

## 부산 지역 악취 분포 특성과 역추적 모델링 상관성 연구

이범구\*, 송도규, 정한희, 조상은, 정태욱, 박정옥

생활환경팀

### Study on the Correlation between Odor Distribution Characteristics and Reverse Tracing Modeling in Busan

Beom-ku Lee\*, Do-kyu Song, Han-hee Jeong, Sang-eun Cho, Tae-wook Jeong, Jeong-ok Park

*Urban Living Quality Team*

#### Abstract

There are continuous complaints about odors as residential area in Busan Metropolitan city is located close to the industrial complexes. In this study, odor data from industrial complexes and residential area were used to find out major odor compounds and to update odor map. Also, relationship between tracing the source of odor and result of modeling was analyzed using CWT modeling. Firstly, high concentration of toluene and xylene were detected near ㉠ paint manufacturing industry and ㉡ Precision equipment manufacturing industry, while high concentration of ammonia and methyl-mercaptan were detected near ㉢ animal feed manufacturing industry and ㉣ animal feed or Processed food manufacturing industry. High concentration of acetaldehyde was detected near ㉤ Waste disposal business and ㉥ wastewater treatment industry, while high concentration of MEK and trimethylamine were detected near ㉦ automobile parts manufacturing industry. Moreover, odor contribution (OC) analysis showed that ㉠ paint industry and ㉡ machine manufacturing industry, where usage of hydrocarbons (including toluene and xylene) are high, contributed differently compared to other industries in terms of major odor compounds and OC. Secondly, the location and influence radius of odor emission sources were traced using CWT. Influence of the odor emission sources (food manufacturing · chemical industry) located south of receptor was high when the concentration of odor was high (2st), while influence of Janglim Ecological Park located east of receptor was high in other cases (1st). Lastly, odor map with visualized data (GIS based) was created using odor analysis data to provide comprehensive data.

**Keywords** : *Odor Map, SIFT-MS, OC, CWT*

Corresponding author. Email : lbkoo78@korea.kr  
Tel : +82-51-309-2958, Fax : +82-51-309-2929

## I. 서론

악취오염은 환경오염의 한 분야로서 산업단지 내 위치한 악취배출사업장과 하천·하수구와 같은 생활악취배출원 등에서 발생하는 민원의 꾸준한 증가로 인해 학계 및 행정기관에서 많은 주목을 받고 있다.<sup>1)</sup> 부산시 역시 산업단지 인근에 주거지역이 접해 있어 악취 민원이 지속적으로 발생하고 있으며 이에 따라 주요 산업단지를 대상으로 최근 5년간 발생한 악취 민원건수(2018~2022년)를 분석한 결과, 총 820건이 발생하였고 지역별로는 사상구 147건, 강서구 107건, 사하구 248건 및 기장군 318건으로 나타났다.

이 중 발생건수가 높은 사하구와 기장군의 업종별 악취 민원 발생비율(%)을 살펴보면, 사하구는 제강·주물제조업(32.3%) > 식품제조·수산물가공업(17.3%) > 식물제조업(14.9%) 순으로 높게 나타났고 기장군은 폐기물·하수처리업(41.8%) > 고무제조업(18.9%) > 제강·주물제조업(16.7%) 순으로 높게 나타나 산업단지별로 업종에 따른 주요 악취원인물질이 상이한 것으로 예상되며 이에 따른 적절한 악취방지대책이 필요할 것으로 판단된다.(Table 1)

악취란 악취방지법에 황화수소·메르캡탄류·아민류 및 기타 자극성 있는 기체상 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새라고 규정하고 있으며, 악취는 원인물질이 다양하고 복잡적이며 그 현상을 파악하는데 많은 어려움이 있다. 이에 따라 객관

적 측정방법 및 악취분석 기술 등의 정량화가 쉽지 않고 개인의 후각 특성에 따라 악취로 인지할 수 있는 차이가 있어 측정분석 방법상의 한계가 있다.<sup>2)</sup>

이에 따라 악취현상은 배출원, 기상조건 및 대기 중 반응현상 등 다양한 환경요소에 의해 다르게 평가될 수 있고 복합적 요소를 평준화시키는데 많은 어려움이 있어 산업단지 내 악취배출시설의 효율적 관리를 위해서는 악취물질의 배출특성 및 강도분석과 악취 모델링을 통한 기여도 분석 등 다각적인 평가가 필수적이다.<sup>3)</sup>

본 연구에서는 부산지역의 악취분포특성을 파악하기 위해 공단악취(주요 산업단지) 및 생활악취(하천·하수구) 지점을 대상으로 현황조사를 진행하였다. 공단악취는 주요 산업단지가 위치한 4개 구·군을 대상으로 악취배출업체를 선정하여 현장조사 및 시료채취(1, 2차)를 실시하였고 생활악취는 악취 민원이 주로 발생하는 하천·하수구를 대상으로 총 30개 지점을 선정하여 조사 및 분석을 진행하였다. 악취시료 분석은 실시간으로 질량분석이 가능한 선택적다중이온질량분석기(SIFT-MS) 장비를 이용하였고 추가적으로 공단지역 내 악취배출시설을 포함한 주변지역을 SIFT-MS 장비를 설치한 차량을 이용하여 실시간으로 악취농도를 측정·분석하였다.

또한 역추적 모델링을 수행하기 위해 공단지역 중 악취 민원이 잦고 악취관리지역(부산수산물가공업특화사업협동조합)이 포함된 사하구를 대상으로 총 2차(2023

Table 1. The number and ratio of odor complaints by industrial complex(2018~2022)

By industry type	Sasang-gu		Gangseo-gu		Saha-gu		Gijang-gun	
	number	ratio(%)	number	ratio(%)	number	ratio(%)	number	ratio(%)
1.painting facilities	10	6.8	11	10.3	10	4.0	30	9.4
2.ascon manufacturing	1	0.7	8	7.5	6	2.4	-	-
3.food manufacturing & seafood processing	1	0.7	14	13.1	43	17.3	14	4.4
4.steelmaking & casting production	50	34.0	16	15.0	80	32.3	53	16.7
5.manufacture of assembly metal	-	-	12	11.2	-	-	4	1.3
6.textile manufacturing	-	-	13	12.1	37	14.9	4	1.3
7.plastic manufacturing	-	-	-	-	-	-	16	5.0
8.waste & sewage treatment	74	50.3	17	15.9	30	12.1	133	41.8
9.rubber manufacturing	7	4.8	-	-	-	-	60	18.9
10.plywood manufacturing	-	-	-	-	32	12.9	-	-
11.other facilities	14	9.5	16	15.0	10	4.0	4	1.3
12.total	147	100.0	107	100.0	248	100.0	318	100.0

년 9월, 10월)에 걸쳐 24시간 연속(5min 간격)으로 악취 및 기상요소를 측정하였고 이를 토대로 3차원 바람장 생성 및 역추적(CWT) 모델을 통한 악취배출원 추적 및 기여도 분석을 수행하였다. 마지막으로 공단악취(주요 산업단지) 및 생활악취(하천·하수구)조사 등 다양한 악취분석결과를 이용하여 악취지도를 현행화(GIS 기반) 하였으며 이러한 종합적인 자료를 통해 추후 악취관리방안 구축 및 악취 저감을 위한 기초자료로 활용할 예정이다.

## II. 연구내용 및 방법

### 2.1. 연구대상

부산광역시는 매년 ‘부산시 악취관리 추진계획’을 통해 종합적인 악취관리방안을 추진하고 있으며, 악취배출원에 따른 분야별 악취 관리는 크게 사업장 악취(공단악취), 지방자치단체 설치시설 악취 및 생활악취(하천·하수구) 등으로 구분하고 있다. 본 연구에서는 이중 공단악취 및 생활악취 현황조사를 진행하였고 이중 공단악취는 산업단지 내 악취배출원 및 인근 주변지역을 대상으로 진행하였다.

악취배출원은 각 구·군별로 대기오염물질 배출업체로 등록되어 있고 악취 민원이 빈번히 발생하는 업체를 선정하여 공정별로 구분하여 악취시료를 채취·분석하였으며 조사기간은 총 2년(2022~2023년)으로 1차 조사(2022년)는 ㉠페인트제조업(사상구), ㉡동물사료제조업(강서구), ㉢동물사료·가공식품 제조업(사하구) 및 ㉣폐기물처리업(기장군)으로 4개 업체를 선정하였고 2차 조사(2023년)는 ㉤폐수처리업(사상구), ㉦

정밀기기제조업(사하구) 및 ㉧자동차부품 제조업(기장군)으로 3개 업체를 선정하였다. 또한 공단지역 내 인근 주변지역을 SIFT-MS 차량을 이용하여 실시간으로 이동하면서 지정악취물질별 농도를 측정하였다. 공단지역 내 악취배출원 및 인근 주변지역에 대한 사항은 Table 2와 Fig. 1에 나타내었다.

생활악취 현황조사는 하천 및 하수구를 대상으로 매년 부산시보건환경연구원(생활환경팀)에서 분기별 악취조사를 진행하고 있으며 지점 선정은 구·군별로 악취 민원이 많이 발생하는 장소 중 협의를 통해 선정한 후 복합악취 및 지정악취물질을 조사·분석하였다. 조사지점은 총 30개 지점으로 하천은 동천을 포함한 10개 지점, 하수구는 영도구를 포함한 20개 지점에 대하여 조사를 진행하였다. 생활악취(하천·하수구) 조사 지점 위치는 Fig. 2에 나타내었다.

Table 2. Information of odor emission sources and investigation points

		Sasang-gu	Gangseo-gu	Saha-gu	Gijang-gun
1. emission sources	1st (2022)	㉠ Paint manufacturing	㉡ Animal feed manufacturing	㉢ Animal feed & Processed food manufacturing	㉣ Waste disposal business
	2st (2023)	㉤ Wastewater Treatment	-	㉦ Precision equipment manufacturing	㉧ Manufacture of automotive parts
2. investigation points		① Wastewater Treatment ② Casting industry ③ Galvanizing	① Casting industry ②~③ Waste disposal business ④ Animal feed manufacturing	① Iron pipe manufacturing ② Textile Processing ③ Wholesale of Fishery Products	①~③ Waste disposal business



(a) Sasang-gu



(b) Gangseo-gu

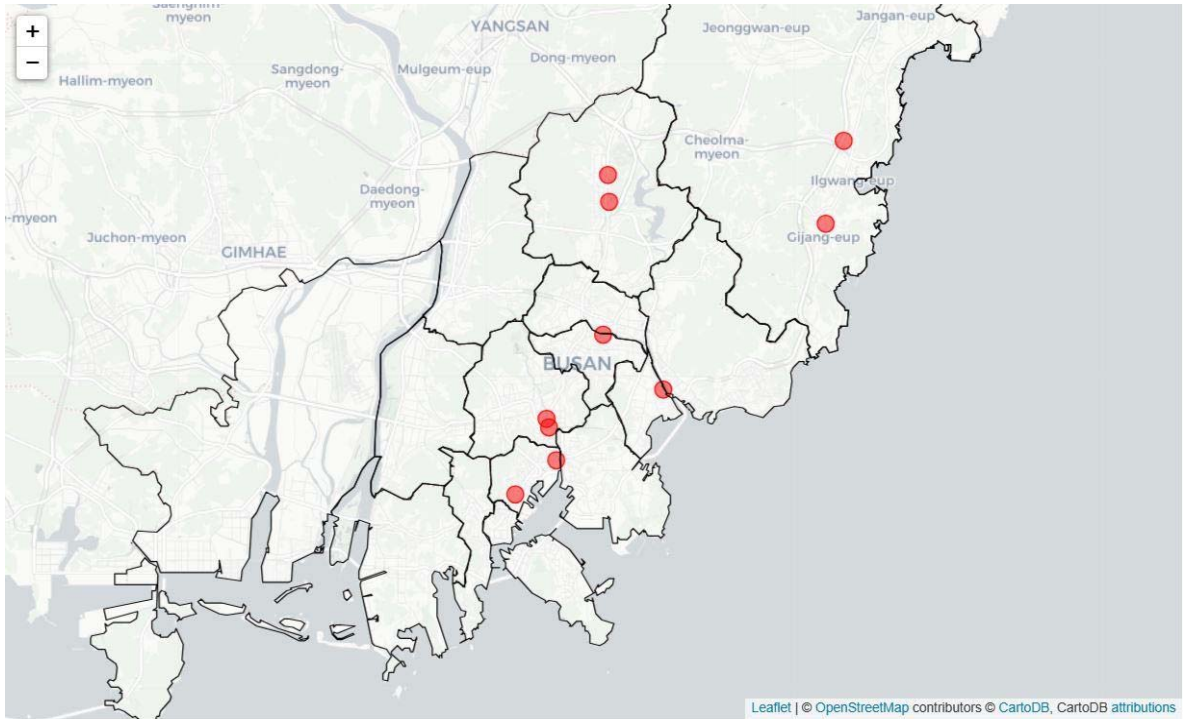


(c) Saha-gu

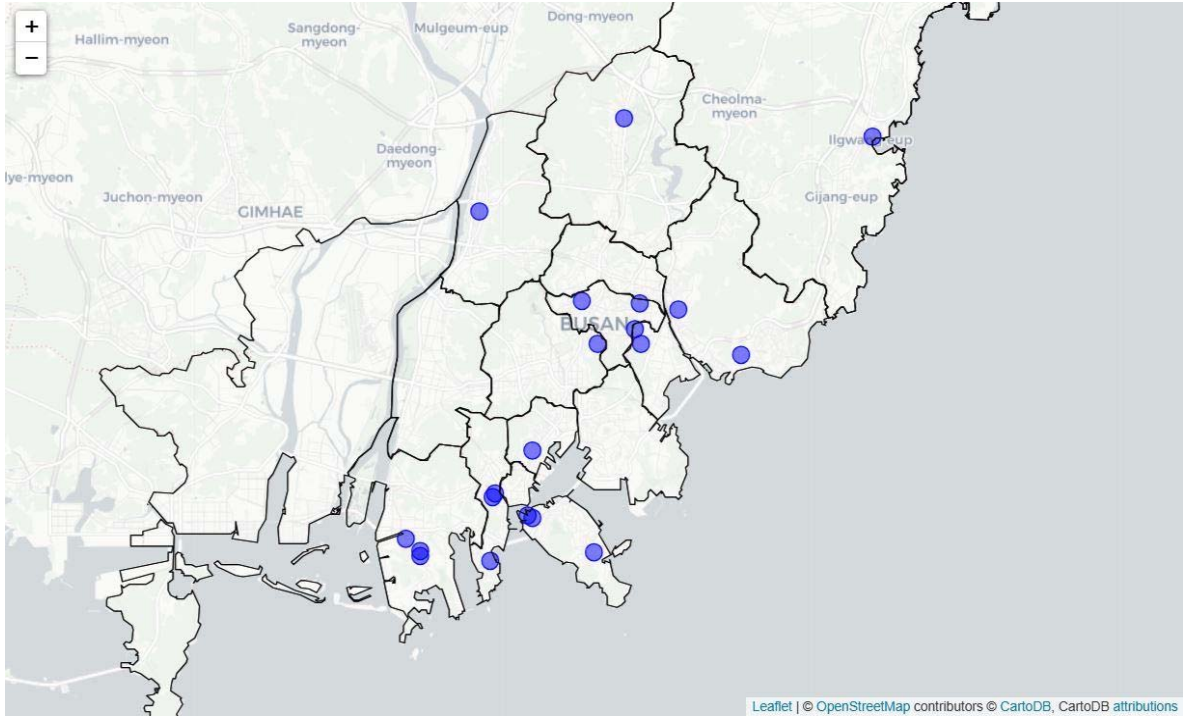


(d) Gijang-gun

Fig. 1. Location map of odor emission sources and investigation. points



(a) Rivers



(b) Sewers

Fig. 2. Location map of odor points in rivers and sewers.

