

대기 중 휘발성유기화합물의 시간적 농도 변화에 대한 연구

- 나주지역의 분포특성에 대한 비교 -

김 조 천 · 김 기 현*

동신대학교 환경공학과, *세종대 지구과학과
(2000년 8월 1일 접수)

The Temporal Distribution Characteristics of Some Important VOC Species from a Nonurban Site in Naju

Jo-Chun Kim and Ki-Hyun Kim*

Department of Environmental Engineering, College of Engineering, Dongshin University

*Department of Earth Sciences, Sejong University

(Manuscript received 1 August, 2000)

In this study, the distribution characteristics of volatile organic compounds (VOCs) were investigated on the seasonal basis across spring, summer, and fall during the year of 1998. According to this analysis, most VOC species investigated exhibited strong temporal trends. Over diurnal scale, their distribution characteristics were affected by seasonal factors strongly. While they showed high day/night ratio pattern during spring, the pattern was reversed during fall. When the seasonal mean values were compared between the two seasons, the spring values were systematically higher than their counterparts in most cases. In addition when our VOC measurement data were compared with those reported from elsewhere, we were able to conclude that the VOC levels in the study area are comparable to the level weakly impacted by the regional emissions of VOCs. Although our data are not sufficient enough to systematically explain the atmospheric distribution and behavior of VOCs, the findings of strong correlations among some of VOC species suggests strong need for investigating their interactions in the earth's atmosphere.

Key words : natural, anthropogenic, volatile, measurement, benzene

1. 서 론

대기 중에 존재하는 오염물질은 그 발생원의 종류에 따라 크게 자연적 기원과 인위적기원으로 양분할 수 있다. 대부분의 오염물질은 이들 두 가지 발생원으로부터 발생할 수 있는데, 성분별로 발생원의 기여도는 대단히 다양하게 나타난다. 대체로 대기오염이 지구적인 차원의 문제로 관심을 받기 시작한 19세기 이전의 시점에는 자연적 발생원의 기여도가 중요한 부분을 차지했지만, 현재는 인위적 오염원의 기여도가 점차 더 중요한 부분으로 자리잡고 있다.

여러 가지 발생원으로부터 배출된 여러 유형의 오염물질들은 화학적 특성에 따라 대기질에 여러 유형의 영향을 미치게 된다. 오늘날 대기환경에 존재하는 여러 오염물질 중에서 오존의 생성과 밀접한 관련이 있는 질소산화물과 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs)의 역할이 점차 부각되면서 이들 화합물들에 대해 많은 관심이 모아지고 있다. 최근에 이루어진 많은 연구들의 결과에 의하면, 자동차의 급증과 각종 유기용매의

사용증가 등과 같은 요인으로 인해, VOC는 대기질의 변화를 초래하는 주요인 중 하나로 간주되고 있다.

VOC는 휘발성이 높은 유기화합물을 총칭하는 것으로서 광화학 산화물(오존, PAN 등)의 전구체로 작용할 뿐 아니라, 성층권의 오존층을 파괴하고 지구 온난화에도 직접 간여하는 것으로 밝혀지고 있다.^{1,2)} 환경대기권에 존재하는 VOC는 인체에 위해한 영향을 미치는 것으로 밝혀지면서, 환경보건학적인 관점에서도 주요한 연구 대상으로 부각되고 있다. 특히, 지표면에서 발견되는 오존의 경우, 오존의 기본적인 특징인 이동성 및 광역성에 의해 광역적인 오염문제로 인식되고 있다. 따라서, 이들 문제를 해결하기 위한 연구의 필요성이 강하게 제기되는 실정이다.

최근에 VOC와 관련된 국제적 연구 추세는 총탄화수소와 같은 일체적인 개념보다는 개별 유기물에 대한 관련 연구가 선호되는 실정이다. 우리나라의 경우, 아직까지 VOC의 관측과 관련한 DB규모도 빈약하고, 연구 또는 분석의 대상이나 범위 등에 대한 연구도 부족한 실

정이다.^{1,2)} 미국의 경우, 1990년 청정 대기법 (Clean air act)를 통해, 188 종류의 유해성 대기오염물질 (HAPs, hazardous air pollutants)을 규정하고 있다. 이 중에서 29종류를 제외한 159종류가 VOC류의 유기화합물 또는 그 유도체 등으로 볼 수 있다. 따라서, 광화학스모그의 발생으로 인한 광역적인 피해를 저감하기 위한 효율적인 대책의 수립 등을 위해서 그리고 인체에 대한 위해성 등을 파악하기 위해서도, 대기 중 유기화합물의 종류와 농도에 대한 충분한 정보를 확보하는 것이 대단히 중요하다.^{3,4)} 이런 점들을 감안할 때, 환경대기중의 VOC에 대한 지속적인 농도관측과 같은 연구분야는 대단히 중요한 과제라고 할 수 있다.

