다는, 야간에 집중되는 가정 난방 등에 의한 배출량의 증가와 더불어, 야간시간대의 지표면 냉각으로 인해 형성된 역전층 내에서 대기 오염물질의 확산이 적어서 농도가 높게 나타난 것으로 사료된다.

이전의 이 등(2001), 김 등(2000)의 연구결과에서도 대부분의 VOCs 성분들이 겨울철에 주저야고의 형태를 취하고, 다른 계절에서는 그리 뚜렷하게 나타나지 않는 것으로 말하는데, 이와 같은 결과가 본 연구에서도 확인할 수 있었다. 그리고 항목에 상관없이 높은 농도를 보였던 봄철의 경우는 주/야간 비 값이 1에서 크게 벗어나는 것이 없는 것으로 보아 주/야간의 구분 없이 높은 농도를 보이는 것으로 사료된다.

Table 7. The day/night ratios of VOCs concentration

VOCs	Day/night ratio			
	Spring	Summer	Autumn	Winter
Benzene	1.34	2.25	-	1.35
Toluene	1.97	1.48	2.05	0.81
Ethylbenzene	1.33	1.21	1.67	0.86
m,p-Xylene	1.31	1.19	1.87	0.97
Styrene	0.90	0.34	-	0.93
o-Xylene	1.34	1.23	1.82	0.88
1,2,4-Trimethylbenzene	1.46	2.13	6.18	1.03

4. 일반대기와 황사발생시의 VOCs 농도비교

4.1. VOCs의 농도비교

황사가 발생한 시기 2002년 4월에 측정한 농도와 일반 봄철 대기 상태에서 측정한 VOCs 농도를 benzene, toluene, ethylbenzen, *m,p*-xylene, styrene, *o*-xylene, 1,2,4-trimethylbenzene 화합물을 중심으로 fig. 14에 나타내었다. 일반 봄철 대기상태 농도는 2001년 5월에 측정한 자료를 이용했고, 황사 발생시 농도는 3회에 걸친 관측자료를 평균한 값으로 비교하였다.

황사 발생시 농도는 일반 봄철 대기 상태 농도와의 비교에서 모든 항목에서 낮게 관측되었다. Benzene과 toluene은 1.25, 1.30배의 농도차이를 보이고 있지만, ethylbenzen의 경우 22.27배, *m,p*-xylene의 경우 18.89배, styrene의 경우 27.71배, *o*-xylene의 경우 22.39배, 1,2,4-trimethylbenzene의 경우 36.92배의 농도차이를 보이고 있는 것으로 나타났다.

이 등(2000)의 연구들에 의하면, VOCs의 대기중의 잔존 농도는 대기 중에서의 확산이나, 이류, 화학적 변화, 침착 등에 의해 결정된다고 한다. 황사의 발생조건에서 알 수 있듯이 강한 편서풍 기류가 있어야 국내에까지 황사가 영향을 미칠 수 있음을 감안하면, VOCs가 강한 풍속에 의해 확산되어 농도가 낮아졌거나, 황사입자에 의해 가스상 물질인 VOCs가 침착하여 제거가 되는 것으로 사료된다.