2.2. 분석방법

2.2.1. SIFT-MS 분석방법 및 기기조건

선택적다중이온질량분석기(SIFT-MS)의 기기분석 원리는 대기 중의 질소, 산소와 추가적으로 공급된 수분을 마이크로파 플라즈마(microwave plasma)로 이온화시켜 3개의 반응이온(H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>, NO<sup>+</sup>, O<sub>2</sub><sup>+</sup>)을 생성시킨다. 이후 flow tube 내로 주입된 반응이온은 분석시료와 만나 생성이온을 만들게 되고 매스필터를 통해 검출기로 주입된다. SIFT-MS의 절대정량은 GC/MS에서 사용되는 상대정량법과 달리 표준물질 없이 가능하며, 분석대상화합물의 정량을 위해 특정반응이온과 생성이온을 선택하고 생성이온 양과 반응이온 및 화합물의 고유반응 속도 상수를 통해 화합물의 농도를 확인할 수 있다.<sup>4, 5)</sup> 본 연구에 적용된 SIFT-MS의 분석조건 및 절차에 대한 내용은 Table 3과 Fig. 3에 나타내었다.

$$[A] = \frac{[P^+] \times ICF_P}{k[R^+] \times ICF_R} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, [A] : 농도(ppbv), [P+] : 생성이온량, [R+] : 반응이온량, k : 반응 속도 상수

ICF<sub>P</sub>, ICF<sub>R</sub> : 기기보정계수(Instrument Calibration Function; ICF)

2.2.2. 악취기여도(Odor contribution, OC)

악취는 여러 물질이 복합적으로 작용하여 발생하는 것으로 악취기여도를 평가하여, 악취발생원별 주요 원인물질을 파악하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 악취기여도는 악취활성값(Odor activity value, OAV), 총 악취활성값(sum odor activity value, SOAV) 등을 이용하여 산정할 수 있으며 Guadagni et al. (1963)에 의해 처음 제안되었고<sup>1)</sup>, 국내에서는 Yoon and kim (2012)이 악취활성값을 산정하여 생활폐기물 집하장에서 배출되는 악취물질에 대한 악취배출특성을 분석하였다. 악취활성값(OAV) 산정은 개별 악취물질이 가지는 최소감지농도(Threshold)를 이용하여 악취기여도(%)를 분석하는 방법으로, 개별 악취물질의 농도를 각각의 최소감지농도로 나눈 값으로 정의할 수 있고

Table 3. Analytical condition of SIFT-MS

	Parameter	Value
SIFT-MS (Selected Ion Flow Tube-Mass Spectrometry)	Sample plate temperature	120 °C
	Flow tube temperature	120 °C
	Backing line vacuum	76.6 mTorr
	Upstream chamber vacuum	3.00×10 <sup>-4</sup> Torr
	Downstream chamber vacuum	5.90×10 <sup>-6</sup> Torr
	Source pressure	474 mTorr
	Air pressure or Bottle pressure	27.1 Torr

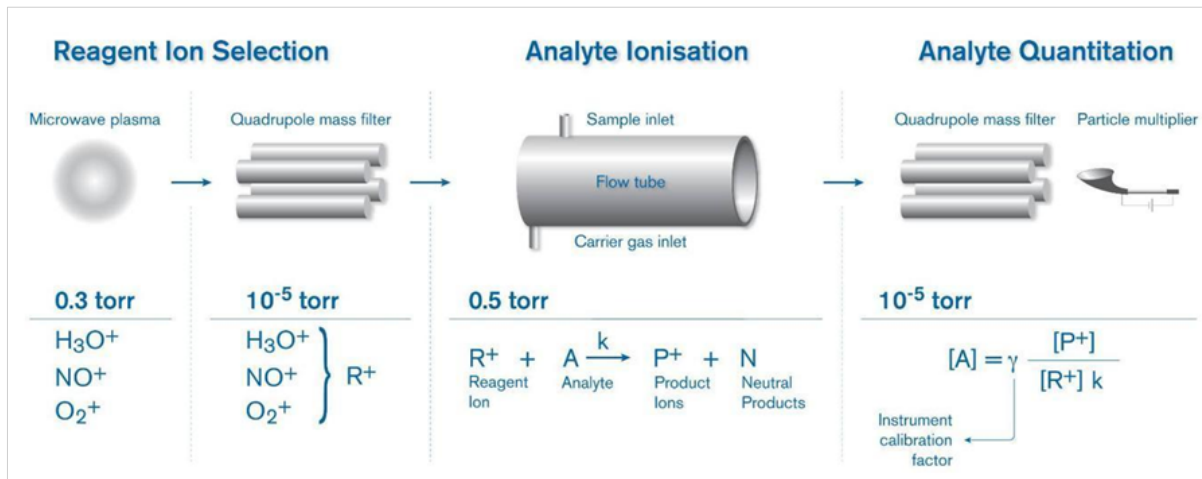


Fig. 3. Schematic representation of the SIFT-MS technique(Syft Tech., 2017).

식(2), 식(3)로 산정하였다.

또한 악취기여도(Odor Contribution, OC)는 총 악취활성값(Sum of Odor Activity Value, SOAV)을 개별의 악취활성값으로 나눈 값을 100으로 환산하고 평가하였고 식(4)를 적용하였다.<sup>6)</sup> 산업단지 내 주요 악취 배출원에서 조사된 지정악취물질별 악취활성 값 계산 시 적용한 최소감지농도는 분석방법이나 분석기관에 따라 차이를 보이며, 본 연구에서는 환경부에서 제공하는 악취관리편람(2012)의 주요 화학물질별 최소감지농도<sup>a), 7)</sup>를 적용하였다.(Table 4)

$$\text{악취활성값}(OAV) = \frac{\text{개별악취물질의 농도}(ppm)}{\text{개별악취물질이 가지는 최소감지농도}(ppm)} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{총악취활성값}(SOAV) = \sum \text{개별 악취물질의 악취활성값}(OAV) \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{악취기여도}(OC) = \frac{\text{악취활성값}(OAV)}{\text{총악취활성값}(SOAV)} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

**2.2.3. 역추적모델링(Backtracking modeling)**

최근까지 다양한 오염원 추적모델을 이용하여 수용지점(receptor)에 영향을 미친 오염원 위치를 확인하기 위한 시도가 있었으며 몇몇 연구들은 수용지점에 도달한 공기 역궤적(backward trajectory)을 분석하여 오염원 추적을 시도하였다.<sup>8)</sup> 더불어 최근 연구에서는 수용지점에서의 측정 농도 대신에 수용모델을 이용하여 배출원 기여도를 산정한 후 공기 역궤적 및 통계적 접근방식을 통합하여 보다 나은 오염원 추적을 시도하였다.<sup>9), 10)</sup> 이에 따라 본 연구에서도 부산시 주요 산업단지(사하구)를 대상으로 CPF(Conditional Probability Function)와 CWI(Concentration Weighted Trajectory)

모델을 이용한 역추적 분석을 통해 공단지역 내 주요 악취오염원의 위치 및 영향반경 등을 추적하였다.

가) CPF(Conditional Probability Function)

CPF 모델은 기상자료(풍향, 풍속)와 PMF(Positive Matrix Factorization) 모델을 통해 계산된 오염원 팩터(factor)별 기여도 값을 활용하여 수용점에 영향을 미치는 유입 방향과 위치를 추정하는 통계적 확률모델이다.<sup>11)</sup> 모델결과 분석 시 CPF 값이 높으면 유입방향 부근에서 오염원이 존재할 가능성이 높다는 것을 의미

하는 것으로 고농도가 나타나는 풍향을 파악하여 배출원의 국지적인 위치를 추정할 수 있는 조건부 확률로 다음과 같이 계산된다.

$$CPF_{(\Delta\theta)} = m_{(\Delta\theta)} / n_{(\Delta\theta)} \dots\dots\dots (5)$$

$m_{(\Delta\theta)}$ 는  $(\Delta\theta)$  방향으로 불어오는 바람의 빈도수 중 농도가 일정 기준치 일 때의 바람 빈도수를 사용하고  $n_{(\Delta\theta)}$ 는  $(\Delta\theta)$  방향에서 불어오는 바람의 총 빈도수이다. 풍속이 매우 낮을 때 불어오는 바람(0.5 m/s 미만)에 대한 영향은 분석에서 제외하였고 CPF 값이 1에 가까울수록 그 방향으로 악취배출원이 존재할 가능성이 높다.

Table 4. Threshold of odor substances

Substances	Value(ppm)	Substances	Value(ppm)
Ammonia	0.1	i-Butanol	0.01
Methyl mercaptane	0.0001	Methyl isobutyl ketone	0.2
Hydrogen sulfide	0.0005	Toluene	0.9
Dimethyl sulfide	0.0001	Stylene	0.03
Dimethyl disulfide	0.0003	m-Xylene	0.041
Trimethylamine	0.0001	Propionic acid	0.002
Acetaldehyde	0.002	n-Butyric acid	0.00007
Propionaldehyde	0.002	i-Valeric acid	0.00005
n-Butyraldehyde	0.0003	Methyl ethyl ketone	0.44
i-Valeraldehyde	0.0002	i-Butyl acetate	0.0080

<sup>a)</sup>Odor management manual, 2012, Ministry of Environment

나) CWT(Concentration Weighted Trajectory)

CWT 모델은 공기의 역궤적을 기반으로 수용지점에 유입된 공기의 흐름이 유입되는 시점에 측정된 농도에 가중치를 주어 측정기간 동안 오염물질 농도에 영향을 미치는 지역을 결과 값으로 나타낸다. 모델수행 시 3차원 바람장은 국지규모 대기진단모형인 CALMET 모델링 결과 값을 적용하였고 계산식은 아래와 같다.

$$C_{(i,j)} = (1/\sum_{l=1}^M \tau_{ij}l) \times \sum_{l=1}^M Cl/\tau_{ij}l \dots\dots\dots (6)$$

$C_{(i,j)}$ 는  $(i,j)$  격자의 가중평균 기여농도,  $Cl$ 은 수용점에서 각 배출원 기여농도이고,  $\tau_{ij}l$ 은 수용점에서의  $Cl$  농도와 관련된 궤적점 수이며,  $M$ 은  $(i,j)$  격자상의 궤적점 수를 가지는 수용점에서의 배출원 기여농도 수이다.<sup>12)</sup>

다) 국지규모 대기진단모형(CALMET)

CALMET은 지상 및 연직 관측 자료를 이용하여 계산 영역내의 상세 바람장을 생성하고 육상과 해상에 대한 대기경계층 구조를 파악하는 대기진단모형이다.(Fig 4) 진단적 기상모델인 CALMET 모델은 CARB (California Air Resources Board)의 Sigma Research Corporation에서 개발되었으며 오일러리

안 광화학 모델인 CALGRD와 라그랑지안 퍼프모델인 CALPUFF에서 필요한 기상 요소인 3차원 바람장을 생성하는 기상 전처리 프로그램이다.<sup>13), 14)</sup>

CALMET 모델을 이용한 바람장 생성과정은 두 단계로 나누어지며, 첫 번째로 초기자료를 이용하여 지형 효과에 의한 운동학적 변화, 산사면 흐름, blocking 및 channeling 등에 의한 다양한 바람장 변화가 반영되고 이를 각 격자점으로 거리에 가중치를 둔 객관분석을 실시하여 최종 바람장을 생성한다. 여기에 WRF, MM5와 같은 중규모 대기예측모형으로 해륙풍, 산곡풍 등의 비정역학적 중규모 흐름 결과를 각 단계별로 입력할 수 있는 장점이 있다.<sup>15)</sup>

본 연구에서는 역추적(CWT)모델 수행 시 적용할 바람장을 생성하기 위해 Table 5 및 Fig. 5와 같이 사하구 장림동을 대상으로 수평으로 4.0km × 4.0km (0.1 km 간격), 연직으로 총 8개 (10, 35, 75, 150, 250, 400, 750 and 2,000m)의 모델링 격자를 설정하였다. 또한 Table 6, 7과 같이 고해상도 바람장을 생성하기 위해 정구기상대(부산) 관측 자료를 내삽한 WRF 모델 결과를 초기 기상장으로 적용하였고 2단계 바람장 생성 시 기상관측자료로 지표기상(Site\_A, 5min 간격)과 상층기상(창원기상관측소(00z, 12z 관측) 자료를 적용하여 수행하였다. CALMET 모델링은 총 2개의 기간

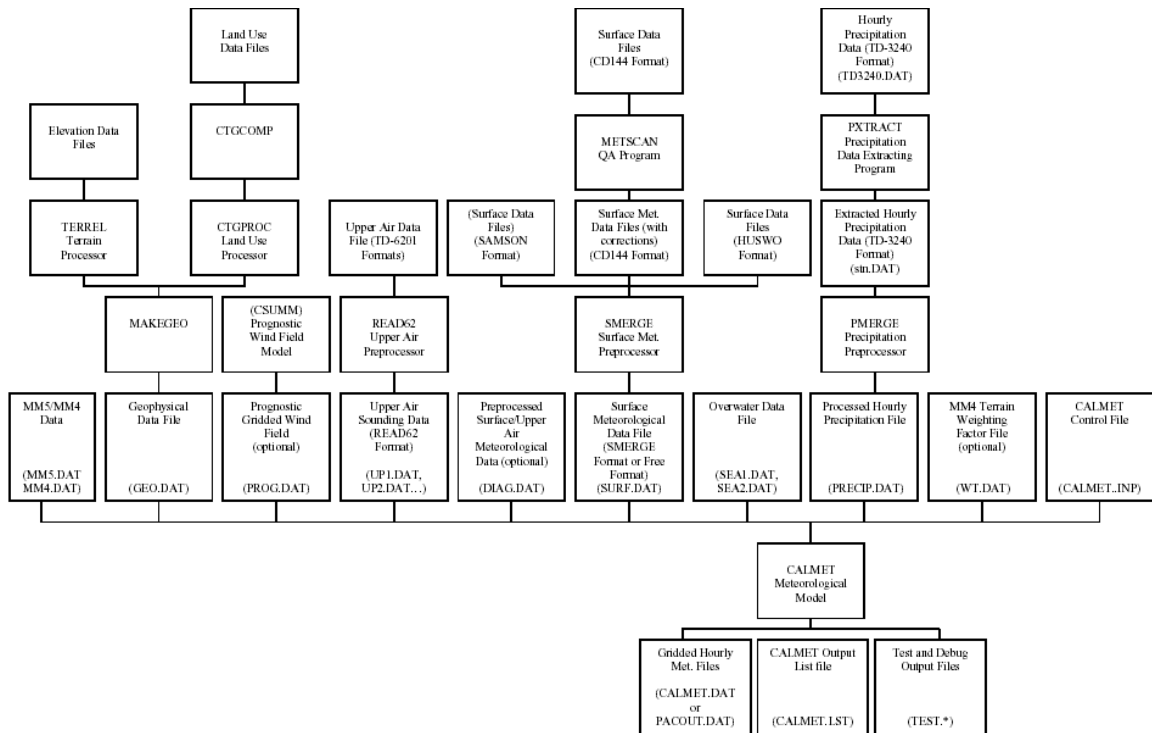


Fig. 4. CALMET modeling system.