본 연구에서는 비교적 청정한 공기질을 유지하는 전남 나주시의 동신대학교에 위치한 관측점을 중심으로 benzene, toluene, ethylbenzene, m,p-xylene, o-xylene, styrene, α -pinene을 포함하는 주요 VOC성분의 분석을 수행하였다. 본 연구는 1998년도에 봄철을 대표할 수 있는 5월과 가을철을 대표하는 9월에 집중분석을 실시하고 봄, 여름에 해당하는 4, 7월에 수회의 분석을 추가적으로 시도하였다. 봄철 연구중 집중분석결과와 일부는 타 연구기관과의 공조를 통해 서울시 대 나주시의 산림지역에 대한 VOC 농도분포를 비교하는 연구결과로 발표된 바 있다.³⁾ 그리고 가을철 연구결과는 선행연구의 연장선상에서 시간별 계절별 분포특성을 체계적으로 밝히기 위해 시도되었다. 이 기간중 측정된 대기중 α -pinene은 자연적으로 발생하는 VOC성분을 대표하는 부분으로서, 국내에서 최초로 대기중의 연속농도관측결과를 발표하는 것으로 사료된다.

2. 실험방법

2.1. 관측장소와 시료채취 기기 및 방법

본 연구에서 VOC의 측정은 전남 나주시 동신대학교 운동장 주변의 지점에서 봄, 가을에 걸쳐 계절별로 측정을 수행하였다. 매 측정시 온도, 압력, 습도 등의 주요 환경변수를 동시에 관측하였고, 채취된 VOC 성분은 ATD (Aerotrap Desorber)가 장착된 GC(gas chromatograph) 시스템을 이용하여 분석하였다.

대기 중에 존재하는 VOC 물질을 측정하는 데는 분석만큼이나 샘플링(sampling)이 중요하다. VOC는 일반적으로 대기 중에서 미량(10ppb 이하)으로 존재하고 있기 때문에 일반실린더 용기나 Tedlar bag을 사용하여 채취할 경우 용기의 흡착이나 용기와의 반응 등의 이유로 인하여 이를 안정하게 오래 보관하기가 매우 어렵다. 그런 이유로 VOC 시료의 채취에는 특수한 방법들이 사용되고 있다.^{1,5)}

본 연구에서는 VOC 시료를 채취하기 위해, Tenax TA 110mg (60/80mesh, Supelco, USA)과 Carbosieve™ S III 60mg (60/80mesh, Supelco, USA)을 채운 유리관 흡착트랩을 사용하였다. 이들 트랩은 탈착력이 좋으나 흡착력이 떨어지는 Tenax 적정량과 흡착력은 뛰어나나 탈착이 어려운 Carbosieve 소량을 동시에 사용하여, 이들의 단점을 상호보완하게끔 만든 흡착트랩이다. 실질적인 시

료의 분석에 앞서 흡착트랩의 성능시험을 실험실에서 반복수행하여 좋은 재현성을 확인하였다.

VOC는 대기중에 미량으로 존재하기 때문에 장시간 Sampling 시간이 소요된다. 장시간 동안 VOC 시료를 채취할 수 있도록 실험실적으로 Sampler를 제작하였다. 휴대의 간편성이나 전원공급의 편리성을 고려하여 제작된 본 Sampler를 이용할 경우, 시료채취에 보통 3~4시간의 시간이 소요된다. 시료채취의 순서는 다음과 같다.

① 먼저 Sampler를 설치하고 미리 작동시켜 유량을 안정하게 하도록 하고

② 샘플링이 이루어질 장소의 기상상태 등과, 온도, 압력, 습도, 등을 상세히 기록하고 기타 특이할 만한 사항을 메모해 둔다.

③ 다음으로 Sampler에 흡착트랩을 장치하는데 이 흡착트랩의 앞부분에 Glass Wool로 만든 filter를 두어 먼지 등의 물질로 인한 실험오차를 줄였다.

