

## 시화지구에서 발생하는 VOCs 농도분포 특성 연구 A Study on the Distributions of VOC Concentrations in Shiwha Area

김진용 · 이호송 · 유재근 · 길인섭<sup>1)</sup> · 김덕현<sup>1)</sup> · 이영우\*

충남대학교 화학공학과

<sup>1)</sup>한국산업기술대학교 생명화학공학과

(2005년 9월 5일 접수, 2005년 11월 30일 채택)

Jin-Yong Kim, Hyo-Song Lee, Jae-Keun Yu, In-Sub Kil<sup>1)</sup>,

Duk-Hyun Kim<sup>1)</sup> and Young-Woo Rhee\*

*Department of Chemical Engineering, Chungnam National University*

<sup>1)</sup>*Department of Chemical & Biotechnology Engineering Korea Polytechnic University*

(Received 5 September 2005, accepted 30 November 2005)

### Abstract

In this study, we investigated the characteristics of volatile organic compounds (VOCs) concentrations in Shiwha area, which were measured using the Open-path FTIR Gas Analyzer. The passive samplers were set for a certain period of time to obtain the average concentration of toluene, ethylbenzene, o-xylene and styrene. In addition, VOCs concentration contour maps were constructed using the Tecplot program to illustrate the VOCs concentration distribution. The residential area showed higher concentrations than the industrial area. And the summer had higher concentration value than the winter. Also, we confirmed that the VOCs concentrations ranged from 2 to several tens ppb in the vicinity of an industry than diffused VOC concentration, whereas those ranged from 0 to 5 ppb in most other areas. It was conferred that the wind change with seasons significantly affects the distribution of VOCs concentrations such as a northwesterly wind in the winter or a southwestern wind in the summer.

**Key words :** VOCs, Open-path FTIR, Passive sampler, Contour map, Shiwha area

### 1. 서 론

현대사회는 각종 산업발전과 더불어 경제적인 삶의 질이 급속하게 향상되어왔다. 그러나 경제적인 발

전에 발맞춘 생산 활동의 증대는 결과적으로 심각한 공해문제를 야기시켰다. 최근에는 국제적으로 환경에 대한 관심증가와 더불어 오염원들에 대한 규제들이 강화되고 있다. 여기서 가장 중요하고 직접적으로 영향을 미치는 대기오염은 각종 산업의 현대화, 각종 산업의 발달, 교통수단의 지속적인 증대, 도시의 인구 집중화로 기인하고 이로 인해 광화학 스모그, 산성

\*Corresponding author.

Tel : +82-(0)42-821-5688, E-mail : ywrhee@cnu.ac.kr

비, 미세한 부유먼지와 오존층의 파괴 등의 심각한 형태로 나타나고 있다(석광설 등, 2003; Ito *et al.*, 2001; 김조천과 김기현, 2000; James and Stack, 1997).

최근에 이루어진 많은 연구들의 결과에 의하면, 자동차의 급증과 각종 유기용매의 사용증가 등과 같은 요인으로 인해, 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, 이하 VOCs)은 대기질의 변화를 초래하는 주요 요인의 하나로 알려져 있다(김조천 등, 2000; 오상인 등, 2000; Schweigkofier and Niessner, 1999; Berry, 1996). 특히 VOCs는 증기압이 높아 대기중으로 쉽게 휘발되고, 대기중에서 질소산화물과 공존 시 태양광의 작용을 받아 광화학반응을 일으켜 오존 및 peroxyacetylnitrate(PAN) 등 광화학 산화성 물질을 생성시켜 광화학 스모그를 유발하는 물질을 총칭한다(백성욱과 김영민, 1996; Bloemen and Burn, 1993). 이는 지구 온난화, 성층권 오존층 파괴의 원인, 악취 및 발암성을 일으키는 유해물질이므로 세계 각국에서는 VOCs 감축을 대기질 관리를 위한 중요한 정책 목표로 삼고 있다(Na and Kim, 2001; Parrish and Fehsenfeld, 2000; 김기현과 백성욱, 1998; Wiederkehr, 1994). 현재 국내에서는 탄화수소류 중 휘발성을 지닌 석유화학 제품, 유기 용제 또는 기타물질로 정의되고 있다. 환경대기권에 존재하는 VOCs는 인체에 위대한 영향을 미치는 것으로 밝혀지면서, 환경보건학적인 관점에서도 주요한 연구 대상으로 부각되고 있다. 현재 합성, 세정, 도장 등과 관련된 석유화학공업 분야에서 각종의 다양한 유기 용매가 사용되고 있으며, 이에 따라 많은 양의 휘발성유기화합물이 발생하고 있다(박성남 등, 2004; 서봉국 등, 2003; 김영성, 1999; US EPA, 1999). 이들 유해성분들은 환경대기 중에서 수 ppt에서 수백 ppb 정도의 농도로 존재하기 때문에 미량 또는 극미량 성분으로 분류되는 것이 보편적이다. 그러나 배출시설물에서는 이보다 수 백 또는 수 천배까지 고농도 상태로 측정되기도 한다(김기현 등, 2003; Kim and Kim, 2002).

특히 에너지 설비 및 주요 화학단지가 밀집된 시화공단의 경우에는 산업단지와 완충녹지대를 사이에 두고 대규모 주거단지를 조성하여 이로 인한 오염원이 지역 주민에 그대로 노출되어 악취 민원이 빈번한 상황이다. 실례로 시흥환경기술개발센터에서 실시한 설문조사 결과를 보면 시화지역 주민의 57.4%가 1주일에 평균 하루 이상 악취에 시달리고 있으며 악

취발생원으로는 응답자 중 53.4%가 화학업체를 지목하고 있다(시흥환경관리개발센터, 2004).

이러한 문제해결을 위하여 본 연구에서는 지난 몇 년간 시흥시에서 Open-path FTIR Gas Analyzer를 이용하여 수집한 VOCs에 대한 자료를 바탕으로 VOCs 농도의 경시변화를 조사하였다. 그리고 passive sampler를 초기에 2004년 8월 4일~11일까지 시화지구의 15곳에서 시료를 포집하였으며, 2004년 10월 5일~12일까지는 시화지구의 100곳을 선정하여 VOCs의 농도를 측정하여 대표적으로 toluene, ethylbenzene, o-xylene 및 styrene에 대한 contour map을 작성하여 농도분포 특성을 파악하였다. 이를 통해 시화지구에서 배출되는 VOCs 농도분포를 정확히 알 수 있으며, 향후 시화지구의 대기환경 중에서의 효율적인 VOCs 관리를 위한 목적으로 사용될 수 있는 기초 자료를 제공하기 위함이다.

