

SIFT-MS를 이용한 부산 공단지역 배출원별 지정악취물질 배출 특성 연구

정태욱*

Study on Emission Characteristics of Designated Odor Substances by Emission Source in Busan Industrial Complex Area Using SIFT-MS

Tae-Uk Jeong 

부산광역시 보건환경연구원

Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment, Busan 46616, Korea

* Correspondence: masango48@korea.kr

<https://doi.org/10.5338/KJEA.2025.44.14>

Agric. Environ. Sci. 2025, 44, 131-142

Received: March 16, 2025

Revised: March 25, 2025

Accepted: April 2, 2025

Published: April 18, 2025

Online ISSN: 2233-4173

Print ISSN: 1225-3537



Check for updates

© The Korean Society of Environmental Agriculture 2025



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: In this study, the emission characteristics of designated odor substances emitted from 11 odor emission sources in the industrial complex area were investigated using SIFT-MS for efficient management of malodor emission facilities in the industrial complex area of Busan. The concentration distribution, odor activity value (OAV), odorous contribution rate (OCR), and odor intensity (OI) of designated odorous substances for each emission source were identified. By creating a pollution rose map, we identified the direction and distance affecting the measurement point and secured basic data for management and reduction of odor in the industrial complex area. The concentrations of acetaldehyde and trimethylamine were high in wastewater treatment companies. High concentrations of butanoic acid were detected in food manufacturers and feed manufacturers that handle something related to food. The sum of the concentrations of 20 designated odor substances was highest (4.732 mL/m^3) at the SS-3 site of the wastewater treatment company, followed by SS-2 > GJ-2 > SS-1. In the case of OAV of designated odor substances, it was the highest (5352.9 mL/m^3) at SS-3 site, followed by SS-2 > GJ-2 > SH-1. Based on OVA, the OCR of trimethylamine among amines, methyl mercaptane among sulfur compounds, acetaldehyde among aldehydes, and butanoic acid and valeric acid among organic acids was high. The result of odor intensity was that TMA in wastewater treatment companies and methyl mercaptane in food waste disposal company was high. As a result of creating a pollution rose map, the SH-3 site which is located in precision machinery facilities showed a high concentration of odorous substances when the north wind blew. In the case of the SH-4 site, a food manufacturer, it was greatly affected by the southeast wind blowing from manufacturers are scattered. At GS-1 site, casting manufacturing business, the high concentration was observed when the northeast wind blew from the industrial complex area, which is in the opposite direction to the sea.

Keywords: Odor contribution rate, Odor intensity, Pollution rose map, SIFT-MS

서 론

악취란 자극성 있는 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로써, 대표적인 감각공해 중의 하나이다. 이러한 악취물질은 각종 제조시설의 제품 생산과정, 폐수 및 폐기물을 처리하는 과정에서 많이 발생되고 있으며, 음식점, 세탁시설 등 다양한 생활시설에서도 악취가 발생한다[1]. 악취는 수백여 종의 화학물질들이 관여하여 발생하는 심미적 공해 요소이기 때문에 단일 물질 측정으로 관리하는 것이 어려워 인간의 후각을 이용한 관능 평가가 다양한 냄새물질에 대해 대응할 수 있는 등 현재로서는 가장 효율적인 모니터링 방법이나, 냄새의 객관성을 보장하지 못하는 단점이 있다[2]. 이러한 단점을 보완하기 위한 지정악취물질의 분포 특성 파악을 통해 악취의 원인을 명확히 규명할 수 있고[3], 또한 해당 악취물질에 특화된 제거 방법을 적용할 수 있어 악취 저감에 효과적인 것으로 알려져 있다[4].

특히, 공단 지역에서 발생하는 악취는 다양한 화학 물질의 복합적인 배출로 인해 그 특성이 매우 복잡하다. 주로 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs), 황화합물, 암모니아 및 알데하이드류 등으로 구성된 악취물질은 발생원에 따라 성분과 농도가 상이하다. 또한 바람 방향, 기후 조건 및 지형적 요인 등에 따라 확산 범위와 강도가 달라지므로 이러한 악취 문제의 근본 원인을 규명하고 체계적으로 관리하는 것은 매우 어려운 과제로 알려져 있다[5]. 부산의 경우 사하구, 사상구, 강서구 및 기장군에 대규모 산업단지가 조성되어 피혁, 염색, 기계부품, 일반제조업, 석유화학, 조립금속 및 기계산업 등 다양한 업종들이 입주해 운영 중에 있어 악취민원이 빈번히 발생되고 있는 실정이다.

악취물질은 배출원의 배출특성 및 온도, 기압 등 여러 가지 기상조건 등에 따라 다르게 평가될 수 있기 때문에 공단지역 내 악취물질 배출시설의 효율적인 관리를 위해서는 분석의 불확실성이 존재하는 복합악취보다는 지정악취물질의 배출특성 파악, 악취물질의 기여율 분석 및 악취 모델링 등 다양한 방식의 관리가 필요하다[6].

따라서 본 연구에서는 부산 공단지역 악취 배출원에서 배출되는 지정악취물질의 배출특성을 조사하여 악취물질의 악취강도, 악취활성값 및 악취물질 기여도 등을 파악하였으며, 또한 오염장기도 그림을 통해 악취물질의 이동패턴 파악 등 향후 공단지역 내 악취관리 및 저감을 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

조사지점 및 조사시기

조사 대상지점은 공단지역이 있는 부산광역시 사하구, 사상구, 강서구 및 기장군 지점과 대형 소각장이 위치해 있는 해운대구를 대상으로 하였으며, Table 1 및 Fig. 1에 나타난 것처럼 사하구 4개 지점, 사상구 3개 지점, 기장군 각 2개 지점 그리고 강서구·해운대구 각 1개 지점 등 총 11개 지점에 대하여 조사하였다. 조사시기는 대기온도가 높은 여름철을 제외한 5월에서 10월 사이에 시료채취 및 분석을 하였다. 악취시료는 해당 업체의 조업 중에 시료를 채취하였으며, 이중 SH-3, SH-4, GS-1 및 HUD-1 지점 등 4개 지점의 경우는 24시간 연속 측정을 하였다.

시료채취 및 분석방법

악취 시료는 악취 흡인상자와 Polyester aluminium 재질의 5L짜리 시료 채취 주머니를 이용하여 악취공정시험기준에 따라 채취하였다. 시료채취 전 시료 채취 주머니를 5회 이상 세척하여 시료 채취 주머니에서 유래할 수 있는 분석 장애요인을 제거하였으며, 채취한 시료는 차광을 유지한 상태로 선택적 다중이온 질량분석기(selected ion flow tube - mass spectrometry, SIFT-MS)가 장착된 실시간 악취 이동 측정차량으로 운반 후 즉시 분석하였다. 또한 24시간 연속 측정의 경우 별도의 시료 채취없이 실시간 악취 이동 측정차량을 이용하여 시료채취와 동시에 분석을 진행하였다. 또한 본 연구에 사용된 SIFT-MS의 분석조건은 Table 2에 제시하였으며, 분석항목은 황화합물 등 지정악취물질 20종이었다(Table 3).