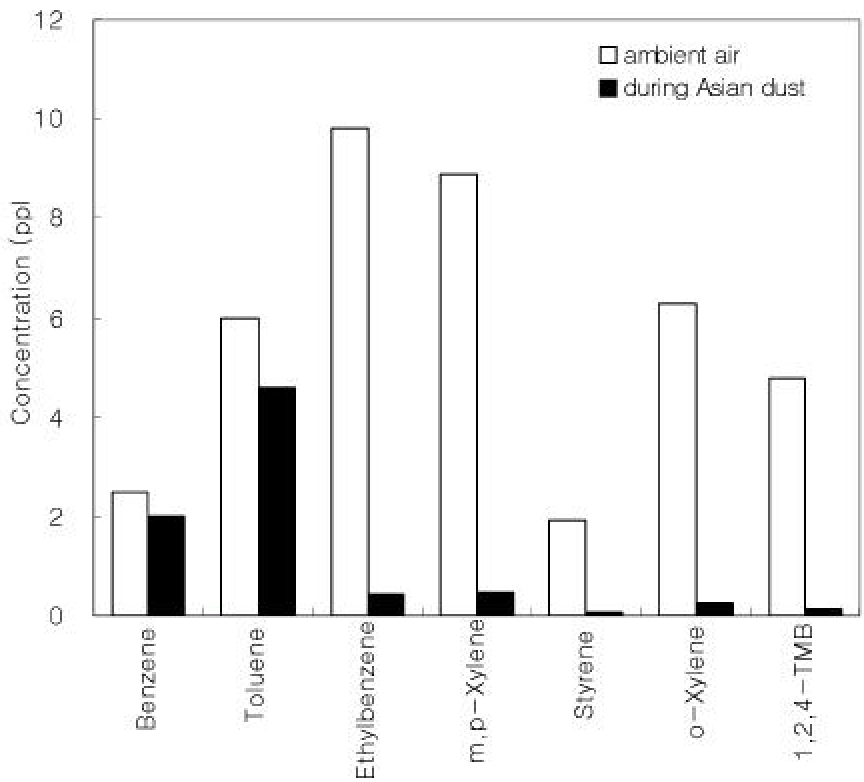

Fig. 14. The VOCs concentrations during Asian dust period

4.2 VOCs 계열별 농도비교

VOCs를 방향족 탄화수소류, 방향족 염소화합물류, 기타 탄화수소류로 나누어 일반 대기 상태의 계절별 황사 발생시의 농도수준과 그 경향성을 비교하여, fig. 15에 나타냈다.

계열별 총농도는 방향족 탄화수소류가 모든 계절에서 대부분의 농도를 차지하고 있었다. 계열별로 농도의 총량은 방향족 탄화수소류는 봄철 (41.08 ppb) > 겨울철 (17.46 ppb) > 황사 발생시 (8.02 ppb) > 여름철 (5.55 ppb) > 가을철 (2.45 ppb)의 순으로 나타났고, 방향족 염소화합물류는 겨울철 (2.79 ppb) > 봄철 (0.37 ppb) > 여름철 (0.06 ppb) 순으로 나타났고, 가을철과 황사 발생시는 농도가 없는 것으로 나타났고, 기타 탄화수소류는 봄철 (1.59 ppb) > 겨울철 (0.37 ppb) > 황사 발생시 (0.29 ppb) > 가을철 (0.14 ppb) > 여름철 (0.03 ppb)의 순으로 나타났다.

따라서 본 연구결과 총 VOCs의 농도는 봄철 (43.04 ppb) > 겨울철 (20.62 ppb) > 황사 발생시 (8.31 ppb) > 여름철 (5.64 ppb) > 가을철 (2.59 ppb)의 순으로 나타났다.

