

2008년과 2010년 지정 VOC 계열 신규악취성분들에 대한 분포특성 조사: 도심 하수환경 중 빗물받이에 대한 연구

Measurements of Volatile Organics, Newly Designated Offensive Odorants in Korea in 2008 and 2010: a Case Study on Gutter System

안지원 · 홍원필 · 이은희¹⁾ · 김기현*

세종대학교 환경에너지융합학과, ¹⁾한양대학교 일반대학원 보건학과
(2010년 2월 12일 접수, 2010년 3월 30일 수정, 2010년 6월 9일 채택)

Ji-Won Ahn, One-Feel Hong, Eun-Hee Lee¹⁾ and Ki-Hyun Kim*

Department of Environment & Energy, Sejong University,

¹⁾*Department of Public Health, Graduate School, Hanyang University*

(Received 12 February 2010, revised 30 March 2010, accepted 9 June 2010)

Abstract

In this research, a total of 11 newly designated offensive odorants in Korea in 2008 and 2010 (styrene (S), toluene (T), p-xylene (p-X), methyl ethyl ketone (MEK), methyl isobutyl ketone (MIBK), butyl acetate (BuAc), isobutyl alcohol (i-BuAl), propionic acid (PA), butyric acid (BA), isovaleric acid (IA), and valeric acid (VA)) were selected as target compounds and analyzed from two types of gutter system in the urban environment. Because of the environmental significance of these compounds as offensive odorants, the results are meaningful enough to explore their behavior and distribution in the urban environmental systems. In the course of this study, samples were collected three times a day from two different gutter systems representing the wet (W) and dry (D) conditions. A large fraction of volatile organic compounds (VOCs) data fell into method detection limit (MDL) range with exceptions of toluene, p-xylene, and methyl ethyl ketone. In contrast, the results of organic fatty acids were distinguished by the relative dominance of butyric acid and propionic acid over others. If the concentration data of all odorants were converted into odor intensity (OI), the results of aromatics, ketones, acetate, and alcohol groups approached zero level. However, odor intensity of organic fatty acids was noticeably higher with the value of 2.8 (on average) from both W and D system, suggesting their potent roles as odorants in gutter system.

Key words : Odorants, Gutter system, Volatile organic compounds, Organic fatty acids, Odor intensity

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)2-499-9151, E-mail : khkim@sejong.ac.kr

1. 서 론

도심 환경권역에서 발생하는 대기오염 중 악취현상은 현대인들의 중요한 관심사로 나타나고 있다. 악취는 단일성분이 아니라 주로 복합적 형태의 현상으로 볼 수 있다. 악취문제에 대한 사회적 관심은 단순히 이들의 농도뿐 아니라 인체에 대한 유해성과 같이 여러 가지 관점에서 나타난다(Dincer and Muezzinoglu, 2006). 악취물질들은 인간생활과 관련한 모든 영역에서 발생하기 때문에, 인구밀도가 높고, 주거시설이 근접한 지역들을 중심으로 다양한 형태의 민원으로 나타나고 있다(Choi *et al.*, 2005; Gostelow *et al.*, 2001). 일례로, 2007년도 11월 서울시의 신길동에 위치한 빗물받이들을 따라 악취가 심각한 수준으로 발생한 사건은 주변지역의 주민들에게 큰 불쾌감을 준 사례로 잘 알려져 있다(Lee *et al.*, 2008).

환경부에서는 2005년부터 악취방지법을 제정하여, 12가지의 성분들을 지정악취물질으로 설정하고 이들에 대한 관리를 시작해왔다(KMOE, 2005). 2008년부터는 5가지 성분(toluene (T), xylene (X), methyl ethyl ketone (MEK), methyl isobutyl ketone (MIBK), butyl acetate (BuAc))을 추가하였고, 2010년부터는 유기지방산을 비롯한 5가지 성분(propionic acid (PA), butyric acid (BA), isovaleric acid (IA), valeric acid (VA))을 다시 추가적으로 지정악취성분으로 지정하여 관리하는 실정이다. 이들은 대부분 휘발성 유기화합물(volatile organic compound, VOC) 계열의 악취물질들로서 환경학적 또는 악취관리의 차원에서 여러 가지 중요한 의미를 지닌다. 그러나 주변 생활환경에서 이러한 악취물질들을 포괄적으로 검출할 수 있는 경우는 의외로 쉽게 발견하기가 용이하지 않다. 이는 유사한 성격의 악취성분들조차 각각의 특정한 배출원과 연계된 형태로 발생한다는 점을 반영한다고 설명할 수 있다(Yu *et al.*, 2002). 실제 현장상황에서는 배출원에 따라 악취성분들의 종류, 강도, 기여도 등이 모두 다르게 나타난다. 따라서 악취를 일으키는 배출원의 특성 및 주성분에 대한 관계를 명확하게 정의하는 것이 중요하다(Kim *et al.*, 2005a).

본 연구에서는 신규 악취물질로 지정된 주요 VOC 물질이나 유기지방산을 대상으로 설정하고, 실제 환경조건에서 이들의 분포상태를 파악할 수 있는

기초자료를 확보하고자 하였다. 이를 위하여, 도심환경권에서 쉽게 접할 수 있는 주요 악취 배출원에 해당하는 빗물받이를 주목하였다. 빗물받이는 빗물 등을 하수구로 흘려보내기 위하여 설치한 설비의 하나지만, 하수구에서 발생하는 악취가 이를 통해 외부로 흘러나와 민원을 야기하기도 한다(Na and Kim, 2007). 이미 본 연구와 동시에 빗물받이에서 발생하는 여타 주요 악취성분으로 황화합물을 설정하고, 이들에 대한 하수환경의 분포특성을 비교분석한 바 있다(Hong *et al.*, 2010). 본 연구에서는 VOC 계열의 신규악취물질들에 대한 현장조사 사례가 드물다는 점을 감안하여, 이들 성분들을 중심으로 결과를 비교분석하고자 하였다. 또한 이들 VOC 계열의 악취성분들의 농도와 악취도와의 관계를 동시에 비교하여, 실제로 이들이 하수악취에 얼마만큼 기여하는가에 대한 의문점에 대해서도 답하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 시료채취 장소 및 채취방법

본 연구에서는 서울시 광진구 군자동 내에 소재한 세종초등학교 앞 도로변 두 개의 빗물받이를 조사대상으로 선정하였다(그림 1). 이들 빗물받이는 자동차 도로를 중심으로 마주보고 있으며, 한 지점의 빗물받이에는 내부에 물이 흐르고(wet (W) system), 반면 다른 한 지점의 경우는 건조한 조건(dry (D) system)을 유지하였다. 특히, W 지점의 빗물받이는 강한 취



Fig. 1. Pictures showing gutter system sampling point investigated in this study.

기가 느껴지는 곳으로, 본 연구진이 시료채취를 진행하는 과정에서도 쉽게 악취를 감지할 수 있었다. 연구는 2009년 8월 18일부터 8월 26일 중, 총 5일의 기간을 임의로 선정하여 진행하였다. 또한 하루 중, 주변 환경조건의 영향에 따른 농도의 변화를 검토하기 위하여, 두 지점 모두 하루 동안 3회(오전 10시, 오후 2시, 오후 6시)에 걸쳐서 시료를 채취하였다.