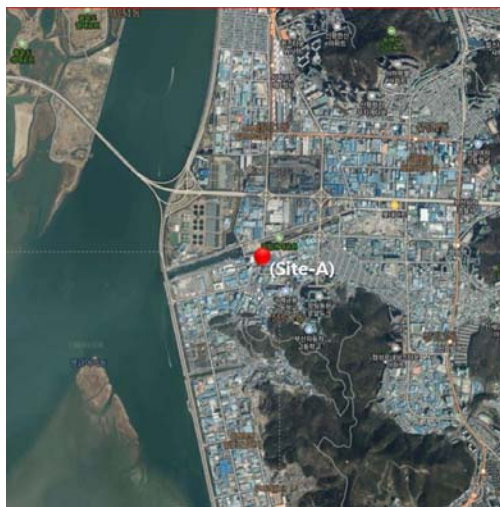


(1, 2st)으로 구분하여 수행하고 각각의 바람장 결과 값을 이용하여 격자별 추적선이 지나간 횟수를 산정한

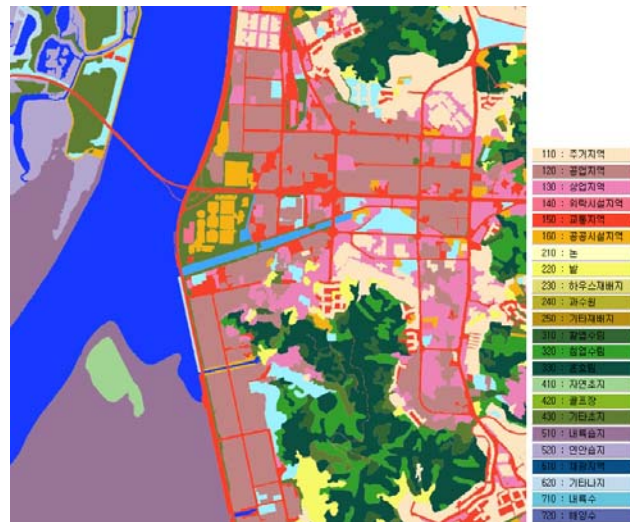
후 시간대별로 악취물질농도 가중치를 적용한 CWT 모델결과 값을 분석하였다.

Table 5. Domain information for CALMET modeling

Items		Contents
Grid origin (Reference Point)	UTMX(km)	494.271
	UTMY(km)	3879.993
Grid spacing( $\Delta X$ ) (km)		0.1
Domain Size	Nx (No. of x grid Cells)	40
	Ny (No. of y grid Cells)	40
Projection		Universal Transverse Mercator(UTM)
UTM zone		52(Northern)
No. of Vertical layers		8
Cell face heights(m)		0, 20, 50, 100, 200, 300, 500, 1000, 3000
Bias		-1, -1, -0.8, 0, 0.5, 1, 1, 1
Time zone		UTC+0900



(a) Satellite map in the domain.



(b) Landuse type in the domain.

Fig. 5. CALMET modeling domain(4 km × 4 km).

Table 6. Surface meteorological observation site

Name	Station Number(ID)	UTM-X(km)	UTM-Y(km)	Time zone	Elevation Ht.(m)
Busan	159	502.916	3884.643	UTC+0900	70.0
Site_A	-	496.231	3882.026		10.0
Period	1st : 2023-09-08 14:40 ~ 2023-09-09 13:50, 2st : 2023-10-11 12:05 ~ 2023-10-12 12:50 (Site_A: 5min 간격 관측자료)				

Table 7. Upper-air meteorological observation site

Name	Station Number(ID)	UTM-X(km)	UTM-Y(km)	Time zone	Elevation Ht.(m)
Changwon	47155	461.107	3892.001	UTC+0900	-
Period	1st : 2023-09-08 14:40 ~ 2023-09-09 13:50, 2st : 2023-10-11 12:05 ~ 2023-10-12 12:50 (00z, 12z 관측자료)				

### 2.2.4. 악취지도 작성

최근 들어 데이터를 이용한 시각화의 활용이 증가함에 따라, 시각화 기능을 지원하는 다양한 도구가 보급되고 있으며 GIS툴을 활용한 시각화는 위치정보를 포함하고 있는 데이터를 확인하고 분석하는데 매우 효과적인 방법이다. 이에 따라 부산지역의 주요 산업단지(공단악취) 및 생활악취(하천·하수구) 등에서 조사된 악취물질별 농도를 분석한 후 지점별 위치(위·경도), 측정방법(고정, 이동) 등 다양하게 수집된 데이터를 시각화하여 지도상에 표시하는 것이 효과적인 방법 중 하나이다. Table 8의 데이터 분석 프로그램 중 R/Python은 대표적으로 사용되는 프로그래밍 언어이며 다음과 장점을 가지고 있다. 우선 쉽고 뛰어난 개발 생산성으로 활용도가 매우 높으며 많은 라이브러리를 보유하고 있고 다양한 머신러닝 애플리케이션과 결합할 수 있는 등 유연성·호환성이 매우 뛰어나 다양한 영역에서 사용할 수 있다.<sup>16)</sup>

본 연구에서는 악취지도 작성을 위해 R/Python 프

로그래밍의 Leaflet/Folium 패키지를 활용하였고 Folium은 leaflet.js 기반의 모듈로 다른 시각화 패키지에 비해 상대적으로 안정적이며 OpenStreetMap, Mapbox, Stamen 등 다양한 지도 이미지들을 제공한다. 악취지도 작성을 위한 주요절차 및 구성방안은 Fig. 6에 나타내었다.

## Ⅲ. 연구결과 및 고찰

### 3.1. 악취배출원별 주요 원인물질 및 기여도

#### 3.1.1. 악취배출원별 주요 원인물질

악취배출원별 주요 원인물질을 파악하기 위해 2년(2022~2023)에 걸쳐 부산시 구·군별 주요 산업단지 내에 위치한 악취배출시설로 매년 악취 민원이 지속적으로 발생하는 업체를 대상으로 진행하였다. 악취오염물질 분석과정은 각각의 공정별로 악취 bag(Polyester aluminized)을 이용하여 시료를 채취 후 선택적다중이온질량분석기(SIFT-MS)를 이용하여 악취물질별 농

Table 8. Characteristics of data analysis tools

Parameter	Spreadsheet(Excel)	relational form DB	R/Python	Cloud
Processing capacity	-Memory Capacity	-Disk Space Limit	-Memory Capacity Limit	-Almost Unlimited
Data type	-Table	-Table	-tables/vectors/matrix	-Almost Unlimited
Statistics and machine learning	-Limited statistics/learning model support	-Not supported	-Support for most statistics/learning models	-Support for most statistics/learning models
Data Visualization	-limited support	-Not supported	-Support for a variety of visualizations	-Most not supported

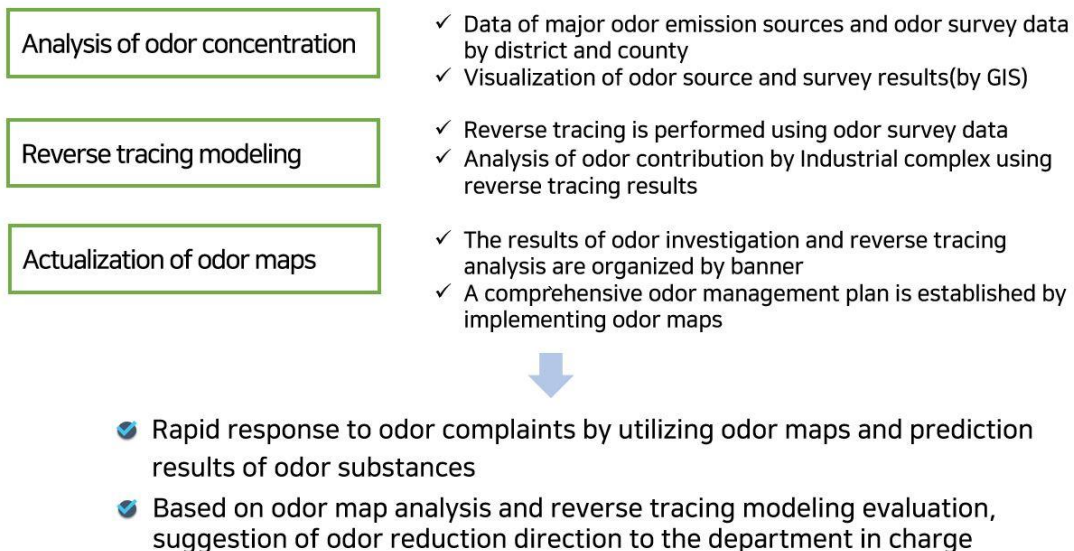


Fig. 6. Major procedures and composition measures for odor map preparation.

도를 분석하였다. 일반적으로 악취를 유발하는 물질의 종류는 매우 다양하며 쉽게 휘발될 수 있고, 비이온성인 화합물질로서 분자구조 및 작용기에 따라 냄새특성이 각기 다르게 나타난다. 예를 들어 메르캅탄류는 썩은 배추냄새, 아민류화합물은 생선비린내와 암모니아 냄새, 알데하이드류는 낮은 농도에서 과일향기를 높은 농도에서는 불쾌한 냄새를 유발한다.(Table 9)

악취배출시설 선정의 경우 산업단지 내 주요 악취배출시설로서 매년 악취 민원이 지속적으로 발생하는 업체를 대상으로 진행하였다. 1차 년도(2022)에는 총 4개 업체를 대상으로 시료채취 및 분석을 진행하였으며 구·군별로는 ㉔페인트제조업(사상구), ㉕동물사료제조업(강서구), ㉖동물용사료·조제식품제조업(사하구) 및 ㉗폐기물처리업(기장군)을 선정하였다. 또한 2차 년도(2022)에는 총 3개 업체를 추가로 조사하였으며 구·군별로는 ㉘폐수처리업(사상구), ㉙정밀기기제조업(사하구) 및 ㉚자동차부품제조업(기장군)을 선정하였다.

악취배출시설별 오염물질 분석결과, 1차 년도(2022)의 경우 ㉔페인트제조업(사상구)은 모든 공정에서 탄화수소류의 농도가 높게 나타났고 공정별로는 반응공정은 메틸에틸케톤(methyl ethyl ketone, MEK)이 1.901 ppm, 그 외 조색·혼합공정은 자일렌(xylenes)의 농도가 3.612 ppm, 0.372 ppm으로 높게 나타났다. ㉕동물사료제조업(강서구)은 대부분 공정에서 질소화합물 및 황화합물의 농도가 높게 나타났고 공정별

로는 집수조·폭기조는 암모니아(ammonia)가 0.693 ppm, 0.616 ppm, 건조·증자시설은 메틸메르캅탄(methyl mercaptan)의 농도가 0.058 ppm, 0.054 ppm으로 높았다. 또한 ㉖동물용사료·조제식품제조업(사하구) 역시 모든 공정(분류·증자시설)에서 암모니아(ammonia)의 농도가 0.153 ppm, 0.107 ppm으로 높게 나타났고 ㉗폐기물중간재활용업(기장군)은 모든 공정(탈수·파쇄시설)에서 아세트알데하이드(acetaldehyde)의 농도가 0.180ppm, 0.197ppm으로 높게 나타났다.

2차 년도(2023) 오염물질 분석결과, ㉘폐수처리업(사상구)은 증발시설에서 알데하이드(acetaldehyde, propionaldehyde)가 0.182 ppm, 0.056 ppm으로 높게 나타났고 그 외 공정(폭기조·건조시설)은 악취물질 농도가 높지 않았다. ㉙정밀기기제조업(사하구)은 대부분 공정에서 탄화수소류의 농도가 높게 나타났고 공정별로는 도장·건조시설에서 톨루엔(toluene) 2.082 ppm, 2.933 ppm 및 자일렌(xylenes)의 농도가 1.042 ppm, 1.244 ppm으로 높게 나타났다. ㉚자동차부품제조업(기장군)은 대부분 공정에서 탄화수소류 및 질소화합물의 농도가 높게 나타났고 공정별로 도장·건조시설은 트리메틸아민(trimethylamine) 2.917 ppm 및 메틸이소부틸케톤(methyl isobutyl ketone) 0.373 ppm, 내부사출 공정은 트리메틸아민(trimethylamine)의 농도가 0.063 ppm으로 조사되었다.