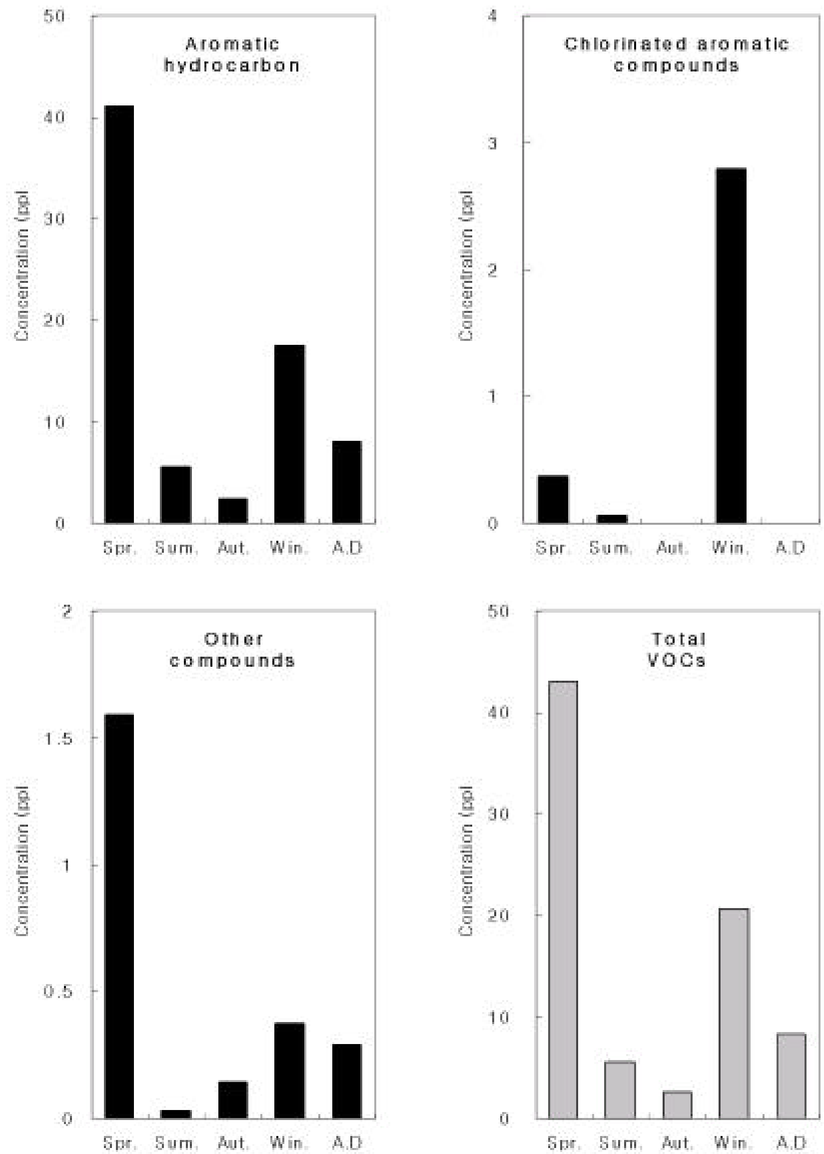

Fig. 15. Comparisons between VOCs concentrations according to the classified compounds : aromatic hydrocarbon, chlorinated aromatic compounds, other compounds and total VOCs

(Symbols for Spr., Sum., Aut., Win. and A.D. denote spring, summer, autumn, winter and during Asian dust)

4.3 VOCs의 주 · 야 농도비교

황사 발생시와 봄철 주/야간 VOCs 화합물들간의 농도비교를 Fig. 16에 나타냈다. Benzene과 toluene의 양은 황사철과 봄철이 비슷한 경향을 나타내지만, ethylbenzene, *m,p*-xylene, styrene, *o*-xylene은 봄철과 황사철의 주/야간 농도가 20배 가까이 차이가 나고 있다. 1,2,4-trimethylbenzene의 경우에는 40배에 가까운 농도차이를 나타낸다. 이는 개별항목들의 일평균 농도를 비교한 결과와 주/야간으로 나누어 농도를 비교한 것이 비슷한 경향을 보이고 있음을 보여준다.