## 2. 조사 및 방법

### 2.1 조사대상지역의 특성

시흥시는 2000년대 서해안의 주핵도시를 지향하는 도시로서 130.4 km<sup>2</sup>의 면적을 보유하고 있다. 시흥시는 광활한 개발가능 지역과 752만평의 시화공단을 중심으로 수도권 제1의 공업도시로 부상하고 있다. 특히 서부 수도권 교통요충지로서 제2경인, 서해안, 서울의곽순환, 안산~시흥, 그리고 제3경인 등 고속도로 5개 노선이 이 지역을 통과하고 있어 인천 신공항과 시화공단~반월공단~평택항을 연결하는 공업벨트 상의 중심도시를 지향하고 있다. 시화국가산업단지는 수도권내 비도시형 업종 및 부적격공장에 대한 이전용지 제공과 신규 공업용지 수요의 대비, 서해안 공업벨트의 형성촉진 및 미래지향적 지원 체제를 갖춘 산업단지의 개발에 목적을 두고 조성되었다. 또한, 환경에 대한 악영향을 최소화시키고 인접한 반월공단과 조화를 이루며 공단과 주거지라는 상호 이질적인 기능을 동선체계 및 공원녹지 체계상 상호보완 될 수 있도록 개발하되, 공단내 화물교통 발생량의 억제를 위해 업종별 부지 원단위가 큰 업종(고무, 화학, 폐기물, 비금속)등은 간선 도로변에 배치하고 집산 도로변에는 중소규모 단위의 공장으로 배치하도록 계획되었다.

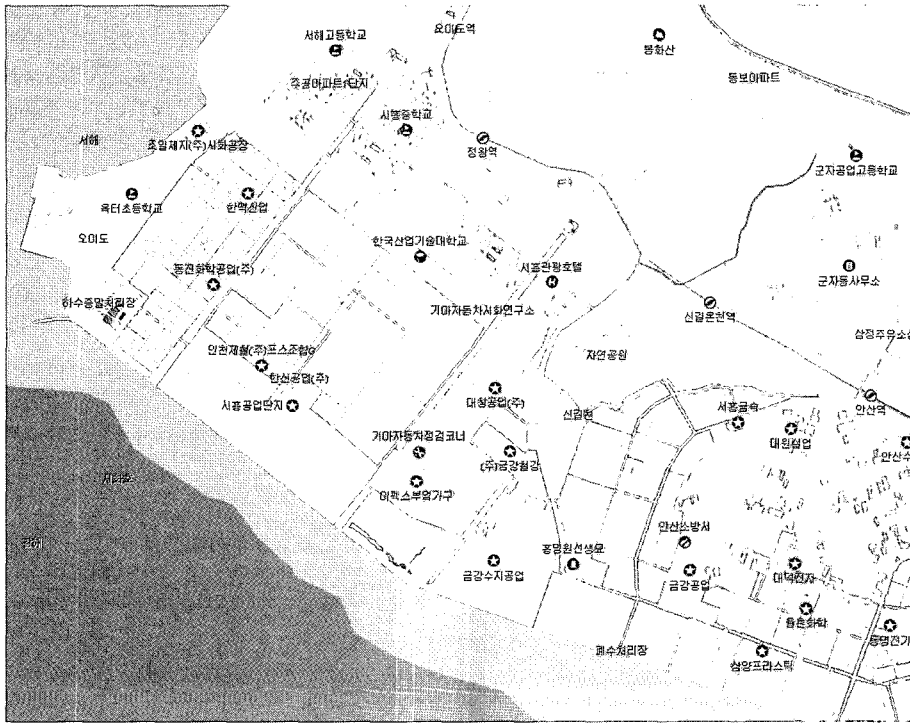


Fig. 1. Location of VOC sampling sites in the Shihwa industrial complex.

그러나 1989년 시화지구개발 기본계획 변경에 따른 공단 배후용지를 준공업용지에서 주거용지로 사업계획을 변경하면서 주풍향이 편서풍인 해안지역의 특수성을 감안하지 않고 완충녹지대를 폭 175m, 높이 6~10m, 길이 3.8km로 조성하여 주풍향이 공단 쪽에서 주거단지 방향으로 흐르면서 공단지역의 악취에 시화신도시 주민들이 그대로 노출되어 시화호 수질오염과 더불어 새로운 환경문제로 대두되고 있다(시화환경관리개발센터, 2004). 그림 1은 연구조사 대상 지역인 시화지역을 나타내었다.

2.2 VOCs 농도 자료 수집

본 연구에서는 시화지구에서 배출되는 VOCs를 채취하기 위하여 차단녹지 내에 설치된 Open-path FTIR Gas Analyzer를 이용하여 2003년 8월부터 2004년 6월까지 11개월동안 VOCs 농도를 측정하였다. Open-path FTIR Gas Analyzer (M3501-F)는 각각의 VOCs (acetaldehyde, acetic acid, acetylene, acrolein, acrylonitrile, ammonia, carbon tetrachloride,

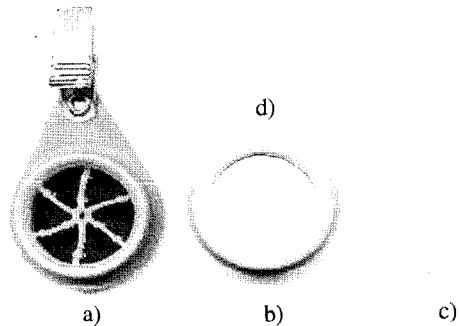


Fig. 2. Structure of the passive sampler (dia. 3 cm). a) passive sampler body, b) white film and plastic ring, c) snap elution cap with plugs, d) straw for sample shifting.

chloroform, ethylbenzene, ethylene, formaldehyde, methanol, methyl ethyl ketone, methylene chloride, nitrobenzene)를 분석하여 농도로 나타낼 수 있다.