악취배출원별 오염농도 값을 분석한 결과, 업종·공정별로 배출되는 주요 악취물질의 종류와 농도가 차이

Table 9. Characteristics of odor by major substances

Compounds	Characteristic of odor	Major substance
·Sulfur Compounds	- The smell of rotting onions & cabbage	methyl mercaptan, methyl sulfide, methyl disulfide, etc.
	- Rotten egg smell	hydrogen sulfide, etc.
·Nitrogen Compounds	- Manure smell	ammonia, ethylamine, etc.
	- Smell of rotting fish	methylamine, trimethylamine, etc.
·Aldehydes	- Irritating, sour and burning smell	Acetaldehyde, propionaldehyde,
		n-butyraldehyde, i-butyraldehyde,
		n-valeraldehyde, i-valeraldehyde
·Hydrocarbons	- Pungent tinner smell	ethyl acetate, methyl isobutyl ketone
	- Gasoline smell	toluene, styrene, xylene
·Fatty acid	- Pungent sour smell	propionic acid
	- Smell of sweat	n-butyric acid
	- The smell of wet shoes	n-valeric acid, i-valeric acid
·Halogen element	- Pungent smell	chlorine, fluoride, etc

를 나타냈으며 이는 업체별로 사용되는 주원료 및 기타 첨가물의 성상 및 당일 작업 상황 등 다양한 현장조건에 의한 영향으로 보인다. 이에 따라 정확한 악취배

출원별 주요물질을 파악하기 위해서는 보다 다양한 악취배출원을 대상으로 체계적이며 지속적인 조사가 이루어져야 될 것으로 판단된다. Table 10에는 2년

Table 10. Major odor concentration by emission source(analyzed by SIFT-MS)

Compounds	Threshold (ppm)	㉔ Paint manufacturing (% Sasang-gu)			㉕ Animal feed manufacturing (% Gangseo-gu)				㉖ Animal feed & Processed food manufacturing (% Saha-gu)		㉗ Waste disposal business (% Gijang-gun)	
		Reaction process	Coloring process	Mixing process	Catchment tank	Aeration Tank	Drying facility	Steaming facility	Sorting facility	Steaming facility	Dewatering facility	Crushing facility
xylene	0.041	0.310	3.612	0.372	0.020	0.019	0.012	0.008	0.009	0.004	0.001	0.005
styrene	0.030	0.013	0.022	0.009	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001
toluene	0.900	0.247	1.140	0.322	0.011	0.017	0.017	0.010	0.015	0.015	0.002	0.003
methylethylketone	0.440	1.901	1.460	0.209	0.042	0.078	0.066	0.048	0.002	0.001	0.007	0.033
methylisobutylketone	0.200	0.078	0.206	0.028	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
isobutylalcohol	0.010	0.052	0.140	0.032	0.119	0.038	0.010	0.010	0.002	0.001	0.005	0.044
hydrogensulfide	0.0005	0.011	0.008	0.004	0.039	0.022	0.007	0.029	0.024	0.014	0.007	0.018
methylmercaptan	0.0001	0.001	0.001	0.001	0.022	0.016	0.058	0.054	0.003	0.003	0.006	0.019
dimethylsulfide	0.0001	0.009	0.010	0.003	0.002	0.001	0.003	0.004	0.002	0.001	0.003	0.011
dimethyldisulfide	0.0003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001
trimethylamine	0.0001	0.020	0.037	0.008	0.070	0.025	0.008	0.009	0.006	0.004	0.011	0.009
butanoicacid	0.00007	0.039	0.065	0.012	0.002	0.003	0.003	0.004	0.001	0.001	0.009	0.017
butylacetate	0.008	0.015	0.066	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
ammonia	0.100	0.139	0.093	0.076	0.693	0.616	0.093	0.132	0.153	0.107	0.018	0.011
acetaldehyde	0.002	0.040	0.038	0.025	0.051	0.036	0.049	0.074	0.079	0.033	0.180	0.197
valeraldehyde	0.0002	0.011	0.019	0.018	0.011	0.009	0.024	0.024	0.008	0.005	0.001	0.001
propionaldehyde	0.002	0.022	0.036	0.021	0.007	0.009	0.018	0.027	0.039	0.024	0.030	0.011
valericacid	0.00005	0.009	0.039	0.006	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.004
propanoicacid	0.002	0.029	0.056	0.007	0.004	0.005	0.008	0.007	0.002	0.002	0.002	0.005
butyraldehyde	0.0003	0.019	0.023	0.020	0.010	0.006	0.013	0.015	0.006	0.007	0.006	0.006

Table 10. Major odor concentration by emission source(analyzed by SIFT-MS)(Continued)

Compounds	Threshold (ppm)	㉘ Wastewater Treatment (ppm, Sasang-gu)			㉙ Precision equipment manufacturing (ppm, Saha-gu)			㉚ Manufacture of automotive parts (ppm, Gijang-gun)		
		Evaporation facility	Aeration Tank	Drying facility	Painting process	Drying facility	Heat treatment	Painting/drying facility	Injection inside	External injection
xylene	0.041	0.025	0.013	0.000	1.042	1.255	0.004	0.039	0.011	0.006
styrene	0.030	0.001	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.003	0.000	0.000
toluene	0.900	0.029	0.013	0.000	2.082	2.933	0.003	0.316	0.024	0.009
methylethylketone	0.440	0.008	0.002	0.000	0.450	0.456	0.001	0.065	0.008	0.001
methylisobutylketone	0.200	0.000	0.001	0.000	0.023	0.018	0.001	0.373	0.012	0.000
isobutylalcohol	0.010	0.004	0.002	0.001	0.072	0.082	0.001	0.028	0.003	0.002
hydrogensulfide	0.0005	0.003	0.000	0.000	0.007	0.016	0.003	0.000	0.000	0.000
methylmercaptan	0.0001	0.005	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000
dimethylsulfide	0.0001	0.007	0.002	0.000	0.010	0.013	0.000	0.004	0.000	0.000
dimethyldisulfide	0.0003	0.000	0.000	0.000	0.006	0.008	0.000	0.001	0.000	0.000
trimethylamine	0.0001	0.007	0.003	0.001	0.014	0.023	0.001	2.917	0.063	0.001
butanoicacid	0.00007	0.017	0.005	0.001	0.017	0.023	0.002	0.175	0.012	0.003
butylacetate	0.008	0.002	0.001	0.001	0.292	0.379	0.000	0.168	0.026	0.000
ammonia	0.100	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.040	0.040
acetaldehyde	0.002	0.182	0.042	0.010	0.045	0.063	0.011	0.079	0.000	0.000
valeraldehyde	0.0002	0.003	0.003	0.000	0.004	0.006	0.002	0.011	0.000	0.002
propionaldehyde	0.002	0.056	0.015	0.005	0.106	0.123	0.005	0.038	0.032	0.007
valericacid	0.00005	0.008	0.003	0.000	0.019	0.025	0.001	0.034	0.003	0.001
propanoicacid	0.002	0.005	0.002	0.000	0.028	0.025	0.001	0.004	0.001	0.000
butyraldehyde	0.0003	0.012	0.004	0.001	0.030	0.046	0.002	0.007	0.005	0.003

(2022~2023)간 조사된 악취배출업체별 주요 악취물질 및 농도 값을 각각 나타내었다.

3.1.2. 악취배출원별 기여도 분석

악취배출원별 주요 원인물질을 파악하기 위해 악취농도 분석과 더불어 각 업체 및 공정에 따른 악취물질별 농도 값을 이용하여 악취활성값(OAV) 및 악취기여도(OC) 분석을 수행하였다. 발생원별 주요 악취물질의 경우 분뇨·하수처리장, 사료공장 등 물질부패가 예상되는 시설은 황화수소, 메틸메르캡탄 등이 주로 발생되며 도료제조 및 도장시설 등 유기용제의 사용이 많은 시설에서는 탄화수소류(toluene, xylenes) 및 알데하이드류 물질이 주로 배출되는 것으로 나타났다. 또한 드라이크리닝·세탁시설은 트리클로로에틸렌과 테트라클로로에틸렌, 식품제조시설에서는 아민류 등의 물질이 주로 배출되는 것으로 알려져 있다.<sup>7)</sup>

악취기여도(OC) 분석결과, 1차 년도(2022)의 경우 ㉔ 페인트제조업(사상구)은 지방산류, 질소화합물의 기여도가 높았으며 모든 공정에서 지방산류 중 뷰티르산(butanoic acid) 기여도가 27.6~44.3 %로 높게 나타났다. ㉕ 동물사료제조업(강서구)은 질소화합물, 황화합물 및 알데하이드류의 기여도가 높게 나타났고 공정별로 집수·폭기조는 질소화합물 중 트리메틸아민

(trimethylamine) 기여도가 40.6~57.6 %, 건조·증자 시설은 황화합물 중 메틸메르캡탄(methyl mercaptan) 기여도가 52.2~60.7 %로 높게 나타났다. ㉖ 동물용사료·조제식품제조업(사하구)은 황화합물 및 질소화합물의 기여도가 높았으며 선별·증자시설에서는 트리메틸아민(trimethylamine) 기여도가 18.1~19.2 %, 그 외 황화수소(hydrogen sulfide) 및 메틸메르캡탄(methyl mercaptan) 성분도 10 % 이상의 기여율(%)을 나타냈다. 기장군에 위치한 ㉗ 폐기물중간재활용업(기장군)은 황화합물, 질소화합물 및 지방산류의 기여도가 높게 나타났고 탈수·파쇄시설에서 뷰티르산(butanoic acid)의 기여도가 24.0~27.3 %, 그 외 공정에서도 메틸메르캡탄(methyl mercaptan), 트리메틸아민(trimethylamine) 성분이 21.1~21.8 %로 유사한 기여율(%)을 나타냈다.

또한 2차 년도(2023) 분석결과, ㉘ 폐수처리업(사상구)은 지방산류 및 질소화합물의 기여도가 높았으며 모든 공정에서 뷰티르산(butanoic acid) 기여도가 22.9~31.3 %, 트리메틸아민(trimethylamine) 기여도가 13.0~31.3 %로 나타났다. ㉙ 정밀기기제조업(사하구)도 지방산류 및 질소화합물의 기여도가 높게 나타났고 공정별로 도색·건조시설은 지방산류 중 iso+n발레르산(valericacid) 기여도가 30.9~32.7 %,

Table 11. Contribution of odor compounds to emission sources(analyzed by SIFT-MS)

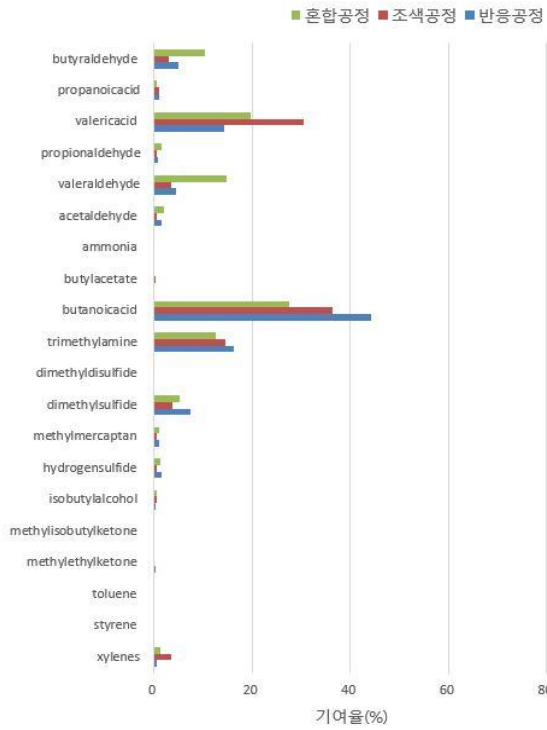
Compounds	㉔ Paint manufacturing (% , Sasang-gu)			㉕ Animal feed manufacturing (% , Gangseo-gu)				㉖ Animal feed & Processed food manufacturing (% , Saha-gu)		㉗ Waste disposal business (% , Gijang-gun)	
	Reaction process	Coloring process	Mixing process	Catchment tank	Aeration Tank	Drying facility	Steaming facility	Sorting facility	Steaming facility	Dewatering facility	Crushing facility
xylenes	0.6	3.5	1.5	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
styrene	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
toluene	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
methylethylketone	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
methylisobutylketone	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
isobutylalcohol	0.4	0.5	0.5	1.0	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5
hydrogensulfide	1.7	0.6	1.4	6.5	7.3	14	5.6	15.0	12.2	2.5	4.1
methylmercaptan	1.1	0.5	1.0	18.1	25.9	60.7	52.2	10.3	12.7	10.5	21.8
dimethylsulfide	7.4	3.7	5.3	1.9	2.0	3.2	4.2	5.6	6.0	6.2	11.9
dimethyldisulfide	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.9	1.0	0.4	0.3
trimethylamine	16.4	14.5	12.7	57.6	40.6	8.0	9.1	19.2	18.1	21.1	10.3
butanoicacid	44.3	36.3	27.6	2.1	7.2	4.0	4.8	2.6	6.8	24.0	27.3
butylacetate	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ammonia	0.1	0.0	0.1	0.6	1.0	0.1	0.1	0.5	0.5	0.0	0.0
acetaldehyde	1.6	0.7	2.0	2.1	3.0	2.6	3.6	12.3	7.3	16.8	11.1
valeraldehyde	4.4	3.6	14.8	4.3	7.7	12.6	11.7	11.8	10.6	1.0	0.6
propionaldehyde	0.9	0.7	1.7	0.3	0.7	1.0	1.3	6.2	5.2	2.8	0.6
valericacid	14.3	30.4	19.8	2.6	0.0	1.3	2.2	9.1	8.4	10.9	8.8
propanoicacid	1.1	1.1	0.6	0.2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.5	0.2	0.3
butyraldehyde	5.0	3.0	10.5	2.6	3.2	4.5	4.8	6.2	10.4	3.5	2.3

열처리시설은 뷰티르산(butanoic acid) 기여도가 31.5%로 나타났다. 또한 트리메틸아민(trimethylamine)도 모든 공정에서 6.4~14.0%로 나타났다. 마지막으로 ④자동차부품제조업(기장군) 역시 질소화합물 및 지방산류의 기여도가 높았으며 모든 공정에서 트리메틸아민(trimethylamine) 기여도가 8.4~89.6%, 뷰티르산(butanoic acid) 기여도가 7.7~40.3%로 나타났다.