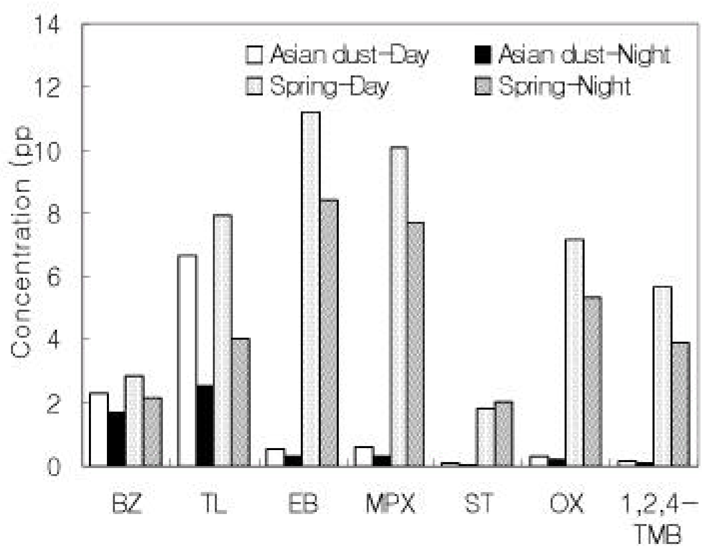

Fig. 16. VOCs concentration at day and night time during the period of Asian dust occurrence and non-occurrence

(Symbol for BZ, TL, EB, MPX, ST, OX and 1,2,4-TMB denote benzene, toluene, ethylbenzene, *m,p*-xylene, styrene, *o*-xylene and 1,2,4-trimethylbenzene)

IV. 결 론

본 연구는 일반환경대기중의 대기오염물질(SO_2, PM10, O_3, NO_2, CO)과는 구별되어 자동측정망으로 측정되지 않고 있는 VOCs의 농도수준을 알아보고, 계절별 농도 특성을 파악하기 위하여 2000년 10월, 2001년 2월, 5월, 8월에 sampling을 실시하였다. 또한 봄철 황사가 VOCs 농도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 2002년 4월에 황사 발생시 sampling을 수행하여 비교 자료로 이용하였다.

이들 분석 결과는 다음과 같다.

1) 부산의 해안에 인접한 남구 대연동의 환경대기 중의 VOCs의 화합물별 연평균 농도는 toluene의 경우 4.31 ppb, ethylbenzene의 경우 2.91 ppb, *m,p*-xylene의 경우 2.87 ppb, *o*-xylene의 경우 2.05 ppb, 1,2,4-trimethylbenzene의 경우 1.97 ppb, benzene의 경우 1.26 ppb, styrene의 경우 0.81 ppb의 순으로 나타났고, POCP값이 크게 나타나는 ethylbenzene, *m,p*-xylene, *o*-xylene, 1,2,4-trimethylbenzene 간의 상관관계는 모두 0.8이상으로 높게 나타났다.

2) VOCs의 계절별 총농도는 2.59 43.04 ppb로 타도시 및 외국의 경우와 비교해 계절에 따른 농도 변화가 큰 것으로 조사되었다. 방향족 탄화수소류가 총 농도에서 차지하는 비중이 높게 나타났으며, 계절에 따른 총 농도는 봄철 > 겨울철 > 여름철 > 가을철 의 순으로 나타났다. 계절별로 각 화합물이 차지하는 비율은 봄철의 경우, 다른 계절과 다른 양상을 보이고 있음을 알 수 있었다.

3) VOCs의 주/야간 시간대에 따른 분포조사결과, 겨울철의 경우 benzene을 제외한 모든 항목에서 야간 시간대에 높은 농도 특성을 보였다. 이는 자동차 등의 이동배출원의 영향보다는 가정 난방 등의 영향으로 배출된 오염물질들이 겨울철 야간에 지표냉각으로 인해 생긴 역전층 내에서 확산이 잘 이루어지지 않은 것으로 사료된다. styrene의 경우에는 모든 계절에서 주간에 비해 야간에 높은 농도를 보이는 것으로 조사되었다.

4) 황사 발생시 VOCs 농도 특성 비교결과, 모든 VOCs 화합물의 농도가 황사가 발생하지 않은 봄철 대기 중의 농도보다 낮은 수준을 보였으며, 화합물별로 1.25   36.92 배의 농도차이를 나타내었다. 이는 황사가 강한 편서풍으로 인하여, VOCs도 크게 확산 및 희석되는 영향과 황사 구성 성분 중 흡착 등의 물질에 의한 가스상의 흡착제거에 의한 영향을 받는 것으로 사료된다.