④ 흡착트랩을 장치한 시각을 기록하고 그로부터 약 3~4시간동안 VOC시료의 채취를 하게 되는데 이때의 유량은 100ml/min으로 한다.

⑤ 샘플링이 이루어진 Sample Trap은 Parafilm으로 양끝을 밀봉한 후 홀더에 넣어 분석장소로 옮긴다. 이렇게 얻어진 Sample Trap은 최단시간 내에 곧바로 분석으로 이어졌다.

2.2. 분석

고체흡착법에 의해 얻어진 샘플트랩 (Sample Trap)은 자동열탈착장치 (Tekmar 6000, Tekmar-Dohrmann; USA)와 GC/FID (5890 SERIES II, Hewlett Packard, USA) 시스템을 동시에 가동하여 분석하였다. 외기시료를 채취한 흡착트랩은 Trap Desorber와 GC/FID를 사용하여 분석하였다. 그 과정을 대략 다음과 같이 요약할 수 있다. 먼저 Sample Trap은 Trap Desorber에서 열탈착 과정을 거치는데, 이 과정은 270℃에서 30ml/min (운반기체 헬륨)의 유량으로 8분간 이루어진다. 여기서 탈착된 VOC물질은 다시 -165℃로 냉각되어 있는 내부의 Cryo Trap (초저온 응축기)에서 재 흡착된다. 다시 2차 열탈착 과정을 통해 탈착되어 175℃로 유지되어 있는 Transfer Line을 거쳐 GC의 칼럼 (column)으로 주입된다. 최종적인 성분분석에는 DB-5 Capillary (60m × 0.530mm, 1.5 μ m) 칼럼이 사용되었고, 개별성분의 검출에는 Flame Ionization Detector (FID)가 사용되었다. 현장시료에 채취된 VOC의 양은 lab 및 field blank로부터 유의한 차이 (약 5배)를 유지하였다. 이 때 GC의 온도는 30℃에서 2분간 유지된 다음 90℃까지는 분당 2℃씩 상승시켰다. 90~220℃까지는 20℃/min씩 상승하였고, 220℃에서 10분간 정온상태를 유지하였다.

분석의 정확도를 파악하기 위해 Matheson Environmental Compliance (Toxi-Mat-14™, USA)의 표준물질을 이용하여 정확도를 산출하였다. 그 결과 대부분의 항목들이 5~10%선의 정확도를 보이는 것으로 나타났다. 반복재현성을 의미하는 정밀도는 실험실에서 표준시료를 이용

하여 반복적인 분석을 실시한 바에 따르면, 항목의 차이에 상관없이 약 1% 전후의 높은 정밀도를 유지하는 것으로 확인되었다. 그러나 표준시료대신에 환경대기시료를 분석할 경우, 5~10%대로 정밀도가 저하되는 것으로 나타났다. (단 정밀도는 상대표준오차 (relative standard error=RSE)를 이용하여 산출하였다.)

3. 결과 및 고찰

3.1. VOC 자료의 전체적 분포 특성과 비교

본 연구를 통해 관측된 주성분들의 전체적인 농도분포의 간략한 통계자료가 Table 1에 제시되었다. 모든 관측은 기본적으로 두 시간 단위로 이루어졌다. 가을철에만 측정이 시도된 α -pinene을 제외할 경우 (N=12), 전체적으로 모든 항목에 대해 총 12~34회의 개별 측정이 이루어졌다. 단순히 평균농도의 크기만을 기준으로 비교하였을 때, m,p-xylene과 toluene 등이 1ppb를 초과하여 가장 높은 농도를 유지하는 것으로 나타났다. 반면 styrene이나 α -pinene 등이 0.3ppb 내외로 가장 낮은 수준의 농도를 유지하는 것으로 나타났다. 봄 기간에는 4/3일 낮, 밤의 간격으로 2차례의 최초 실험이 시도되었다. 그리고 5/3일 10시부터 5/4일 20시까지 2시간 간격으로 연속측정이 이들 기간동안 집중적으로 진행되었다. 따라서 봄철기간을 대표하는 측정이 총 19회에 걸쳐 이루어졌다. 그리고 7/23일과 7/24일에 여름 기간을 대표하는 측정이 각각 1회씩 진행되었다. 마지막으로 가을 기간에는 9/10~9/18일까지 낮, 밤에 1회씩 빈도로 가을철을 대표하는 측정이 총 13회에 걸쳐 이루어졌다. 그리고 여름 기간에도 2회의 측정이 이루어졌다. 그런데 여름과 같은 특정 계절의 자료가 절대적으로 부족하다는 점을 감안하여, 전체 자료를 이용한 계절적 추세의 통계적인 분석에는 봄, 가을의 농도분포를 이용하였다. 그리고 봄철 측정이 집중된 5/3~4일 기간에는 기온이 16~25°C를 기록하였고, 18.9°C의 평균온도를 보였다. 그리고 가을철 측정이 이루어진 9월 관측기간에는 25~33°C의 기온이 기록되었다(평균 29.5°C). 가을철 측정기간 중 관측된 온도는 2차례에 걸쳐 진행된 여름철의 관측기간중의 온도(평균 32°C)에 가까운 온도로서, 가을철에 비해 훨씬 높은 기온이 유지되었다는 점을 알 수 있다.