SIFT-MS는 시료를 직접 주입하는 질량분석기(direct injection mass spectrometry)이기 때문에 별도의 시료 농축 또는 전처리가 필요 없다. 또한 화학적 이온화 방법을 사용하기 때문에 충돌 이온화 방법(EI mode)에 비해 모분자 이온(Precursor Ion)의 형태를 유지하면서 대기 중의 악취물질 및 VOCs의 실시간 정성 및 정량분석이 가능한 질량분석기이다[7,8]. 본 연구에 사용된

Table 1. Industry type of sampling sites

Sampling No.	District (Sampling site)	Industry type	Remark
SH-1	Saha	Food manufacturing business	
SH-2		Animal feed manufacturing business, Food manufacturing business	
SH-3		Precision instrument manufacturing business	24-hour measurement
SH-4		Poultry processing business	24-hour measurement
SS-1	Sasang	Excreta treatment business	
SS-2		Wastewater disposal business	
SS-3		Wastewater disposal business	Odor emission facility
GS-1	Gangseo	Casting manufacturing business	24-hour measurement
GJ-1	Gijang	Waste recycling business, Feed manufacturing business	Odor emission facility
GJ-2		Waste recycling business	Odor emission facility
HUD-1	Haeundae	Waste treatment business (Incineration plant)	24-hour measurement



Fig. 1. Location map of sampling sites

SIFT-MS는 Syft Technologies Ltd사의 Voice 200 ultra를 사용하였으며, 분석 1시간 전부터 기기의 안정화 과정을 거친 후 분석을 진행하였다.

악취활성값 및 악취강도

악취활성값(odor activity value, OAV)는 특정 악취 물질이 얼마나 강하게 느껴지는지를 나타내는 지표로써, 악취 물질의 농도를 해당 물질의 최소감지농도(odor threshold values, OTV)로 나눈 값으로 나타낼 수 있다. 또한 이를 근거로 식 (1)과 (2)에 제시한 바와 같이 각 악취물질별 악취기여도(odor contribution rate, OCR)를 산출할 수 있다[9]. 개별 악취물질의 OTV가 다르기 때문에 측정된 물질의 농도만으로는 악취의 영향정도를 파악하기 어려움이 있어 OAV 및 OCR 평가가 악취 원인물질을 파악하는데 중요한 지표라고 할 수 있다[10].

Table 2. Analytical conditions of selected ion flow tube – mass spectrometry (SIFT-MS)

Parameter	Value
Sample plate temperature	120°C
Flow tube temperature	120°C
Backing line vacuum	76.6 mTorr
Upstream chamber vacuum	3.00×10 ⁻⁴ Torr
Downstream chamber vacuum	5.90×10 ⁻⁶ Torr
Source pressure	474 mTorr
Air pressure or Bottle pressure	27.1 Torr

Table 3. Designated odor substances used in this study

Designated odor substances	Abbr.	Designated odor substances	Abbr.
Ammonia	Am	Styrene	STY
Trimethylamine	TMA	Toluene	TOL
Hydrogen sulfide	HS	Xylene	XYL
Methyl mercaptane	MM	Methyl ethyl ketone	MEK
Dimethyl sulfide	DMS	Methyl isobutyl ketone	MIBK
Dimethyl disulfide	DMDS	Butyl acetate	BAT
Acetaldehyde	AAL	Propionic acid	PRA
Propion aldehyde	PRAL	n-Butyric acid	BA
Butyl aldehyde	BAL	Valeric acid	VA
Valeraldehyde	VAL	I-Butylalcohol	IBA

$$OAV = \frac{\text{Concentration of designated odor substances}}{OTA} \quad (1)$$

$$OCR(\%) = \frac{OAV \text{ of designated odor substances}}{\Sigma OAV} \times 100 \quad (2)$$

또한 악취강도(odor intensity, OI)는 사람이 체감하는 악취의 감도를 관능도 또는 농도의 차이 등과 같은 방식으로 표현하는 것을 의미하며, 악취공정시험기준에 따르면 0도(none), 1도(threshold), 2도(moderate), 3도(strong), 4도(very strong) 및 5도(over strong)로 구분한다. OI와 물질농도 사이에는 웨버-페히너(Weber—Fechner) 법칙으로 알려진 대수비례관계가 있는 것으로 알려져 있으며, 식 (3)과 같다[11].

본 연구에서는 Table 4에 나타난 것처럼 황화합물 4종 등 11종의 지정악취물질의 물질농도와 OI와의 관계식을 이용하였다[12].

$$OI = A \cdot \log C + B \quad (3)$$

OI : Odor intensity

C : Concentration of designated odor substances

A, B : Constant by designated odor substances

오염장미도 작성방법

악취물질의 발생원 위치와 경로 확인을 위해 악취물질 농도, 풍향 및 풍속 등의 자료를 이용하여 각 악취물질의 오염장미도를 작성하였으며, 오염장미도는 해당 악취물질의 분포특성과 이동패턴을 시각화하는데 유용한 그림이다. 오염장미도 작성에 사용한

Table 4. The correlation equation based on odor intensity and concentration

No	Material	HAN's study	NAKATA's study
1	Hydrogen sulfide	$Y = 0.8815 \log(X) + 4.0688^{1)}$	$Y = 0.950 \log(X) + 4.14$
2	Methyl mercaptane	$Y = 1.8769 \log(X) + 7.2615$	$Y = 1.250 \log(X) + 5.99$
3	Dimethyl sulfide	$Y = 0.7755 \log(X) + 3.7398$	$Y = 0.784 \log(X) + 4.06$
4	Dimethyl disulfide	$Y = 1.0176 \log(X) + 3.8863$	$Y = 0.985 \log(X) + 4.51$
5	Ammonia	$Y = 1.9352 \log(X) + 0.1939$	$Y = 1.670 \log(X) + 2.38$
6	Trimethylamine	$Y = 1.7231 \log(X) + 6.9154$	$Y = 0.901 \log(X) + 4.56$
7	Styrene	$Y = 1.5588 \log(X) + 3.1382$	$Y = 1.420 \log(X) + 3.10$
8	Acetaldehyde	$Y = 1.6462 \log(X) + 4.2831$	$Y = 1.010 \log(X) + 3.85$
9	Butylaldehyde	$Y = 1.2800 \log(X) + 4.3333$	$Y = 0.901 \log(X) + 4.18$
10	Propionaldehyde	$Y = 1.4400 \log(X) + 4.3080$	$Y = 1.010 \log(X) + 3.86$
11	n-Valeraldehyde	$Y = 1.2600 \log(X) + 5.0410$	$Y = 1.360 \log(X) + 5.28$

¹⁾ Equations were as follows; Y = odor intensity (OI), X = concentration (mL/m³)

프로그램은 R v4.3.2 프로그램 openair package를 사용하였으며, openair package는 대기오염 분산모델을 시각화하고 측정된 데이터 분석을 통한 대기질 상태를 평가하기 위한 다양한 기능을 제공하기에 대기과학 분야에서 범용적으로 활용되고 있고[13], 오염장미 그래프를 통해 풍향과 풍속에 대한 대기오염물질 농도관측 확률을 분석할 수 있다[14].