또한, 그림 2에 나타낸 passive sampler (3M Passive

Diffusion Monitor, AQ 2621)를 이용하여 총 2회에 걸쳐 VOCs 측정을 하였다. 처음에는 15개소(금강아파트, 대우벽지, 동부정밀화학, 명진개발, 삼성포리머, 삼화페인트, 유천아파트, 영남 5차, 유신메라닌, 종근당, 진도, 한맥중공업, 흥아, 한국환경개발, 대일개발) 근방에 설치하여 2004년 8월 4일부터 2004년 8월 11일까지 시료를 포집하였다. 그리고 시화지구에서 100곳을 선정하여 2004년 10월 5일부터 2004년 10월 12일까지 설치 후 수거시 분실되거나 파손된 것을 제외한 94곳의 시료를 포집하였다. 각각의 위치는 가능한 시화지구의 모든 곳에 대한 VOCs 측정을 위해 간격을 일정하게 두어 설치하였으며, 그림 3에 선정 장소를 자세히 나타내었다.

사용된 3 M OVM Monitor는 투과 및 확산방식이며, wafer 흡착제 형태이고 350,700 mg의 흡착제의 양을 가지고 있으며 단층과 겹층으로 되어있다. VOCs 분석에 FISION GC 8340이 사용되었으며 운

전조건은 표 1과 같다. Supelco사의 EPA 8020/8240 Aromatic Volatiles Mix로 methanol을 용매로 하여 benzene, chlorobenzene, ethylbenzene, m-xylene, o-xylene, p-xylene, styrene, toluene, 1, 2-dichlorobenzene, 1, 3-dichlorobenzene, 1, 4-dichlorobenzene 성분이 각각 100 µg/mL의 농도로 녹아 있는 것과, methanol을 용매로 하여 benzene, ethylbenzene, m-xylene, o-xylene, p-xylene, toluene 각 성분이 200

Table 1. Operation condition of GC.

GC model	FISION GC8340
Detector	FID
Column	HP-1 (30 m × 0.53 mm × 1.5 µm)
Carrier gas	99.9999% N2 gas (3.0 mL/min)
	Injector: 120°C
	Detector: 260°C
	Split ratio: 1 : 10
Temperature program	40°C (1 min) → 4°C/min → 140°C (2 min) → 30°C/min → 240°C (1 min)

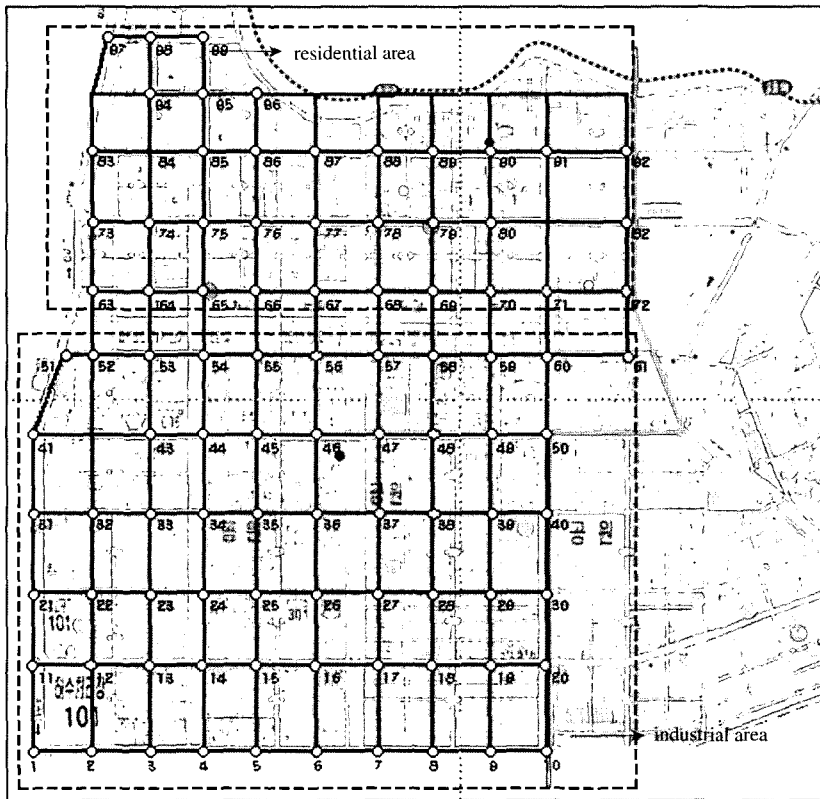
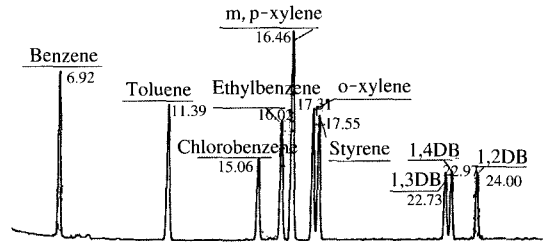


Fig. 3. 94 measuring spots for VOCs data acquisition.

**Table 2. Computation condition of VOCs concentration.**

Compound	Sampling rate		Capacity (mg)	Recovery coefficient	Calculation constant	
	(cc/min.)	Microgram ppm/hr.			A (mg/m <sup>3</sup> )	B (ppm)
Toluene	31.4±0.6	7.08	25	1.05	31.8	8.46
Ethylbenzene	27.3	7.10	>25	0.92	36.6	8.45
Xylene	27.3±0.5	7.09	>25	1.07	36.6	8.44
Styrene	26.8±0.8	6.83	>25	0.82	31.8	8.46

µg/mL의 농도로 녹아있는 제품을 사용하였다. 그리고 HPLC급 methanol을 용매로 단계적으로 희석, 조작하여 20, 10, 5, 1 µg/mL의 표준용액을 제조한 후, 각 표준용액을 10 µL 용 microsyringe를 이용하여 1 µL씩 직접주입하고, 각 물질별 retention time과 area를 사용하여 검량선을 작성하였다. 표 2에 VOCs 농도산정 조건을 정리하였고, 그림 4에 VOCs 표준용액 특성 피크를 나타내었다.



**Fig. 4. Standard solution chromatogram of VOCs.**

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 Open-path FTIR Gas Analyzer에 의한 농도분포 특성

본 연구에서는 시화지구의 차단녹지 내에 설치된 Open-path FTIR Gas Analyzer를 이용하여 2003년 8월부터 2004년 6월까지 VOCs 농도를 측정하였다. Open-path FTIR Gas Analyzer를 통해서 분석된 총 15개의 VOCs 농도를 각각 일일 산술평균치를 구하고, 그림 5와 같이 분석된 VOCs 종류별로 일평균 경시변화를 나타내었다.

