

도심 하수관거에서 발생하는 주요 지정악취물질들의 배출특성

홍원필 · Ehsanul Kabir · Janice Susaya · 김기현*

세종대학교 지구환경과학과
(2010. 1. 21. 접수, 2010. 6. 4. 승인)

Characteristics of major offensive odorants emitted from urban stormwater catch basins

One-Feel Hong, Ehsanul Kabir, Janice Susaya and Ki-Hyun Kim*

Department of Environment & Energy, Sejong University, Seoul, Korea
(Received January 21, 2010; Accepted June 4, 2010)

요 약: 도심 지역의 하수관거에서 발생하는 주요 악취성분들의 발생특성 및 배출경향을 평가하였다. 하수관거에서 발생하는 총 6 가지의 지정 악취물질들(H_2S , CH_3SH , DMS, DMDS, CH_3CHO , NH_3)을 주 대상으로 선정하여 조사를 실시하였다. 건조한 조건과 습한 조건을 유지하는 2개의 비교대상 하수관거에서 악취시료를 채취하였다. 측정된 악취물질들을 농도기준의 절대값과 이를 경험식에 주입하여 산출한 악취지수(OI, SOI)를 동시에 활용하는 방식으로 비교분석을 하였다. 실험 결과, 전체 분석 성분 중 CH_3SH , H_2S , DMS 등의 환원황화합물(reduced sulfur compounds: RSC) 성분들이 악취세기에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또 연구결과들을 전체적으로 종합해 보면, 주요 악취성분들의 일간 발생경향은 식생활 및 배수 등의 인간활동과 어느 정도 연관성을 띄고 있음을 알 수 있었다.

Abstract: Emission characteristics of major offensive odorants were investigated using odor samples collected from two urban stormwater catch basins with highly contrasting environmental conditions. A total of 6 major offensive odorants (H_2S , CH_3SH , DMS, DMDS, CH_3CHO (AA), and NH_3) were measured. For this comparative analysis, odor intensity (OI) of all odorants was derived from their concentration data via empirical equations introduced by Nagata. Both the absolute magnitude of odorant concentrations and their OI values were used concurrently to evaluate the occurrence pattern of each individual odorant. According to our analysis, RSCs including CH_3SH , H_2S , and DMS tend to exhibit the highest odor strengths among all 6 compounds investigated. The overall results of our study suggest that the emissions of major offensive odorants from urban stormwater catch basins can be explained at least partially by the temporal trend of human activity.

Key words: offensive odorants, urban stormwater catch basins, odor intensity, CH_3SH , H_2S

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)2-499-9151 Fax : +82-(0)2-499-2354

E-mail : khkim@sejong.ac.kr

1. 서 론

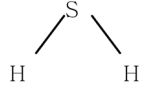
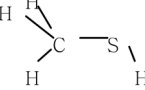
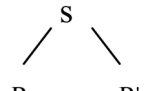
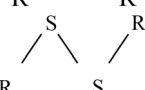
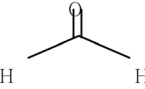
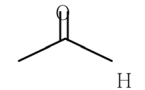
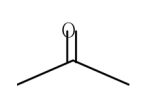
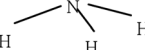
악취성분들은 산업공정, 폐기물의 연소, 생물의 생체활동 등과 같이 매우 다양한 형태의 배출원으로부터 발생한다.¹ 악취문제를 야기하는 여러가지 배출원들 중에서 도심 내부의 하수관거도 환경민원의 주요 대상으로 지목받고 있다. 하수관거는 인구 밀도가 높은 도심에서 생활 오폐수를 운반하는 주요 지하시설물로서, 도시의 필수불가결한 구조물에 해당한다. 그러나 우수의 원활한 배수를 위하여, 일정한 간격으로 지면상에 드러나는 구조를 취하기도 한다. 이러한 형태로 인해, 하수를 하수처리장으로 운반하는 과정에서 하수관거 내부에서 PAH와 같은 발암물질과 함께 여러 가지 악취물질들을 생성 및 배출하는 문제를 야기

할 수도 있다.²

우리나라의 악취민원에 대한 발생사례를 2000년을 기준으로 비교해 보면, 경남 및 부산 지역에서 가장 빈번하게 발생한 것으로 나타난다.³ 또한 부산지역의 경우, 환경기초시설에서 발생하는 악취물질 관련 민원 중 약 67%가 하수처리시설과 관련된 것으로 나타났다.⁴ 2007년 11월 서울시 신길동 지역을 중심으로 발생한 대규모 악취유출사건 또한 하수관거를 통한 오염물질의 유출이 가장 중요한 원인으로 지목 받은 바 있다.⁵

본 연구에서는 도심 하수관거 내부에서 발생하는 악취유해물질의 배출특성 및 악취강도를 알아보고자 하였다. 이를 위해, 서울시 군자동 지역에 위치한 동일한 형태의 2 개의 하수관거를 측정 지점으로 선정