본 연구에서는 조사대상 11개 지점 중 24시간 연속 측정한 4개 지점(SH-3, SH-4, GS-1, HUD-1)에 대하여 각 지점별 OCR이 높은 3개 물질에 대한 오염장미도를 작성하였다. 오염장미도 작성시 악취농도, 풍향 및 풍속 중 결측값이 있는 경우 데이터에서 제외하였으며, 풍향은 16개 방향으로 그룹화하였고, 풍속은 0.5 m/sec 단위로 구분하여 작성하였다. 또한 polarplot 함수를 사용하여 악취농도의 분포, 바람방향 및 속도에 따라 방사형 그래프로 표현하였으며, 악취농도의 농도 범위를 색상으로 표현하여 직관성을 높였다.

결과 및 고찰

악취 배출원별 주요 배출물질

11개 사업장을 대상으로 사업장 부지경계 내에서 시료를 채취하여 지정악취물질을 분석하였으며, 이중 4개 사업장의 경우 부지경계 내에서 24시간 실시간 측정한 평균농도를 Table 5에 나타내었다.

폐수처리업체인 SS-2 및 SS-3 지점에서 20개 지정악취물질의 합계농도가 가장 높았으며, 특히 acetaldehyde와 trimethylamine의 농도가 각각 2.081, 4.443 및 0.089, 0.063 mL/m³로 높게 검출되었다. 폐수처리업체의 경우 산업단지에서 발생하는 각종 폐수를 수집하여 공동으로 처리하는 폐수처리장으로써, 폐수처리장에서 발생하는 악취가 하수처리장이나 음식물류 폐기물처리장에 비해 악취발생농도가 높은 것으로 알려져 있다[15]. Acetaldehyde의 경우 일반 사업장에서 폭넓게 이용되고 있으며, 생산물의 생산 과정, 이동 및 보관 중에 폐수나 공기를 통해 외부로 방출될 수 있다. 또한 알데하이드류가 높은 농도로 존재하는 사업장은 폐수처리장, 피혁사업장, 사료 사업장, 염색사업장 등으로 알려져 있으며[16], 폐수처리장에서 높게 검출된다고 보고되고 있다[17].

Trimethylamine의 경우 폐수처리장 외에도 생선가공업체, 도축장 및 쓰레기매립장 등에서 많이 발생되며, 2005년 악취방지법 제정 당시부터 지속적인 관리가 필요한 물질로 알려져 있다[18]. Ammonia는 다른 지정악취물질에 비하여 비교적 높은 농도로 검출되었으나, 모두 최소감지농도 이하로 검출되어 악취에는 큰 영향을 미치지 않는 것이다. 황화합물의 경우 폐수처리업체인 SS-2 및 SS-3 지점에서 대체로 높게 검출되었고, 메틸메르캅탄은 음식물쓰레기 폐기물을 취급하는 GJ-2 지점에서 특히 높게 검출되었으며, 이는 음식물쓰레기의 단백질에 함유된 아미노산이 분해되면서 생성되는 것으로 알려져 있다[19]. 유기산 중 butanoic acid가 높게 검출된 SH-1, SH-2 및 GJ-2 지점은 공통적으로 음식물을 취급하는 업종들이며, 유기산의 경우 유기체의 혐기성 생물학적 분해 과정에서 주로 발생하며, C4~C7에 해당하는 short chain 유기산은 최소감지농도가 낮기 때문에 배출허용기준도 낮게 설정

Table 5. The concentration of designated odor substances at sampling sites

(unit: mL/m³)

	Threshold	Emission standard		Sampling sites										
		Industrial area	Other area	SH-1	SH-2	SH-3*	SH-4*	SS-1	SS-2	SS-3	GS-1*	GJ-1	GJ-2	HUD-1*
Ammonia	1.5	2	1	0.072	0.054	0.049	0.099	0.372	0.019	0.028	0.038	0.019	0.027	0.017
Trimethylamine	0.000032	0.02	0.005	0.007	0.003	0.002	0.001	0.006	0.089	0.063	0.000	0.002	0.012	0.000
Hydrogen sulfide	0.00041	0.06	0.02	0.004	0.002	0.001	0.000	0.010	0.006	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000
Methyl mercaptan	0.00007	0.004	0.002	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.003	0.007	0.000	0.004	0.077	0.000
Dimethyl sulfide	0.003	0.05	0.01	0.010	0.008	0.000	0.000	0.003	0.009	0.005	0.000	0.001	0.008	0.000
Dimethyl disulfide	0.0020	0.03	0.009	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
Acetaldehyde	0.0015	0.1	0.05	0.174	0.133	0.016	0.020	0.038	2.081	4.443	0.007	0.101	1.095	0.005
Propion aldehyde	0.001	0.1	0.05	0.024	0.018	0.010	0.015	0.016	0.068	0.107	0.006	0.010	0.068	0.003
Butyl aldehyde	0.00067	0.1	0.029	0.015	0.009	0.003	0.002	0.013	0.030	0.008	0.001	0.003	0.013	0.000
Valeraldehyde	0.0001	0.006	0.003	0.006	0.003	0.001	0.002	0.008	0.006	0.003	0.001	0.001	0.004	0.000
Styrene	0.035	0.8	0.4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.002	0.000
Toluene	0.33	30	10	0.015	0.010	0.017	0.001	0.014	0.021	0.005	0.003	0.006	0.009	0.000
Xylenes	0.041	2	1	0.009	0.005	0.010	0.001	0.007	0.017	0.005	0.003	0.000	0.004	0.000
Methyl ethyl Ketone	0.44	35	13	0.001	0.001	0.003	0.000	0.005	0.058	0.004	0.000	0.001	0.007	0.000
Methyl isobutyl ketone	0.017	3	1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Butyl acetate	0.016	4	1	0.000	0.000	0.002	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Isobutyl alcohol	0.011	4	0.9	0.009	0.005	0.007	0.002	0.005	0.057	0.013	0.001	0.002	0.090	0.000
Propanoic acid	0.0057	0.07	0.03	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.004	0.000	0.001	0.006	0.000
Butanoic acid	0.00019	0.002	0.001	0.171	0.163	0.000	0.000	0.038	0.088	0.027	0.000	0.042	0.146	0.000
Pentanoic acid	0.000037	0.002	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.006	0.004	0.001	0.000	0.001	0.009	0.000
Total	-	-	-	0.523	0.421	0.124	0.147	0.549	2.563	4.732	0.062	0.195	1.581	0.026