본 연구에서는 2007년 이후 환경부에서 악취성분으로 지정한 10가지 성분과 VOC 계열 중 가장 먼저 지정악취성분으로 지정된 styrene (S) 성분을 포함한 11가지 성분들을 대상으로 분석을 진행하였다(표 1). 이들 성분의 분석을 위한 시료의 채취는 테들러백을 이용한 간접채취방식으로 진행하였다. 진공형 링샘플러(lung sampler, ACEN, Korea) 내부에 10 L 테들러백을 테플론 튜빙으로 이용하여 연결한 후, 링샘플러 내부에 진공상태를 유도하였다. 링샘플러 외부의 inlet 밸브에 연결한 테플론 튜빙(약 30 cm)을 통해, 빗물받이 내부의 공기가 샘플러 내부의 백으로 들어오게 유도해 주었다. 퀵 샘플링 방식으로 약 1~2 분간 진공을 유도한 시점에 링샘플러의 inlet 밸브를 열어 빗물받이 내부의 공기시료를 백으로 유도 채취하였다.

2.2 시료분석방법

2.2.1 휘발성 유기화합물 (volatile organic compounds)

VOC의 분석을 위해서, gas chromatography (GC, Model: GC-2010, SHIMADZU, Japan)와 mass spectrometry (MS, Model: GCMS-QP2010, SHIMADZU, Japan)를 연계한 시스템을 이용하였다. 현장에서 채취한 백에 solid phase microextraction (SPME) 방식으로 시료의 농축을 유도하기 위하여 carboxen polydimethylsiloxane (CAR/PDMS 75 μ m, Supelco, USA) 파이버를 이용하였다(Pandey and Kim, 2009). SPME 파이버를 테들러 백에 주입한 뒤 30분간 시료흡착을 유도하였다. 시료흡착이 끝난 SPME는 GC의 주입구에 주입하여 250°C의 온도에서 5분간 탈착을 유도하여 시료의 분석을 진행하였다(표 2). 분석컬럼으로는 VOCOL (length: 60 m, ID: 0.32 mm, film thickness: 1.8 μ m, Supelco, USA) 컬럼을 사용하였다.

본 연구에서 사용한 GC/MS 시스템에 대한 분석재현성(정밀도)을 평가하기 위해, 상대표준오차(relative



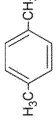

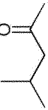
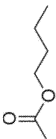
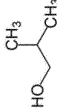
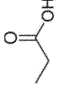
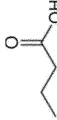
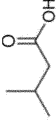
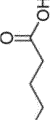
standard error, RSE)와 검출한계(method detection limit, MDL)를 산출하였다. RSE는 표준시료를 분석하여 검량선을 확보할 때, 중간농도에 해당하는 표준시료(40 ppb)를 3회 반복 분석하는 방법으로 구하였다. Toluene을 기준으로 150 ng 만큼 GC 주입구에 3회 반복 주입하는 방법으로 분석한 결과, 방향족, 케톤 등의 유기화합물의 RSE 값은 3.3~4.1%로 안정적인 수준으로 나타났다. 검출한계 값은 각 성분들의 분석결과에서 S/N=3 이상인 피크면적 값 7개(N=7)를 이용하였다. 최소피크면적들의 표준편차를 구한 다음, t-분포에서 신뢰구간 99%일 때의 임계값인 3.14를 곱하는 방식으로 계산하였다. 그 결과, MDL 값은 0.31~0.38 ppb (절대량 기준: 1.03~1.81 ng)로 나타났다.

2.2.2 유기지방산 (organic fatty acids)

환경부의 공정시험법 상에는 유기지방산의 분석을 0.1 N 수산화 나트륨 수용액으로 채취한 뒤, 고농도의 산(35% 염산)으로 유기지방산을 필요로 추출하여 분석하는 방법을 제시하고 있다. 그러나 이러한 방법은 높은 수준의 숙련도를 요구할 뿐 아니라, 고농도의 산을 실험단계에서 직접처리 및 이용한다는 점에서 위험성이 크다. 따라서 본 연구에서는 새로이 분석방법을 검증한 저온농축 열탈착기와 GC를 연계한 시스템으로 유기지방산의 분석을 실시하였다(Ahn *et al.*, 2009). 본 연구에서는 이러한 분석방법으로 환경 대기 중의 유기지방산 분석자료를 확보하였다.

시료의 분석을 위한 전처리 과정으로 carbopack X (60~80 mesh, Supelco, USA)를 300 mg 충전한 흡착튜브를 이용하였다. 그리고 시료를 담은 10 L 테들러백과 흡착튜브를 연결하고, 미니펌프(Σ -30, SIBATA, Japan)를 이용하여 200 mL min⁻¹의 유속으로 흡착튜브에 5분간 시료를 통과시켜 주었다. 이렇게 시료흡착이 끝난 흡착튜브는 저온농축열탈착기(thermal desorb (TD), Model: Unity, Markes, UK)에 장착하여 시료의 분석을 유도하였다. 시료의 검출은 GC에 flame ionization detector (FID)를 장착한 시스템을 이용하였다. 유기지방산의 분리를 위하여 WAX (length: 60 m, ID: 0.25 mm, film thickness: 0.25 μ m, CHROMPACK, USA) 컬럼을 사용하였다. 유기지방산 분석을 위한 GC 및 TD의 세부 분석조건은 표 2에 제시하였다. 유기지방산의 경우에도, VOC의 분석과 동일한 방법

Table 1. A list of target odorous compounds selected in this study and their basic information.

Order	Group	Full name	Short name	CAS No.	Chemical formula	Structure	Molecular weight ^(a)	Permissible concentration (ppm) ^(b)		Threshold ^(c) (ppm)	Reference ^(d)
								Industrial region	Other region		
1		Toluene	T	108-88-3	C ₇ H ₈		92.14	30	10	0.33	2008
2	Aromatic	Styrene	S	100-42-5	C ₈ H ₈		104.2	0.8	0.4	0.035	2005
3		para-Xylene	p-X	106-42-3	C ₈ H ₁₀		106.2	2	1	0.058	2008
4	Ketone	Methyl ethyl ketone	MEK	78-93-3	C ₄ H ₈ O		72.11	35	13	0.44	2008
5		Methyl isobutyl ketone	MIBK	108-10-1	C ₆ H ₁₂ O		100.2	3	1	0.17	2008
6	Acetate	Butyl acetate	BuAc	123-86-4	C ₆ H ₁₂ O ₂		116.2	4	1	0.016	2008
7	Alcohol	Isobutyl alcohol	i-BuAl	78-83-1	C ₄ H ₁₀ O		74.12	4	0.9	0.011	2010
8	Acid	Propionic acid	PA	79-09-4	C ₃ H ₆ O ₂		74.08	0.07	0.03	0.0057	2010
9		Butyric acid	BA	107-92-6	C ₄ H ₈ O ₂		88.11	0.002	0.001	0.00019	2010
10		Isovaleric acid	IA	503-74-2	C ₅ H ₁₀ O ₂		102.1	0.004	0.001	0.000078	2010
11		Valeric acid	VA	109-52-4	C ₅ H ₁₀ O ₂		102.1	0.002	0.0009	0.000037	2010

