

안산시 주거지역을 중심으로 한 환경대기 중 휘발성 유기화합물과 황계열 성분의 온라인 연속측정 연구

On-line GC Analysis of Odorous VOC and S Gas Pollutant Levels in Ambient Air of a Residential Area at Ansan City, Korea

김기현* · 주도원¹⁾ · 최여진 · 홍윤정 · 사재환
박종호 · 전의찬 · 최청렬²⁾ · 구윤서²⁾

세종대학교 지구환경과학과, ¹⁾ITC21, ²⁾안양대학교 환경공학과
(2004년 12월 8일 접수, 2005년 1월 31일 채택)

K.-H. Kim*, DW Ju¹⁾, YJ Choi, YJ Hong, JH Sa,
JH Park, EC Jeon, CR Choi²⁾ and YS Koo²⁾

Department of Earth & Environmental Sciences, Sejong University, ¹⁾ITC21,

²⁾Department of Environmental Engineering, Anyang University

(Received 8 December 2004, accepted 31 January 2005)

Abstract

In this study, the concentrations of major odorous compounds including reduced sulfur compounds (DMS, CS₂, and DMDS) and aromatic VOC (benzene, toluene, xylene, etc.) were measured continuously using an on-line GC analytical system. Our measurements were made from a residential area of Ansan city during about two week period of October, 2004. The highest mean concentrations of S and VOC were found as 56.9 ppb of DMS and 21.7 ppb of toluene, respectively. The results of this study generally show that the pollution levels for both types of chemicals are significant relative to previous measurement results reported from comparable sites, if the results are compared simply in terms of the magnitude of the measured concentration data. Moreover, when the relative importance of different compounds is compared in terms of the odor strength, it indicated that the contribution of reduced S compounds may be much more important than that of VOC in the study area.

Key words : Malodor, Sulfur gas, VOC, GC, Ambient air, On-line analysis

1. 서 론

도시환경에서 나타나는 여러 가지 악취의 발생은 다양한 인위적 배출원들을 통해 이루어진다(Yujing

et al., 2002). 산업시설물들(또는 이들 시설물의 가동 및 공정 단계)을 통한 발생은 물론이고 사람들의 생활과 밀접한 생활주변 시설물들(하수구, 쓰레기 매립장, 자동차 운행 등)에서 까지 광범위하게 발생한다(Deuchar *et al.*, 1999; US EPA, 1993; WHO, 1981). 이러한 문제가 민원의 형태로 제기 됨에 따라, 관계 당국에서도 이미 1963년도에 공해방지법과 같은 법률

* Corresponding author

Tel : +82-(0)2-3408-3233, E-mail : khkim@sejong.ac.kr

제정을 통해 악취문제에 대한 기본적인 관리방안을 모색하였음을 알 수 있다. 그러나 이러한 문제에 대해 보다 체계적인 대응의 틀을 갖추기 시작한 것은 1995년도의 대기환경보전법이 발효된 시점을 들 수 있다. 이러한 법률에 의해, 악취발생의 여지가 큰 대기오염물질 배출시설에 대해서는 배출허용기준 등을 규정하여 엄격한 관리를 실시하고 있다. 이러한 노력에도 불구하고, 아직까지 산업시설 또는 폐기물 처리 시설 등이 밀집한 일부 지역에서는 악취와 관련된 문제가 중요한 환경민원으로 제기되고 있는 실정이다(김용문 등, 2002; Kim *et al.*, submitted).

경기도 시화반월공단이 소재한 경기도의 시화, 안산지역은 인천, 울산, 여천지역 등과 함께 중요한 악취민원신고의 다발 지역으로 잘 알려져 있다(조석연 등, 2003). 특히 시화/반월산업단지의 경우, 이러한 문제를 해결하기 위한 노력의 일환으로 “시화·반월 대기특별대책반”과 같이 관계기관 및 지역주민 등이 함께 참여하는 종합대응체제를 구성 및 운영하고 있다(2000. 12. 5). 이와 같이 악취문제를 해결하기 위한 노력의 결과들이 어느 정도 가시화된 부분들도 발견할 수 있지만, 아직까지 많은 사람들이 체감할 수준에 도달하기까지는 많은 문제점들이 산적한 실정이다.

본 연구진은 안산시 지역의 악취문제를 해소하기 위한 연구사업의 한 부분으로 악취의 발생특성을 유형화하기 위해 현장 조사를 다양한 기준에서 기획 실시하였다. 2004년 하절기에는 주요 배출시설물들에 대한 악취성분의 배출특성 조사, 동심원 방식에 기초한 배출시설에 인접지역의 환경대기질 조사 등을 실시하였다(김기현 등, 2005). 본문에서는 이러한 연구사업의 연장선상에서 2004년 10월 안산시 고잔동의 주거지역을 중심으로 시도한 주요 악취성분의 연속관측결과를 소개하고자 하였다. 본 연구에서는 악취민원이 빈번한 주거지역을 대상으로 악취황화합물 및 VOC성분들의 농도분포를 연속적으로 계측 하므로써, 이들 자료에 대한 분석을 통해 주거지역의 악취발생 특성을 다각적으로 진단하고자 하였다.

2. 연구 및 방법

2.1 연구 대상 지점

본 연구에서 악취성분들에 대한 연속관측을 실시

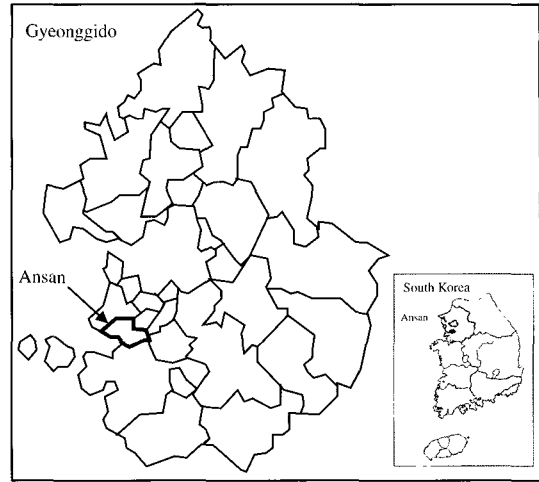


Fig. 1. An areal map of study site: Ansan city, Korea.