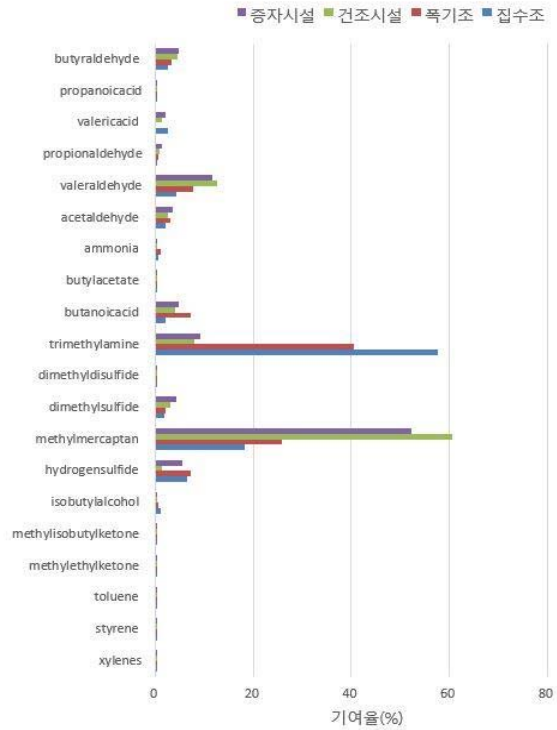
악취배출업체에 따른 주요악취물질 및 기여도를 분석한 결과, 업종별로 농도 값과 기여도에 따른 주요 악취원인물질이 다소 차이를 나타냈고 이 중 ③페인트제조업, ⑤정밀기기제조업과 같이 탄화수소류(toluene, xylenes 등)의 농도가 높은 업종의 경우 주요 악취원인물질과 악취기여도(OC)의 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 적용된 탄화수소류의 최소감지 농도가 다른 악취물질 비해 높아 악취활성값이 낮은 원인으로 판단되며, 이에 따라 악취원인물질 분석 시 농도 값과 기여도를 종합적으로 비교·분석해야 될 것으로 보인다. Table 11 및 Fig. 7에는 2년(2022~2023)간 조사된 악취배출업체별 주요 악취물질 기여율(%)을 나타내었다.

Table 11. Contribution of odor compounds to emission sources(analyzed by SIFT-MS)(Continued)

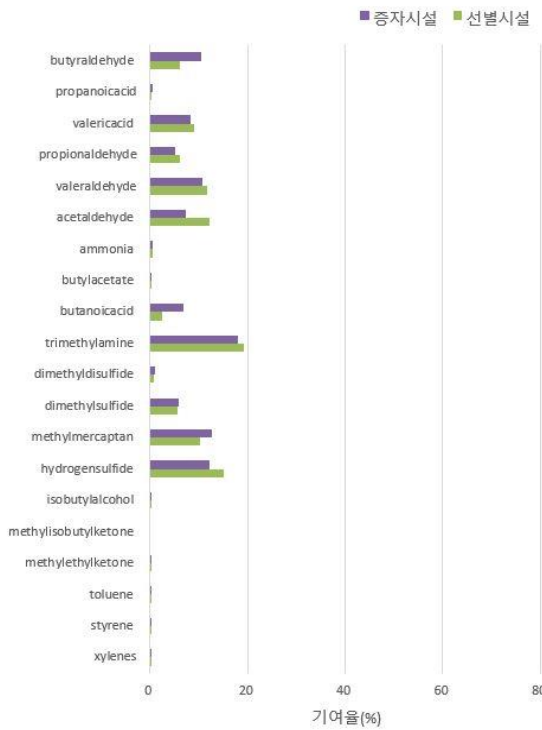
Compounds	③ Wastewater Treatment (%, Sasang-gu)			⑤ Precision equipment manufacturing (%, Saha-gu)			④ Manufacture of automotive parts (%, Gijang-gun)		
	Evaporation facility	Aeration Tank	Drying facility	Painting process	Drying facility	Heat treatment	Painting/drying facility	Injection inside	External injection
xylenes	0.1	0.1	0.0	2.2	1.9	0.1	0.0	0.0	0.1
styrene	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
toluene	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
methylethylketone	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
methylisobutylketone	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
isobutylalcohol	0.1	0.1	0.3	0.6	0.5	0.1	0.0	0.0	0.2
hydrogensulfide	0.9	0.0	0.0	1.2	1.9	5.1	0.0	0.0	0.0
methylmercaptan	6.9	6.3	0.0	0.3	0.6	0.0	0.0	0.9	1.1
dimethylsulfide	9.0	7.0	2.3	8.1	7.7	3.3	0.1	0.0	0.0
dimethyldisulfide	0.0	0.4	1.3	1.8	1.6	0.9	0.0	0.1	0.0
trimethylamine	8.7	13.0	21.4	11.9	14.0	6.4	89.6	68.9	8.4
butanoicacid	31.3	27.8	22.9	20.1	20.0	31.5	7.7	18.7	40.3
butylacetate	0.0	0.0	0.2	3.1	2.9	0.0	0.1	0.4	0.0
ammonia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
acetaldehyde	11.5	8.8	12.2	1.9	1.9	5.3	0.1	0.0	0.0
valeraldehyde	1.9	5.7	6.0	1.5	1.9	11.6	0.2	0.0	11.5
propionaldehyde	3.5	3.1	6.2	4.5	3.8	2.5	0.1	1.8	3.2
valericacid	20.7	21.4	16.2	32.7	30.9	26.2	2.1	7.2	26.6
propanoicacid	0.3	0.4	0.5	1.2	0.8	0.3	0.0	0.0	0.0
butyraldehyde	5.2	5.9	10.5	8.5	9.4	6.7	0.1	2.0	8.3



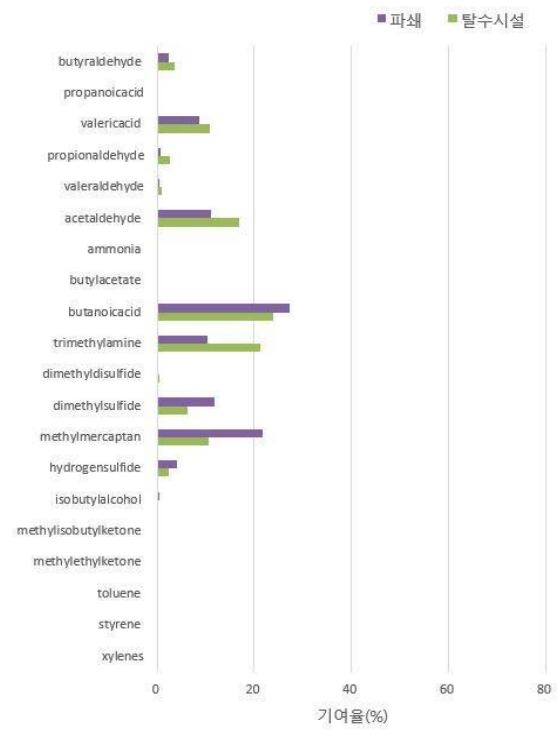
㉓ Paint manufacturing(Sasang-gu)



㉔ Animal feed manufacturing(Gangseo-gu)

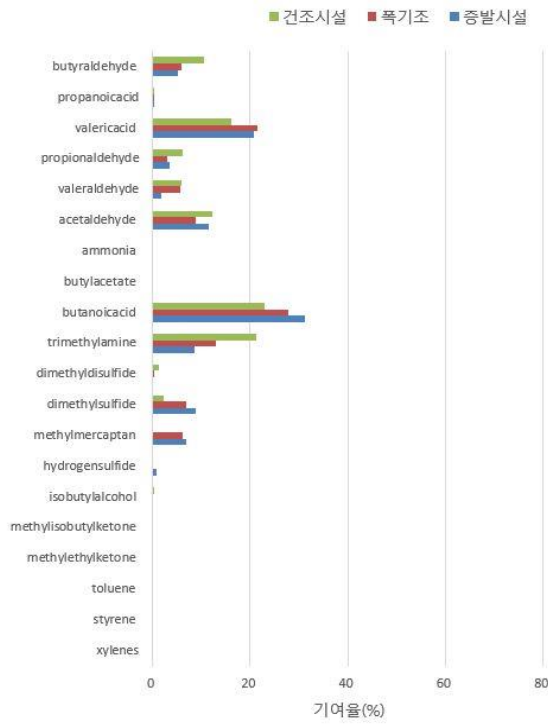


㉕ Animal feed & Processed food manufacturing(Saha-gu)

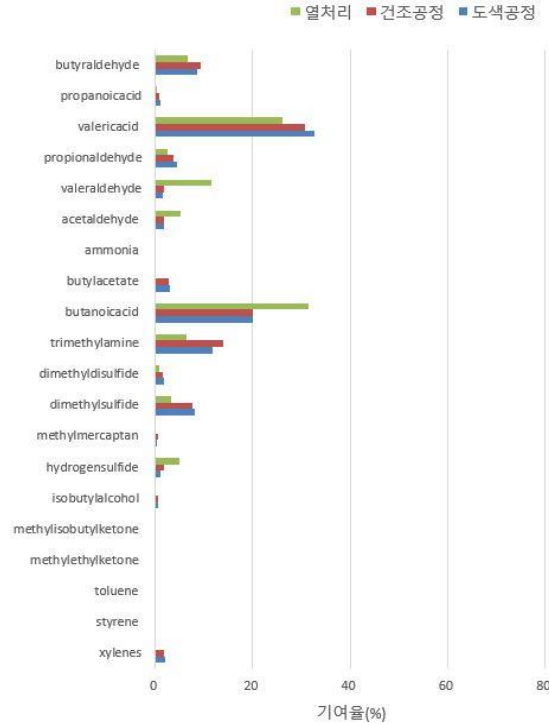


㉖ Waste disposal business(Gijang-gun)

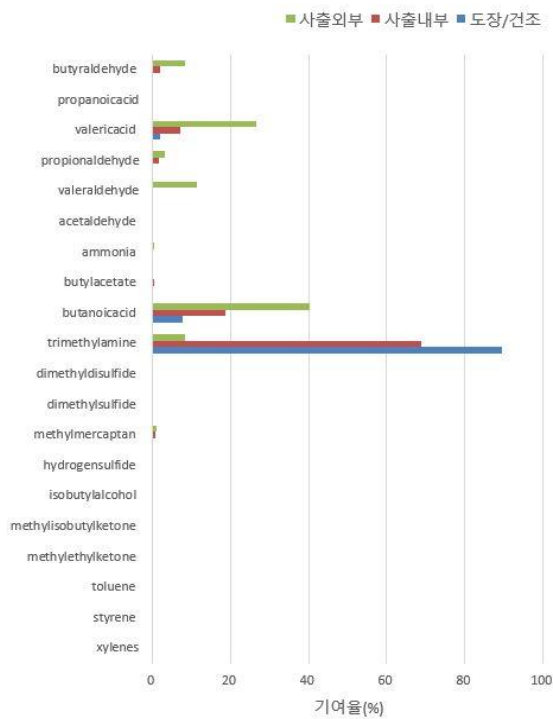
Fig. 7. Contribution of odor compounds to emission sources.



㉔ Wastewater Treatment(Sasang-gu)



㉕ Precision equipment manufacturing(Saha-gu)



㉖ Manufacture of automotive parts(Gijang-gun)

Fig. 7. Contribution of odor compounds to emission sources(Continued).



### 3.2 역추적모델링 결과분석

부산시의 공단지역 내에서 측정된 악취자료를 활용하여 인근에 위치한 악취배출원 및 기여도를 추정하기 위해 사하구 장림동을 대상으로 1, 2차(st)에 걸쳐 악취 및 기상자료를 측정된 후 역추적모델 기법인 CPF(Conditional Probability Function) 및 CWT(Concentration Weighted Trajectory) 분석을 통해 주요 악취오염원의 위치 및 영향반경 등을 추적하였다. 악취 및 기상측정의 경우 총 2회(1st: 2023년 9월 8일, 2st: 2023년 10월 12일)에 걸쳐 진행하였으며 악취측정 항목은 지정악취 물질 중 황화합물인 황화수소, 메틸메르캅탄과 질소화합물인 트리메틸아민 등 총 3개 항목을 대상으로 하였고 기상 항목은 풍향·풍속 등을 측정하였다.

Fig. 8에는 1, 2차에 걸쳐 조사한 악취물질 및 기상(풍향) 항목의 시계열 그래프(5 min 간격)를 나타내었고 각각의 그래프를 살펴보면, 악취물질별 농도 값의 경우 1차에 비해 2차 조사 시 황화수소, 메틸메르캅탄,

트리메틸아민의 농도가 대체적으로 높게 조사되었다. 또한 악취물질별로 최대(피크) 값의 물질별 발생시간대 역시 서로 일치하지 않는 것으로 나타나 이는 산업단지 내 위치한 주요 악취배출원별로 측정지점에 미치는 영향이 서로 상이한 것을 의미하며 이에 따라 역추적 모델링을 통한 오염물질별 악취배출원의 위치와 기여도를 추적하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

#### 3.2.1. CPF 모델에 의한 국지적 악취오염 배출원 추정

사하구 장림동 지역에서 측정된 시간대별 악취, 기상자료를 활용하여 공단지역 내 악취오염 배출원 위치를 추정하기 위해 CPF 모델 분석을 수행하였다. CPF 모델은 지표면에서 측정된 기상 자료를 사용하므로 측정장소 근처의 국지적 오염 파악에는 용이하지만 반대로 주변의 높은 건물 등 지형에 의한 영향을 많이 받고 장거리 이동에 의한 영향은 살펴볼 수 없는 단점이 있다.<sup>17)</sup> 따라서 CPF 모델 결과 값의 빈도가 높게 나타날 수록 풍상(바람이 불어오는 쪽)방향으로 악취배출원이