^{a)}g mole⁻¹, ^{b)}Malodor Prevention law of Korea Ministry of Environment (2005); all concentration in ppm, ^{c)}Refer to Nagata (2003), ^{d)}The initiation year of the administrative regulation through the designation of offensive odorants (Korea Ministry of Environment (KMOE))

Table 2. Instrumental operation conditions for GC and thermal desorber system for the analysis of VOC and organic acid components.

a. GC/MS system (for VOC)			
Injector	Temp.:	250	°C
	Column flow:	1.2	mL min ⁻¹
	Split ratio:	10:1	
Oven	Initial temp.:	50	°C
	Hold time:	3	min
	Ramping rate:	6	°C min ⁻¹
	Max temp.:	200	°C
	Hold time:	5	min
	Total running time:	33	min
Detector	Ionization mode:	EI (70 eV)	
	Ion source temp.:	200	°C
	Interface temp.:	200	°C
	TIC scan range:	35~250	m/z
	Threshold:	500	
b. GC/FID system (for acid)			
Oven	Temp.:	50	°C (5 min.)
	Ramping rate:	6	°C min ⁻¹
	Max temp.:	230	°C (5 min.)
	Total running time:	40	min
Detector	Temp.:	240	°C
	H ₂ flow rate:	30	mL min ⁻¹
	N ₂ flow rate:	29	mL min ⁻¹
	Air flow rate:	30	mL min ⁻¹
c. Thermal desorber (for acid)			
Sampling tube desorption temp.	300	°C	
Sampling tube holding time	10	min	
Cold trap temp. low	5	°C	
Cold trap temp. high	300	°C	
Cold trap hold time	5	min	
Valve temp.	120	°C	
Transfer line temp.	120	°C	
Minimum pressure	10	psi	

으로 RSE와 MDL을 산출하였다. 그 결과, 4가지 성분들의 RSE는 0.56~1.46%로 모두 5% 이내의 안정적인 결과를 보였다. 또한 MDL 값도 0.14~0.39 ppb (절대량 기준: 0.5~0.8 ng)의 수준으로 나타났다.

3. 결과 및 고찰

3.1 연구기간 동안 악취성분의 농도 분포

본 연구에서는 빗물받이에서 발생하는 악취성분 중, 환경부에서 2008년 이후 지정악취성분으로 지정

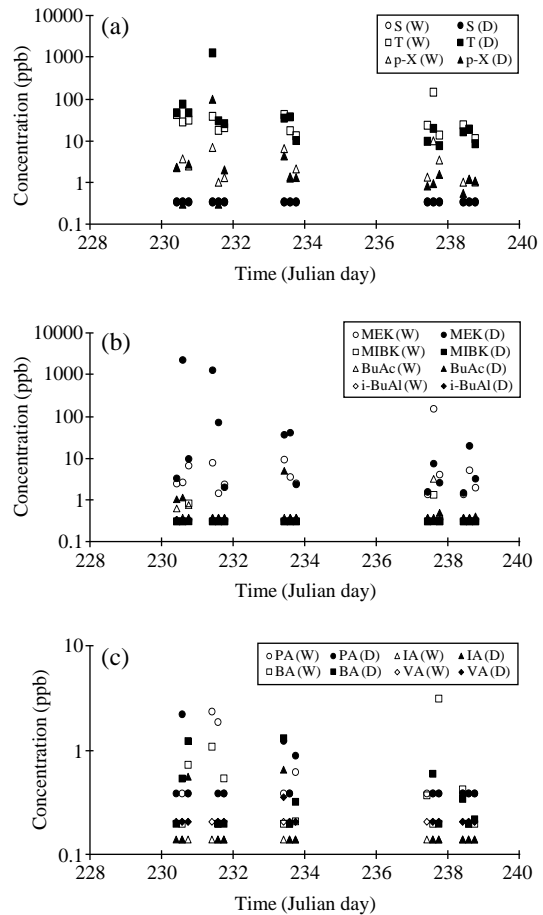


Fig. 2. Temporal patterns of odorant concentrations between wet (W) and dry (D) gutter system during this study period: (a) aromatic group: styrene (S), toluene (T), and p-xylene (p-X), (b) ketones, alcohol, and acetate group: methyl ethyl ketone (MEK), methyl isobutyl ketone (MIBK), isobutyl alcohol (i-BuAl), and butyl acetate (BuAc), and (c) organic acid group: propionic acid (PA), butyric acid (BA), isovaleric acid (IA), and valeric acid (VA).

한 여러 가지 VOC 성분들의 농도분포특성에 대해 평가하고자 하였다. 이를 위해, 2009년 8월 18일부터 8월 26일까지 임의로 5일을 택하여, 일 중 총 3회에 걸쳐 두 개의 상이한 하수환경에서 악취시료를 채취하였다. 내부환경이 다른 두 개의 빗물받이 (wet (W) and dry (D) system)에서 발생하는 악취성분의 농도 결과를 각각 그림 2에 제시하였다. 이 때, 성분들의 특성에 따라 (a) 방향족(aromatic compound), (b) 케

톤, 알코올, 아세테이트(ketone, alcohol, acetate), (c) 유기지방산(organic fatty acids) 그룹으로 구분한 후 제시하였다. W 지점에서는 방향족 그룹의 toluene이 최소 11.4 ppb에서 최대 146 ppb까지 시간에 따른 두드러진 농도변화를 보여주었다(그림 2). 8월 25일 14 시경에 채취한 시료에서 toluene 값이 최대치인 146 ppb를 기록한 점을 제외하면, 대체적으로 오전 시간대(10시)에 채취한 시료에서 toluene 값이 높은 경향을 보였다. Methyl ethyl ketone은 8월 25일 14시에 채취한 시료에서 153 ppb로 가장 높은 결과값을 보였다. 그러나 이를 제외할 경우, 대체로 1.38~9.36 ppb 범위의 농도분포를 보였다. p-xylene 역시 연구기간 동안 1.04~10.1 ppb의 농도분포를 보였다. 4가지 유기지방산의 경우 butyric acid와 propionic acid를 제외하면, 대체적으로 검출한계 수준으로 나타났다. 그러나 butyric acid의 경우, 8월 19일 10시와 8월 25일 18시에 각각 1.10 ppb와 3.18 ppb로 나타나면서 엄격한 배출허용기준(기타지역)인 1 ppb를 초과하는 것으로 나타났다.