한 연구대상지점은 그림 1에 제시한 바와 같이 경기도 안산시의 반월공단에 인접한 모 아파트 단지 지역 내 관리시설(2층 건물 중 2층)에 위치한다. 본 연구에서는 현재의 분석기술로 충분히 신뢰성이 입증된 황성분과 VOC계열의 성분들을 대상으로 가스크로마토그래피(GC)와 열탈착(thermal desorption: TD) 기법에 기초하여 연속채취 및 분석을 실시하였다. 단 현장에서 분석을 실시하는데 따른 여러 가지 어려움으로 인해, 두 가지 계열의 성분들에 대한 분석을 동시에 실시하지 못하고, 다음과 같이 기간대별로 분석 대상을 차별화하였다. 먼저 연구의 전반기(기간 1: 2004년 10월 12일 오전 11시~10월 18일 오후 1시)에는 PFPD를 장착한 GC를 구동하여, 악취황성분들에 대한 분석을 실시하였다. 그리고 연구의 후반기(기간 2: 2004년 10월 18일 오후 7시~10월 26일 오전 8시)에는 동일한 GC에 설치된 FID를 구동하여 방향족 VOC 성분들에 대한 계측을 실시하였다. 이들 성분들에 대한 분석기법들은 대략 다음과 같이 요약할 수 있다.

2.1.1 황화합물들에 대한 연속계측 시스템의 운용

황화합물들의 경우, 최첨단 검출기법으로 알려진 GC/PFPD(Model 3800 GC, Varian, USA)에 펠티어 쿨링(Peltier cooling: PC)과 열탈착(thermal desorption: TD, Markes, Ltd., UK) 기법을 조합한 PC/TD기법을 적용하였다(Kim, 2005; 최여진 등, 2004). 이를

통해, 환경대기 중에서 ppb 수준의 농도에서 분석을 실시하였다. GC 분석에서 시료 분리를 위한 칼럼으로는 VF-1, MS(60M × 0.25 mm, 1.0 μm, Varian사 제작)를 사용하였다.

2. 1. 2 VOC 성분들에 대한 연속계측 시스템의 운용

BTEX 및 스티렌과 같은 VOC군의 악취성분은 GC-FID (Model 3800 GC, Varian, USA) 방식과 앞서 언급한 PC/TD기법을 적용하여 유사한 방식으로 측정하였다 (최여진 등, 2003). 주요 VOC 성분의 분석도 앞서 언급한 PC/TD 조합에서 FID검출방식을 가동하였다. 이들 성분의 분리는 앞서 황계열 성분의 분리에 사용한 VF-1, MS 칼럼을 그대로 동일하게 적용하였다.

본 분석시스템을 이용하여 황성분이나 VOC 성분을 분석하는데 활용한 결과나 QA/QC에 관한 기본적인 실험결과들은 본 연구진의 선행 연구에서 이미 세밀하게 제시한 바 있다. 대체로 일반적인 계측특성이 유지되었지만, 본 연구기간 중에는 황성분의 검출한계와 관련된 부분에서 다소 복잡한 상황이 발생하였다. 일반적으로 황이나 VOC 성분을 온라인 분석하기 위해, 외기를 20 mL/min의 유량으로 30분 정도씩 저온응축 방식으로 채취하였다. 약 6리터의 외기를

채취한 조건에서 다수의 황성분들은 10 ppt 전후의 검출한계를 유지하는 것으로 확인되었다. 이와 같이 이상적인 검출한계가 유지된 DMS 등의 성분은 원활한 검출이 이루어졌다. 그러나 검출이 원활하게 이루어진 다른 성분들과 달리, 황화수소나 메틸 메틸캡턴과 같은 저분자량 성분들은 콜드트랩의 운용과 관련된 여러 가지 문제가 노출되었다. (이로 인해 연구기간 동안 검출한계가 2 ppb 또는 그 이상인 상태가 지속되었다.) 따라서 검출한계와 관련된 문제로 인해, 계측이 이루어진 전체 기간 동안 황화수소나 메틸캡턴의 정량적 분석은 제외시켰다. 이와 달리 본 연구진이 실험실 조건에서 최적의 분석조건을 유지하면서 연속계측을 시도한 선행연구(최여진 등, 2004)의 경우, 모든 황계열 성분들을 낮은 농도에서도 원활하게 분석하였다. 따라서 이러한 사실을 감안하면, 양 연구의 결과는 상당히 대조적이라고 할 수 있다. 후반기에 분석이 이루어진 VOC 성분들의 관측은, 스티렌의 경우를 제외하면 모두 이와 같은 검출한계에 의한 제한을 받지 않고, 관측 결과를 확보하는 것이 가능하였다. 6리터의 외기 시료를 채취 및 분석하는 것을 기준으로, 스티렌은 0.6 ppb수준의 검출한계를 보였다. 나머지 VOC 성분들은 0.2~0.4 ppb 수준에서 검출한계가 결정되었다.

Table 1. A statistical summary of VOC and S gas measurements made from a residential area of Ansan, Korea during October 2004.