* the mean concentration of 24-hour measurement

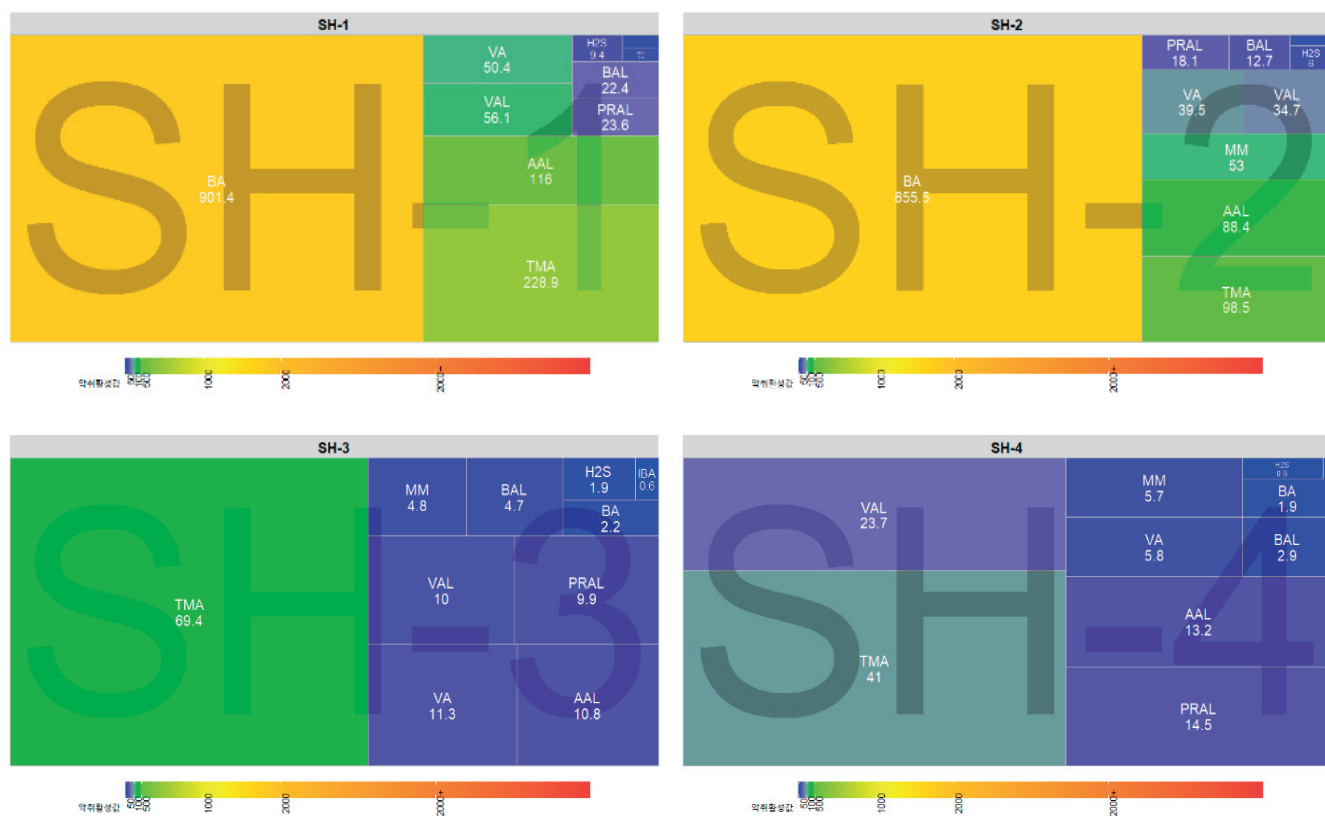
되어 있다[20]. 또한 butanoic acid의 경우 주로 식품 산미료나 향진균제로 사용되기도 하며, 합성향료 또는 기타 식용 식품 첨가물의 제조에 중요한 화학 반응물로 사용되는 것으로 알려져 있다. 지정악취물질 20종의 농도 합은 폐수처리업체인 SS-3 지점이 4.732 mL/m³로 가장 높았고, SS-2(2.563 mL/m³), GJ-2(1.581 mL/m³), SS-1(0.549 mL/m³) 순으로 높았다.

악취기여도 및 악취강도 평가

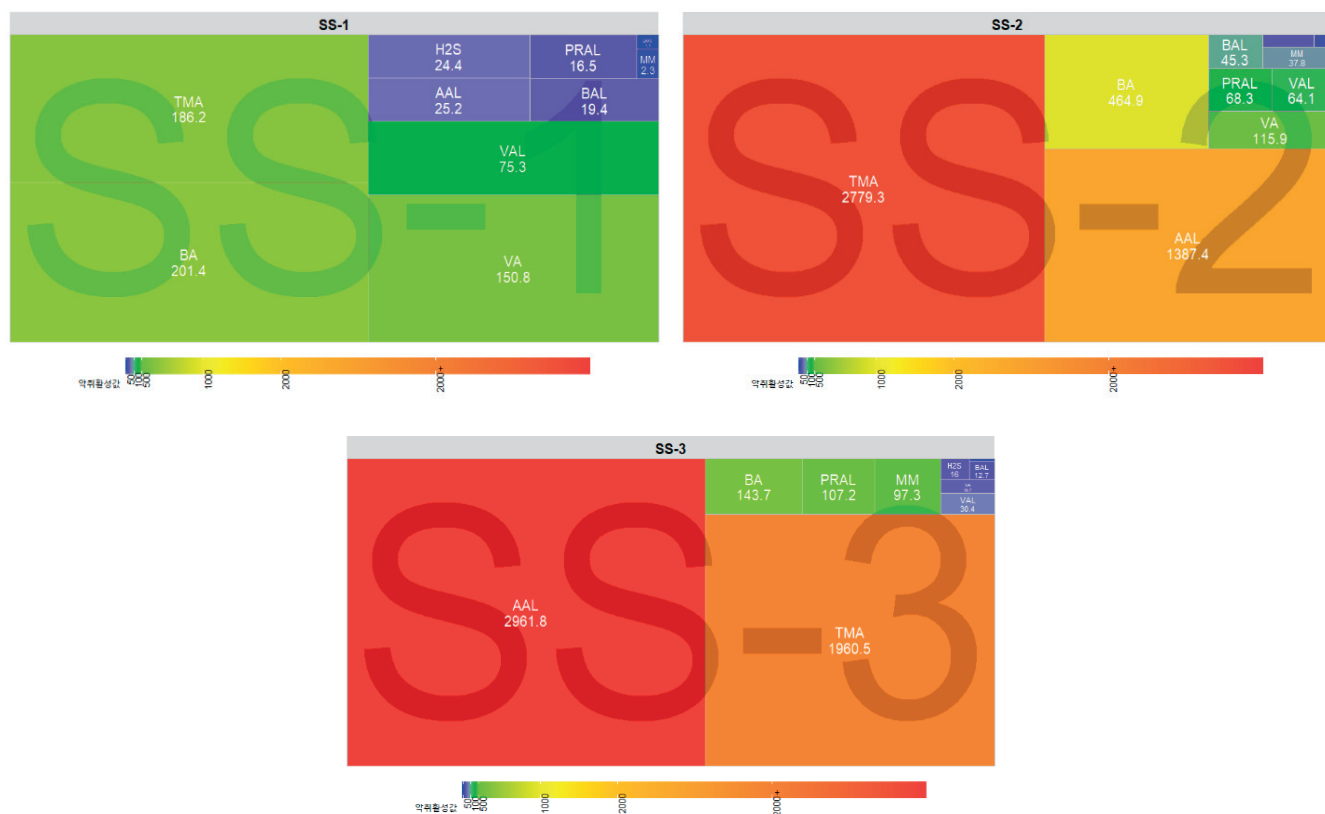
지정악취물질의 OCR 평가를 위해 먼저 각 배출원별 20개 지정악취물질의 OAV를 산정하였으며, 그 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 11개 지점 중 폐수처리업체인 SS-3 지점에서 5352.9로 OAV가 가장 높았으며, 그 다음으로는 SS-2(4987.6), GJ-2(3363.8), SH-1(1416.5) 순으로 높았다. OAV가 가장 높은 SS-3 지점의 개별 악취물질의 OAV는 acetaldehyde의 OAV가 2961.8로 조사대상 11개 지점, 20개 항목 중 가장 높았으며, 그 다음으로는 TMA(1960.5), butanoic acid(143.7), propionaldehyde(107.2) 순이었다. 각 악취물질별 OTV가 달라 측정 결과와 OAV가 반드시 비례하는 것은 아니지만[10], 본 연구 결과는 지정악취물질의 측정 결과와 유사한 결과를 나타내었다. 반면, HUD-1 지점의 경우 지정 외 폐기물 처리업체(소각시설)이며, 부지경계 내에서 24시간 실시간 분석 결과, 평균 농도의 OAV가 15.8로 조사대상 11개 지점 중 가장 낮았다.