Table 1. A list of target odorants investigated in this study

Type	Full name	Pollutants		Structural formula	CAS number	Odor threshold ^a (ppb, v/v)	MDL ^b (ppb)	Precision ^c (RSE, %)
		Short name						
A. Reduced Sulfur Compounds	Hydrogen sulfide	H ₂ S	H ₂ S		7783-06-04	0.41	0.52	8.09
	Methyl mercaptan	CH ₃ SH	CH ₃ SH		74-93-1	0.07	0.34	7.38
	Dimethyl sulfide	DMS	(CH ₃) ₂ S		75-18-3	3.00	0.24	9.38
	Dimethyl disulfide	DMDS	(CH ₃) ₂ S ₂		624-92-0	2.20	0.12	5.95
B. Carbonyl Compounds ^d	Formaldehyde	FA	HCHO		50-00-0	500	2.11	0.74
	Acetaldehyde	AA	CH ₃ CHO		75-07-0	1.5	1.15	0.49
	Acetone	AC	CH ₃ COCH ₃		67-64-1	NA	0.63	0.74
C. Nitrogenous	Ammonia	NH ₃	NH ₃		7664-41-7	1500	30.0	0.81

^aOdor thresholds measured by the triangle odor bag method (Nagata, 2003)

^bMethod detection limit: SD (of 7 replicate analysis)×3.14

^cRelative standard error= {SD / sqrt (n)} ÷ mean value

^dAlthough FA and AC do not belong to strong odorant category, their data are also presented: as these compounds were frequently detected above DL, their data were also provided as reference components of odor analysis.

하여, 총 15 차례에 걸쳐 악취물질을 측정하였다. 이는 2009년 8월 기간 중 5 일 동안 매 일별 오전, 오후, 저녁의 4 시간 간격으로 인간의 식생활 주기를 고려하여 일중 3 회씩 sampling하는 방식으로 악취시료를 채취하였다. 이러한 조건에서 측정된 악취물질들의 농도를 시간의 함수와 연계하는 방식으로 분석하였다. 이를 통하여, 도심 내부의 하수관거에서 발생하는 악취물질들의 배출경향 및 성분별 악취기여도를 평가하였다.

2. 실험방법

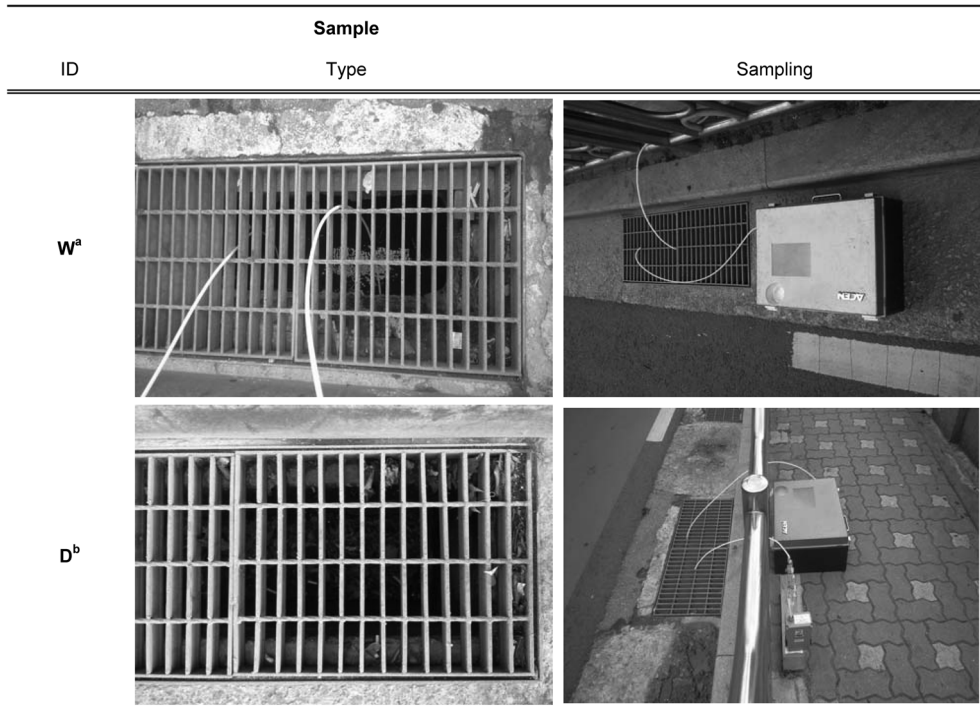
2.1. 대상 악취물질

본 연구에서는 도심 지역의 하수구에서 발생하는 악취배출의 경향성을 파악하기 위해, 일반적으로 악취기여도가 높은 것으로 알려진 총 6 가지의 악취물질들, 즉 (1) 4 가지 황화합물(황화수소 (H_2S), 메틸 머캡탄(CH_3SH), 다이메틸설파이드(DMS), 다이메틸다이설파이드(DMDS)), (2) 카보닐 화합물(아세트 알데하이드(AA)), (3) 질소 화합물(암모니아 (NH_3))을 주 조사대상으로 선정하였다. 선정된 6 가지 악취물질들은

지정 악취물질에 해당한다.⁶ 이와 같은 6 가지 주요 악취물질들의 자세한 정보 및 검출한계 등에 대한 내용은 Table 1에 제시하였다. 그리고 AA의 분석과정에서 동시 분석이 가능한 두 가지 알데하이드 성분(폼알데하이드 (FA), 아세트 (AC))도 참고성분으로 결과를 제시하였다. 이들 성분들은 상대적으로 악취도가 낮기 때문에 악취물질로 분류하지 않는다.