본 연구에서는 시간의 부족으로 인해 계절별 적은 수의 측정자료로써 해석된 점이 아쉽다. 향후 환경 대기 중의 오존과의 관계 및 대기 유해물질 관리 차원에서도 대기질 관리의 VOCs 농도 특성을 보다 정확히 하기 위아여 장기간의 시료채취와 분석이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

김미경, 박연신, 정용, 2000. VOCs 측정 및 VOCs가 인체에 미치는 영향에 관한 연구-우리나라 6개 대도시 수도수 중 THMs 분석-. 한국분석과학회지, 13(1), 55 65.

김영민, 박상곤, 백성옥, 1995. 대구지역 일반실내환경 중 VOC 농도. 대한환경공학회, 추계학술연구발표회 논문초록집, 348 351.

김조천, 김기현, 2000. 대기 중 휘발성유기화합물의 시간적 농도변화에 대한 연구-나주지역의 분포특성에 대한 비교-. 한국환경과학회지. 9(6), 483 488.

나광삼, 김용표, 김영성, 1998. 서울 대기 중에서 C_2 C_9 휘발성 유기화합물의 농도. 한국대기보전학회지, 14(2), 95 105.

나광삼, 김용표, 문길주, 백성옥, 황승만, 김성렬, K. Fung, 이강봉, 박현미, 1998. 대기중 휘발성 유기화합물의 채취 및 분석 방법 비교. 한국대기보전학회지, 14(5), 507 518.

백성옥, 황윤정, 김영민, 황승만, 박상곤, 송희봉, 1999. 대구지역 공중이용시설의 실내 공기질 특성에 관한 연구-휘발성유기화합물을 중심으로-. 대한환경공학회지, 21(5), 869 885.

옥곤, 문효방, 이동인, 한영호, 1998. 도시대기 중 방향족 휘발성 유기화합물의 농도변화와 상관성에 관한 연구. 한국환경분석학회지, 1(1), 41 50.

이영재, 신대윤, 전준민, 2000. 광주지역 봄철 환경대기중 휘발성유기화합물질의 농도 분포. 환경관리학회지, 6(3), 333 340.

이영재, 신대윤, 이학성, 강병욱, 한종수, 2001. 광주지역 여름철 대기 중 주야간 VOC 농도 특성. 한국대기환경학회지, 17(2), 169 177.

이진홍, 김윤신, 류영태, 유인석, 1997. 석유화학단지의 휘발성 유기화합물로 인한 인체 위해도 평가에 관한 연구. 한국대기보전학회지, 13(4), 257 267.

환경부고시 (**제**2001-36**호**)

환경부 대기질 자동측정망 자료. 2000 2002, **환경부**

青木 祥市, 玉坤, 花井 義道, 韓英鎬, 1989. 携帶型GC**自動分析裝置による韓國大氣汚染の連續測定. 横浜國立大學環境研紀要**, 16, 23-28.

Andersson S.Y., and L. Holmberg, **2000.** Photochemical ozone creation potentials (POCP) and replacement of solvents in europe. Atmospheric Environment, 34, 3159-3169.

Cheng L., L. Fu, R.P. Angle, and H.S. Sandhu, **1997.** Seasonal variations of volatile organic compounds in edmonton, alberta. Atmospheric Environment, 31(2), 239-246.

Chunming L., Z. Xu, Y. Du, and H. Guo, **2000.** Analyses of volatile organic compounds concentrations and variation trends in the air of changchun, the northeast of china. Atmospheric Environment, 34, 4459-4466.

Derwent, R.G., M.E. Jenkin and S.M. Saunders, **1996.** Photochemical ozone creation potentials for a large number of reactive hydrocarbons under european conditions. Atmospheric Environment, 30(2), 181-199.

Derwent R.G., M.E. Jenkin, S.M. Saunders and M.J. Pilling, **1998.** Photochemical ozone creation potentials for organic compounds in northwest europe calculated with a master chemical mechanism. Atmospheric Environment, 32(14/15), 2429-2441.