A. Period I (12~18 October 2004)

	DMS	CS ₂	DMDS	Windspeed	Temperature
	All concentrations in ppb			(m s ⁻¹)	(°C)
Mean	56.9	15.2	12.1	2.23	13.2
SD	59.6	10.3	4.15	1.61	5.19
Median	36.4	12.6	11.9	1.80	13.3
Min	15.6	4.10	6.30	0.10	3.90
Max	390	50.1	21.5	7.10	24.5
N	68	30	23	139	147

B. Period II (18~26 October 2004)

	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m,p-Xylene	o-Xylene	Styrene	Windspeed	Temperature
	All concentrations in ppb						(m s ⁻¹)	(°C)
Mean	1.57	21.7	3.16	3.09	2.96	1.47	1.69	12.8
SD	0.76	16.6	1.92	1.98	1.65	0.92	1.41	5.28
Median	1.40	16.2	2.48	2.48	2.33	1.02	1.40	12.0
Min	0.48	2.19	0.51	0.56	0.54	0.63	0.10	2.50
Max	4.42	106	11.0	10.1	8.36	5.51	6.80	23.3
N	152	152	152	152	152	114	143	179

3. 결과 및 토론

3.1 전체적인 경향성

앞서 연구방법에서 언급한 바와 같이 본 연구는 동일한 GC 시스템에 탑재된 두 개의 검출시스템을 이용하여, 황성분과 방향족 VOC성분을 연구의 전반기와 후반기에 각각 분리하여 분석하였다. 따라서 관측결과에 대한 세부 경향성의 분석도 이러한 기준을 따라서 분리접근하였다. 전체 연구기간 동안 가장 기본적인 기상변수인 풍향, 풍속, 기온 등이 동시에 관측되었다. 표 1 및 그림 2에 제시된 결과에 의하면, 연구 기간 중에 약 13°C 수준의 평이한 기온철 일평균기온을 기록하며 하루의 일교차가 15도 전후 수준

으로 유지된 것을 알 수 있다. 기온에 비해 약하지만, 풍속의 경우에도 주고야저 경향이 비교적 뚜렷하게 확인되었다.

전반기와 후반기의 연구기간 동안 관측이 이루어진 모든 대상 성분들의 농도분포특성을 표 1에 개별적으로 제시하였다. 먼저 황성분들의 경우, 앞의 연구방법에서 설명한 것과 같이 황화수소와 메틸메캅턴은 기기운용 조건과 관련된 문제로 검출한계의 제한을 받게 되어, 세부적인 분석에 활용할 자료를 전혀 확보할 수 없었다. 그러나 DMS, CS₂, DMDS 등의 성분은 적정 수준 이상인 수십 ppb 정도의 농도를 띠는 것으로 나타났다. 그러나 아직까지 이들 성분들에 대한 분석결과가 주로 해양환경과 같이 자연적 배출원을 중심으로 축적되어 있기 때문에, 비교분석을 시

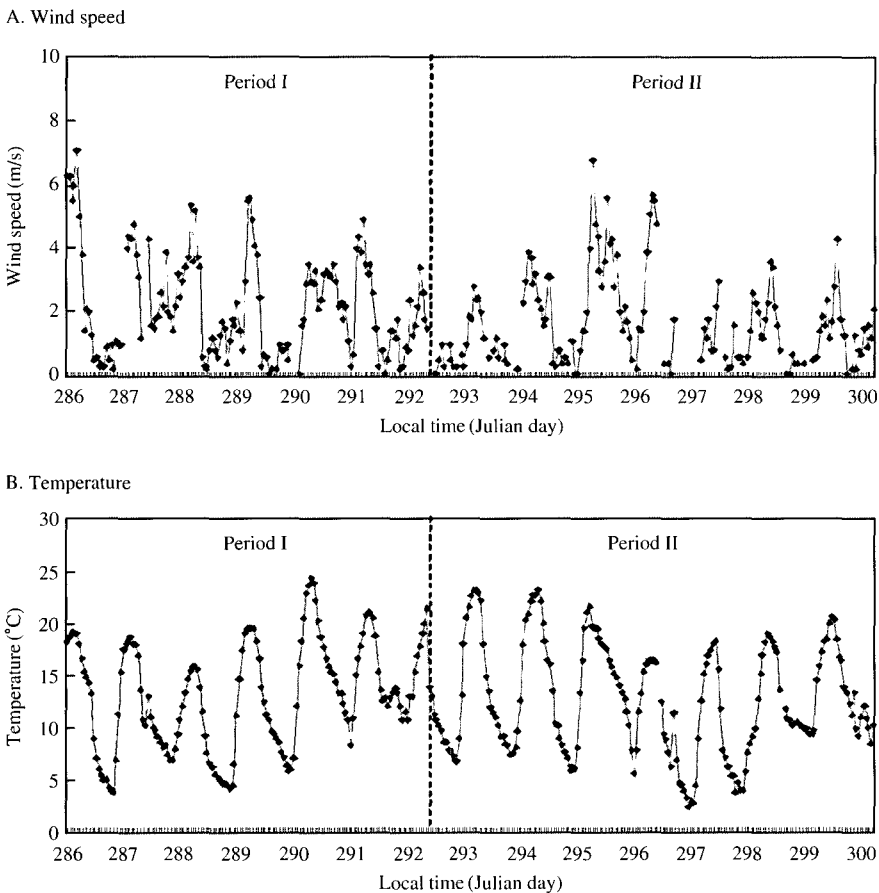
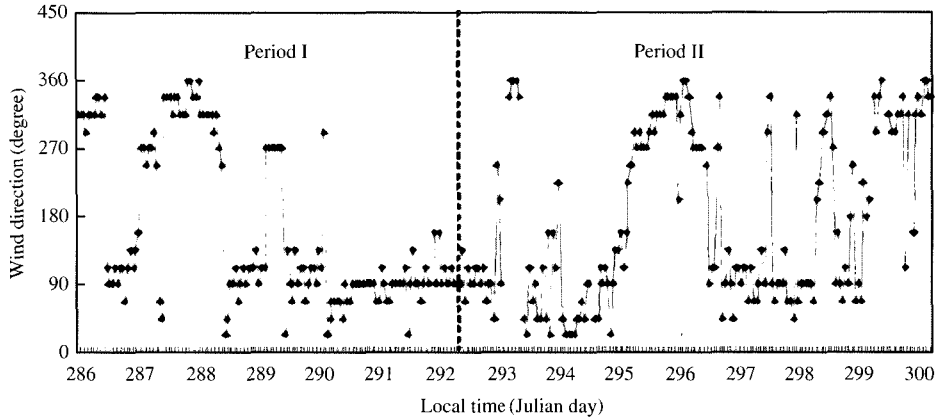
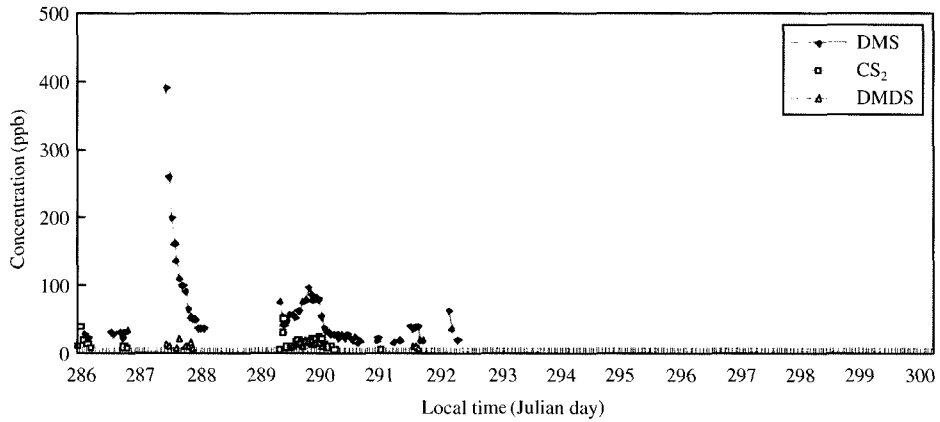