2.2. 시료채취

본 연구에서는 악취배출의 경향을 다양한 조건에서 살펴보고자 서울시 광진구 군자동에 위치한 세종대학교 주변 지역의(2 가지 다른 성격의) 하수관거를 조사 대상 지점으로 선정하였다. 두 지점은 편의상 항상 하수가 흐르는 습한(W: wet) 특성과 하수가 거의 존재하지 않는, 즉 건조한(D: dry) 특성을 구분할 수 있는 곳으로 선정하였다. 각 지점에서 시료의 채취는 하루 3회씩(10:00, 14:00, 18:00) 4 시간 간격으로 8월 18일부터 8월 26일 사이에 총 5 일간을 임의로 택하여 실시하였다. 시료채취 지점 및 채취 현장은 Fig. 1에 또한 시료채취 당일의 온·습도 변화는 Table 2에 나타내었다.



^aW=wet, ^bD=dry system

Fig. 1. A picture of two sewer grate (stormwater catch basin) sites for the collection of the major odorant samples.

Table 2. Information of sample collection intervals and the corresponding environmental conditions in this study

Sampling condition		Time	Temperature (°C)		Humidity (%)	
Day	Date		W point	D point	W point	D point
1st	09-08-18	10:00	29.6	27.6	NM ^a	NM
		14:00	27.9	31.2	82.5	67.1
		18:00	31.1	29.0	62.6	64.0
2 nd	09-08-19	10:00	26.8	29.3	82.4	76.8
		14:00	31.3	29.5	72.5	74.7
		18:00	29.0	30.5	78.3	65.3
3 rd	09-08-21	10:00	29.3	25.9	71.0	85.0
		14:00	27.6	30.6	61.3	48.6
		18:00	29.7	30.5	39.0	39.0
4 th	09-08-25	10:00	27.5	25.7	80.0	88.0
		14:00	28.0	27.2	82.0	83.0
		18:00	27.2	26.7	68.5	73.5
5 th	09-08-26	10:00	27.6	26.2	NM	100
		14:00	26.8	28.0	94.5	96.7
		18:00	24.5	25.1	93.9	84.0

^aNot measured

황화합물의 분석을 위해, 진공채취 방식의 Lung sampler(ACEN, Korea)에 10 L 부피의 Tedlar bag을 연결, sampler의 유입구와 하수관거 내부를 Teflon 라인으로 연결하여 압력의 차이를 이용하는 방식으로 시료를 채취하였다(Fig. 1). Carbonyl 성분들의 채취는 적산유량형 소형펌프(Sibata Σ-300, Japan)에 DNPH cartridge (Plus short body, 360 mg, Waters, Ireland)를 연결하여 사용하였다. 이 역시 카트리지의 유입구와 하수관거 내부를 Teflon 라인으로 연결하여 펌프를 가동시켜 카트리지 내부로 공기를 통과시켜 주는 방식으로 완성하였다. 암모니아 시료는 봉산흡수용액을 임핀저 시스템과 미니펌프(Sibata, Japan)를 연결, 임핀저 시스템의 유입부분과 하수관거 내부를 Teflon 라인으로 연결하여 채취하였다. 각각의 시료채취 시스템을 이용한 시료의 채취는 라인을 하수관거 내부로 충분히 삽입하여, 시료의 주입이 원활하게 이루어지도록 유도하였다.

2.3. 분석시스템의 구성 및 실험방법

Reduced sulfur compounds (RSC) 성분들에 대한 분석을 위해, pulsed flame photometric detector (PFPD: Model 5380, OI Co., USA)형 검출기를 장착한 gas chromatography (GC) 시스템(DS 6200, Donam Instrument, Korea)을 사용하였다. 황화합물이 비교적

넓은 범위의 농도대에서 발생하는 점을 감안하여, 저농도대의 분석이 용이한 열탈착 분석기(thermal desorption (TD): Unity, Markes International, Ltd, UK)를 GC/PFPD 시스템과 조합하여, 저온농축 방식으로 분석하였다. RSC 성분의 경우, air server (AS)를 통해, 40 mL/min의 유속으로 1분간 TD에 시료를 주입하면서 저온농축을 유도하였다. 또한 본 실험에 앞서 실시한 예비적 성격의 시험을 하였다. 그 결과에 의하면, W 지점의 경우 H₂S성분의 배출농도가 다른 성분들에 비해 약 200배 이상 높게 나타났다. 따라서, 수 ppm 수준 또는 그를 초과하는 W 지점의 시료는 변형주입(modified TD injection method) 방식을 적용하여 분석하였다. 이를 위해, 초순도 질소(99.999% 이상)를 AS 라인으로 40 mL/min의 유속으로 2분간 주입하는 조건에서, multi-stream line상에 약취시료를 0.2 mL 만큼 직접 주사하였다.⁷ 이렇게 고농도 시료에 대해 변형주입 방식을 적용할 경우, 희석에 따른 시료분석의 오차를 저감시켜 주는 것이 가능하다. 이러한 방식은 고농도 시료의 분석에 대단히 유용하다는 것을 확인한 바 있다.⁸

Carbonyl 성분들에 대한 분석은 high-performance liquid chromatographic (HPLC: Model 500, Lab Alliance, USA)에 기반한 UV 시스템을 활용하여 다음과 같은 분석하였다. 검출과장은 DNPH (349 nm)와 carbonyl

Table 3. The operational conditions of all instrumental systems employed in this study