Acetaldehyde의 경우 8~10월에는 1 ppb 이하이고 1월에는 3~4 ppb이며 12월 및 6월은 매우 낮은 농도치를 나타냄을 알 수 있으며, acetic acid의 경우 동절기에 1.5~2.5 ppb를 보이고 그 외는 1 ppb 이하를 나타내며 11월과 5월의 수치는 매우 낮은 농도치를 보였다. Acetylene의 경우 전체적으로 0.6 ppb 이하이며 특히 3~5월은 매우 낮고 1월에 하루 예외적으로 1 ppb를 나타냄을 알 수 있으며, acrolein의 경우 변화폭이 크며 5월은 매우 낮고 나머지는 0.5~1.5 ppb의 다양한 분포를 나타냈다. Acrylonitrile의 경우 8~9월의 변화가 크고 최고 4 ppb까지 올라가지만 그 외는 1.5 ppb 이하이고 11월 및 1월은 특히 낮은 농도치를 보이고 있으며, ammonia의 경우 8~9월의

변화가 크고 최고 2 ppb까지 올라가며 10월과 1월을 제외하고는 0.5 ppb 이하의 값을 나타냈다. Carbon tetrachloride의 경우 6월의 0.3 ppb를 제외하고 모두 0.2 ppb 이하이고 1월에 하루 예외적으로 1 ppb를 나타내었으며, chloroform의 경우 10월 및 12월의 0.4~0.6 ppb 범위를 제외하고는 0.2 ppb 이하이며 1월에 하루 예외적으로 1 ppb를 보였다. Ethylbenzene의 경우 9, 11, 1월은 4~6 ppb대이고, 6월의 2 ppb대를 제외하면 나머지는 1 ppb 이하의 농도치를 나타내었으며, ethylene이 경우 8~10월 및 1월은 0.4~0.8 ppb 정도이고 그 외는 0.1 ppb 이하이며 1월에 하루 예외적으로 1 ppb를 나타냈다. Formaldehyde의 경우 3~4월에 3~5 ppb 범위이고 11월 및 1월에 1.5 ppb 내외이며 그 외는 0.5 ppb 이하의 농도치를 보였으며, methanol의 경우 8월과 10월의 최고 0.6 ppb대를 제외하고는 모두 0.1 ppb 이하이며 1월에 하루 예외적으로 1 ppb를 나타냈다. 그리고 methyl ethyl ketone의 경우 6월은 예외적으로 12 ppb까지 변화하였으며 10월에 5 ppb까지, 8~9월에 2 ppb 내외이고 그 외는 1 ppb 이하의 농도치를 보였으며, methylene chloride의 경우 1월에 하루 예외적으로 1 ppb를 보였지만 전반적으로 0.1 ppb 이하의 낮은 값을 보였다. 또한 nitrobenzene의 경우 8월~1월에는 0.2~0.5 ppb, 그 외는 0.1 ppb 이하이지만 1월중 하루 예외적으로 1 ppb를

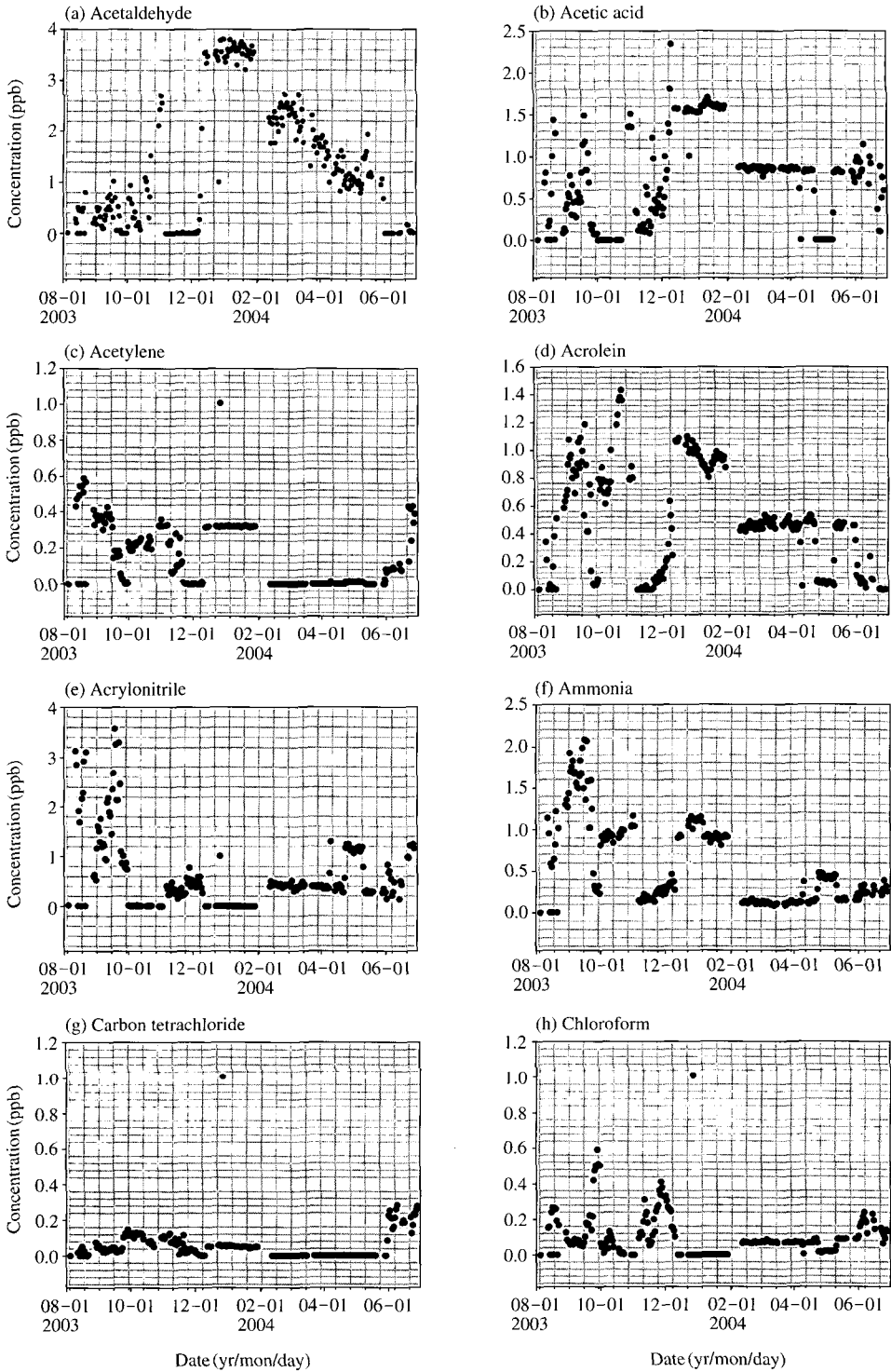


Fig. 5. Variation of daily average VOCs concentration.