OAV를 이용하여 산정한 OCR 평가 결과는 Fig. 3에 나타내었다. SH-1, SH-2, SS-1 및 GJ-1 지점에서는 butanoic acid의 OCR이 63.6, 70.7, 28.6 및 46.9%로 가장 높았다. SS-1 지점을 제외하고는 대부분 식품관련 업체로써, 식품이나 사료 제조과정에서 유기물의 분해에 의해 butanoic acid가 배출되는 것으로 나타났다[21]. SH-3, SH-4, SS-2 및 GS-1 지점의 경우 TMA의 OCR이 가장 높았으며, SS-3 및 HUD-1 지점에서는 acetaldehyde의 OCR이 가장 높았다. TMA의 경우 하수처리장이나 일반 산업현장에서 OCR이 높은 것으로 알려져 있다[22].

악취물질의 농도를 활용한 OAV나 OCR은 해당 악취물질이 OTV를 초과한 상대적 비율을 평가하는 기준으로는 적합하나



(A)



(B)

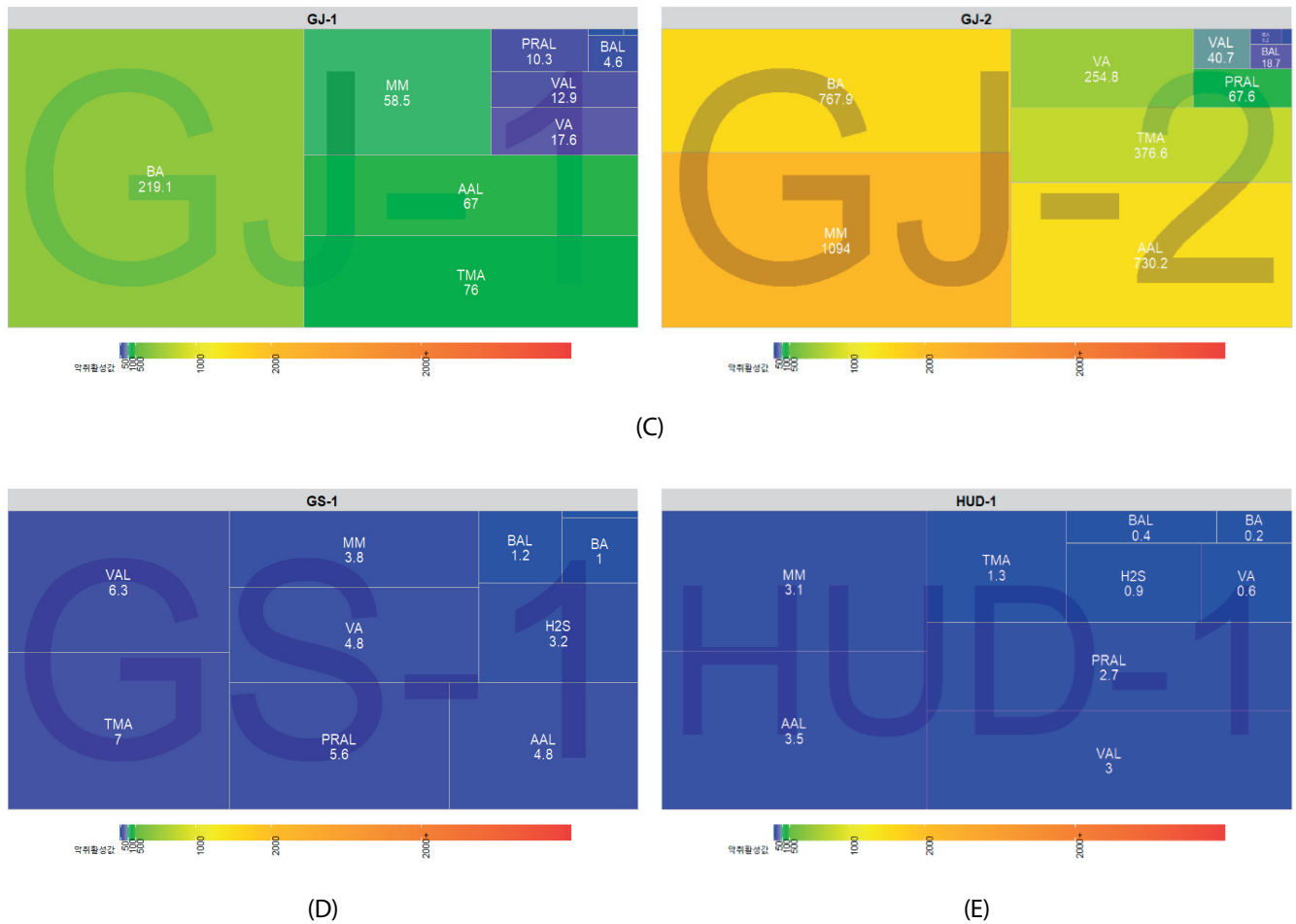


Fig. 2. The distribution of odor activity value (OAV) at sampling sites: A, Saha district; B, Sasang district; C, Gijang district; D, Gangseo district; E, Haeundae district.