A. GC/TD system for RSC analysis

[1] GC system^a

1) Injector			3) PFPD		
Off			Model 5380, O.I. Analytical (USA)		
			detector temp.:	250	°C
			air(1) flow:	10	mL/min
2) Oven			air(2) flow:	10	mL/min
initial temp:	80	°C	H ₂ flow:	11.5	mL/min
rate:	20	°C/min	4) Column		
final temp:	200	°C	BP-1, SGE (Australia)		
initial hold:	4.5	min	film thickness:	5	µm
final hold:	9.5	min	length:	60	m
total time:	20	min	diameter:	0.32	mm

^aGC (DS 6200, Donam Instrument, Korea)

[2] Thermal desorption conditions of AS/TD^b

cold trap:	Carbopack B+Silica Gel		= 1.5 : 2.5 (volume ratio)		
split ratio:	10:1		trap low:	-15	°C
split flow:	15	mL/min	trap high:	250	°C
hold time:	5	min	flow path temp:	80	°C

^bTD (UNITY, Markes International, Ltd., UK)

B. HPLC/UV system^c for carbonyl compounds analysis

1) Injector			3) UV detector		
volume:	20	µL	Model 500, Lab Alliance (USA)		
			wavelength:	360	nm
2) Pump			4) Column		
flow rate:	1.5	mL/min	Model: 5 C18, Hichrom (UK)		
mobile phase:	acetonitrile : water = 7:3		film thickness:	4.6	µm
analysis time:	15	min	temp:	20	°C

^cHPLC (Series 1500, Lab Alliance, USA)

C. UV/VIS^d system for ammonia analysis

1) Impinger system			2) UV/VIS		
pump Flow rate:	2.5	L/min.	wavelength:	635	nm
volume absorbed:	5	L	temperature :	20	°C
absorption time:	2	min.	He flow :	10.6	mL/min
temperature:	20	°C	Air flow :	175	mL/min
boric acid volume:	50	mL		∞	∞

^dUV/VIS (GenesysTM 10 series, Thermo Electron Corp., USA)

성분들의 최대 흡광도(364 nm)를 동시에 고려하여, 360 nm로 고정하였다. HPLC용 펌프는 이중 헤드펌프를 이용하여 노이즈를 최소화시켰다. 시료의 안정적

인 주입을 위해 20 µL 샘플루프를 이용하여 주입량을 고정시켜 주었다. DNPH cartridge에 농축시킨 시료는 HPLC용 Acetonitrile 용액 5 mL로 용출한 후, HPLC

로 분석을 실시하였다.⁹

NH₃의 분석은 인도페놀법을 적용하여 UV/VIS 분광계측기(Model Genesys 10 series, Thermo electron Corp., USA)로 분석하였다. 봉산용액을 담은 임핀저 흡수병에 가스상 시료를 통과시켜 주는 방식으로 흡수액에 NH₃ 성분의 흡수를 유도하였다. 이렇게 흡수한 시료는 니트로푸르시드 용액과 차아염소산 나트륨 용액을 첨가하여 발색시킨 후, 635 nm 파장대에서 분석하였다.¹⁰ 본 연구에서 선정된 악취물질들의 분석에 사용한 분석기기의(기본적인 분석조건) 설정 조건은 Table 3에 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 관측한 각 악취성분들의 배출 농도 자료를 개별성분의 농도값을 기준으로 비교하였다. 그리고 악취의 세기라는 관점에서 동일한 기준으로 평가하는 것이 중요하다. 따라서 경험식에 기초한 이론적인 악취지수에 해당하는 odor intensity (OI) 또는 이러한 OI를 합산한 sum of odor intensity (SOI)로 전환 후 비교하였다(Table 4). 참고로 이러한 odor index는 악취성분들의 농도를 악취세기로 전환시켜 줌으로써,

농도 자료로부터 판단이 어려운 악취의 강도와 발생 추이의 평가가 가능하다.^{11,12} 이와 같이 악취세기가 다른 화합물들에 대해 비교기준을 단일화하면 관측 결과의 객관적 평가가 용이하다. 이러한 방식은 실제로 사람의 냄새 감지유무를 통해 악취의 희석배수로 악취세기를 결정하는 악취관능법의 결과와도 상당한 유의성을 갖는다.¹³

본 연구에서는 이와 같이 악취세기에 대한 평가방법을 적용함으로써, 조사대상 지점으로 설정한 두 곳의 하수관거에서 발생하는 악취성분들의 발생특성을 좁은 범위의 시간의 경과에 따른 거동의 변화특성 또는 주변 환경과의 관계를 파악하였다.