Table 1. A statistical summary of VOC measurement data from Naju during spring and fall seasons of 1998(All concentrations are expressed in units of ppb.)

	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	m,p-xylene	o-xylene	styrene	α -pinene
Mean	0.51	1.14	0.75	1.48	0.45	0.38	0.24
SE	0.04	0.13	0.05	0.14	0.05	0.05	0.06
Medium	0.49	0.88	0.76	1.44	0.42	0.40	0.16
SD	0.24	0.76	0.23	0.79	0.29	0.21	0.20
Min	0.17	0.22	0.40	0.27	0.11	0.01	0.05
Max	1.17	2.99	1.16	3.51	1.10	0.81	0.72
N	34	34	19	34	32	20	12
CI (90.0%)	0.07	0.22	0.09	0.23	0.09	0.08	0.10

3.2. VOC의 계절적 및 일주기적 분포 특성

Fig. 1에는 상대적으로 관측횟수가 제한된 styrene과 α -pinene을 제외한, 모든 개별 성분들에 대한 전체 측정기간중의 농도분포를 시간의 함수로 제시하였다. 전체적으로 ethylbenzene과 o-xylene 등이 유사한 농도분포를 취한다는 점과, 가을철 자료에서 m,p-xylene과 toluene 등이 뚜렷한 일주기 분포 (주로 야간에 고농도)를 취하는 현상을 빈번하게 목격할 수 있었다.

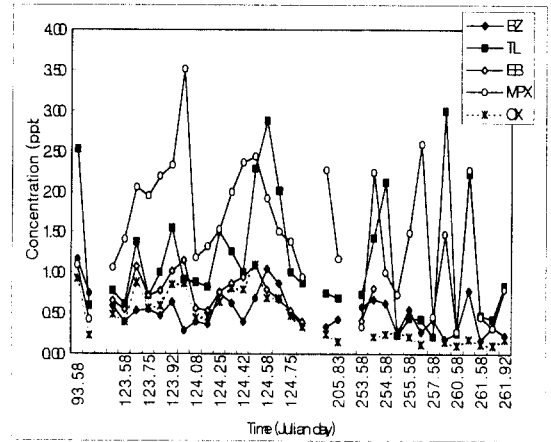


Fig. 1. Temporal distribution patterns of five VOC components measured during spring, summer, and fall seasons of 1998. Julian day 93, 123, and 205 represent 4/3, 5/3, and 9/10, respectively. Symbols for legend, BZ, TL, EB, MPX, and OX denote benzene, toluene, ethylbenzene, m,p-xylene, and o-xylene, respectively.

본 연구를 통해 관측된 주성분들의 봄, 가을별 계절간 분포특성을 요약한 결과를 Table 2에 제시하였다. 이들 자료로부터 산출한 각 항목들에 대한 계절별 평균값의 비교 결과는 Fig. 2에 제시하였다. 전체적으로 볼 때, styrene을 제외한 모든 개별 항목들의 최대 평균농도는 주로 봄철에 가장 빈번하게 나타났다. 반면 가을철에는 가장 낮은 농도들이 발견되었다. 여름철의 경우, 항목에 따라 봄, 가을 크기에 인접하는 중간적인 성향을 보였다. 계절별로 비교한 Table 2의 결과는 styrene과 가을철에만 측정이 이루어진 α -pinene을 제외한 모든 성분이 일관성있게 봄철에 더 높은 농도를 취하는 것으로 나타났다. 계절별 농도차이의 유의성을 통계적으로 분석한 결과 (t-test 등을 통해), toluene을 제외한 모든 경우 90% 이상의 유의성을 띠는 것으로 나타나, 대부분의 VOC 성분이 봄철에 높은 농도를 띠는 것으로 드러났다. 특히 봄철에 높은 농도를 취하는 대부분의 성분들이 가을철에 비해 수 십% 정도까지 농도 차이를 나타내는 것으로 나타났다.