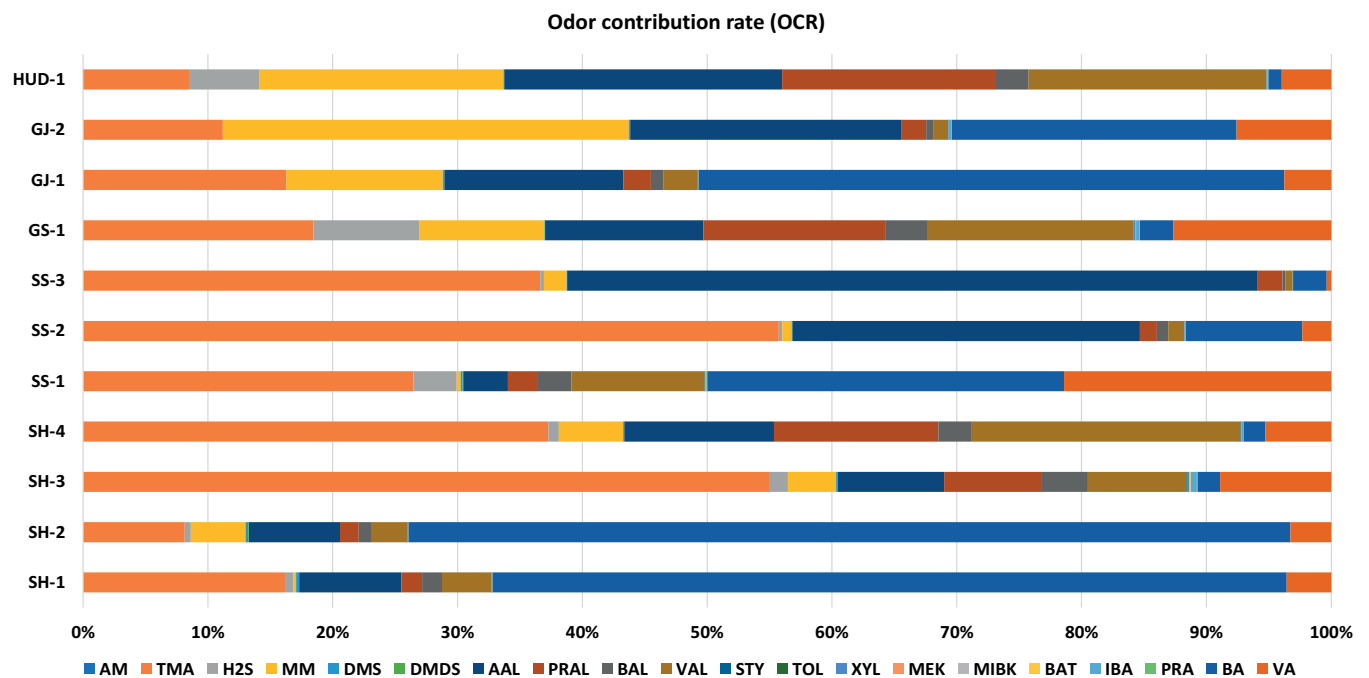


Fig. 3. The distribution of odor contribution rate(OCR) at sampling sites.

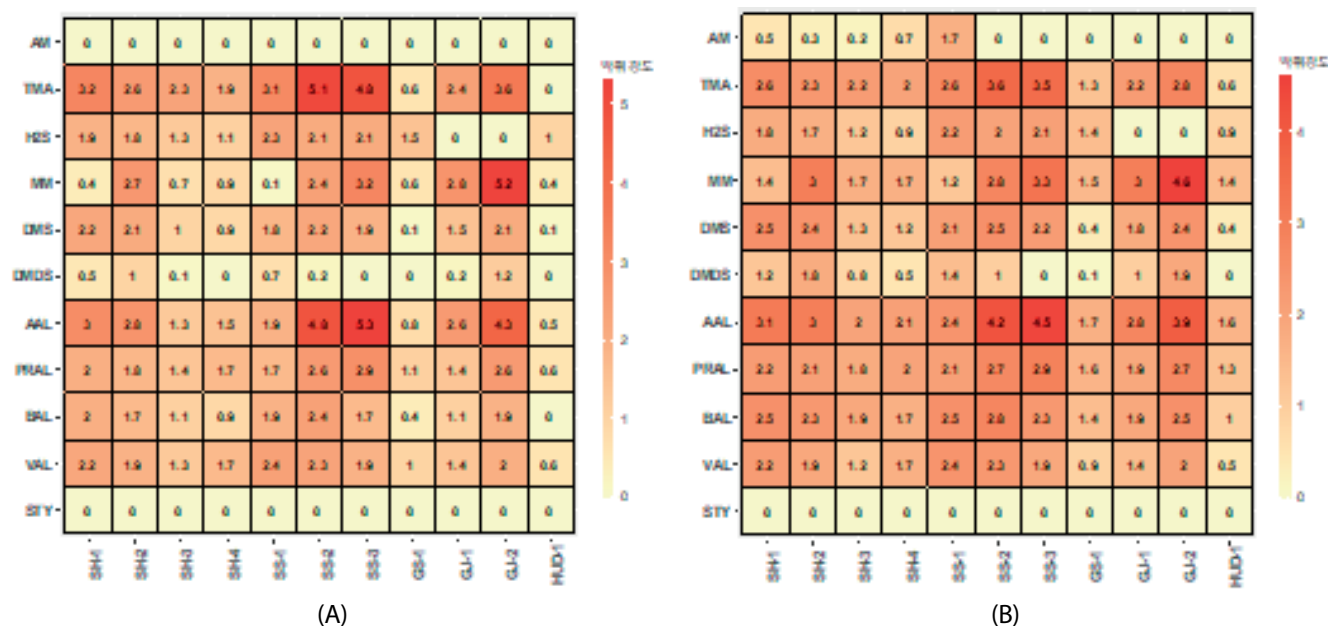


Fig. 4. The comparison of odor intensity(OI) by sampling sites: A, Han's equation; B, Nagata's equation.

취기도를 직접 판단하기에는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 황화합물 4종 등 지정악취물질 11종의 농도와 OI와의 관계식을 이용한 악취물질별 OI를 Han 등 및 Nagata의 연구결과를 비교하여 Fig. 4에 나타내었다[12].

본 연구결과를 Han 등이 제시한 OI 관계식에 적용시키면, TMA의 경우 폐수처리업체인 SS-2 및 SS-3 지점에서 OI가 5.1 및 4.8로 높게 나타났다. 황화합물의 경우 음식물쓰레기 폐기물 중간처리업체인 GJ-1 지점에서 methyl mercaptane의 OI가 5 이상이었으며, 알데하이드류의 경우 TMA와 마찬가지로 SS-2 및 SS-3 지점에서 acetaldehyde의 OI가 각각 약 4.8 및 5.3으로 기타 지정악취물질의 OI에 비하여 높게 나타났다. Ammonia, DMDS 및 styrene의 OI는 GJ-2 지점에서의 DMDS의 OI를 제외하면 1(감지취기) 이하로 조사되었다.

Nagata가 제시한 OI 관계식에 본 연구 결과를 적용시키면, Han 등의 연구 결과와는 달리 OI 5 이상의 지점은 없었으며, TMA의 경우 폐수처리업체인 SS-2 및 SS-3 지점에서 악취강도 3.6 및 3.5로 높게 나타났으나, Han 등이 제시한 결과보다는 OI가 낮게 나타났다. 황화합물의 경우 H₂S는 SS-1, SS-2 및 SS-3 지점에서 '보통 취기'인 OI 2 이상이었으며, methyl mercaptane은 음식물쓰레기를 취급하는 GJ-1 지점에서 4.6으로 가장 높았고, SS-3, GJ-1, SH-2 지점 순으로 높았다. 알데하이드류의 경우 TMA와 마찬가지로 SS-2 및 SS-3 지점에서 각각 약 4.5 및 4.2로 높게 나타났다. Ammonia, DMDS 및 styrene의 OI는 조사대상 모든 지점에서 1(감지취기) 이하로 조사되었으며, GS-1, SH-4 및 HUD-1 지점의 경우 조사대상 모든 항목들의 OI는 2(보통취기) 이하로 조사되어 다른 지점들에 비하여 상대적으로 OI가 낮았다.