3.1. 성분 별 악취물질들의 발생 경향 및 악취강도 비교

도심내부의 하수관거에서 발생하는 악취물질들의 배출을 파악하기 위해, 두 개의 대조적인 측정점, W (wet)과 D (dry)을 조사하였다. 그리고 이들 지점에서(8월 18일부터 8월 26일에 걸쳐) 임의로 택한 5일 기간 동안 주요 악취성분들의 배출농도에 대한 분석을 실시하였다. 그리고 그 결과를 종합하여 각 성분 별 배출경향을 포괄적으로 비교하고자 하였다. 이를

Table 4. Information of three approaches used for the conversion of concentration into odor strength indices

A. Notation of summation terms for individual odorants and the associated conversion formula

Order	Odor parameter	Acronym	Function
1	Odor intensity	OI	Derived from functional formula of individual odorants, as shown in 'B' section
2	Sum of odor intensity	SOI	$\text{Log} (10^{\text{OI1}} + 10^{\text{OI2}} + \dots + 10^{\text{OIi}})$

B. Odor intensity (OI) fomula for reduced sulfur compounds^a

Odorant			Odor intensity and corresponding concentration (ppm)				
Group	Name (short)	Funtional formula ^b					
			1	2	3	4	5
			very week	week	distinct	strong	very strong
Reduced	H ₂ S	Y= 0.950logX+4.14	5.0×10 ⁻⁴	5.6×10 ⁻³	6.3×10 ⁻²	7.1×10 ⁻¹	8.00
Sulfur compounds	CH ₃ SH	Y= 1.250logX+5.99	1.2×10 ⁻⁴	6.5×10 ⁻⁴	4.1×10 ⁻³	2.6×10 ⁻²	1.6×10 ⁻¹
	DMS	Y= 0.784logX+4.06	1.2×10 ⁻⁴	2.3×10 ⁻³	44.5×10 ⁻³	8.4×10 ⁻¹	16.0
	DMDS	Y= 0.985logX+4.51	2.8×10 ⁻⁴	2.9×10 ⁻³	2.9×10 ⁻²	3.0×10 ⁻¹	3.10
Carbonyl compounds	FA ^c	Y=1.530logX+1.59	4.1×10 ⁻¹	1.90	8.30	38.0	170
	AA	Y=1.010logX+3.85	1.5×10 ³	1.5×10 ⁻²	1.4×10 ⁻¹	1.40	14.0
	AC ^c	Y=1.790logX-1.64	30.0	110	390	1400	5100
Nitrogenous	Ammonia	Y=1.670logX+2.38	1.5×10 ⁻¹	5.9×10 ⁻¹	2.40	9.30	37.0

^a Nagata (2003), Odor intensity (Y) and odorant concentration (X)

^b All concentrations are plugged in ppm unit

^c Refernce compound

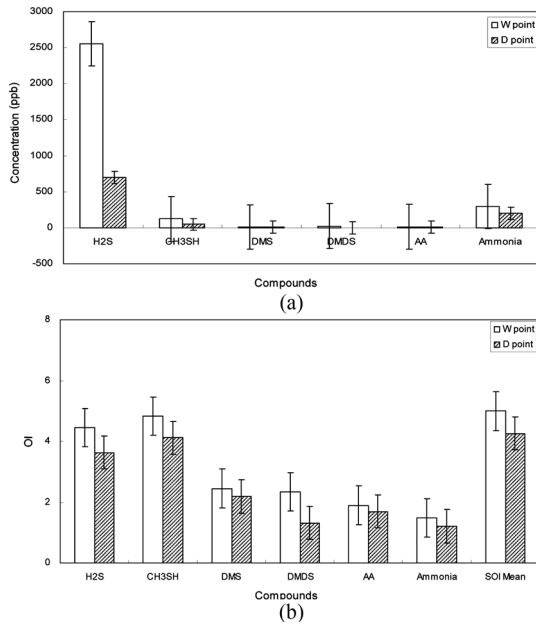


Fig. 2. Comparison of the mean emission concentrations and the associated OI values of 6 individual odorants measured from two sewer grates during the entire study period. (a) Emission concentration of odorants and (B) the corresponding OI values of odorants

15회에 걸쳐 개별적으로 관측한 전체 분석결과의 평균값을 성분별로 구분하여 Fig. 2에 제시하였다.

RSC 성분의 경우, 대부분의 성분이 배출허용 기준 (“배출허용기준 및 엄격한 배출허용기준의 설정범위” (제 8조 제 1 항 관련))에서 정의한 기타 지역(2007년 개정)을 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 RSC 성분들이 악취에 대해 미치는 상대적인 기여도가 가장 높다는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 평가를 체계적으로 접근하기 위해, 먼저 본 연구에서 선정한 6 가지 악취 물질들의 측정 농도를 기준으로 비교하였다. 비교 결과, H₂S 성분이 확연하게 높은 농도수치를 보였다 (Fig. 2A). W와 D 지점에서 H₂S의 평균 배출농도가 각각 2554(±532)와 699(±334) ppb로 나타났다. 이와 같이 높은 배출농도를 보이는 H₂S 성분은 하수 처리와 관련하여 발생하는 대표적인 악취성분으로 지목 받은 바 있다.¹⁴ CH₃SH의 경우, W와 D지점에서의 평균 배출농도가 각각 122(±34.1), 46.8(±19.1) ppb를 기록하였다. DMS와 DMDS의 경우, 이 들보다 훨씬 낮은 5~20 ppb 수준으로 나타났다.

Carbonyl compounds의 경우, 총 13 가지 성분을 대상으로 분석을 실시하였다. 그러나 3 가지 성분

(formaldehyde (FA), acetaldehyde (AA), acetone (AC))을 제외하고는 모두 검출한계 이하 수준으로 나타났다. 또한 3 가지 성분들 중 지정악취물질에 속하는 AA성분이 W와 D 지점에서 각각 11.8(±3.08), 7.48(±2.91) ppb 수준으로(RSC에 비해) 상대적으로 낮은 측정 농도를 보였다. Ammonia 성분의 경우, 그 배출농도가 W와 D 지점에서 각각 296(±46.2), 198(±51.2) ppb로써, 허용기준에 대비하여 비교적 낮게 나타났다.