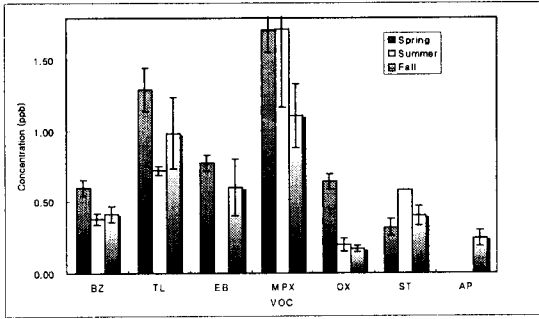


Fig. 2. Comparison of the mean VOC concentrations for each season. Symbols for VOC species, BZ, TL, EB, MPX, OX, ST, and Ap denote benzene, toluene, ethylbenzene, m,p-xylene, o-xylene, styrene, and α -pinene, respectively.

Table 2. A comparison of VOC measurement data between spring and fall seasons of 1998 (All concentrations are expressed in units of ppb.)

	Benzene	Toluene	Ethyl-benzene	m,p-xylene	o-xylene	styrene	α -pinene
1. Springtime							
Mean	0.60	1.29	0.77	1.72	0.64	0.32	
SE	0.05	0.15	0.06	0.16	0.05	0.06	
Medium	0.54	1.01	0.76	1.53	0.64	0.39	
SD	0.24	0.67	0.23	0.70	0.23	0.16	
Min	0.29	0.60	0.40	0.42	0.23	0.01	
Max	1.17	2.87	1.16	3.51	1.10	0.47	
N	19	19	17	19	19	7	
CI(90.0%)	0.09	0.27	0.10	0.28	0.09	0.12	
2. Falltime							
Mean	0.41	0.98	0.60	1.11	0.17	0.40	0.24
SE	0.06	0.25	0.20	0.23	0.02	0.07	0.06
Medium	0.34	0.47	0.60	0.79	0.18	0.36	0.16
SD	0.21	0.91	0.28	0.82	0.06	0.23	0.20
Min	0.17	0.22	0.41	0.27	0.11	0.12	0.05
Max	0.77	2.99	0.80	2.58	0.29	0.81	0.72
N	13	13	2	13	11	12	12
CI(90.0%)	0.10	0.45	1.24	0.41	0.03	0.12	0.10
t	1.73E+00	9.00E-01	7.84E+00	2.98E+00	8.35E+00	-3.02E+00	
P	0.0924	0.3748	0.0000	0.0054	0.0000	0.0049	

Fig. 3에는 전체자료를 다시 계절별로 구분한 후, 주야간의 시간대에 따른 분포특성을 '주/야' 비값 (Day/Night (D/N) ratio)으로 계산하여 비교하였다. 이와 같은 비교는 자료수가 부족한 여름을 제외하고, 봄과 가을의 자료를 이용하였다. 이러한 분석은 개별 성분들이 어떠한 형식으로 주야간의 분포를 유지하는가를 논의하고, 그러한 특성들이 계절별로 어떠한 형태를 유지하는가에 대해 비교할 기회를 제공할 수 있다. 그 비교결과에 따르면, 계절별로 상당히 상반된 주야간대의 분포특성이 존재할 수 있는 가능성이 나타난다. 봄철의 경우, styrene를 제외한 모든 항목들이 1.0의 비값을 초과하는 것으로

나타나, 주간대의 농도가 야간대의 농도보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 반대로 가을철의 경우, 벤젠을 제외한 모든 항목들이 일관성있게 1.0보다 낮은 값을 취하여 야간대의 농도가 더 높게 나타나는 것으로 보인다. 과거의 연구결과들은 대체로 많은 VOC 성분들이 겨울철에 주저야고의 형태를 취하고 타 계절에는 그만큼 뚜렷하지 않은 것으로 제안하고 있다.^{6,7)} 반면 독일의 뮌헨지역을 중심으로 여러 지역에서 관측한 결과를 이용하여 주야간대의 분포특성을 비교한 결과에 따르면,⁸⁾ 주야간대의 농도분포는 계절적 특성에 비해 상대적으로 지역적 특성을 상당 부분 반영할 수 있는 것으로 나타났다. 도심지역의 경우, VOC의 배출이 물리는 러쉬아우어 (rush hour) 대에 고농도가 그리고 시골지역의 경우 공기의 순환이나 역전층 등의 발생으로 인해 주간대의 농도가 상대적으로 낮게 나타날 수 있다는 것을 보여 주었다.