D지점의 빗물받이는 VOC 계열의 toluene이 14시에 채취한 시료에서 타 시간대에 비해 상대적으로 고농도를 보였다(그림 2). 또한, 8월 19일 10시에 채취한 시료에서는 toluene의 농도가 1,270 ppb를 보이면서 최대치를 기록하였다. Methyl ethyl ketone은 8월 18일 14시에 채취한 시료와 8월 19일 10시에 채취한 시료에서 각각 2 ppm과 1 ppm 수준으로 높게 나타나면서, 다른 시간대의 결과와 구분이 이루어졌다. 그러나 이 밖의 시간에는 1.49~72.2 ppb의 농도 범위에서 나타났다. 동시에 관측한 toluene 성분의 결과를 감안하면, 하수구에 유입되는 원인물질의 특성에 따라 methyl ethyl ketone의 순간농도가 증가하는 현상이 발생하는 것으로 추정할 수 있다(이에 대한 정확한 판단을 위해서는 보다 연속적인 측정을 통해, 빗물받이 내부의 농도변화를 체계적으로 관측할 필요가 있다). p-xylene은 8월 19일 10시의 시료에서 98.9 ppb로 가장 높은 값을 보였다. 그러나 그 외 시간에서는 0.31~4.39 ppb의 농도대로 낮게 나타났다. 유기지방산의 경우, W 지점과 마찬가지로 대부분이 검출한계 이하의 결과를 보였다. 그러나 butyric acid는 8월 18일 18시와 21일 10시에 각각 1.24와 1.32 ppb로 엄격한 배출허용기준을 초과하는 것으로 나타났다.

하수처리시스템에서 발생하는 VOC 성분의 농도분포를 좀 더 다각적으로 평가하고자, 선행연구들의 결과에 대비하는 방식으로 비교분석을 시도하였다. Lee *et al.* (2004)의 연구에서는 국내 전국 하수 및 폐수 처리 슬러지의 VOC 농도를 비교 평가하였다. 그 결과에 의하면 toluene를 제외하고는 VOC가 나타나지 않거나, 미량수준으로 검출이 이루어졌다. 우리나라와 다른 나라의 슬러지 중에 VOC 농도를 비교한 결과에서도 British Columbia, Canada, Spain에서의 분석 결과가 국내보다 낮은 수준으로 나타났다. 이러한 점을 동시에 감안할 때, 하수처리시스템에서 발생하는 VOC의 농도는 황 또는 질소계 화합물에 비해 상대적으로 낮은 수준이라고 판단할 수 있다(Lee *et al.*, 2004). 또한, 타이완에 소재한 하수처리시스템에 대하여 연구한 결과에 의하면, acetone, isopropanol, DMS가 주요 발생성분에 해당한다. 이들의 최고 농도는 각각 400, 22.8, 641 ppb로 나타났다(Wu *et al.*, 2006). 결론적으로 선행연구 및 본 연구의 결과를 동시에 감안할 때, 하수처리장에서 발생하는 물질들 중 방향족 성분들의 기여도가 상대적으로 높지 않다는 것을 유추할 수 있다.

서로 다른 환경조건의 하수시스템의 악취발생 특성의 차이를 판단하고자 농도수준의 통계적 유의성에 대한 비교를 시도하였다(표 3). 본 연구기간 동안 조사한 악취성분의 농도 값은 toluene, p-xylene, methyl ethyl ketone, butyric acid를 제외하고는 대체적으로 MDL 이하를 보였다. 따라서 통계량의 산출을 위해, 이들 검출한계치는 그 1/2에 해당하는 값으로 대체한 후, 통계량을 산출하였다. 그 결과, methyl isobutyl ketone, propionic acid, butyric acid 성분만이(D지점에 비해) W지점에서 평균값이 높게 나타났다. t 검정을 실시한 결과에 의하면, 90% 신뢰수준에서 methyl isobutyl ketone(P=0.09), methyl ethyl ketone(P=0.08), isovaleric acid(P=0.08) 성분의 농도차가 유의한 것으로 나타났다. 본 연구와 동시에 진행한 황화합물들의 분석결과를 보면, 빗물받이 내부에서 발생하는 황화합물의 농도분포는 VOC류와 현저하게 구분이 이루어지는 것을 알 수 있다(Hong *et al.*, 2010). W와 D지점의 H₂S의 평균 배출농도가 각각 2,550(±532)와 700(±334) ppb으로 현격한 차이를 보였다. 또한 methyl mercaptan(MeSH)과 DMS, DMDS도 W지점이 D지점보다 더 고농도로 나타났다. 이 밖에도 하

Table 3. Statistical summary of all odorous volatile organics measured during this study . (unit: ppb)

Order	Sampling point	Statistic	S	T	p-X	MEK	i-BuAl	MIBK	BuAc	PA	BA	IA	VA
1	Wet system (W)	Mean	0.18 ^{a)}	32.8	3.08	13.8	0.17	0.28	0.49	0.50	0.52	0.07	0.10
2		SD	-	32.9	2.72	38.7	-	0.34	0.78	0.71	0.82	-	-
3		Median	0.18	23.7	2.15	2.67	0.17	0.16	0.19	0.19	0.15	0.07	0.10
4		Min	0.18	11.4	1.04	1.38	0.17	0.16	0.19	0.19	0.10	0.07	0.10
5		Max	0.18	146	10.1	153	0.17	1.34	3.23	2.39	3.18	0.07	0.10
6		n	15	15	15	15	15	15	15	14	14	14	14
7	Dry system (D)	Mean	0.18	111	7.99	250	0.17	0.16	0.66	0.49	0.40	0.15	0.12
8		SD	-	321	25.2	645	-	-	1.25	0.63	0.43	0.20	0.07
9		Median	0.18	25.8	1.30	7.48	0.17	0.16	0.19	0.19	0.22	0.07	0.10
10		Min	0.18	7.72	0.16	1.49	0.17	0.16	0.19	0.19	0.10	0.07	0.10
11		Max	0.18	1269	98.9	2258	0.17	0.16	5.04	2.25	1.32	0.66	0.36
12		n	15	15	15	15	15	15	15	13	13	13	13

^{a)}For the derivation of statistical parameters, DL values were replaced with one half of their original values.

수시스템과 관련하여 황화합물에 대한 분석사례는 다양하게 확인할 수 있다.공단지역의 폐수처리시스템을 분석한 선행연구에서도 H₂S를 위시한 황화합물의 농도가 타업종에 비해 현저하게 높게 나타난다는 사실을 확인한 바 있다(Kim *et al.*, 2006). 또한 퇴비시설에서의 악취발생 중, 공급원료에 따른 악취성분을 비교하였을 때에도, 하수슬러지에서 발생하는 DMS와 DMDS가 0.2~9.8 ppb와 0.1~5.6 ppb 농도대로(타공급 원료에 비해) 높은 농도를 보였다(Kim *et al.*, 2005b). 하수시스템의 악취 발생특성을 조사한 일부 선행연구에서는 단순히 농도뿐 아니라, 후각과의 비교를 시도한 바도 있다(Dincer and Muezzinoglu, 2007; Stuetz *et al.*, 1999). 선행연구에서 이미 확인한 바와 같이, 하수시스템에서 발생하는 황화합물은 악취 기여도에서 큰 비중을 차지하는 것으로 판단할 수 있다. 이러한 결과에 비하면, VOC류의 발생특성은 강도나 빈도면에서 현저하게 약하게 작용할 것이란 점을 쉽게 판단할 수 있다.