오염장미도 분석

주요 악취물질의 발생원 위치와 경로를 파악하기 위해 악취물질의 농도, 풍향 및 풍속자료를 이용하여 오염장미도를 작성하였으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 오염장미도는 24시간 측정지점인 SH-3, SH-4, GS-1 및 HUD-1 지점에 대하여 각 지점별 악취기여율이 높은 3개 항목을 대상으로 작성하였다.

정밀기계 제조업체인 SH-3 지점의 경우 TMA 등 3개 항목 모두 북풍이 불어올 때 고농도를 보였으며, 바다쪽인 남서쪽에서 바람이 불어올 때 상대적으로 농도가 낮아지는 것으로 나타났다. 특히 풍속이 3 m/sec 이상의 북풍이 불어올 때 고농도를 나타내었으며, acetaldehyde의 경우 배출원 주변의 영향을 많이 받은 것으로 나타났다. 식품제조업체인 SH-4 지점의 경우 남동풍이 불어올 때 고농도를 보였으며, 이는 남동쪽 인근 여러 식품제조업체들의 영향을 받는 것으로 판단되었다. Propionaldehyde 및 valeraldehyde의 경우 장림시장 방향인 남서풍일 때 일부 고농도가 나타났다. 주물제조업체인 GS-1 지점의 경우 TMA 등 세 항목 모두 북동풍이 불어올 때 고농도를 보였으며, 이는 측정위치가 배출원의 남서쪽에 위치하여 배출원의 영향을 직접 받는

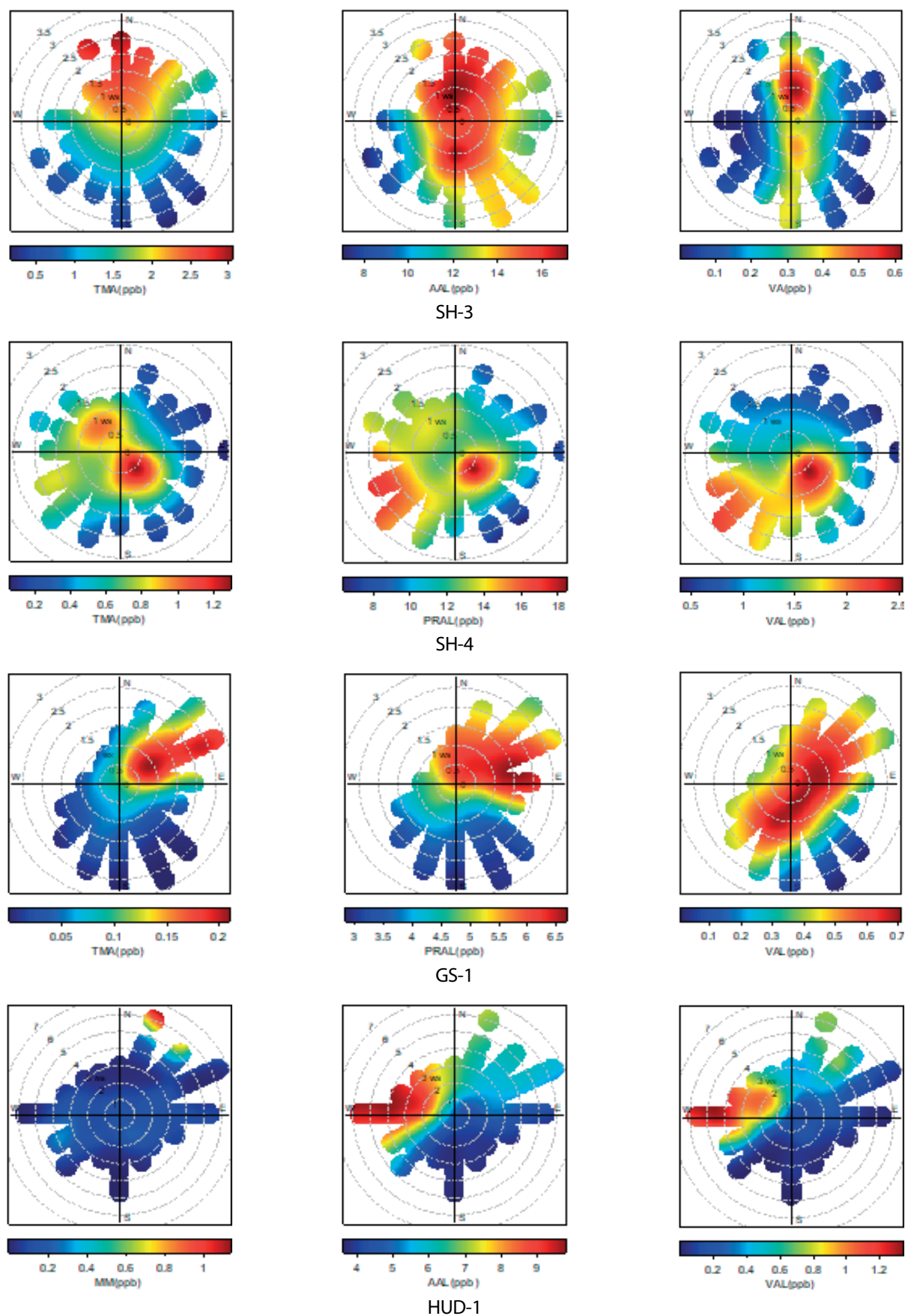


Fig. 5. Pollution rose of designated odor substances at sampling sites.

것으로 판단되었다. 또한 배출원 남쪽은 바다와 인접하여 남풍이 불어올 때는 상대적으로 농도가 낮아지는 것으로 나타났다. 지점 외 폐기물처리업체(소각시설)인 HUD-1 지점의 경우 acetaldehyde 및 valeraldehyde는 서풍이 불어올 때 고농도를 보였으며, 이는 산업단지의 영향보다는 주거밀집지역 및 상업지역 등 도시지역 자체에서 발생하는 원인으로 보는 것이 타당할 것으로 판단되었다.