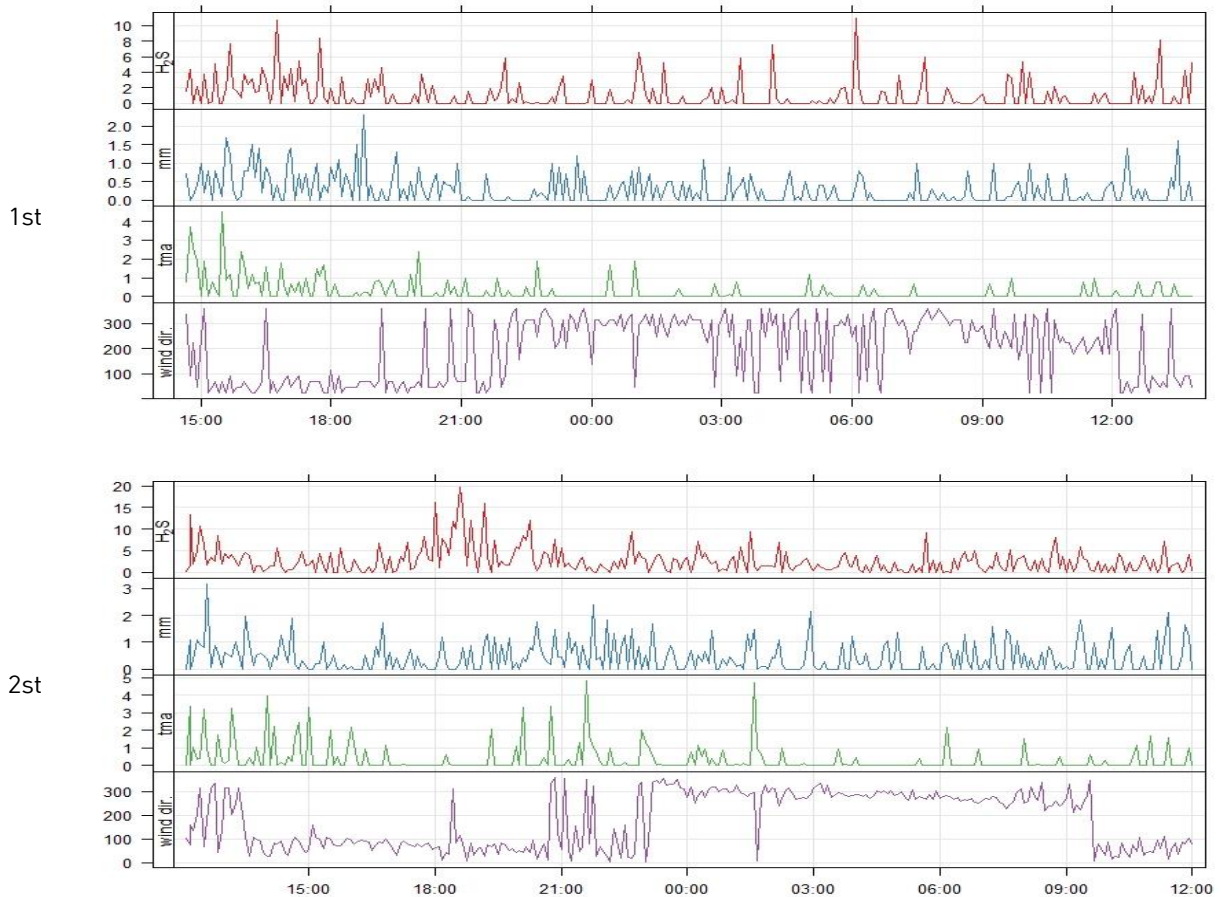


Fig. 8. Time series of wind direction and odor substances(Saha-gu).

존재할 가능성이 높을 것으로 추정하는 것이 바람직하다. CPF 모델 분석 시 악취물질별 50백분위수(50th percentile, 전체자료의 100등분 중 50번째 값) 이상의 값을 이용하여 오염장미도(Pollution Rose) 형태로 나타내었고 1차 측정 자료를 분석한 결과, 황화합물(Hydrogen sulfide, Methyl mercaptan)은 동북동(ENE) 방향의 수용점(측정지점) 끝단에서 유입이 두드러지게 나타났고 질소화합물(Trimethylamine)은 동북동(ENE) 및 동(E)쪽 방향을 중심으로 수용점에서 멀지 않은 인근 지역에서 유입된 것을 확인할 수 있었다. 또한 2차 측정 시에는 황화합물(Hydrogen sulfide, Methyl mercaptan) 및 질소화합물(Trimethylamine) 모두 수용점으로 유입되는 방향이 서로 상이한 것으로 나타났으며 황화수소는 남(S)쪽 방향의 인근지역, 메틸메르캅탄은 북북동(NNE) 방향의 수용점 끝단에서 유입된 것으로 나타났고 트리메틸아민은 약한 풍속에서 산발적인 풍향으로 수용점에 유입되는 것을 확인할 수 있었다.(Fig. 9) CPF 모델 분석결과, 악취오염 배출원 추정 시 오염원의 위치를 쉽게 추정하는데 이점이 있지만 조사 지점의 국지적인 요인(주변 건물 및 지형 등)으로 인해 결과 값의 일부 왜곡현상이 발생할 수도 있을 것으로 보인다.

### 3.2.2. 역추적(CWT) 모델을 이용한 악취오염물질 기여도 추정

역추적 모델기법인 CPF 모델의 경우 앞장에서 언급한 바와 같이 오염물질농도 및 기상자료를 활용하여 악취 배출원을 쉽게 추정할 수 있는 이점이 있지만 반대로 정확한 악취 배출원의 위치 파악이 어렵고 국지적인 요인(주변건물, 지형 등)으로 인해 결과 값의 일부 왜곡현상이 발생할 우려도 제기되었다. 따라서 이러한 문제점을 보완하기 위해 3차원 바람장(국지규모) 모델인 CALMET 결과 값을 이용하여 측정지점(수용점) 및 인근 주변지역의 기상을 고려한 역궤적 모델링(빈도수, %)을 수행한 후 악취물질별로 수용점 농도에 격자별(i, j) 가중치를 주어 지정된 모델링 영역 내 악취 배출원의 위치를 추적하였다.

모델링 영역은 측정지점을 포함하여 가로 4 km × 세로 4 km, 격자간격은 0.1 km으로 설정하였으며 바람장 생성 시 WRF(중규모 대기예측, 정규기상대(부산) 및 측정지점(사하구 장림동)의 기상자료를 포함한 고해상도의 바람장 결과 값을 활용하였다. CWT 모델 분석은 모델링 격자별 역궤적 빈도수(%)를 산정한 후 악취오염물질별(황화수소, 메틸메르캅탄, 트리메틸아민)로 격자별 가중치를 적용한 CWT 모델 결과 값을 계산하였다. 또한 결과 값 표출 시 1. 서론에서 언급한 사

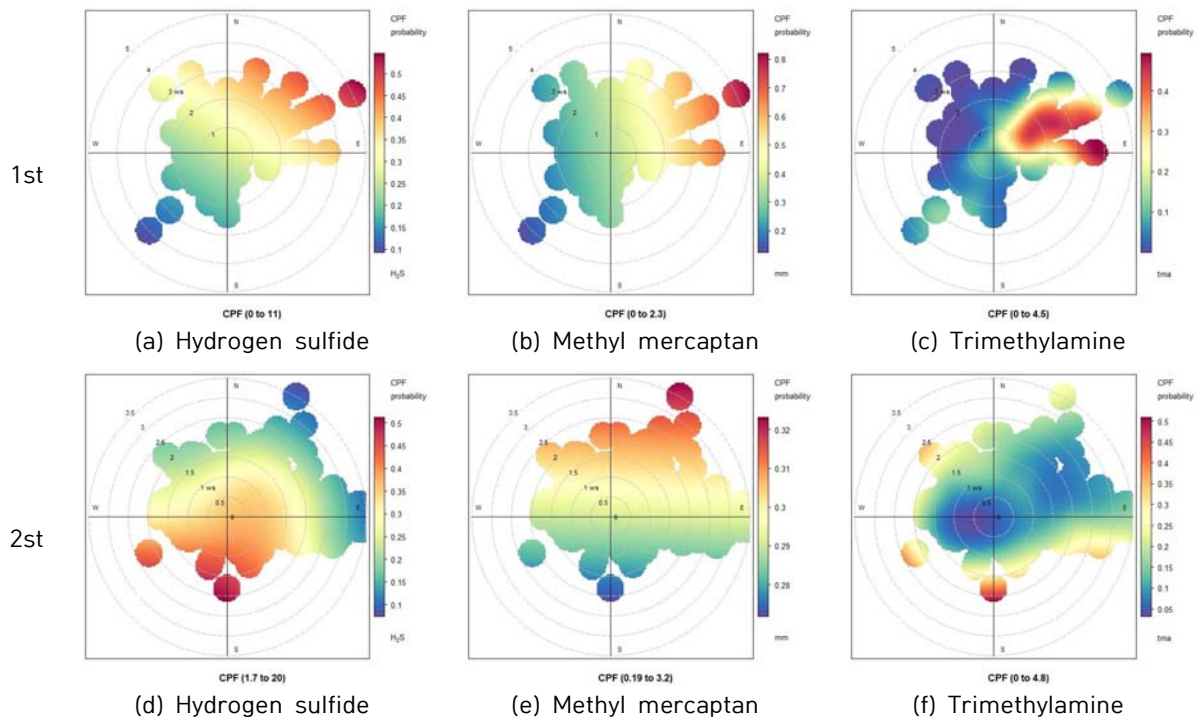


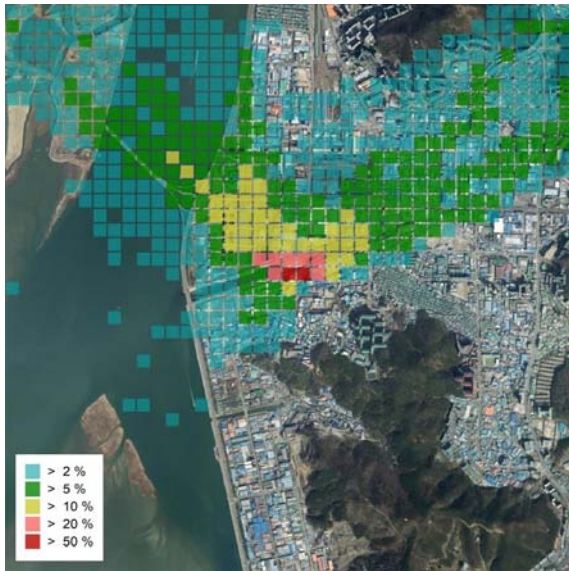
Fig. 9. CPF plots of odor substances(Saha-gu).

하구 지역 내 민원발생 건수(최근 5년간) 중 모델링 영역 내에 위치한 업종별 악취 배출원을 표시하여 CWT 모델 결과와의 상관성을 비교·분석하였다.

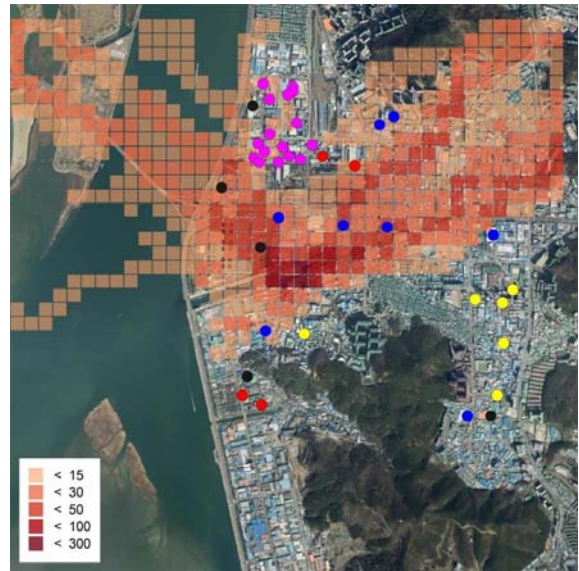
조사기간별 역귀적 빈도수(%) 및 CWT 모델을 분석한 결과, 1차 조사 시 역귀적 빈도수(%)는 수용점(장림포구, 50% 빈도수)을 중심으로 북서(NW) 및 북동(NE) 쪽 방향으로 높은 빈도수(%)를 나타내었고 그중에서도 특히 북서(NW)쪽을 통해 유입되는 바람이 우세한 것

으로 나타났다. 반면에 악취물질별 CWT 모델 결과 값을 살펴보면 역귀적 빈도수(%)와는 달리 황화합물(황화수소, 메틸메르캡탄) 및 질소화합물(트리메틸아민) 모든 악취물질이 유입된 주 풍향이 북서(NW)풍이 아닌 북동(NE)쪽 방향이 우세한 것으로 나타났다.

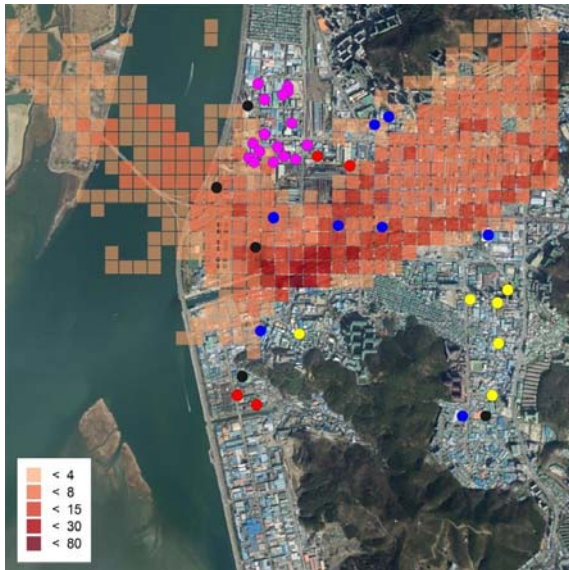
이는 조사기간 중 전체 바람의 주풍향은 북서(NW)풍이 우세하였으나 실제로 악취물질별 고농도가 발생한 기간의 주풍향은 북동(NE)풍이 우세하였음을 의미하



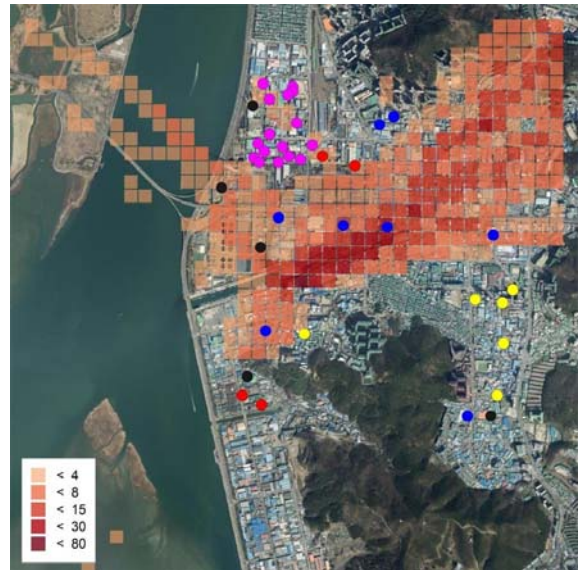
(a) Frequency(단위: %)



(b) Hydrogen sulfide



(c) Methyl mercaptan



(d) Trimethylamine

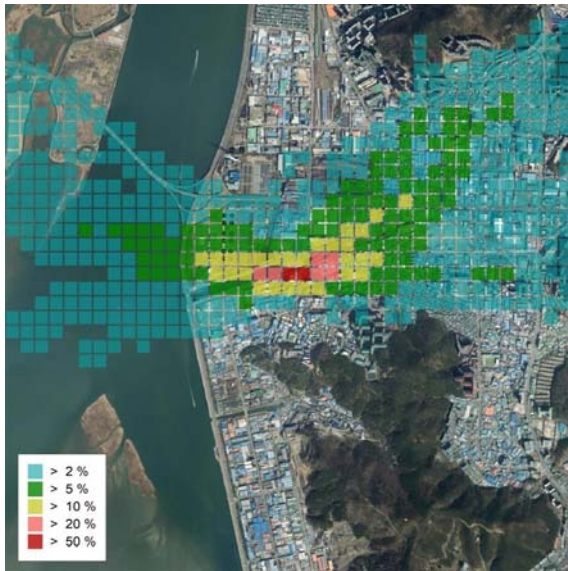
●(steelmaking & casting production), ●(waste & sewage treatment), ●(Chemical treatment),  
●(food manufacturing), ●(textile manufacturing)

Fig. 10. CWT modeling result of odor substances(Saha-gu, 1st).