농도 기준의 분석 결과를 악취의 세기의 관점에서 비교하기 위하여, 관측한 악취농도를 OI 개념을 적용하여 환산하였다. 이러한 방식으로 6가지 개별 악취성분들의 농도를 OI로 전환하였다. 그리고, 이 들 개별 성분들이 동시에 존재하는 복합악취는 개별 OI를 모두 합하고, 이를 log 함수로 합산한 SOI의 형태로 구하여, Fig. 2B에 제시하였다. 그 결과, 악취의 세기는 W, D 지점에서 모두 CH₃SH, H₂S, DMS 순으로 높게 나타났다. 그리고 관측이 이루어진 5 일간 악취의 배출 농도에 대한 평균값을 구한 후, 이 들 3 성분들에 대한 평균값으로 산출한 OI값은 W지점에서 각각 4.8, 4.5, 2.4 그리고 D 지점에서 각각 4.2, 3.6, 2.2를 기록하였다. 특히, CH₃SH와 H₂S성분의 경우, 냄새의 관점에서 4~5 도에 근접하는 매우 강한 수준에 해당한다 (Table 4). 이러한 결과는 가시적인 배출농도에 대비해, 이 들 성분들의 실제적 체감 기여도가 높다는 것을 의미한다. 또한 SOI를 기준으로 보면, CH₃SH, H₂S, DMS 등의 RSC 성분들이 악취의 주요 요소임을 알 수 있다. 이 외에 DMDS, AA, ammonia 성분들의 경우 간신히 느낄 수 있거나, 식별 가능한 정도의 수준으로 나타났다. 특히 ammonia 성분의 경우 배출농도의 크기는 타 성분에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 그러나 그에 대한 최소감지농도(1500 ppb)를 감안할 경우, 실제 악취의 세기는 미미한 수준에 해당한다.

하수 처리시설에서 발생하는 악취 중 황화합물의 절대적 기여도는 이미 다수의 선행연구를 통해 조사하였다.^{15,16} 전라북도 보건환경 연구원에서 실행한 환경기초시설들에 대한 선행연구의 경우에도, 황계열 악취물질들의 악취 기여도가 약 60~90%에 달하는 것으로 보고한 바 있다.¹⁷ 이들 연구결과에 의하면, 생활 하수 및 산업폐수에 포함된 다량의 황산염이 황산염 분해 박테리아 등의 특정 메커니즘에 의해 환원하는 과정에서 H₂S가 다량 발생하는 것으로 알려져 있다. 또한 하수도에서는 황 함유 아미노산이 분해되면서, CH₃SH, DMS, DMDS 등의 생성을 촉진할 수도 있다.¹⁸

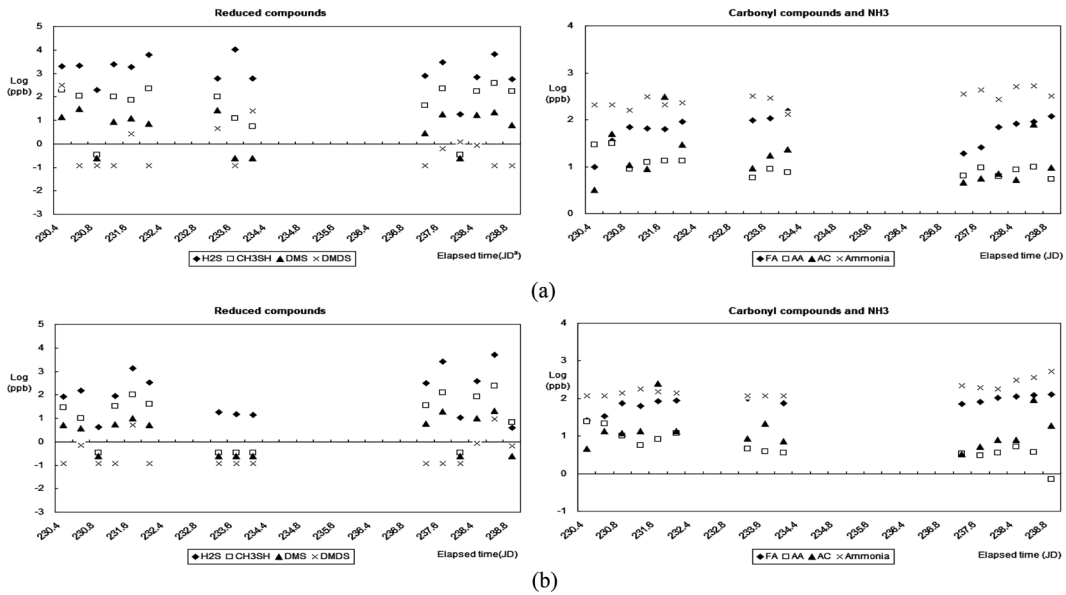


Fig. 3. Temporal changes in odorant concentration levels from two sewer grating systems during the entire study period. (a) W(wet) point, (B) D(dry) point

3.2. 시간의 흐름에 따른 악취물질 발생 경향 및 악취농도 비교

본 연구에서는 여름철 기간 중 총 5일에 걸쳐 4시간 간격(10:00, 14:00, 18:00)으로 매일 3회에 걸쳐 하수관거내의 악취 시료를 채취하였다. 이렇게 설정한 조건에서 실험을 진행하였기 때문에, 일 중 시간대(아침-정오-저녁)의 차이에 따른 악취물질들의 배출경향을 비교하는 것이 가능하다. Fig. 3에는 개별 악취물질들의 성분 별 농도차이가 대단히 크게 나타나는 점을 감안하여, 모든 농도 값을 로그 단위로 변환한 후, 시간의 함수로 비교하였다.