Fig. 2. Plots of basic meteorological parameters measured during study period as a function of time (Julian day: JD). JDs of 286 and 292 (the initiation period of I and II, respectively) correspond to 12 and 18 October 2004.

A. Wind direction



B. Odorous S compounds



C. Toluene

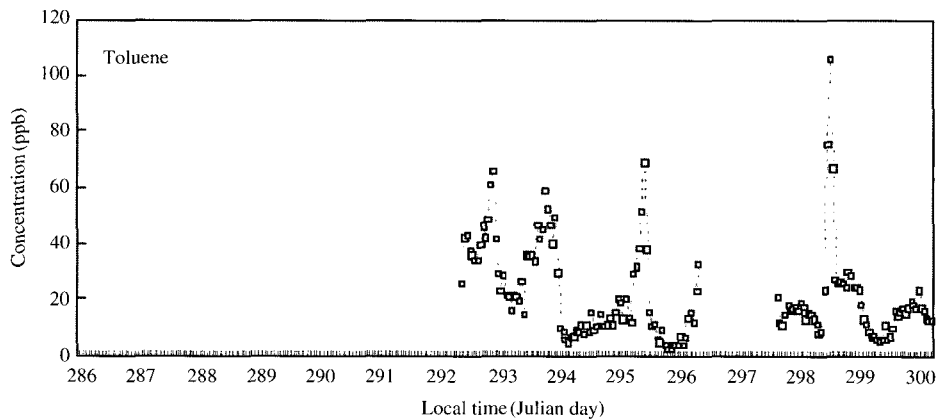


Fig. 3. Temporal distribution patterns of wind direction and odorous pollutants measured during the whole study period.

D. VOC other than toluene

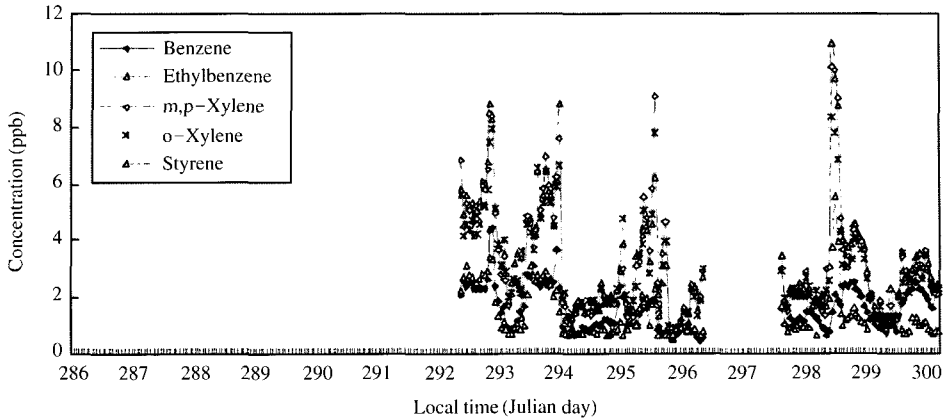


Fig. 3. Continued.

도할 참고자료가 대단히 부족한 형편이다. 전체 연구 기간 동안 위 세 가지 성분들은 각각 56.9 ± 59.6 , 15.2 ± 10.3 , 12.1 ± 4.15 ppb 수준의 평균값을 기록하였다. 일반적으로 열린 바다와 같이 자연환경권역에서 발견되는 DMS의 농도가 0.1 ppb 수준 전후인 것을 감안하면 (Ayers *et al.*, 1995; Andreae, 1990; Andreae *et al.*, 1990), 이러한 농도는 상당히 높은 수준인 것을 알 수 있다. 이들 결과를 사람이 체감할 수 있는 감지 수준과 연계할 경우, 본 연구에서 관측된 농도는 대체로 2, 3도 수준에 해당하는 것으로 나타났다.

반면 비교적 원활하게 검출이 이루어진 방향족 계열의 VOC 성분들을 보면, 톨루엔과 같이 유난히 고농도를 보이는 특정한 성분을 제외하면 대체로 균질한 범위에서 관측된다는 것을 알 수 있다. 톨루엔의 경우, 21.7 ± 16.6 ppb의 평균농도를 기록하였다. 그러나 이를 제외한 대부분의 성분들은 1~3 ppb 대로 상대적으로 작은 평균값들이 일관성있게 확인되었다. 그런데 이들 성분들의 경우, 기존에 많은 연구자들에 의해 시도된 선행연구결과들이 산재한다. 이와 같은 잇점이 있기 때문에 이들의 농도 수준에 대한 비교분석은 상대적으로 용이한 편이다. 일상적으로 도심환경에서 발견되는 톨루엔과 같은 성분의 농도가 10 ppb 전후 수준인 것을 감안하면 (최여진 등, 2003), 본 연구기간 중 관측된 결과들은 그 보다 약 2~3배 정도 높은 수준이라는 것을 알 수 있다.