3. 2 하수시스템 내부의 환경조건과 농도와 의 비교

본 연구기간 동안 총 5일의 기간에 걸쳐 시료채취를 진행하면서, 빗물받이 내부의 환경조건을 동시에 조사하였다. 하루 중 3회씩 시료채취를 실시하였다는 점을 감안하여, 시간의 변화에 따른 기온 및 상대습도의 변화를 W와 D지점에서 동시에 감안할 수 있게 비교 제시하였다(그림 3). 기온은 W와 D지점에

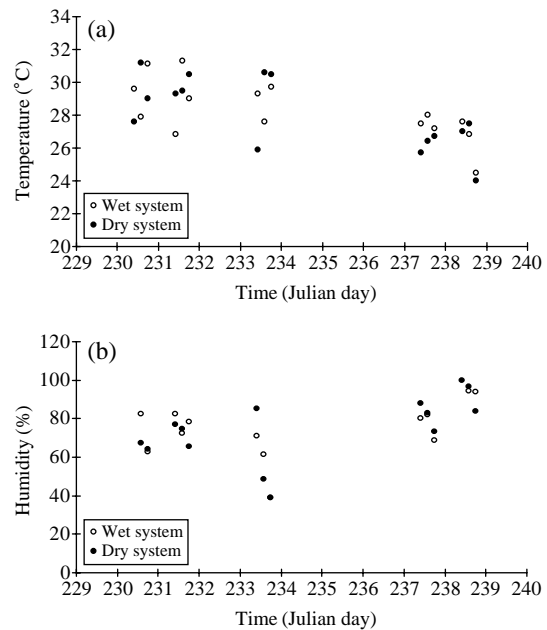


Fig. 3. Temporal variabilities of the basic environmental parameters measured in both wet and dry gutter systems: (a) temperature and (b) relative humidity.

서 평균적으로 각각 28.3 (±1.77)°C와 28.1 (±2.16)°C로 비슷한 경향을 보였다. 또한 상대습도도 W와 D지점에서 평균값이 각각 74.5 (±14.8)%와 74.7 (±17.1)%로 양자간의 차이를 구분하기 어려웠다. 그러나 그림 3에 제시한 대로, 시간의 경과에 따른 기온과

Table 4. The results of correlation analysis between target odorous compounds and relevant parameters.**a. Wet (W) system**

		Humidity	T	p-X	MEK	BuAc	PA	BA
Temp.	r ^{a)}	-0.602*	0.054	-0.028	-0.035	0.096	-0.430	-0.389
	P ^{b)}	2.95E-02	8.47E-01	9.22E-01	9.00E-01	8.78E-01	7.17E-01	3.88E-01
	n ^{c)}	13	15	15	15	5	3	7
Humidity	r		0.173	0.092	0.151	0.164	0.998*	0.162
	P		5.71E-01	7.66E-01	6.22E-01	8.36E-01	3.81E-02	7.59E-01
	n		13	13	13	4	3	6
T	r			0.820**	0.959**	0.987**	0.825	-0.230
	P			1.79E-04	1.60E-08	1.69E-03	3.82E-01	6.20E-01
	n			15	15	5	3	7
p-X	r				0.746**	0.969**	0.586	0.398
	P				1.42E-03	6.52E-03	6.02E-01	3.76E-01
	n				15	5	3	7
MEK	r					0.995**	0.601	0.300
	P					4.36E-04	5.89E-01	5.14E-01
	n					5	3	7
BuAc	r						(a)	-1.000**
	P						0	2
	n							
PA	r							1.000**
	P							
	n							2

b. Dry (D) system

		Humidity	T	p-X	MEK	BuAc	PA	BA
Temp.	r	-0.704**	0.185	0.165	0.443	-0.465	0.383	0.018
	P	4.94E-03	5.09E-01	5.72E-01	9.83E-02	5.35E-01	7.50E-01	9.70E-01
	n	14	15	14	15	4	3	7
Humidity	r		0.021	0.033	-0.100	0.881	0.371	0.018
	P		9.42E-01	9.15E-01	7.34E-01	3.14E-01	7.58E-01	9.70E-01
	n		14	13	14	3	3	7
T	r			0.998**	0.482	-0.020	0.991	0.441
	P			1.42E-15	6.90E-02	9.80E-01	8.34E-02	3.22E-01
	n			14	15	4	3	7
p-X	r				0.429	0.843	-0.494	0.863*
	P				1.26E-01	1.57E-01	6.71E-01	1.23E-02
	n				14	4	3	7
MEK	r					-0.237	0.972	-0.101
	P					7.63E-01	1.52E-01	8.29E-01
	n					4	3	7
BuAc	r						-1.000	1.000
	P						2	2
	n							
PA	r							-0.060
	P							9.62E-01
	n							3

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed), *Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

^{a)}Pearson correlation coefficient, ^{b)}Probability of no correlation (2-tailed), ^{c)}Number of matching cases

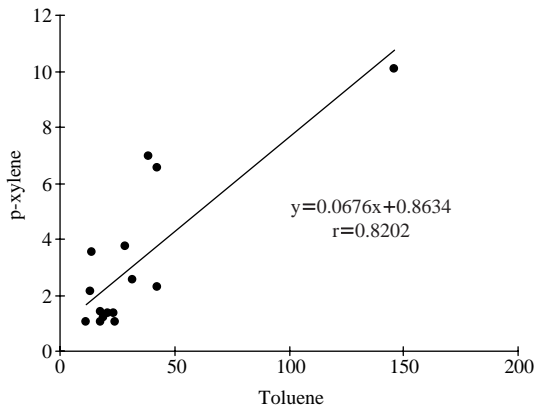


Fig. 4. The results of correlation analysis between toluene and p-xylene in wet gutter system.

상대습도의 변화는 두 지점에서 서로 다르게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 W와 D지점에서 관측한 악취농도와(기온과 상대습도와 같은) 환경조건과의 연계성을 확인하고자 상관분석을 실시하였다(표 4). 그 결과, 방향족과 케톤 및 유기지방산 그룹의 성분들 모두 기온이나 습도와 같은 환경조건과의 상관성이 약한 것으로 나타났다.