우선 RSC 성분의 경우, DMDs를 제외한 3가지 성분들이 모두 유사한 배출경향을 보였다. 시료채취 2번째 날을 제외하고는 모두 일관성 있게 아침부터 정오까지 배출농도가 증가하였다가 저녁 시점에 감소하는 경향성을 보였다. 대표적인 예로 시료채취 4번째 날, W point의 경우 H₂S (799 → 3038 → 17.5 ppb), CH₃SH (43.3 → 226 → 0.34 ppb), DMS (2.76 → 17.7 → 0.24 ppb)로 배출농도가 하루 중 가파르게 변하는 모습을 보였다. 또한 하수처리 시스템을 대상으로 한 선행연구¹⁹에서 H₂S 성분의 일 중 배출농도변화를 살펴 보면, 본 연구에서 관측한 시간적 추이와 상당한 유사성을 볼 수 있다. 결과에 따르면, 구체적으로 오전 7시부터 배출농도가 증가하기 시작하여(45 ppm), 약

13 시경에 그 배출농도가 최고점에 달했다(130 ppm). 또한 그 이후로는 점차 배출농도가 감소하는 경향을 보였다. 결과적으로 이러한 양상은 본 연구의 결과와 상당부분 일치하는 모습을 보인다. 그러나 이와 같이 3 가지 다른 RSC 성분들의 배출농도가 변화할 때, DMDs는 변함이 없거나 오히려 감소하는 다소 대조적인 경향을 보였다. 이러한 일 중 시간의 변화에 따른 악취성분들의 배출경향은 동물의 축사에서 발생하는 악취의 배출경향과도 유사하다. 본 연구와 비슷한 시기인 1992년 9월 중 총 4 일에 걸쳐 실행한 선행 연구에 의하면, 전반적인 악취의 발생이 오전부터 오후까지 증가하였다가, 밤이 되면서 급격히 감소하는 모습을 확인한 바 있다.²⁰ Carbonyl 성분을 대표하는 AA는 시간의 흐름에 따라 농도가 증가한 후 감소하는 배출경향을 보였다. 대표적으로 시료채취 첫째 날, W point의 경우 AA (29.6 → 31.7 → 9.01 ppb)와 같이 배출농도가 변하는 모습을 보였다. 반면, Ammonia 성분의 경우, W와 D-point에서 모두 다양한 경향을 보이며 뚜렷한 경향성을 찾을 수 없었다.

악취물질들에 대한 시간적 변화 추이에 대한 평가도 악취제거의 관점에서 비교하기 위해, OI값으로 전환한 결과를 Fig. 4에 제시하였다. 우선 CH₃SH, H₂S, DMS, AA 등 총 6 가지 대상 악취성분 중 4 개의 성분들이 W와 D point에서 모두 정오 시간대에 최대

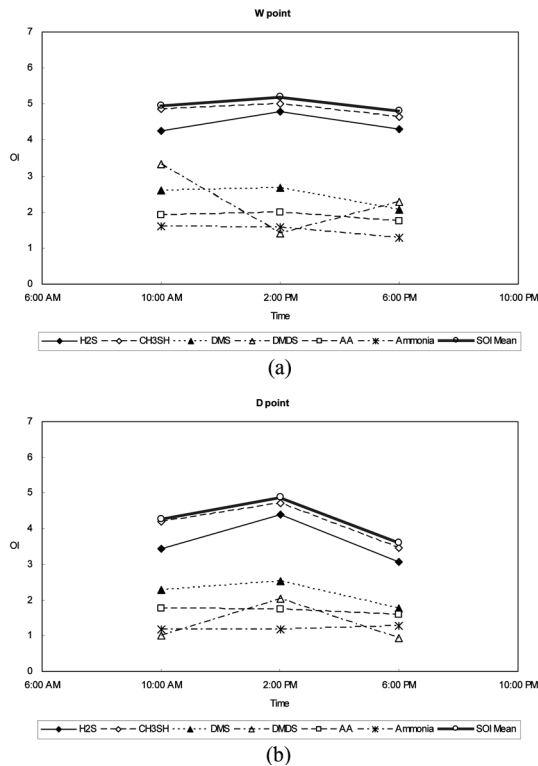


Fig. 4. Comparison of odorants concentration levels between 3 daily sampling intervals of day. (a) W(wet) point, (b) D(dry) point

강도를 취하는 경향을 보였다. 이 외에 DMDS 성분은 시간의 흐름에 따라 오히려 증가하였고, ammonia 성분은 별다른 변화를 보이지는 않았다. 또한 이러한 6 가지 성분들의 악취기여도를 총괄적으로 동시에 감안할 수 있는 SOI값을 기준으로 비교하였을 때, 그 결과는 CH₃SH와 절대적 및 상대적 관점에서 가장 유사한 경향을 보였다. 이러한 결과들을 종합해 보면, W와 D point에서 모두 시간의 흐름에 따라 증가 후 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과에 의하면, 6가지 성분 중 가장 높은 악취의 세기를 나타내는 CH₃SH와 H₂S 성분이 하수구에서 발생하는 악취에 가장 높은 기여도를 보인다는 것을 알 수 있다. 또한 SOI값과 이들 2 가지 성분의 OI값에 큰 차이가 없다는 것 또한 이러한 사실을 뒷받침 해 준다.