Dewulf J., and H.Van Langenhove, **1999.** Anthropogenic volatile organic compounds in ambient air and natural water: A review on recent developments of analytical methodology, performance and interpretation of field measurements. Journal of Chromatography A. 843, 163-177.

Gee, I.L., and C.J. Sollars, **1998.** Ambient air levels of volatile organic compounds in latin american and asian cites. Chemosphere, 36(11), 2497-2506.

IRIS (Integrated risk information system), U.S.EPA, **1986.** Guideline for carcinogen risk assessment.

Lee S.C., M.Y. Chiu, K.F. Ho, S.C. Zou, and X. Wang, **2002.** Volatile organic compounds (VOCs) in urban atmosphere of hong kong. Chemosphere, 43, 001-008.

Na K.S., and Y.P. Kim, **2001.** Seasonal characteristics of ambient volatile organic compounds in seoul, korea. Atmospheric Environment, 35, 2603-2614.

Norback D., G. Wieslander, and C. Edling, **1995.** Occupational exposure to volatile organic compounds (VOCs), and other air pollutants from the indoor application of water-based paints. The Annals of Occupational Hygiene, 39(6), 783-794.

Prevot A.S.H., J. Dommen, M. Baumle, and M. Furger, **2000.** Diurnal variations of volatile organic compounds and local circulation systems in an alpine valley. Atmospheric Environment, 34, 1413-1423.

Rappengluck B., and P. Fabian, **1999.** Nonmethane hydrocarbons

(NMHC) in the greater munich area/germany. Atmospheric Environment, 33, 3843-3857.

Thijsse Th.R., M.G.M. Roemer, and R.F. van Oss, **1999.** Trends in large-scale VOC concentrations in the southern netherlands between 1991 and 1997. Atmospheric Environment, 33, 3803-3812.

Wolf M., M. Riess, D. Heitmann, M. Schreiner, H. Thoma, O. Vierle, and R. van Eldik, **2000.** Application of a purge and trap TDS-GC/MS procedure for the determination of emission from flame retarded polymers. Chemosphere, 41, 693-699.

Wolkoff P., **1998.** Impact of air velocity, temperature, humidity, and air on long-term VOC emissions from building products. Atmospheric Environment, 32(14/15), 2659-2668.

감사의 글

2002년 여름의 문턱에서...

이 논문이 완성되기까지 끊임없는 지도와 조언 아끼지 않아 주신 옥곤 교수님, 한영호 교수님, 이동인 교수님, 김영섭 교수님, 변희룡 교수님, 정형빈 교수님, 오재호 교수님, 그리고 정용현 교수님께 지면을 빌려 다시 한번 감사의 인사 올립니다.

그리고 환경 극미량 유해물질 분석 및 제어 연구실 (다이옥신 연구센터)의 식구들 (우리 Lab의 큰오빠 성희 선배, 서현이의 아빠 동환 선배, 언제나 진지한 보흠 선배, 학부 때부터 같이 생활한 영교 선배, 카이 홀맨보다 쬐금 (?) 날씬한 성용 선배, 왕언니 지현 언니, 우리 Lab의 천재 지훈 선배, 나의 동기 지훈이, 귀여운 (?) 후배들 철수, 봉길, 인자, 소희, 석형)과 수산진흥원의 효방 선배, 해양수산부의 상조 선배께도 감사의 인사 올립니다. 더불어, 학과사무실의 주영이 언니, 교대원 후배들 수정이, 향미를 비롯한 여러 선배님들과 후배 님들에게도 고마움의 인사 올립니다.

가까이 있지는 못했지만, 언제나 마음속에서 함께 한 친구들 (해승이, 현정이, 진영이, 경수, 지영이, 여주)에게도 감사의 인사 올립니다.

지금까지 묵묵히 지켜봐 주시고 보살펴주신 부모님과, 예쁜 동생들 영진이, 숙진이와 이모・이모부를 비롯한 친지 분들, 마지막으로 소중한 오빠에게 제 논문을 드립니다.

고맙습니다.