3.2 주요 냄새성분들의 일별 분포 특성

그림 3에는 전체 연구기간에 관측된 주요 냄새 성분들의 농도관측 결과 및 풍향자료를 시간의 함수로 제시하였다. 표 1에 제시된 전체 분석자료의 요약결과에서 나타난 것과 같이 황성분의 경우 DMS가 그리고 VOC 계열의 경우, 톨루엔이 동시에 관측된 여타 성분들에 비해 현저하게 높은 농도를 유지한 것을 알 수 있다. 전반기에 관측된 황성분의 경우, 10/13일 (줄리언 데이: JD = 287일) 22시에 DMS는 390 ppb로 최고농도를 기록하였다. 반면 최저농도는 10/16일 (JD = 290) 23시에 15.6 ppb로서 최대/최저 농도간에 약 25배 정도의 차이를 보였다. 그림 3의 결과에 의하면, 비록 절대값에는 큰 차이를 보이지만, 여타 황계열 성분들도 DMS의 경향과 상당히 유사한 농도변화 추이를 보이는 것을 알 수 있다.

VOC 계열의 시간적 변화추이도 앞서 황계열 성분들과 같이 가장 고농도를 기록한 톨루엔을 중심으로 기술하면 다음과 같다. 그림 3의 결과를 보면, 전체 연구기간 동안 거의 하루에 한 번씩 고농도 정점을 경험하고 다시 농도가 떨어지는 순환형 분포가 지속적으로 발견된다. 10/19일 8시에 65.5 ppb, 10/20일 오전 4시에 59.1 ppb, 10/21일 16시에 68.6 ppb, 10/22일 15시에 32.8 ppb, 10/24일 17시에 106 ppb, 10/26일 3시에 23 ppb와 같은 일정점의 기록들을 확인할 수 있다. 비록 발생시간의 규칙성이 약하기는 하지만, 오전 또는 오후에 고농도가 번갈아 가며 나타나

는 현상(특히 10/24일의 최고농도가 기록된 부분 등)은 교통량의 증감과 같이 배출원의 직접적인 영향을 일정 수준 이상 반영하는 것으로 추정할 수 있다.

이루어졌지만, 모든 관측이 1시간 주기로 24시간동안 연속적으로 측정되었다는 점에서 단주기적 분포 특성을 진단하는 것이 가능하다. 이와 같은 분석결과는 이들의 배출원에 대한 특성을 추정하는데 어느 정도 기여할 수 있을 것으로 사료된다. 표 2에는 관측이 이루어진 모든 성분의 농도분포를 단순히 낮과

3.3 주요 냄새성분들의 24시간 주기별 분포 특성
 비록 본 연구가 약 2주 정도의 제한적인 기간동안

Table 2. A comparison of diurnal variabilities for VOC and S gas measurement data obtained during each of the two study periods in October 2004.

A. Period I (12 ~ 18 October 2004)

	DMS	CS ₂	DMDS	Windspeed	Temperature
	All concentrations in ppb			(m s ⁻¹)	(°C)
[1] Daytime					
Mean	39.4	13.6	11.7	2.97	15.4
SD	19.8	9.23	3.51	1.69	5.38
Median	32.9	10.2	12.8	3.00	17.0
Min	15.9	4.10	6.30	0.10	3.90
Max	82.3	37.8	15.2	7.10	24.5
N	31	18	7	71	75
[2] Nighttime					
Mean	71.5	17.6	12.3	1.46	10.9
SD	76.2	11.6	4.50	1.09	3.89
Median	47.8	14.8	11.5	1.25	11.3
Min	15.6	8.60	6.90	0.10	4.40
Max	390	50.1	21.5	4.30	20.3
N	37	12	16	68	72
Z	-2.47	-1.00	-0.31	6.28	5.74
P	1.36E-02	3.18E-01	7.55E-01	3.33E-10	9.42E-09

B. Period II (18 ~ 26 October 2004)

	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m,p-Xylene	o-Xylene	Styrene	Windspeed	Temperature
	All concentrations in ppb						(m s ⁻¹)	(°C)
[1] Daytime								
Mean	1.37	20.2	2.83	2.71	2.69	1.43	2.15	15.2
SD	0.80	18.5	2.16	2.12	1.79	1.07	1.45	5.53
Median	1.11	13.2	2.02	1.99	2.04	0.92	1.90	16.6
Min	0.48	3.48	0.80	0.78	0.86	0.63	0.10	2.80
Max	4.42	106	11.0	10.1	8.36	5.51	6.80	23.3
N	73	73	73	73	73	40	75	86
[2] Nighttime								
Mean	1.75	23.1	3.45	3.45	3.21	1.49	1.17	10.6
SD	0.67	14.6	1.63	1.79	1.49	0.84	1.17	3.91
Median	1.88	18.2	3.37	3.16	2.98	1.12	0.75	10.4
Min	0.60	2.19	0.51	0.56	0.54	0.64	0.10	2.50
Max	3.11	68.6	8.77	9.07	7.77	3.92	5.60	20.0
N	79	79	79	79	79	74	68	93
Z	-3.14	-1.07	-1.98	-2.30	-1.97	-0.29	4.46	6.42
P	1.71E-03	2.84E-01	4.74E-02	2.16E-02	4.92E-02	7.74E-01	8.38E-06	1.41E-10