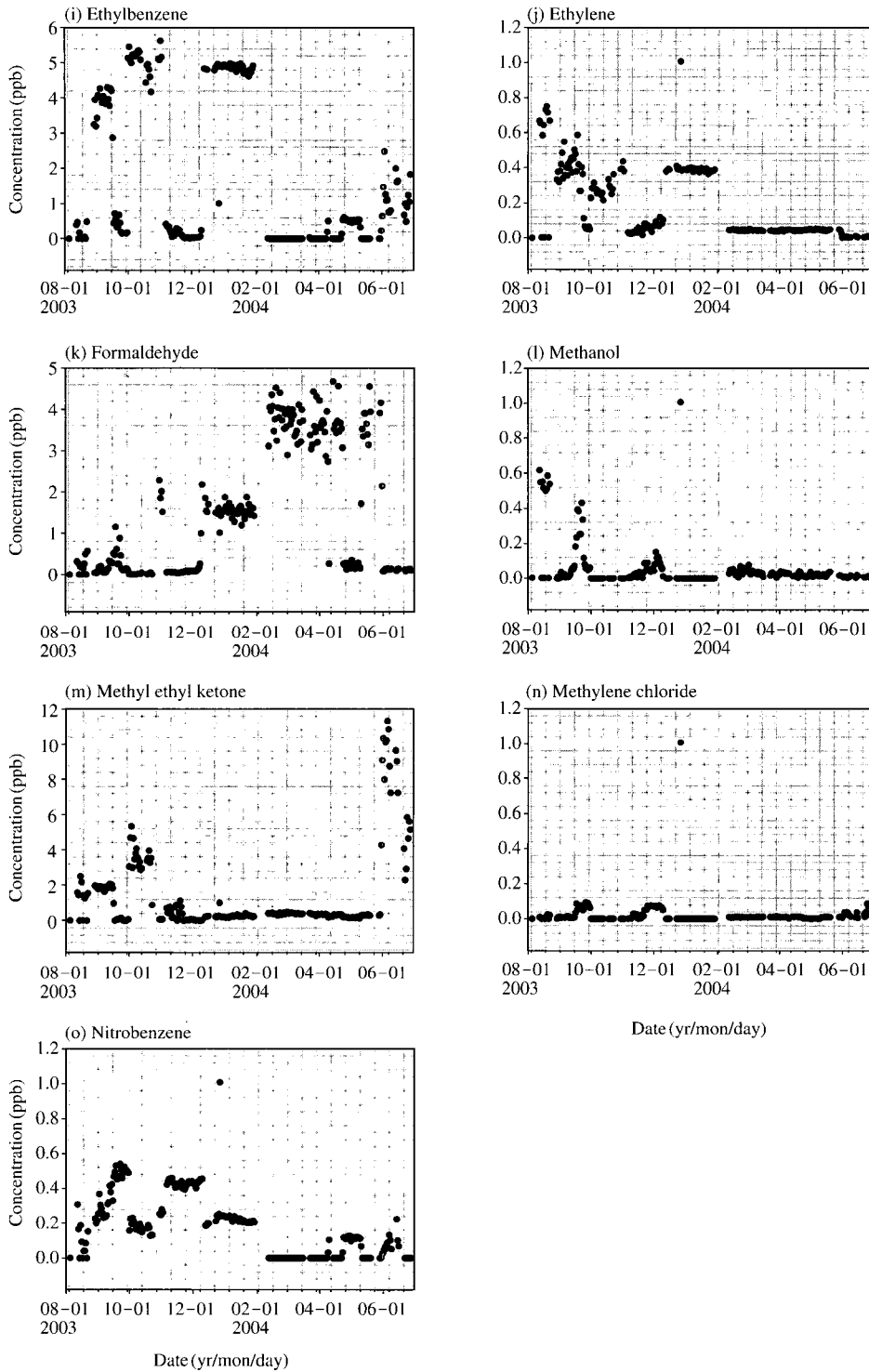


Fig. 5. Continued.

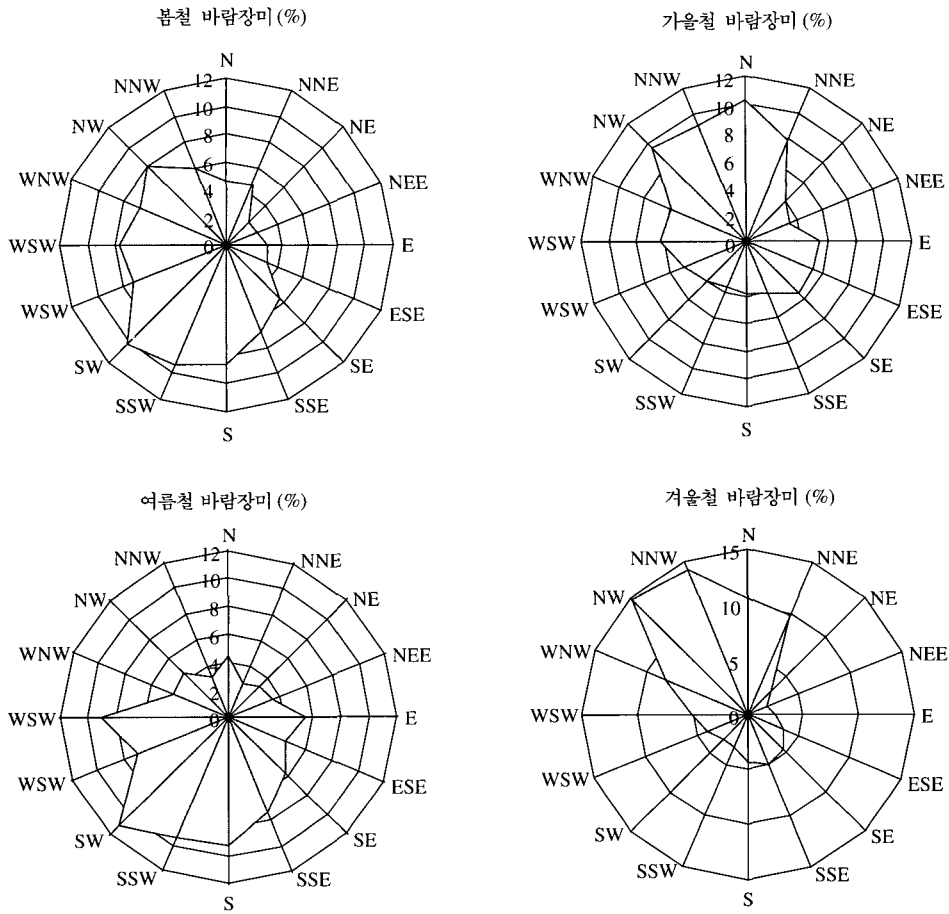


Fig. 6. Wind roses during ten years in Shiwha area.