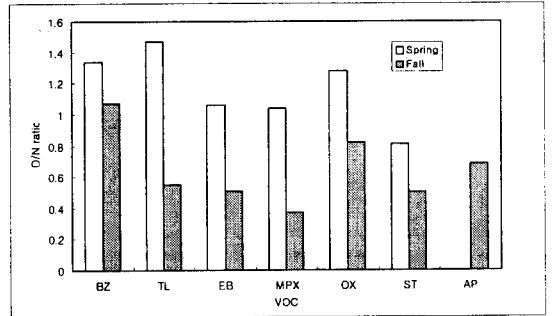


Fig. 3. A plot of day/night (D/N) ratio for measured VOC concentrations for spring and fall. Symbols for VOC species, BZ, TL, EB, MPX, OX, ST, and Ap denote benzene, toluene, ethylbenzene, m,p-xylene, o-xylene, styrene, and α -pinene, respectively.

이러한 관측에서 몇 가지 두드러진 점을 들면, styrene의 경우 일관성있게 뚜렷한 농도분포를 취했다. 봄철에 비해 가을철에 그리고 주간에 비해 야간대에 고농도를 취하였다. α -pinene의 경우, 비교적 측정자료가 제한적이다. 그러나 본 연구에서 관측된 바와 같이 야간대에 고농도를 취하는 결과는 (Fig. 3), 과거 일본의 교외지역을 중심으로 Yokouchi and Ambe⁹⁾ 등이 관측한 결과와 잘 일치한다. 그들은 이와 같은 α -pinene의 주저야고 현상을 monoterpene 류가 온도나 일사량의 변화에 느리게 반응하는 특성으로 설명하였다.

3.3. 연구자료간 비교 및 상관분석

본 연구에서 관측한 나주지역의 VOC 성분들에 대한 농도분포 특성을 평가하기 위한 한 가지 방법으로 과거 국내의 여타지역에서 관측한 결과들과의 비교를 시도하였다. 각 지역간의 관측농도를 비교한 결과를 Fig. 4에 제시하였다. 국외관측자료와의 비교는 네덜란드의 도심지역¹⁰⁾과 독일의 도심지역⁸⁾에서 관측한 자료를 중심으로 동일선상에서 시도하였다. 독일의 경우, 뮌헨시를 중심으

로 광역적인 지역에서 관측한 자료를 활용하였는데, 이들 자료를 봄, 가을의 계절적 영역으로 분리하였다. 네덜랜드의 경우 Vredepeel을 위시한 남부지역의 3개 지점을 중심으로 계절적 구분없이 결과를 제시하였다. 결과를 단순하게 비교해 보면, 여타 지역에 비해 나주지역의 농도는 훨씬 낮게 나타나는데, 이러한 수준은 네덜랜드지역에서 발견한 농도와 같이 어느 정도 오염원의 영향이 약한 지역들과 거의 유사한 수준으로 보인다. 반면 독일 뮌헨시의 결과와 같이 보다 오염문제가 심각한 지역의 경우, 그 농도수준이 훨씬 높게 나타난다. 특히 benzene과 toluene의 경우, 그러한 차이가 여타 항목에 비해 훨씬 심각한 것으로 사료된다. 따라서 오염의 정도를 평가할 수 있는 비교성이 여타 항목에 비해 뛰어난 것으로 보인다.

국내 지점간의 농도를 비교하기 위한 한 가지 방법으로 본 연구가 진행된 기간과 상응하는 기간동안 일부 VOC 성분의 관측이 이루어진 여천지역의 자료를 활용하여 산업시설지역대 시골지역의 농도분포를 비교해 보았다. 이를 위해 양지역간의 농도를 나눈 비값을 구하였는데, Fig. 5에 그 계산결과를 제시하였다. 여천지역의 경우, DOAS (Opsis Co., Sweden)를 이용하여 시간대별로 관측한 결과를 제시하였다. 편의상 이들 자료를 본연구의 시간대별 관측간격에 일치하도록 평균값을 구하여 비교해 보았다. 앞서 간략하게 언급한 바와 같이 benzene이나 toluene 등은 농도지역간에 평균적으로 큰 차이를 보인다는 것이 지적된 바 있는데, 본 분석결과에서도 양 항목의 농도비가 7 또는 11배의 뚜렷한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이와 같이 고농도의 VOC가 존재하는 현상은 이미 선형연구에서 보고된 바 있다.¹¹⁾ 이에 반해 p-xylene의 경우 큰 차이를 발견하기가 어려웠다. (물론 여천지역은 p-xylene 만을 그리고 나주지역은 m,p-xylene을 관측하여, 비값의 추출에 약간의 차이는 존재한다. 그러나 이와 같은 부분을 감안하여도 지역간의 차이는 미미할 것으로 보인다.)