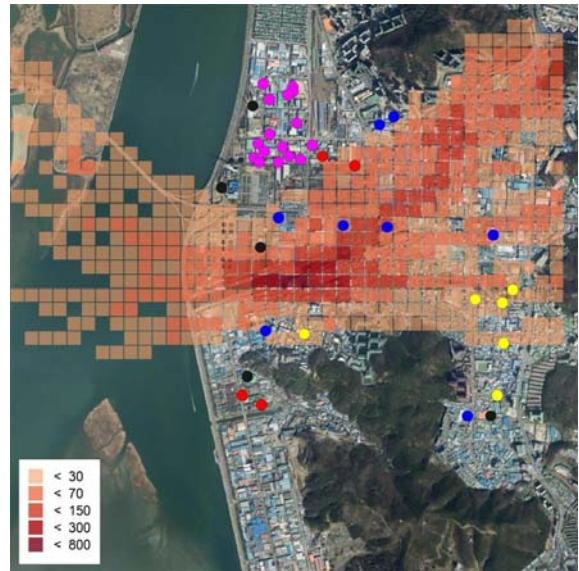
는 것이다. 다음으로 악취물질별 CWT 결과 값을 살펴 보면, 황화수소의 경우 북서(NW)쪽에 위치한 폐수 및 하수처리업(검은색)에서 오염물질의 일부가 유입되는 것으로 나타났고 그 외 악취물질들은 인근 북(N)쪽에 위치한 화학처리업(파란색)에서 유입된 것을 확인할 수 있었다. 또한 수용점(장림포구)을 중심으로 동쪽으로 위치한 장림생태공원을 통해서도 황화합물 중 황화수소 및 메틸메르캅탄이 주로 유입되는 것으로 나타났

다.(Fig. 10)

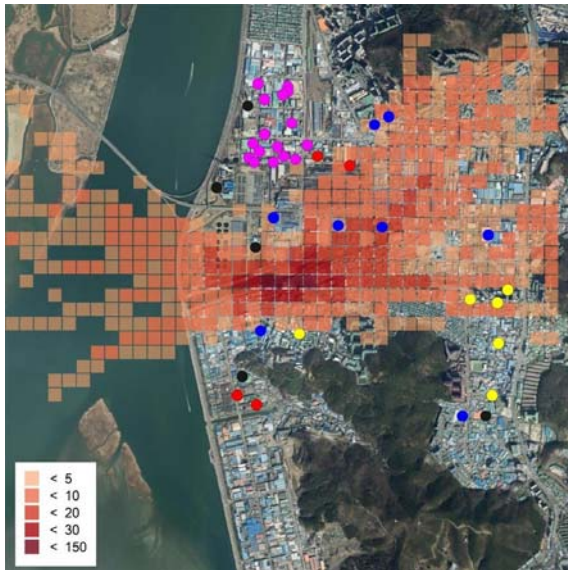
두 번째로 2차 조사 시 역궤적 빈도수(%)를 분석한 결과, 수용점(장림포구, 50% 빈도수)을 중심으로 서(W) 및 북동(NE)풍 방향에서 높은 빈도수(%)를 나타내었고 1차 조사에 비해 상대적으로 측정지점의 인근 지역에서 빈도수(%)가 높게 나타났다. 이는 역궤적의 길이가 상대적으로 짧은 경우(풍속이 낮을 때) 악취물질 농도가 높게 예측된 것으로 악취배출원이 수용점 인근



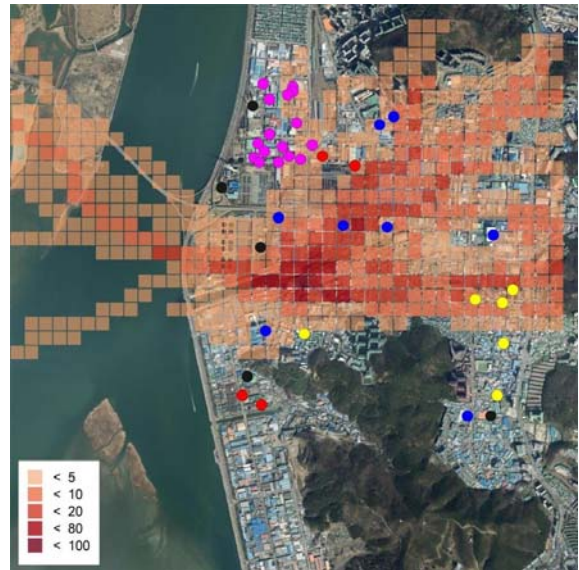
(a) Frequency(단위: %)



(b) Hydrogen sulfide



(c) Methyl mercaptan



(d) Trimethylamine

●(steelmaking & casting production), ●(waste & sewage treatment), ●(Chemical treatment),  
●(food manufacturing), ●(textile manufacturing)

Fig. 11. CWT modeling result of odor substances(Saha-gu, 2st).

에 위치할 가능성이 높다는 것을 의미한다.

또한 CWT 모델 분석결과, 황화합물(황화수소, 메틸 메르캡탄) 및 질소화합물(트리메틸아민) 모두 주로 측정지점의 북동(NE) 및 남(s)쪽 인근 지역에서 악취물질이 유입된 것으로 나타났고 남쪽 방향으로는 악취배출업체 중 식료품제조업(노란색) 및 화학약품제조업(파란색)이 주로 위치하고 있는 것으로 나타났다.(Fig. 11) 또한 1차 조사 시에 비해 상대적으로 장림생태공원에 의한 악취영향은 크지 않는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 8.와 같이 악취물질별 농도가 상대적으로 높았던 2차 조사의 경우 1차에 비해 수용점(장림포구)을 중심으로 남(S)쪽에 위치한 악취배출업체(식품제조업, 화학약품제조업 등)에 의한 영향이 큰 것으로 보이며 반대로 악취물질별 농도가 높지 않았던 1차 조사의 경우에는 수용점 동쪽에 위치한 장림생태공원에 의한 영향이 주로 나타난 것으로 판단된다.

### 3.3 악취지도 현행화

#### 3.3.1. 사업장 악취(공단악취)지도 현행화

부산지역의 주요 산업단지 내 악취물질별 농도분포를 악취지도로 표출하기 위해 선택적다중이온질량분석기(SIFT-MS) 차량을 이용하여 공단지역 내 악취배출시설을 중심으로 실시간 이동측정·분석을 실시하였다. 조사기간은 연중 악취 민원이 많이 발생하기 시작하는 5월(2분기)을 대상으로 하였고 측정시간은 일중 대기 혼합층 높이가 낮고 확산이 원활하지 않아 악취오염물질이 정체되기 쉬운 오전시간대(9시~12시)를 선정하

였다.

데이터 시각화를 통한 악취지도 작성 시 Python의 Folium(Data Visualization) 패키지 활용하여 구·군별로 측정된 악취농도 값을 표출하였으며 지정악취물질 중 주요 악취오염물질인 황화합물(황화수소 등 4종) 및 질소화합물(트리메틸아민)을 대상으로 농도 값을 나타내었다. Fig. 12에는 이 중 대표적으로 황화수소(H<sub>2</sub>S) 물질에 대한 악취지도 결과(상세)를 나타내었다.

공단지역 중 사상구는 주요 악취배출시설인 ①폐수처리업, ②주물제조업 및 ③아연도금업체를 중심으로 황화수소 농도가 대체적으로 높게 나타났고 이 중 ②번 지점 주변의 농도 분포가 가장 진한(고농도) 것을 확인할 수 있었다. 강서구는 주요 악취배출시설인 ①주물제조업, ②~③폐기물처리업 및 ④동물사료제조업 중 ①, ④번 지점 주변의 농도 분포가 다른 악취배출시설 대비 높은 것으로 나타났다. 또한, 사하구는 주요 악취배출시설인 ①철관제조업, ②섬유가공단지, ③수산물도매업체 중 ③번 지점 주변의 농도 분포가 가장 높았으며 기장군은 주요 악취배출시설인 ①~③폐기물처리업을 중심으로 황화수소의 농도가 대체적으로 높은 것을 확인할 수 있었고 이 중 ①, ③번 지점 주변의 농도 분포가 가장 높게 조사되었다.

추가적으로 악취지도 작성 시 Fig. 13과 같이 실시간 이동 측정된 자료와 주요 배출원별 악취분석 자료를 동시에 표출하여 악취배출원 및 주변지역의 악취영향을 종합적으로 분석할 수 있도록 나타내었다.

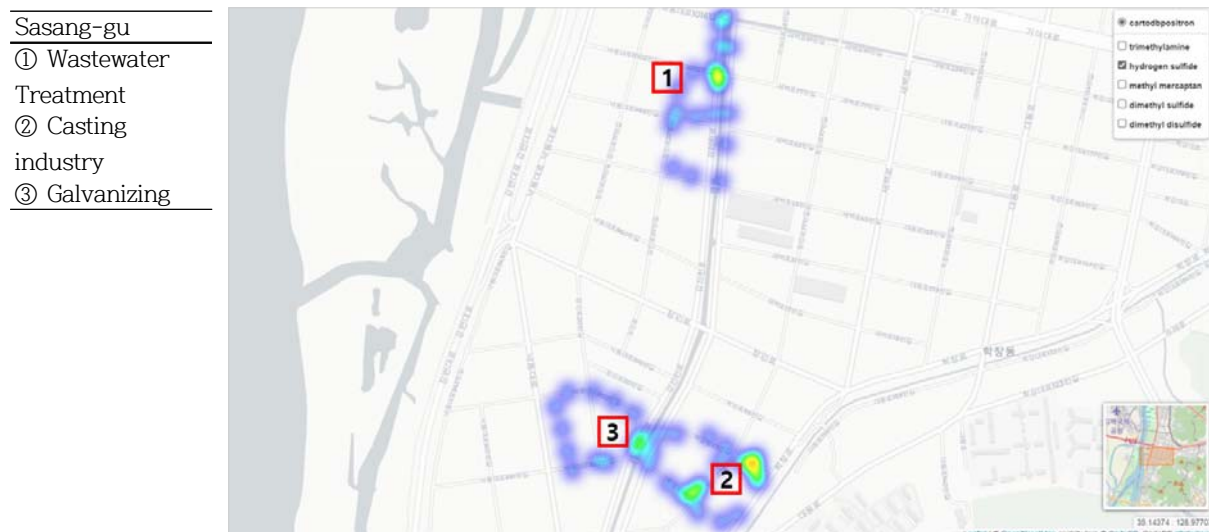
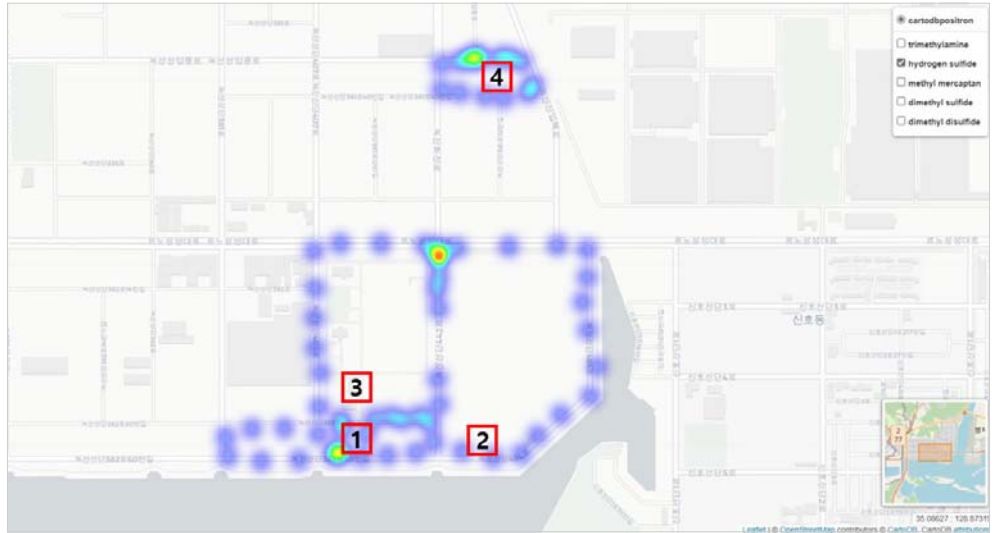


Fig. 12. Odor map by industrial complexes using Python.