나타내었다.

이와 같이 시화지구의 차단녹지 내에 설치된 Open-path FTIR Gas Analyzer를 이용하여 VOCs를 측정 한 결과, 대체적으로 acetic acid, ethylbenzene, formaldehyde, methyl ethyl ketone의 경우를 제외하고는 대부분의 VOCs의 농도치는 1 ppb 이하를 보였으며, 특히 methyl ethyl ketone의 경우 6월달 부근에서 12 ppb 농도로 최고값을 나타내었다. 그리고 대부분의 VOCs의 경우 동절기보다는 하절기에 높은 농도치를 보였으며, 이는 계절별 풍향 분포와 지리적 특징으로 설명될 수 있다. 그림 6의 최근 10년간 계절별 풍향 분포에 나타난 바와 같이, 우리나라의 여름철 주풍향은 남서풍이고, 겨울철 주풍향은 북서풍이다. 따라서 그림 1에 나타난 지리적으로 공단지역의 북

동 방향에 위치한 주거지역은 계절별 풍향 분포에 따라 VOCs의 농도치가 차이를 나타내었다. 이는 VOCs가 배출원으로부터 확산 될 때 바람의 영향을 받았기 때문이다. 또한, 하절기에는 온도 상승에 따라 휘발물질의 배출량이 보다 더 증가하였을 것으로 사료된다.

### 3.2 Passive sampler에 의한 농도분포 특성

배출시설물로부터 확산 현상에 의해 측정된 VOCs 농도값은 대기 중에서 적은 양의 농도로 존재하기 때문에 미량 또는 극미량 성분으로 분류되는 것이 일반적이지만, 배출시설물에서는 이보다 수 백 또는 수 천배까지 고농도 상태로 측정될 수 있다. 이에 본 연구에서는 passive sampler를 배출시설물과 근접한



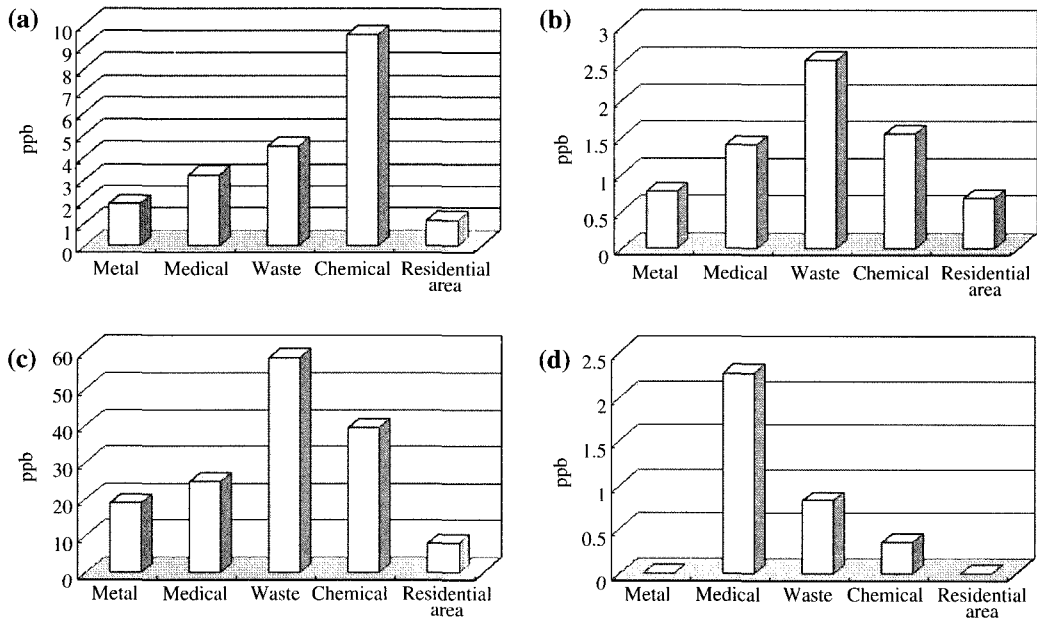
**Table 3. Concentration data for passive sampler (unit: ppb).**

Sampling sites	Toluene	Ethyl benzene	o-Xylene	Styrene
Geungang APT	9.43	1.30	N.D	0.75
Deawoo wallcoverings	82.97	3.19	0.28	1.57
Dongbu fine chemical	20.26	3.27	N.D	1.33
Myungjin development	9.27	1.34	N.D	0.88
Samsung polymer	29.31	4.76	1.18	2.49
Samhwa paints	72.28	38.53	N.D	1.02
Yoochun APT	8.59	1.19	N.D	0.78
Yeungnam APT	5.91	1.02	N.D	0.50
Yooshin	17.43	3.31	0.68	1.89
Chong Kun Dang	24.80	3.22	2.27	1.40
Jindo	5.95	0.88	N.D	0.58
Hanmak heavy industry	18.87	1.89	N.D	0.77
Heunga	13.98	4.35	N.D	0.98
Hankook environmental development	33.73	5.14	N.D	2.47
Daeil development sunglim chemical	121.88	7.62	2.07	4.40

Note) N.D: Not Detected ( $\leq 0.01$  ppb)

곳에 설치하여 VOCs 농도를 측정하였다. 처음에는 15개소 근방에 설치하여 시료를 포집하여 분석하였고, 시화지구에서 일정한 기간동안 발생하는 VOCs의 농도분포를 파악하기 위하여 전체 지역을 100곳으로 나누어 포집기를 설치, 결과적으로 94곳의 시료를 포집하여 분포 특성을 contour map을 통하여 분석하였다. 표 3에서는 passive sampler에 의해 2004년 8월 4일부터 2004년 8월 11일까지 포집된 시료를 통해 분석된 VOCs의 농도값을 나타내었고, 그림 7에는 15개소를 업종별로 분류하여 평균농도를 산출해 막대그래프로 나타내었다.