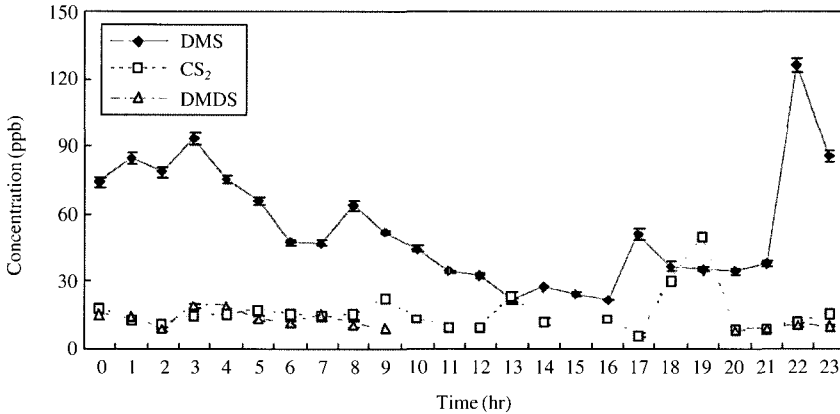


Fig. 4. Diurnal variation patterns of major S gas compounds.

밤 시간을 기준으로 구분하였다. 그림 4에는 황화합물들의 일주기 경향성을 비교하였다. 여타 성분들과 달리, DMS의 경우 24시간을 주기로 한 분포특성의 변화가 대단히 뚜렷하다. 특히 낮시간 중에는 39 ppb 수준의 농도를 보인 반면, 밤시간대에는 71 ppb로 대략 80% 수준으로 증가한 것으로 나타났다. 실제 이와 같은 주야간의 농도차이는 표 2에 제시한 바와 같이 통계적으로도 유의한 수준인 것으로 확인된다. 이러한 결과에서 확인되는 것과 같이 DMS류의 악취 인자가 야간대에 고농도를 보이는 현상을 설명하기 위해서는 야간대의 역전층 형성과 같은 기상 조건 또는 야간대에 악취성분의 배출이 활성화되었을 가능성을 고려할 필요가 있을 것이다.

황성분 중에서 주야간대의 농도차이가 성분별로 다양하게 나타난 것과 마찬가지로, VOC 계열의 성분들도 대체로 주야간대에 큰 농도차이를 보이는 것으로 나타난다. 그림 5에 제시된 결과들에 의하면, 앞서 DMS의 경향과 유사하게 VOC 성분들도 주저야고의 형태를 보인다. 특히 이와 같은 경향은 모든 성분에서 예외없이 오전 8시의 출근 시간대와 오후 5시의 퇴근 시간대에 가장 두드러지게 나타난다. 이와 같은 특성을 감안할 때, 교통의 영향이 VOC의 농도분포에 직접적으로 나타나는 것으로 추정할 수 있다. 표 2의 통계적인 평가결과에 의하면, 대부분의 성분들이 95% 이상의 유의성을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 이런 결과를 보다 세부적으로 보면, 주야간의 농도 차이에는 성분별로 어느 정도 차이가 나타난다.

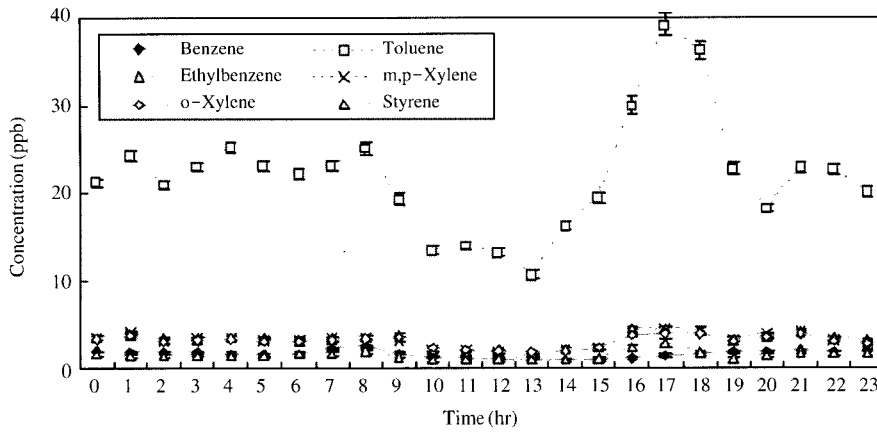
특히 톨루엔이나 스티렌의 결과는 야간대에 고농도를 보이면서도 불구하고, 다른 성분과 달리 통계적인 유의성이 상대적으로 약한 것으로 확인된다.

3.4 주요 냄새성분들의 분포특성을 조절하는 요인들

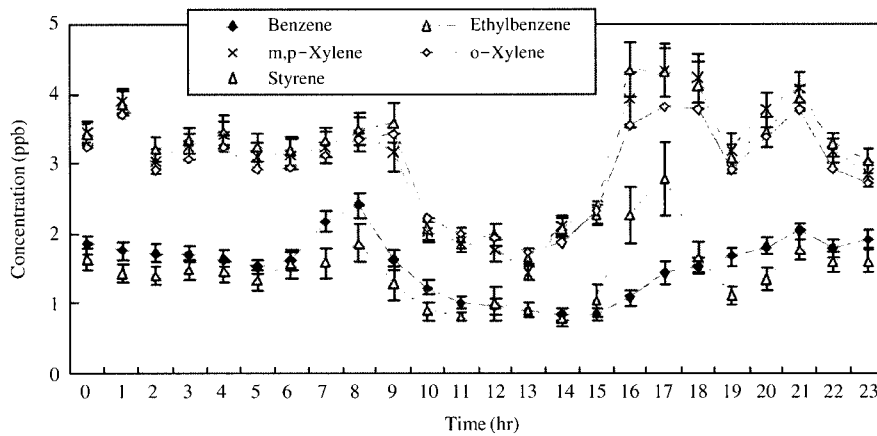
연구대상지역에 관측한 결과를 토대로 악취를 유발하는 성분들의 거동에 대한 평가를 시도하는 것도 중요한 의미를 지닌다. 표 3에는 전, 후반기의 관측결과를 이용하여, 주요 인자들의 상관성을 비교분석하였다. 이러한 통계분석결과를 보면, 양쪽 성분들 간에는 상당한 차이가 존재하는 것을 확인할 수 있다. 황계열 성분들의 경우, 상호간의 유의성이 강한 짝을 발견하기가 쉽지 않다. 이에 반해, VOC 성분들은 상호 간에 훨씬 높은 상관성을 보이며, 기상인자들과도 비교적 강한 음의 상관성을 유지하는 것으로 나타난다. 결과적으로 VOC 성분들의 경우, 유사한 성격의 배출원들에 영향을 받을 가능성이 크다고 할 수 있다. 이에 반해, 황계열 성분들은 각 배출원들 간의 관계에서 상대적으로 이질성이 더 클 것으로 추정된다.