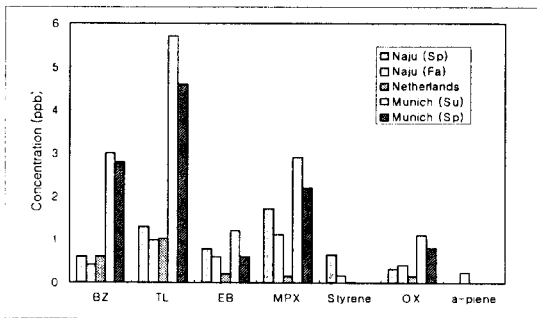


Fig. 4. Comparison of VOC concentrations determined from different study sites. For Naju and Munich, the data for seasonal mean are presented. Sources: The Netherlands (9), Munich (7). Symbols for VOC species, BZ, TL, EB, MPX, OX, ST, and Ap denote benzene, toluene, ethylbenzene, m,p-xylene, o-xylene, styrene, and α -pinene, respectively.

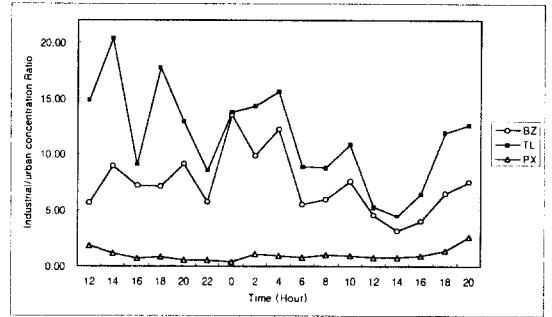


Fig. 5. Concentration ratios between industrial (Yeo Chun) and rural (Naju) site. The concentration ratios were derived using the 2-hr concentration data for each study site. Symbols for VOC species, BZ, TL, and PX denote benzene, toluene, ethylbenzene, and p-xylene, respectively.

Table 3. Results of correlation analysis among different VOC species.

	BZ	TL	EB	MPX	OX	styrene	α -pinene
BZ	(34) [^]						
TL	0.6062*	(34)					
EB	0.1203	0.4146	(19)				
MPX	0.1291	0.3327	0.8921**	(34)			
OX	0.4994*	0.4104*	0.8224**	0.5233**	(32)		
styrene	0.3300	0.4945	0.3492	0.5836*	-0.1446	(20)	
α -pinene	0.6021	0.3058	1.0000	0.3449	0.5912	0.2678	(12)

[^] denotes the total number of observations.

* and ** denote the probability of no correlation at 99 and 99.9 %, respectively.

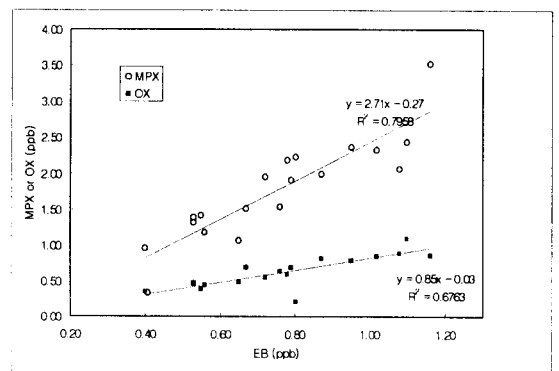


Fig. 6. A plot of linear regression analysis among different VOC species. Symbols for VOC species, EB, MPX, and OX denote ethylbenzene, m,p-xylene, and o-xylene, respectively.