기온 및 습도 등의 주변 환경조건과 악취성분 간의 상관성이 작게 나타난 반면, 악취성분들 간의 상관성은 높게 나타났다(표 4). W지점에서는 toluene, p-xylene, methyl ethyl ketone, butyl acetate 성분 간의 상관성이 높게 나타났다. 특히, 방향족 성분인 toluene과 p-xylene 성분 간의 상관관계는 W지점에서 강한 양의 상관성(각각 $P < 1.79E-04$)을 형성하였다(그림 4). 그러나 그 외의 다른 성분들의 경우, 농도가 대부분 검출한계 또는 그 이하 수준으로 나타나, 상관성을 평가하기 어렵다. 참고로 대기 환경 중에 존재하는 방향족 성분들 간에 일반적으로 강한 상관성을 유지하는 현상은 이미 다수의 선행연구를 통해 확인한 바 있다. Kim *et al.* (2004)이 조사대상 하수구에 인접한 군자동 지역을 대상으로 VOC를 연속측정한 결과, benzene, toluene, ethylbenzene, xylene 간에 강한 상관성이 존재하는 것을 확인한 바 있다 ($P < 0.01$). 또한 Parra *et al.* (2009)이 스페인의 도심에서 VOC류를 관측한 결과, benzene, toluene, ethylbenzene, xylene를 비롯한 propylbenzene과 1,3,5-trimethylbenzene 간에 강한 상관성이 나타났다($P <$

0.05). 이러한 결과를 동시에 감안할 경우, 환경대기 또는 배출원에 존재하는 방향족 성분들의 농도분포는 상당히 유사한 경향을 취하는 것을 확인할 수 있다.

3.3 악취성분의 농도와 악취강도 간의 관계

악취는 감각적인 공해로 사람의 주관적 기준에 따라 그에 대한 판단의 차이가 존재할 수 있다(Szczurek and Maciejewska, 2005). 따라서 악취의 정량적인 판별을 동일한 기준으로 비교하기 위해, 여러 가지 파생적 개념들의 도입이 이루어지고 있다. 일례로, 대기 중 악취물질의 농도를 다음과 같이 Plateau-Bretano-Stevens와 Weber-Fechner의 법칙을 사용하여 악취의 세기와 연계하는 것이 가능하다.

$$OI = kC^n \quad (\text{Plateau-Bretano-Stevens law})$$

$$OI = a \log(C) + b \quad (\text{Weber-Fechner law})$$

(여기서, OI=악취도, C=악취성분의 농도,

$k \cdot n \cdot a \cdot b$ =상수)

본 연구에서는 위와 같은 수식을 기초로 한, 악취도 환산관계식(Nagata, 2003)을 이용하여 비교분석을 시도하였다. 이러한 관계식을 이용하여, 1차적으로 빗물받이 내부에서 발생한 악취의 농도를 악취강도로 전환하였다(표 5). 이때, 성분들의 악취 기여도를 평가하기 위하여, 각 성분별로 환산한 악취강도를 그림 5에 제시하였다. 그 결과, 최소감지농도가 대체적으로 높은 toluene, p-xylene, methyl ethyl ketone의 농도는 다른 성분들에 비해 절대 농도값(ppb)이 상대적으로 높은 편이다. 그러나 악취강도로 환산한 결과는 대부분 0 또는 1 미만의 미미한 수준으로 나타났다. 따라서 조사대상인 빗물받이 내부에서 발생한 악취는 방향족과 케톤 성분에 의한 영향이 거의 미미한 것으로 판단된다. 유기지방산의 경우, propionic acid의 악취도는 W지점에서 0~0.39, 그리고 D지점에서 0.03~0.3으로 나타났다. 따라서 대체적으로 propionic acid에 의한 냄새는 감지하기 어려운 수준에 해당한다. 반면, butyric acid의 악취강도는 W지점에서 1.6~2.5 그리고 D지점에서는 1.9~2.2으로 나타났다. 따라서 이들은 식별 범위 이내에서 악취성분으로 작용가능한 것으로 나타났다(참고로 1~3도의 악취강도는 다음과 같이 분류할 수 있다(1: 간신히

Table 5. Relationships between the concentration of odorous target compounds and the corresponding odor intensity.

Order	Compound	Conversion formula ^{a)}	Concentration (unit: ppm)						Odor intensity					
			Wet system			Dry system			Wet system			Dry system		
			10:00	14:00	18:00	10:00	14:00	18:00	10:00	14:00	18:00	10:00	14:00	18:00
1	S	$Y=1.420\log X+3.10$	3.50E-04	3.50E-04	3.50E-04	3.50E-04	3.50E-04	3.50E-04	0	0	0	0	0	0
2	T	$Y=1.400\log X+1.05$	3.45E-02	4.57E-02	1.82E-02	2.75E-01	3.65E-02	1.99E-02	0	0	0	0.27	0	0
3	p-X	$Y=1.570\log X+2.44$	3.65E-03	3.48E-03	2.11E-03	2.14E-02	8.23E-04	1.78E-03	0	0	0	0	0	0
4	MEK	$Y=1.850\log X+0.149$	4.50E-03	3.33E-02	3.55E-03	2.66E-01	4.80E-01	4.00E-03	0	0	0	0	0	0
5	MIBK	$Y=1.650\log X+2.27$	3.40E-04	3.40E-04	3.40E-04	3.40E-04	3.40E-04	3.40E-04	0	0	0	0	0	0
6	BuAc	$Y=1.140\log X+2.34$	3.10E-04	5.17E-04	4.16E-04	3.10E-04	3.10E-04	3.10E-04	0	0	0	0	0	0
7	i-BuAl	$Y=0.790\log X+2.53$	4.31E-04	9.50E-04	4.78E-04	1.45E-03	5.35E-04	4.03E-04	0	0.14	0	0.29	0	0
8	PA	$Y=1.380\log X+4.60$	8.89E-04	6.91E-04	4.37E-04	6.76E-04	7.62E-04	4.92E-04	0.39	0.24	0	0.23	0.30	0.03
9	BA	$Y=1.290\log X+6.37$	5.24E-04	1.99E-04	9.74E-04	6.23E-04	3.48E-04	4.37E-04	2.14	1.60	2.49	2.23	1.91	2.04
10	IA	$Y=1.090\log X+5.65$	1.40E-04	1.40E-04	1.40E-04	3.13E-04	1.40E-04	2.25E-04	1.45	1.45	1.45	1.83	1.45	1.67
11	VA	$Y=1.580\log X+7.29$	2.08E-04	2.08E-04	2.08E-04	2.58E-04	2.08E-04	2.08E-04	1.47	1.47	1.47	1.62	1.47	1.47

^{a)}X=concentration (ppm) and Y=odor intensity (Refer to Nagata (2003))

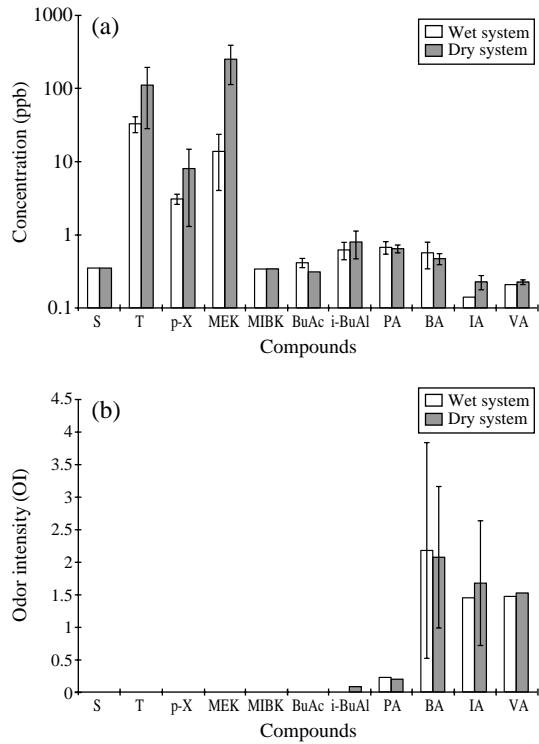


Fig. 5. Comparison of the concentration and odor intensity between different odor compounds.