본 연구에서 관측한 오염물질들의 농도 크기를 악취도와 연계하여 비교하는 것도 여러 가지 의미를 지닌다. 비록 악취황 계열의 관측이 일부 성분들에 국한되었지만, 표 1에 제시된 DMS의 평균농도는 악취도 3도(평가기준: 44.5 ppb), DMDS는 2도(평가기준: 4.6 ppb)를 초과하는 수준에 해당한다. 반면 모든 VOC 성분들은 악취도의 관점에서 1도에 미치지 못

A. All VOC



B. Other than toluene



C. Normalization using the mean concentration of each respective compound

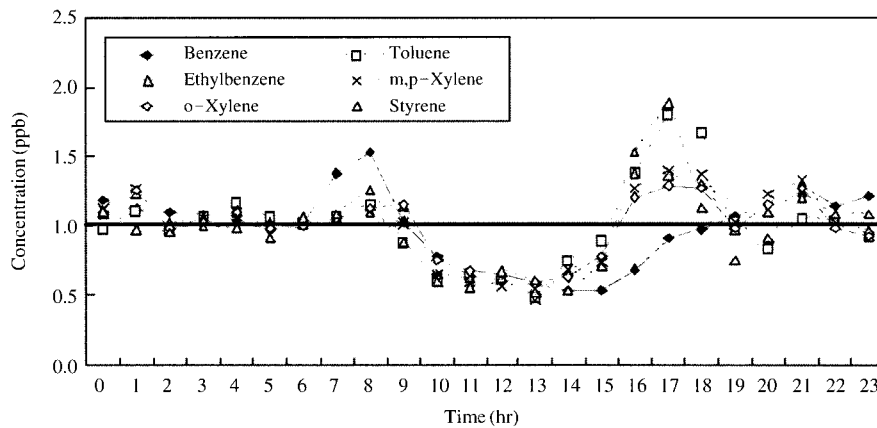


Fig. 5. Diurnal variation patterns of major aromatic VOC.

Table 3. Results of correlation analysis between odorous components and relevant environmental parameters.

A. S gas

		DMS	CS ₂	DMDS	WS	TEMP
DMS	r	1.000	0.221	0.052	-0.111	-0.301 ^I
	p	.	2.89E-01	8.14E-01	3.88E-01	1.26E-02
	N	68	25	23	63	68
CS ₂	r		1.000	0.002	0.062	-0.075
	p		.	9.96E-01	7.63E-01	6.94E-01
	N		30	12	26	30
DMDS	r			1.000	-0.088	-0.511 ^I
	p			.	7.21E-01	1.27E-02
	N			23	19	23
WS	r				1.000	0.621 ^{II}
	p				.	7.07E-17
	N				139	139
TEMP	r					1.000
	p					.
	N					147

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

B. VOC

		Benzene	Toluene	Ethylbenzene	m,p-Xylene	o-Xylene	Styrene	WS	TEMP
Benzene	r	1.000	0.662 ^{II}	0.744 ^{II}	0.705 ^{II}	0.739 ^{II}	0.630 ^{II}	-0.472 ^{II}	-0.424 ^{II}
	p	.	1.52E-19	1.52E-19	1.52E-19	1.52E-19	1.97E-14	1.58E-08	5.60E-08
	n	152	152	152	152	152	114	129	151
Toluene	r		1.000	0.887 ^{II}	0.863 ^{II}	0.858 ^{II}	0.882 ^{II}	-0.136	-0.148
	p		.	1.52E-19	1.52E-19	1.52E-19	5.87E-19	1.23E-01	7.07E-02
	n		152	152	152	152	114	129	151
Ethylbenzene	r			1.000	0.975 ^{II}	0.969 ^{II}	0.878 ^{II}	-0.198 ^I	-0.202 ^I
	p			.	1.52E-19	1.52E-19	5.87E-19	2.47E-02	1.30E-02
	n			152	152	152	114	129	151
m,p-Xylene	r				1.000	0.984 ^{II}	0.868 ^{II}	-0.114	-0.182 ^I
	p				.	1.52E-19	5.87E-19	1.97E-01	2.52E-02
	n				152	152	114	129	151
o-Xylene	r					1.000	0.844 ^{II}	-0.138	-0.179 ^I
	p					.	5.87E-19	1.18E-01	2.75E-02
	n					152	114	129	151
Styrene	r						1.000	-0.165	-0.131
	p						.	1.12E-01	1.67E-01
	n						114	94	113
WS	r							1.000	0.616 ^{II}
	p							.	5.07E-17
	n							143	143
TEMP	r								1.000
	p								.
	n								179

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

하는 수준이다(스티렌을 기준으로 1도는 33 ppb 이상의 농도). 이와 같이 악취도를 기준으로 볼 경우, 공업단지의 배출원 영향이 강하게 나타나는 연구대상 지역에서 황성분들이 악취발생에 미치는 영향이 더 크게 나타날 것이라는 것을 추정할 수 있다.