표 3에 나타난 바와 같이, toluene의 경우 대체적으로 높은 농도치를 나타내었고, 특정 업체에서 최고 120 ppb 이상의 농도치를 보였으며, ethylbenzene의 경우 전반적으로 2~5 ppb를 나타내었으며 최고 농도치는 38 ppb를 보였다. o-Xylene의 경우 대부분 검출되어지지 않았으며 일부 업체에서 보여지는 농도치는 1~2 ppb이고, styrene의 경우 조사 대상 업체에서 모두 검출되었으며 대체적으로 상대적으로 낮은 농도치 1~4 ppb이다. 결과적으로 passive sampler에서 분석된 농도값은 Open-path FTIR Gas Analyzer



**Fig. 7. raphs of 4 VOCs concentration with industrial classification. (a) Ethylbenzene, (b) Styrene, (c) Toluene, (d) o-Xylene.**

에 의해 산출된 농도값이 대부분이 1 ppb 이하이고 최고 4~5 ppb를 보이고는 결과에 비해 높은 농도치를 보인다. 이는 배출시설물로부터 VOCs가 확산 되

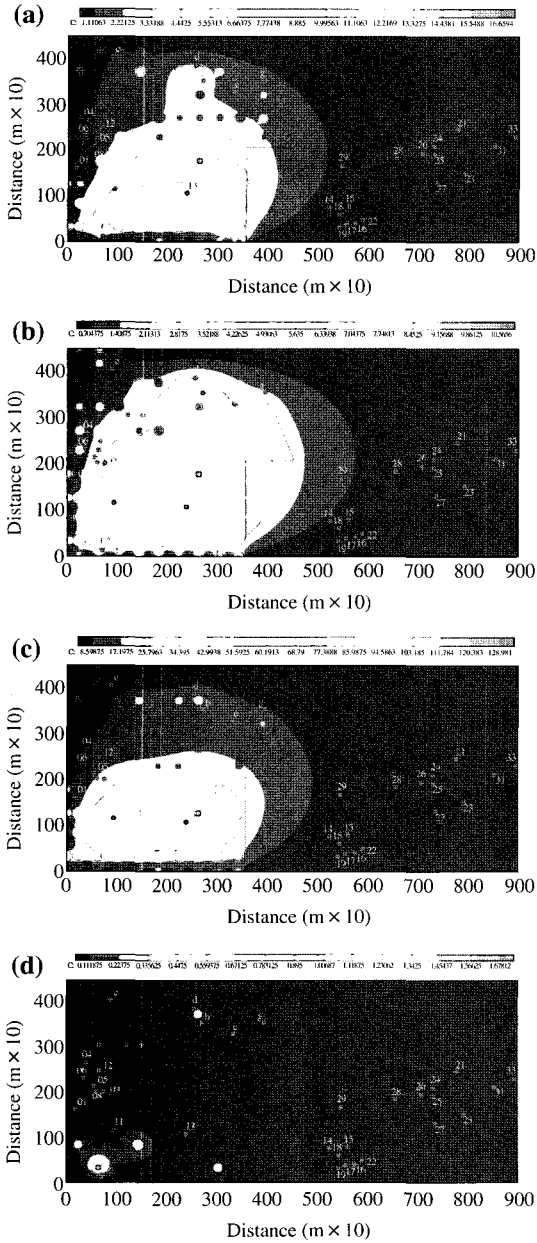


Fig. 8. Contour maps for 4 VOCs concentration at 94 measuring spots. (a) Ethylbenzene, (b) Styrene, (c) Toluene, (d) o-Xylene.

어지면서 점차적으로 농도 수준이 낮아지는 결과로 판단된다. 표 3의 업체별 농도값을 업종별로 분류하기 위해 금속, 의약품제조, 폐기물처리, 화학제품제조, 주거지역으로 나누었으며, ethylbenzene의 경우 화학제품제조업종에서 가장 높은 평균 농도값 9 ppb를 보였으며, 폐기물처리업종에서는 평균 농도값 4 ppb를 보였다. Styrene의 경우 폐기물처리업종에서 가장 높은 평균 농도값 2.5 ppb를 보였고, 화학제품제조와 의약품제조업종에서는 1~1.5 ppb를 나타내었으며, toluene의 경우 폐기물처리업종에서 가장 높은 농도값 55 ppb를 보였고 화학제품제조업종에서는 35 ppb를 나타냈다. 그리고 o-Xylene의 경우 의약품제조업종에서 가장 높은 평균 농도값 2.3 ppb를 보였고 폐기물처리업종에서는 0.7 ppb를 나타내었다. 시화지구의 전반에 걸친 VOCs의 농도분포 및 특성을 알아보기 위하여 Passive sampler를 이용하여 2004년 10월 5일부터 2004년 10월 12일까지 측정된 ethylbenzene, styrene, toluene, o-Xylene의 contour map을 그림 8에 나타내었다. Ethylbenzene의 경우 화학제품제조업을 중심으로 높은 농도 분포를 보이고 있으며 지역적으로 넓게 분포되어 있음을 알 수 있고, styrene의 경우 가장 높은 농도 분포를 나타내고 있는 폐기물처리업체와 더불어 높은 농도 분포를 보이고 있는 화학제품제조업체와 의약품제조업체를 중심으로 ethylbenzene보다 넓게 분포하고 있다. Toluene의 경우 폐기물처리업체와 화학제품제조업체를 중심으로 상대적으로 극부적 분포를 나타내고 있고, o-Xylene의 경우 공단 내에 위치하고 있는 의약품제조업체의 수가 적기 때문에 특정한 지점에서만 농도 분포가 나타나고 있다. 이와 같은 업종별 VOCs 배출 농도값을 통해 해당지역에서 발생되어지는 VOCs의 배출과 밀접하게 관련되어있는 업종을 알 수 있었다. 이는 향후 특정 업종의 효율적인 관리를 통하여 업종과 관련된 VOCs의 배출저감을 위해 효과적으로 관리 및 유지할 수 있도록 감시할 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 지난 몇 년간 시흥시에서 Open-path FTIR Gas Analyzer를 이용하여 11개월 동안 수

집한 VOCs에 대한 자료를 바탕으로 VOCs 농도의 경시변화를 조사하였다. 그리고 passive sampler를 8월과 10월 중의 일정한 기간 시화지구의 배출시설과의 근접지역에 설치함으로써 VOCs 농도를 측정하여 toluene, ethylbenzene, o-xylene 및 styrene에 대한 평균 농도값을 산출하고, contour map을 작성하여 특성을 파악하였다. 본 연구의 결과로 얻어진 주요 결론을 요약하면 다음과 같다.