본 연구를 통해 관측된 개별 항목의 총 측정횟수가 34회에 가까워 어느 정도 의미있는 통계분석이 가능하다. 이를 감안하여, 각 항목들간의 분포특성을 정밀하게

해석할 수 있는 상관성분석을 실시하였다. 그 결과를 Table 3에 제시하였다. 이들 자료의 정밀한 비교를 위해, 모든 비교쌍 간에 존재하는 상관성의 강도를 확률값으로 비교해 보았다. 그 결과 ethylbenzene과 xylene간에 그리고 두 가지 xylene 류간에서 상관성이 존재할 확률이 99.9%이상 임을 확인할 수 있었다. 전자의 경우, 회귀분석의 결과를 Fig. 6에 추가적으로 제시하였다. 그 결과에 의하면 ethylbenzene의 농도변화가 xylene류의 농도변화에 민감하게 반영된다는 점을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 전남 나주시를 중심으로 봄, 여름, 가을철에 걸쳐 benzene, toluene 등을 위시한 7가지 VOC 성분의 농도분포를 관측하였다. 본 연구에서 측정된 VOC 자료의 농도분포특성을 국내의 여타 지점에 대해 비교분석을 수행하였다. 본 연구에 따르면, 나주시지역의 농도는 계절별로 가을기간대에 비해 봄기간대에 관측항목들이 고농도를 취한다는 점을 확인할 수 있었다. 그리고 이러한 비교를 일주기별로 확대하였을 때, 다시 계절적 요인의 영향이 강하게 작용한다는 점을 확인할 수 있었다. 봄철에는 주교야저의 경향이 강하게 나타나는 반면, 가을에는 주저야고의 형태로 역전되는 결과가 나타났다. 그리고 이러한 연구결과를 여천의 공단지역으로부터 관측한 결과와 비교하였을 때, 오염의 강도를 뚜렷하게 확인하기 쉬운 benzene이나 toluene 등이 양 지역에 확연한 차이를 보이고 있다는 점을 알 수 있었다. 또한 개별 항목들간의 상관성 분석결과는 ethylbenzene과 xylene류간에 높은 상관성 관계가 존재할 수 있다는 점을 확인시켜 주었다.

참 고 문 헌

- 1) 한국대기보전 학회 측정 분석 위원회, 1998, 대기환경과 휘발성 유기화합물질, 사단법인 한국 대기 보전학회 1장 대기중 휘발성 유기화합물의 정의와 환경학적 중요성 (백성욱, 김기현, 송동헌), pp 1~7.
- 2) 한국대기보전학회 측정 분석 위원회, 1998, 대기환경과 휘발성 유기화합물질, 사단법인 한국대기 보전학회 5장 휘발성유기화합물의 채취와 분석. (허귀석, 백

- 성욱), pp 107~131.
- 3) 김조천, 이강웅, 김기현, 2000, 서울과 나주의 산림지역을 중심으로 한 대기 중 VOC 관측 - 지역 및 시간적 차이에 따른 농도분포의 변화특성연구. 한국환경분석학회지 3, 37~43.
- 4) 김만구, 권영선, 심해영, 장인영, 1995, 저온농축 GC/FID, FPD를 이용한 대기중 휘발성 유기 화합물의 분석, 추계 학술대회 요지집, pp73~75.
- 5) 백성욱, 1996, 환경 대기중 휘발성유기화합물의 채취와 분석방법, 한국대기보전학회지. 12(1), 1~13.
- 6) Wallace, L., W. Nelson and P. Ziegenfus, 1991, The Los Angeles TEAM study: Personal exposures, indoor-outdoor air concentrations, and breath concentrations of 25 volatile organic compounds. Journal of exposure analysis and environmental epidemiology 1(2), 157-192.
- 7) Hartwell, T. D., E. D. Pellizzari, R. L. Perritt, R. W. Whitmore, H. S. Zelon, L. S. Sheldon, C. M. Sparacino and L. Wallace, 1987, Results from the total exposure assessment methodology (TEAM) study in selected communities in northern and southern california. Atmospheric Environment. 21(9), 1995-2004.
- 8) Rappengluck, B. and P. Fabian, 1999, Nonmethane hydrocarbons(NMHC) in the Greater Munich Area/Germany. Atmospheric Environment 33, 3843-3857.
- 9) Yokouchi, Y. and Y. Ambe, 1988, Diurnal variations of atmospheric isoprene and monoterpene hydrocarbons in an agricultural area in summertime. J. Geophys. Res. 93, 3751-3759.
- 10) 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.
- 11) 김용표, 이종현, 진현철, 문길주, 1997, 여천공단 대기 중의 입자상 및 기체상 이온성분과 유기 화합물의 농도, 한국대기 보전학회지. 3(4), 269~284.