4. 결 론

본 연구진은 안산시의 주택가를 중심으로 VOC와 악취황 계열의 성분들에 대한 시간대별 연속계측을 2004년 10월 기간 중 약 2주에 걸쳐 시도하였다. 본 연구결과를 바탕으로 모든 분석 대상 성분들의 시간적 거동 특성을 장단기적 기준으로 비교해 보았다. 특히 단기적 분포특성의 비교에서 한 가지 유의할 사실이 확인되었다. 특히 일중 교통량의 증감이 대부분의 VOC 성분에 대한 일중 농도변화를 유도하는 것으로 나타났다. 그렇지만, 그와 같은 가시적인 배출원의 영향보다 연구대상지역의 기본적인 VOC 오염도가 훨씬 심각한 수준이라는 데 유의할 필요가 있다. 톨루엔의 농도 수준을 중심으로 보면, 정오 부근에 10 ppb 수준으로 일중 가장 저농도를 보이지만, 저녁 5시경에는 그 4배 수준인 40 ppb로 가장 고농도를 보인다는 사실을 확인하였다. 일반적으로 교통량이 빈번한 서울시와 같은 대도시의 도심권역에서 톨루엔의 평균 농도가 10 ppb 전후의 수준으로 관측된다는 점을 감안하면, 연구지역의 대기질은 교통의 영향 외에도 주변 산업단지와 같은 여러 가지 배출원의 영향에 직간접적으로 노출되었음을 추정할 수 있다. 따라서 기본적으로 이들 성분의 지역적인 배경농도는 일정 수준 이상으로 존재하고, 그러한 배경 조건에서 교통량의 증감과 같은 단기적 배출원의 영향이 이들의 농도분포에 이차적인 영향력을 행사하는 것으로 추정할 수 있다.

참고로 이와 같은 비교를 배출특성이 다른 황성분으로 까지 연장할 경우, 또 다른 관점에서 분석된 결과들의 의미를 해석할 수 있다. 특히 서울의 도심지역을 대상으로 본 연구진이 시도한 선행연구의 결과에 의하면, DMS의 평균농도가 0.5 ppb 수준인 것으로 나타났다. 따라서, 50 ppb를 초과하는 본 연구 DMS 농도의 평균치는 약 100배 정도 높은 수준이라는 것을 알 수 있다. 결과적으로 황계열의 성분들

이 VOC 계열의 성분들에 비해, 연구대상 지역의 악취 유발에 더 중요한 기여를 하고 있다는 사실을 확인할 수 있다. 악취문제에 대해 보다 체계적인 연구 결과를 도출하기 위해서는 향후 연속계측 방식을 이용한 자료의 축적이 지속적으로 이루어져야 하고, 그러한 결과에 대한 객관적인 해석을 제시하기 위한 노력을 기울여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구 분석의 일부는 안산환경기술개발센터의 지원을 통해 이루어졌습니다. 현장 분석에 도움을 주신 ITC 21 관계자 및 많은 분들에게 다시 한 번 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김기현, 최여진, 홍윤정, 전의찬, 최청렬, 구윤서 (2005) 공단 및 주거지역을 중심으로 한 환경대기 중 주요 악취성분의 농도분포 특성에 대한 예비연구. 게재 예정. DICER.
- 김용문, 박비오, 고영삼, 심재경, 송병식, 양고수(2002) 전주 산업단지 및 주변지역 VOCs 및 악취물질 모니터링, 전북대학교 건설 공학연구원, 33, 159-170.
- 조석연, 황용우, 황상순(2003) 인천 서구지역 악취배출원 조사 및 저감방안 연구. 인천지역환경기술개발센터 보고서, 2003. 2. 인천대학교.
- 최여진, 오상인, 김기현(2003) 서울시 북동지점에서 휘발성 유기화합물의 겨울철 연속관측 연구. 한국대기환경학회지 19(5), 491-502.
- 최여진, 김기현, 오상인, 손장호(2004) 연속측정방법을 이용한 도심권 대기질 내 저농도 황화합물의 관측에 대한 연구. 한국대기환경학회지, 20(2), 195-204
- Andreae, M.O. (1990) Ocean-atmosphere interactions in the global biogeochemical cycle. *Mar. Chem.* 30, 1-29.
- Andreae, T.W., M.O. Andreae, H.G. Bingemer, and C. Leck (1990) Measurements of dimethyl sulfide and H₂S over the western North Atlantic and the tropical Atlantic. *J. Geophys. Res.* 98, 23389-23396.
- Ayers, G.P., S. T. Bentley, J.P. Ivey, and B.W. Forgan (1995) Dimethylsulfide in marine air at Cape Grim, 41°S, *Journal Geophysical Research*, 100, 21013-21021.

- Deuchar, C.N., J.J. Colls, and S.D. Young (1999) New Directions Hydrogen sulphide from vehicle exhaust: exposure dynamics, *Atmospheric Environment*, 33, 3077-3079.
- Ganor, E., H.A. Foner, H.G. Bingemer, R. Udisti, and I. Setter (2000) Biogenic sulphate generation in the Mediterranean Sea and its contribution to the sulphate anomaly in the aerosol over Israel and the Eastern Mediterranean, *Atmospheric Environment*, 34, 3453-3462.
- Kim, K.-H. (2005) Performance characterization of the GC/PFPD for H₂S, CH₃SH, DMS, and DMDS in air, *Atmos. Environ.*, in press.
- Kim, K.-H., YJ Choi, JH Sa, EC Jeon, and YS Koo (submitted) Reduced sulfur compounds as malodor components in the ambient air of landfill environment. *Chemosphere*.
- Na, K. and Kim, Y.P. (2001) Seasonal characteristics of ambient VOC in Seoul, Korea. *Atmos. Environ.* 35, 2603-2614.
- U. S Environmental Protection Agency (1993) Health assessment document for hydrogen sulfide, EPA/600/80-86/026F.
- World Health Organization (1981) Hydrogen sulfide, Geneva, Environmental Health Criteria, No. 19.
- Yujing, M., W. Hai, X. Zhang, and G. Jiang (2002) Impact of anthropogenic sources on carbonyl sulfide in Beijing city, *J. Geophys. Res.*, 107(D24), 4769.