4. 결 론

도심 내부 하수관거에서 발생하는 악취 배출의 경향 및 악취의 강도를 파악하기 위해, 총 6 가지의 지

정 악취물질들과 2가지 참고물질들을 택하여 조사하였다. 그리고 건조 또는 습한 조건의 하수관거를 대표할 수 있는 2 지점을 sampling point로 선정하였다. 이러한 조건에서 측정된 악취물질들의 농도를 시간의 함수로 연계하여 분석하였다. 또한 이들의 배출 농도는 악취지수(OI, SOI)로 전환하여, 악취의 세기를 다양한 관점에서 파악하고자 하였다.

그 결과, 대부분의 RSC 성분들이 각각의 배출허용 기준을 초과하며 배출이 이루어지는 것으로 나타났다. 악취강도를 기준으로 살펴보면, 총 6가지 성분 중 CH₃SH, H₂S, DMS 순으로 RSC 성분들의 기여도가 절대적인 것으로 나타났다. 이 중 각각 첫 번째, 두 번째로 높은 악취지수를 나타내는 CH₃SH 또는 H₂S 성분의 경우, 악취도의 관점에서 각각 5, 4도의 강한 수준으로 나타났다. 또한 이 2가지 성분들의 OI값이 전체를 대표하는 SOI값에 근접하는 것을 확인하였다. 이 외에 DMDS, AA, Ammonia 성분들의 경우 전체적인 악취 기여도가 거의 미미하였다.

상한 배추 냄새나 썩은 계란 냄새와 같은 특징을 지닌 RSC성분들의 특성을 감안할 때, 이러한 결과는 주로 음식물이 포함된 쓰레기 및 생활 하수의 처리가 하수 악취의 중요한 원인으로 작용한다는 것을 추정할 수 있다. 또한 이러한 관점에서 볼 때, 하수관거에서 발생하는 악취물질들의 경시적 배출경향은 식생활과 배설을 포함한 인간의 하루 활동이 가장 활발한 낮 시간과 그 활동이 정리되는 시점인 밤 시간대에 각각 다른 형태로 영향을 받는다는 것을 유추할 수 있다. 본 연구에서 진행한 예비적인 실험의 결과를 감안할 때, 주거지역, 산업지역, 상업지역 등 각 인간활동의 영역별 악취배출의 경향을 보다 체계적으로 진단할 수 있는 종합적인 후속연구가 필요하다. 또한 보다 장기간에 걸친 현장조사를 적용하여, 더욱 일관성이 높은 자료를 확보하기 위한 노력이 필요하다.

감사의 글

이 과제는 2001년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행함(No. 2009-0093848).

참고문헌

1. R. Fernandez, R. Pereiro and S. Medel, *Anal. Chim. Acta*, **471**, 13-23(2002).
2. 나기정, 김두희, *環境科學研究所論文集*, **5**, 1(1991).

3. 환경부, 한국대기환경학회 (2001).
4. 이태윤, 김도용, 김재진, 이준기, 한국지반환경공학회, **10**(2), 13-20(2009).
5. 이기현, 안지원, 박신영, 김기현, 한국냄새 환경학회지, **7**(1), 26-33(2008).
6. “개정 악취 방지법”, Korean ministry of environment (2008).
7. K. H. Kim, *J. Sep. Sci.*, **31**(10), 1761-1768(2008).
8. 홍원필, 김기현, In press
9. R. Pal and K. H. Kim, *Anal. Chim. Acta*, **610**, 289-296(2008).
10. 김기현, 박신영, 김선태, 한국분석과학회, **18**(5), 425-430(2005).
11. K. H. Kim and S. Y. Park, *Atmos. Environ.*, **42**(20), 5061-5070(2008).
12. M. Jurgens, F. Jacob, P. Ekici, A. Friess and H. Parlar, *Atmos. Environ.*, **41**, 4571-4584(2007).
13. 박신영, 세종대학교 대학원(2008).
14. O. Hao, J. Chen, Li. Huang and R. Buglass, *Critical Reviews in Environ. Sci. Tech.*, **26**(1), 155-187(1996).
15. 박귀환, 오길영, 이지현, 정경훈, 정선용, 한국냄새 환경학회지, **4**(4), 196-206(2005).
16. 박상진, 서정석, 한국대기환경학회 **1**, 217-218(1998).
17. “환경기초시설 악취 저감 방안 연구”, 전라북도 보건 환경연구원 (2007).
18. 김정웅, Kweku Sekyama, 이도원, 김현욱, 한국냄새 환경학회, **5**(3), 180-192(2006).
19. S. Lau, E. Khan and M. Stenstrom, *Water Sci. Technol.* **44**, 23-34(2001).
20. G. Schaubberger, M. Piringner, E. Petz, *J. Agric. Engng. Res.*, **74**, 251-259(1999).