느낄 수 있는 냄새, 2: 무슨 냄새인지 식별이 가능한 냄새, 3: 쉽게 느낄 수 있는 냄새). W지점과 달리 D 지점에서 isovaleric acid와 valeric acid의 경우에도 각각 평균 악취강도가 1.45~1.65로 나타나 감지 가능한 수준의 악취강도로 나타났다. 따라서 빗물받이 내부의 악취성분으로 유기지방산이 어느 정도 기여할 가능성을 배제하기 어렵다.

본 연구와 동시에 실시한 황화합물의 악취도는 H₂S와 MeSH에서 4 이상의 악취강도를 보이고, DMS와 DMDS에서도 2 이상의 악취강도를 보였다(Hong *et al.*, 2010). 이러한 결과를 동시에 감안하면, 하수시스템에서 발생하는 악취류 중, 황화합물에 비해 방향족 및 유기지방산 성분의 기여도가 상대적으로 작다는 것을 확인할 수 있다. Gostelow *et al.* (2001)도 선행 연구를 통해 이러한 경향을 이미 보고한 바 있다. 하수구뿐 아니라 하수처리시스템은 여러 폐수의 유입과 함께 미생물의 분해활동으로 인해 악취의 발생이 이루어진다. 보통 환원황화합물, 질소계 화합물, 유기

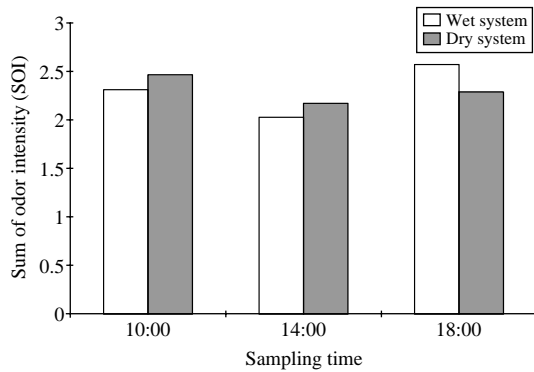


Fig. 6. Comparison of the sum of odor intensity (SOI) between different sampling points.

지방산 성분들이 발생하는데, 특히 H₂S는 하수시스템에서 발생하는 핵심 악취성분으로 지목받은 바 있다(Firer *et al.*, 2008). 또한 하수처리시스템의 악취는 악취도로 비교하였을 때, 냄새를 감지할 수 없는 수준부터 악취강도 3까지 다양하게 변하는 특징을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 전반적으로 악취도 2~3을 나타내면서, 냄새를 빈번하게 감지할 수 있는 것으로 나타났다(Paeng *et al.*, 2005; Paeng *et al.*, 2004)

악취는 단일성분이 아닌, 복합적인 형태로 발생한다. 따라서 이러한 특성을 감안하여, 본 연구에서는 개별성분의 악취강도뿐 아니라 복합악취의 관점에서 모든 조사대상 성분들의 종합적인 악취기여도를 평가하고자 하였다. 여러 가지 악취물질들의 종합적인 악취발생 기여도를 평가하기 위한 하나의 방법으로 악취세기의 합을 SOI(sum of odor intensity)로 산정하였다(Kim and Park, 2008). 이는 일반적으로 0~5까지 관능적인 기준으로 평가하는 악취강도(odor intensity)와 직접적으로 연계할 수는 없다. 그러나 SOI 방식은 상대적으로 여러 가지 개별 악취물질들이 동시에 존재할 때, 이들의 종합적인 강도를 유추하기 위해 수리적으로 합산하는 방식에 해당한다. 이를 통해, 다양한 악취물질들이 존재할 때, 이들의 종합적인 기여도를 동일선상에 비교할 수 있는 하나의 기준으로 활용하는 것이 가능하다.

$$SOI = \log \{ 10^{OI(A)} + 10^{OI(B)} + 10^{OI(C)} + 10^{OI(D)} + \dots \}$$

(A, B, C, D=개별악취성분)

W와 D지점을 구분하여 지점별 SOI를 산출한 결과, 각각 2.83과 2.80으로 나타났다. 따라서 두 지점의 악취세기가 거의 비슷한 수준인 것을 확인하였다. 또한 이들 조사대상 성분들의 결과를 결합한 SOI를 채취 시간대에 따라서 비교한 결과, 10시와 14시에는 D지점에서 2.46과 2.17로 W지점에 비해 SOI가 높은 것으로 나타났다(그림 6). 18시에 SOI는 W지점과 D지점에서 각각 2.57과 2.28로 나타나, W지점의 악취세기가 높게 나타났다. 그러나 빗물받이의 위치 및 시료채취 시간대와 상관없이 SOI 값이 모두 2 이상을 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 우리의 생활주변 환경의 주요 악취 발생원에 해당하는 하수시스템 중, 빗물받이로부터 발생하는 VOC 계열의 악취성분들에 대한 농도분포를 조사하였다. VOC 중에서 가장 먼저 악취성분으로 지정이 이루어진 styrene과 함께, 2008년과 2010년 각각 단계적으로 악취성분으로 지정 및 관리가 이루어지고 있는 방향족 성분 및 케톤류와 유기지방산을 포괄적으로 선정하여 측정을 시도하였다. 이러한 조사를 위하여 서울시 도심지역에 소재하는 세종초등학교 앞에 위치한 두 개의 빗물받이를 선정하였다. 시료의 채취는 일중 3차례 10, 14, 18시에 4시간 간격으로 진행하였다.

본 연구기간 동안 toluene, p-xylene, methyl ethyl ketone을 제외한 다른 VOC 계열 성분들(styrene, methyl isobutyl ketone, isobutyl alcohol, butyl acetate)은 대부분 검출한계 수준 또는 그를 약하게 초과하는 수준으로 나타났다. 또한 유기지방산의 경우도 검출한계 이하 값이 빈번하게 나타났다. 그러나 butyric acid의 경우, W와 D지점에서 각각 2회에 걸쳐 배출허용기준을 초과하는 농도가 나타났다. 이들 주요 악취성분들의 농도분포에 대한 상관분석을 실시하였다. 그 결과, 모든 성분들이 기온이나 습도와 같은 환경조건과의 상관성이 높지 않은 것으로 나타났다. 그러나 악취성분들 간의 관계를 보면, 방향족과 케톤류의 성분들 간에 강한 상관성이 존재하였다. 본 연구에서 측정된 빗물받이에서는 시료채취 당시에도 쉽게 악취를 느낄 수 있었다. 이러한 점을 감안하여, 본