첫째, Open-path FTIR Gas Analyzer를 이용한 농도 산출에서는 대부분의 VOCs의 경우 동절기 보다는 하절기에 높은 농도치를 보였다. 이는 우리나라의 여름철 주풍향이 남서풍이고, 겨울철 주풍향이 북서풍이므로 VOCs가 배출원으로부터 확산 될 때 지리적으로 공단의 북동방향에 위치한 주거지역의 VOCs의 계절별 농도 변화는 바람의 영향을 받았을 것으로 판단된다. 그리고 하절기의 온도 상승으로 인해 업체에서 발생하는 휘발성 물질의 배출량이 증가하였을 것으로 추정된다.

둘째, 차단녹지 내에 설치되어 있는 Open-path FTIR Gas Analyzer에 의해 산출되어진 농도값은 대부분이 1 ppb 이하이고 최고 4~5 ppb를 보이고 있었으나, 업체가 위치해 있는 공단에 보다 근접하여 설치한 passive sampler에서 분석된 농도값이 낮게는 1~10 ppb를 나타내고 최고 121 ppb를 보였다. 이는 배출시설물로부터 거리가 멀어질수록 VOCs가 확산되어지면서 점차적으로 농도가 낮아지기 때문으로 판단된다.

셋째, 업체별 농도값을 업종별로 분류하기 위해 금속, 의약품제조, 폐기물처리, 화학제품제조, 주거지역으로 나누어 VOCs를 측정하여 한 결과, 주거지역보다는 공단지역에 더 높은 농도분포가 있다는 것을 알 수 있고, 특히 다른 VOCs에 비해 o-Xylene의 경우는 낮은 농도분포를 나타냈다. 이는 주로 의약품제조업종에서 배출되는 o-Xylene의 양이 다른 VOCs에 비해 상대적으로 적은 양이고, 공단 내에 위치하고 있는 의약품제조업체의 수가 적기 때문에 나타나는 현상이라 판단된다. 이와 같은 업종별 VOCs 배출 농도값을 통해 해당지역에서 발생되어지는 VOCs의 배출과 밀접하게 관련되어있는 업종을 알 수 있으며, 이는 이 지역에서 발생되어지는 여러 가지 VOCs들보다 상대적으로 많이 발생하는 VOCs의 관리 및 통제를 위한 감시방안에 대하여 많은 도움을 줄 수 있

을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 시흥환경기술개발센터에서 시행한 환경기술연구개발사업 (04-2-40-71)의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고 문헌

김기현, 최규훈, 오상인, 최여진, 선우영, 전의찬, 주도원 (2003) 도심지역 매립장의 VOC 성분조성과 배출 특성에 대한 연구, *Analytical Science & Technology*, 16(5), 407-417.

김기현, 백성욱 (1998) 대기환경과 휘발성 유기화합물질, 한국대기보전 학회 측정 분석 위원회.

김영성 (1999) 산업단지 대기질 관리. HAP인가 VOC인가?, *한국대기환경학회지*, 15(4), 513-517.

김초천, 김기현 (2000) 대기 중 휘발성유기화합물의 시간적 농도 변화에 대한 연구, *한국환경과학회지*, 9(6), 483-488.

김초천, 이강웅, 김기현 (2000) 서울과 나주의 산림지역을 중심으로 한 환경대기 중 VOC 관측, *한국환경분석학회지*, 3(1), 37-43.

박성남, 이희석, 홍순혁, 이명희 (2004) 우리나라 VOC 발생 현황과 대책, 세명대학교 환경공학과 졸업논문집.

백성욱, 김영민 (1996) 도시지역에서의 실내외 주변공기 중 휘발성 유기화합물의 농도측정에 관한 연구. *대기환경공학회지*, 18(2), 181-197.

서봉국, 나영수, 송승구 (2003) 휘발성 유기 화합물 (VOCs) 처리기술, *한국환경과학회지*, 12(7), 825-833.

석광설, 홍지형, 이석조, 이대균, 김대곤, 박지현 (2003) 폐기물소각시설에서의 수은배출특성 연구, *한국대기환경학회지*, 20(2), 205-213.

시흥환경기술개발센터 (2004) <http://www.setec.re.kr>.

오상인, 김민영, 김기현 (2000) 광투과 방식을 응용한 서울시 반포지역의 VOC 농도분포 특성에 대한 연구, *한국환경분석학회지*, 3(4), 229-238.

Berry, J.C. (1996) VOC & HAP emission control for the coating industry, *AWMA Professional Development AIR-208*, Nashville, TN.

Bloemen, H.J.T. and J. Burn (1993) *Chemistry and analysis of volatile organics compounds in the environment*, Blackie Academic and Professional.

- Ito, A., I. Takahashi, Y. Nagata, K. Chiba, and H. Haraguchi (2001) Spatial and temporal characteristics of urban atmospheric methane in Nagoya City, Japan: an assessment of the contribution from regional landfills. *Atmospheric Environment*, 35, 3173-3144.
- James, K.S. and M.A. Stack (1997) The impact of leachate collection on air quality in landfills. *Chemosphere*, 34(8), 1713-1721.
- Kim, K.H. and M.Y. Kim (2002) *Atmos. Environ.*, 36 (31), 4919-492.
- Na, K.S. and Y.P. Kim (2001) Seasonal characteristics of ambient volatile organic compounds in Seoul, Korea, *Atoms. Environ.*, 35, 2603-2614.
- Parrish, D.D. and F.C. Fehsenfeld (2000) Methods for gas-phase measurements of ozone, ozone precursors and aerosol precursors, *Atoms. Environ.*, 34, 1921-1957.
- Schweigkofier, M. and R. Niessner (1999) Determination of siloxanes and VOC in landfill gas and sewage gas by canister sampling and GC-MS/AES analysis. *Environ. Sci. Tech.*, 33, 3680-3685.
- US EPA (1999) Compendium Method TO-15 Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Collected in Specially-Prepared Canisters and Analyzed by Gas Chromatography/mass spectrometry (GC/MS), Compendium Method for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air, 2nd ed., EPA/625/R-96/010b.
- Wiederkehr, P. (1994) Emission reduction programmes for VOC in some OECD countries, *Environmental Science*, 61, 11-28.