결론

본 연구는 부산시 공단지역 내 악취물질 배출시설의 효율적인 관리 및 민원 예방을 위해 2024년 5월부터 10월까지 SIFT-MS를 이용하여 11개 악취 배출시설에서 배출되는 지정악취물질의 배출특성을 조사하였다. 각 배출원별 악취물질의 농도분포, 악취활성값, 악취기여도 및 악취강도 파악, 그리고 오염장미도 작성을 통해 배출원 위치 등을 파악하여 향후 공단지역 내 악취관리 및 저감을 위한 기초자료를 확보하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

악취배출원별 악취물질 배출특성 조사 결과, 폐수처리업체인 SS-3 지점이 지정악취물질 20종의 농도 합과 악취활성값이 가장 높았으며, 그 다음으로는 SS-2(폐수처리업체), GJ-2(음식물쓰레기 폐기물 중간처리업체) 지점 순으로 높았다. 따라서 폐수처리업체 및 음식물쓰레기 처리업체에서 배출되는 악취물질의 관리가 시급한 것으로 판단되었다. 공단지역 악취배출원에 대한 악취물질 조사는 점점 증가하고 있는 악취민원 예방 및 악취저감대책 수립을 위한 기초자료로 활용하기 위해 지속적인 조사가 진행되어야 하며, 또한 업종별로 배출하는 악취성분을 데이터베이스화한 악취지문 활용으로 적극적인 민원 대응 등 악취추적시스템 기반을 마련할 수 있을 것으로 판단되었다.

Data Availability: All data are available in the main text or in the Supplementary Information.

Author Contributions:

Notes: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments: This work was supported by the international suitability infrastructure project of test and examination in environmental field funded by National Institute of Environmental Research.

Additional Information:

Supplementary information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.5338/KJEA.2025.44.14>

Correspondence and requests for materials should be addressed to Tae-Uk Jeong.

Peer review information Korean Journal of Environmental Agriculture thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Reprints and permissions information is available at <http://www.korseaj.org>

References

1. Lee TJ, Kim SC, Jeon JM, Kim DS, Jo YM (2019) Evaluation of odor emission characteristics and contribution of meat grilling restaurants. *Journal of Odor and Indoor Environment*, 18(2), 121-130. <https://doi.org/10.15250/joie.2019.18.2.121>.
2. Kim JB, Jeong SJ (2009) The relationship between odor unit and odorous compounds in control areas using multiple regression analysis. *Journal of Environmental Health Sciences*, 35(3), 191-200. <https://doi.org/10.5668/JEHS.2009.35.3.191>.
3. Song HM, Cho JI (2013) A study on correlation of odorous compounds and odor substance occurring in septic tank and sewer pipe. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 27(2), 165-175. <https://doi.org/10.11001/jksww.2013.27.2.165>.
4. Ko BC, Park YH, Kim DI, Lee MG, Kim SG (2013) Odor removal characteristics of biofilters in domestic sewage treatment facilities analyzing composite odor and odor quotient. *Journal of the Environmental Sciences*, 22(1), 109-117. <https://doi.org/10.5322/JES.2013.22>.

- 1.109.
5. Choi YJ, Kim KH, Jeon EC (2006) Odorous pollutant concentration levels in the Ban-Wall industrial area and its surrounding regions. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 27(2), 209-220.
 6. Jeon EC, Sa JH, Kim ST, Hong JH, Kim KH (2006) Odorous emissions from household-related sources-A case study on a sewage treatment plant. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 22(3), 337-351.
 7. Moon KJ, Lee YA, Kim HR, Park KT, Park JM (2022) Study on the distribution of VOCs in the ambient air of domestic industrial complexes using mobile SIFT-MS. *Journal of the Korean Society of Urban Environment*, 22(4), 207-227. <https://doi.org/10.33768/ksue.2022.22.4.207>.
 8. Jeong TU, Song DG, Lee BG, Park JO, Kim KA, Yoo EC (2024) Creating civil complaint map and concentration map of a sewage malodor for areas with frequent sewage malodor civil complaint using QGIS. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 43, 137-148. <https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.14>.
 9. Lee HD, Jeon SB, Choi WJ, Lee SS, Lee MH, Oh KJ (2013) A novel assessment of odor sources using instrumental analysis combined with resident monitoring records for an industrial area in Korea. *Atmospheric Environment*, 74, 277-290. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.001>.
 10. Jung JS, Kim DC, Lee HC, Yeon SW, Yeon IJ (2016) A Study on the odor compounds emitted using odor contribution analysis - Focus on the Ochang scientific industrial complex area. *Journal of Environmental Science International*, 25(9), 1329-1339. <https://doi.org/10.5322/JESI.2016.25.9.1329>.
 11. Han JS, Park SJ (2012) A study of the correlation between the concentration and dilution factor of aldehyde compounds and styrene. *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 11(3), 126-133.
 12. Han JS, Park SJ (2013) A study on the correlation between odor intensity for the Korean and the concentration of aldehyde compounds and styrene. *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 12(1), 8-16. <https://doi.org/10.11161/jkosore.2013.12.1.8>.
 13. David C, Karl R (2012) Openair-An R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software*, 27(28), 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.008>.
 14. Sung LY, SHie RH, Lu CJ (2014) Locating sources of hazardous gas emissions using dual pollution rose plots and open path Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Hazardous Materials*, 265, 30-40. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.11.006>.
 15. Lee CH, Jeon HS, Kwon BY, Kim ED, Jang YJ, Lee MS, Keum JL, Song HB (2017) Emission characteristics of odor compounds from a dyeing wastewater treatment plant in an industrial complex area in Daegu city. *Journal of Environmental Health Sciences*, 43(4), 314-323. <https://doi.org/10.5668/JEHS.2017.43.4.314>.
 16. Yoo YJ, CHAE HY, Yoo JH, Heo EJ, Kim MG (2009) The emission characteristics of aldehydes from industrial complex in Busan. *Journal of Odor and Indoor Environment*, 8(4), 188-195.
 17. Lee CH, Jeon HS, Shin MC, Kim ED, Jang YJ, Kwon BY, Song HB (2016) Emission characteristics of odor compounds from fundamental environmental facilities in an industrial complex area in Daegu city. *Journal of Environmental Health Sciences*, 42(4), 246-254. <https://doi.org/10.5668/JEHS.2016.42.4.246>.
 18. Jo HJ, Choi DH, Kim YH, Kim KH (2012) Storage stability of Trimethylamine between Polyvinyl Fluoride (PVF) and Polyester Aluminum (PEA) Sampling Bags. *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 11(2), 51-56.
 19. Lee HD, Kang DJ, Lee MH, Kang DH, Oh KJ (2012) Removal efficiency of the deodorization equipment and characteristics of malodor during the process in co-treatment of sewage and food waste of Su-young wastewater treatment plant in Busan. *Clean Technology*, 18(4), 379-389. <https://doi.org/10.7464/ksct.2012.18.4.379>.
 20. An JW, Kim YH, Song HN, Kim KH (2012) A review of analytical method for volatile fatty acids as designated offensive odorants in Korea. *Analytical Science and Technology*, 25(2), 91-101. <https://doi.org/10.5806/AST.2012.25.2.091>.
 21. Jo SH, Kim KH, Jo HJ, Lee MH, Kim YH, Ahn JH, Ryu EY, Kim YH (2012) Changes in odorant emission patterns of boiled egg samples between fresh and decayed Stages. *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 11(2), 65-79.
 22. Cho HJ, Yoon SH (2024) Occurrence of designated odor substances in wastewater treatment plant and industrial estate. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 46(3), 73-80. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2024.46.3.73>.