연구의 조사대상인 2008년 이후 지정 악취성분들의 악취기여도를 포괄적으로 취합하여 악취강도로 환산한 결과와 비교 평가하였다. 두 개의 조건이 다른 빗물받이 모두에서 최소감지농도가 비교적 높은 VOC 계열은 악취강도가 대부분 0 수준으로 나타났다. 그러나 유기지방산의 경우, 1~2 이상의 악취강도를 보임으로서, 사람이 감지 가능한 수준으로 나타났다. 이미 다수의 선행연구를 통해 하수시스템에서 악취를 유발하는 주요성분이 H₂S라는 점은 잘 알려져 있다. 이러한 사실을 감안하면, 방향족 성분 및 유기지방산의 기여수준은 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다. 그러나 본 연구의 결과, 유기지방산이 황화합물과 함께 하수시스템의 악취발생에 일정 수준 기여할 수 있는 것으로 판단할 수 있었다. 본 연구에서 조사한 빗물받이는 오수와 빗물이 함께 유입되는 시설로, 악취발생은 오수에 의한 영향이 클 것으로 판단된다. 따라서 보다 정확한 악취발생의 원인을 평가하기 위해서는 추후 빗물받이에 유입되는 오수의 평가도 함께 진행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0093848).

참고 문헌

- Ahn, J.-W., K.-H. Kim, M.-S. Lim, and D.-W. Ju (2009) A study on the calibration characteristics of organic fatty acids designated as new offensive odorants by cryogenic trapping-thermal desorption technique, *Korean J. of Analytical Science and Technology*, 226, 488-497. (in Korean with English abstract)
- Choi, Y.-J., E.-C. Jeon, and K.-H. Kim (2005) The emission characteristics of reduced sulfur compounds in the Ban Wall industrial complex, *Korean J. of Atmos. Environ.*, 21(5), 525-524. (in Korean with English abstract)
- Dincer, F. and A. Muezzinoglu (2006) Chemical characterization of odors due to some industrial and urban facilities Izmir, Turkey, *Atmos. Environ.*, 40, 4210-4219.
- Dincer, F. and A. Muezzinoglu (2007) Odor determination at wastewater collection systems: olfactometry versus H₂S analyses, *Clean-Soil Air Water*, 35(6), 565-570.
- Firer, D., E. Friedler, and O. Lahav (2008) Control of sulfide in sewer systems by dosage of iron salts: Comparison between theoretical and experimental results, and practical implications, *Sci. Total Environ.*, 392, 145-156.
- Gostelow, P., S.A. Parsons, and R.M. Stuetz (2001) Odour measurement for sewage treatment works, *Water Res.*, 35(3), 579-597.
- Hong, O.-F., E. Kabir, J. Susaya, and K.-H. Kim (2010) Characteristics of major offensive odorants emitted from urban sewer grating system, *Korean J. of Analytical Science and Technology*. (in Korean with English abstract)
- Kim, H., L.L. McConnell, and P. Millner (2005b) Comparison of odorous volatile compounds from fourteen different commercial composts using solid-phase micro-extraction, *T. ASAE*, 48(1), 315-320.
- Kim, K.-H. and S.-Y. Park (2008) A comparative analysis of malodor samples between direct (olfactometry) and indirect (instrumental) methods, *Atmos. Environ.*, 42, 5061-5070.
- Kim, K.-H., E.-C. Jeon, Y.-J. Choi, and Y.-S. Koo (2006) The emission characteristics and the related malodor intensities of gaseous reduced sulfur compounds (RSC) in a large industrial complex, *Atmos. Environ.*, 40, 4478-4490.
- Kim, K.-H., S.-I. Oh, and Y.-J. Choi (2004) Comparative analysis of bias in the collection of airborne pollutants: Tests on major aromatic VOC using three types of sorbent-based methods, *Talanta*, 64, 518-527.
- Kim, K.-H., Y.J. Choi, E.C. Jeon, and Y. Sunwoo (2005a) Characterization of malodorous sulfur compounds in landfill gas, *Atmos. Environ.*, 39, 1103-1112.
- Korean Ministry of Environment (KMOE) (2005) Malodor Prevention Law of Korea Ministry of Environment.
- Lee, K.-H., J.-W. Ahn, S.-Y. Park, and K.-H. Kim (2008) Assessment of major the source chemical identification for the Nov. 2007 malodor incident at Shin-Gil district in Seoul, *Korean J. of Odor Research and Engineering*, 7(1), 26-33. (in Korean with English abstract)
- Lee, K.-Y., C.-S. Chung, H.-S. Lee, H.-K. Lee, and G.-H. Hong (2004) Contemporary organic contamination levels in digested sewage sludge from treatment

- plants in Korea: (1) volatile organic compounds, J. of the Korean Society for Environmental Analysis, 7(2), 75-82. (in Korean with English abstract)
- Na, Y.-M. and K.-S. Kim (2007) A reason of gutter odour and its solving methods in Seoul, Korean Society of Environ. Engineers, Proceeding of the Meeting of KSEE, 48-51.
- Nagata, Y. (2003) Odor intensity and odor threshold value, J. of Japan Air Cleaning Association, 41(2), 17-25.
- Paeng, J.-I., H.-S. Park, and H.-M. Kim (2004) Extraction of odor emission source and deodorization test at wastewater treatment plant, J. of Korean Society of Environmental Administration, 10(2), 101-109. (in Korean with English abstract)
- Paeng, J.-I., S.-J. Cho, and H.-M. Kim (2005) Evaluation of odor character at wastewater treatment plant by olfactory method, J. of Korean Society of Environmental Administration, 11(2), 73-79. (in Korean with English abstract)
- Pandey, S.K. and K.-H. Kim (2009) Comparative analysis of odorous volatile organic compounds between direct injection and solid-phase microextraction: Development and validation of a gas chromatography-mass spectrometry-based methodology, J. of Chromatogr. A, 1216, 5436-5444.
- Parra, M.A., D. Elustondo, R. Bermejo, and J.M. Samtamarca (2009) Ambient air levels of volatile organic compounds (VOC) and nitrogen dioxide (NO₂) in a medium size city in Northern Spain, Sci. Total Environ., 407, 999-1009.
- Stuetz, R.M., R.A. Fenner, and G. Engin (1999) Assessment of odours from sewage treatment works by an electronic nose, H₂S analysis and olfactometry, Water Res., 33(2), 453-461.
- Szczurek, A. and M. Maciejewska (2005) Relationship between odour intensity assessed by human assessor and TGS sensor array response, Sensors Actuators B, 106, 13-19.
- Wu, B.-Z., T.-Z. Feng, U. Sree, K.-H. Chiu, and J.-G. Lo (2006) Sampling and analysis of volatile organics emitted from wastewater treatment plant and drain system of an industrial science park, Anal. Chim. Acta, 576, 100-111.
- Yu, M.-S., S.-B. Yang, and J.-S. Ahn (2002) Analysis of volatile organic compounds by GC/MS with the thermal desorber and characterization of the major components attributing to malodor-An analytical example of the odor emitted from the compost of food waste-, Korean J. of Analytical Science and Technology, 15(1), 80-86. (in Korean with English abstract)