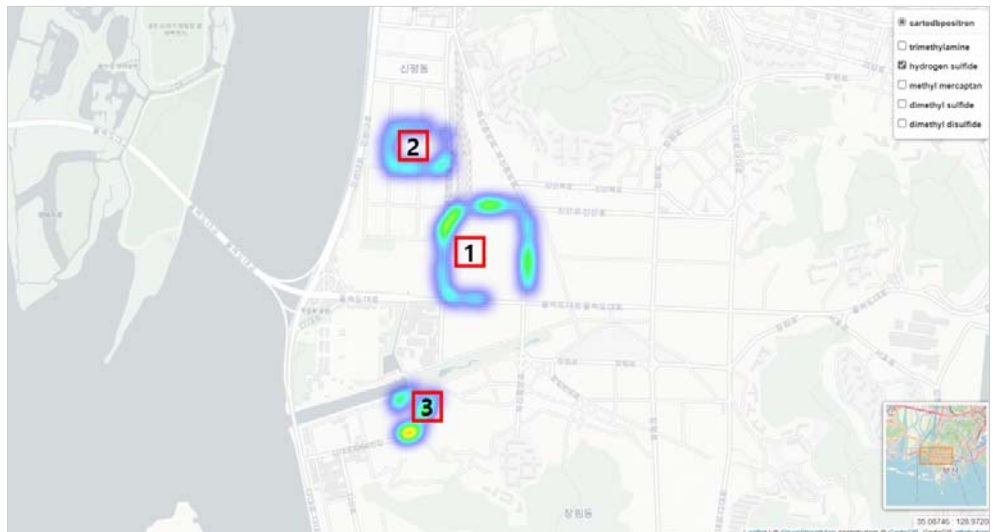
Gangseo-gu

- ① Casting industry
- ②~③  
Waste disposal  
business
- ④ Animal feed  
manufacturing



Saha-gu

- ① iron pipe  
manufacturing
- ② Textile  
Processing
- ③ Wholesale of  
Fishery Products



Gijang-gun

- ①~③  
Waste disposal  
business



Fig. 12. Odor map by industrial complexes using Python(Continued).

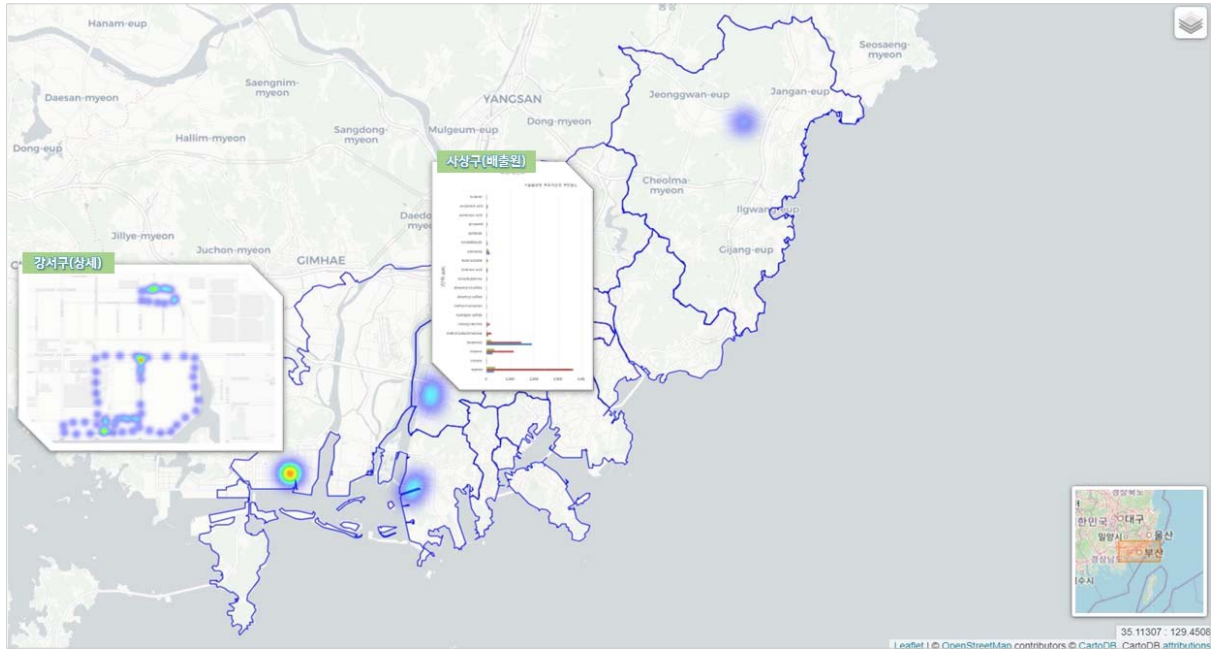


Fig. 13. Odor map for major industrial complexes in Busan.

### 3.3.2. 생활 악취(하천·하수구)지도 현행화

부산시를 포함한 국내의 하수도 시스템은 악취 발생에 취약한 구조로 합류식 하수처리지역의 정화조, 하수관로 맨홀 및 연결부의 단차 및 경사 불량 등에 의한 하수관 퇴적 등을 원인으로 들 수 있다.<sup>18)</sup> 또한 시민들의 생활수준 향상으로 하수도 악취 민원은 매년 지속적으로 증가하고 있는 추세이며 2021년도 부산시 하수관로의 보급률은 91.9 %로 높게 나타났지만 이 중 합류식 비율(% , 시설연장 기준)이 44.6 %로 낮은 수준이고 구·군별로는 기장군 79.5 % , 강서구 76.9 % 및 금정구 50.7 %를 제외한 대다수의 지역이 50.0 % 미만으로 낮게 나타나 이러한 분류식 하수관거의 비율(% )이 낮은 지역의 경우 악취가 발생할 수 밖에 없는 상황이다.<sup>19)</sup> 또한 이러한 합류식 하수관거의 퇴적물이 인근 하천으로 유입되면서 지속적으로 악취를 유발하고 있으며 실제로 보건환경연구원에서 하천 악취를 분석한 결과, 황화수소가 주요 악취물질로 밝혀지기도 하였다.

이에 따라 보건환경연구원은 부산시 환경정책과와 협업하여 매년 생활악취 중 주요 하천, 하수구를 선정하여 악취조사를 진행하고 있으며, 기존 조사결과 자료의 경우 지점별 위치, 악취물질별 농도 등 세부적이며 다양한 자료를 종합적으로 파악하는데 어려움이 있어 본 연구에서는 데이터 시각화(GIS 기반)를 통한 생활악취지도 제작하여 차후 부산시 및 구·군별 담당자

가 유용한 자료를 얻을 수 있도록 노력하였다. 악취지도 작성 시 2023년도를 대상으로 분기별(1~3st)로 총 30개 지점의 하천(10개)·하수구(20개)에 대하여 복합악취 및 주요 악취원인물질인 황화합물(황화수소 등 4종), 질소화합물(트리메틸아민) 및 알데하이드류(아세트알데하이드) 분석 값을 표출하였다.

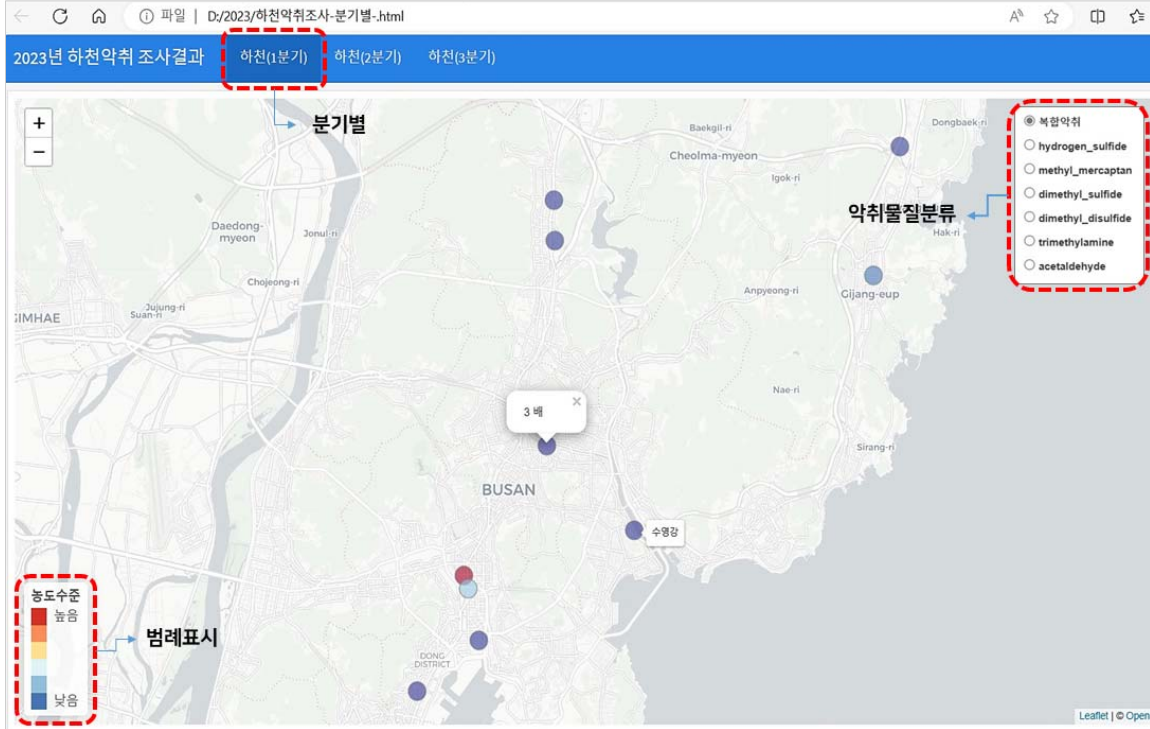
Table. 12와 같이 생활악취 발생지점의 악취농도를 분석한 결과, 하천 악취의 경우 1st(3월)은 복합악취 농도가 최대 66 배(희석배수)로 2, 3st(6, 9월)에 비해 높은 경향을 나타내었고 특히 지점별로는 부산진구에 위치한 부전천, 동천의 악취농도가 높게 나타났다. 또한 주요 악취원인물질 분석결과, 두 지점 모두 황화합물(황화수소, 메틸메르캡탄), 질소화합물(트리메틸아민)이 다른 하천에 비해 높은 것으로 조사되었다.

두 번째로 하수구 악취를 분석한 결과, 하천 악취와 유사하게 1st(3월)의 복합악취 농도가 최대 10,000 배(희석배수)로 2, 3st(6, 9월)에 비해 대체적으로 높은 농도를 나타내었고 영도구3 및 수영구2 지점의 경우 모든 조사기간에 걸쳐 복합악취 농도가 지속적으로 높게 나타났다. 또한 주요 악취원인물질 분석결과, 황화합물 중 황화수소는 최대 8.68 ppm(영도구3, 2st), 메틸메르캡탄은 최대 1.64 ppm(사하구1, 1st)로 나타나 황화합물이 하수구의 주요 악취원인물질로 판단된다. 반면, 하수구 중 복합악취 농도가 30 배(희석배수) 이 하인 지점의 경우 1. 밀폐형 악취방지 맨홀 덮개 또는

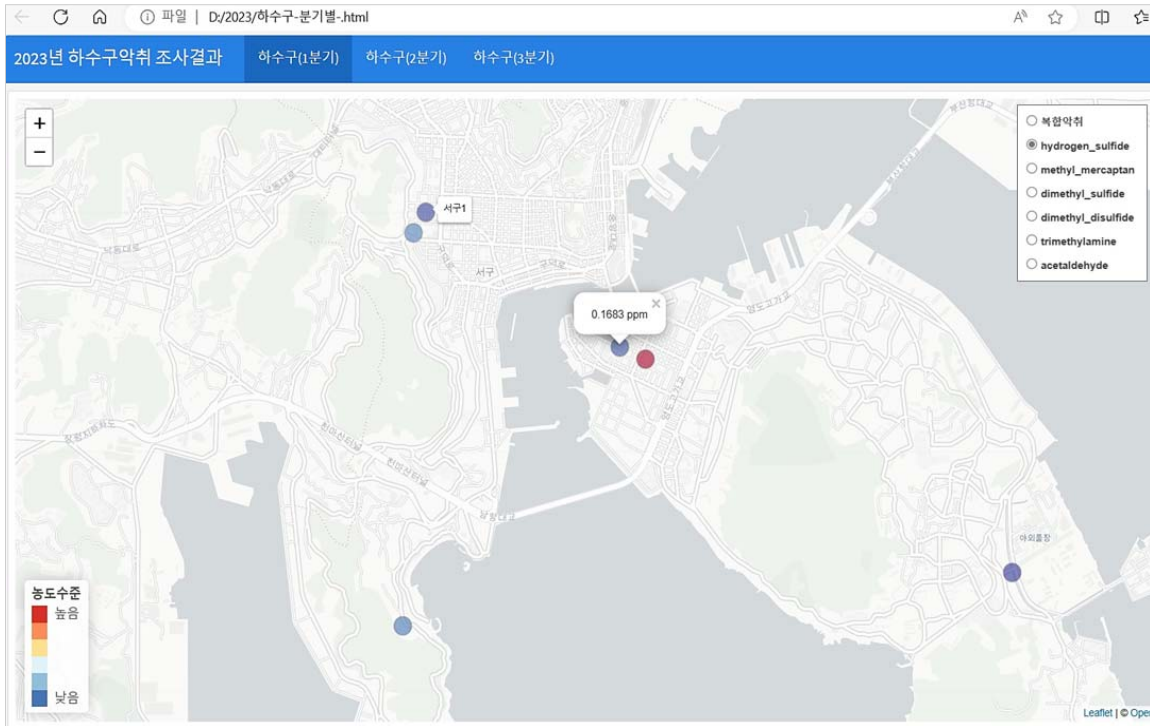
2. 하수관거 청소·준설 등을 실시한 곳으로 이러한 악취방지 대책이 생활악취(하수구) 저감을 위한 중요

한 방법으로 보여진다.

Fig. 14에는 생활 악취(하천·하수구)지도를 나타내



(a) Rivers



(b) Sewers

Fig. 14. Odor map of rivers and sewers



었고 악취지도 결과물은 하천, 하수구로 구분하여 표출하였다. 그림을 살펴보면 우선 분기별(st)로 결과 값을 하나의 파일(HTML)에서 모두 볼 수 있게 나타내었고 악취물질별로 지점명과 농도 값을 동시에 확인할 수 있으며 지도의 경우 GIS 기반(R/Leaflet)으로 확대·축소가 가능하여 원하는 지점의 상세한 위치정보를 보다 쉽게 확인할 수 있도록 작성하였다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 부산지역의 악취분포특성을 파악하기 위해 공단악취(주요 산업단지) 및 생활악취(하천·하수구) 지점을 대상으로 현장조사(이동, 고정)를 실시하였으며 선택적다중이온질량분석기(SIFT-MS)를 이용하여 악취농도를 분석하였다. 또한 악취 민원이 잦고

악취관리지역이 포함된 사하구를 대상으로 총 2회에 걸쳐 3차원 바람장 생성 및 역추적(CWT) 모델링을 통한 악취배출원 추적 및 기여도 분석을 수행하였고 마지막으로 공단 및 생활악취 등 다양한 악취분석 결과를 이용하여 악취지도를 현행화(GIS 기반)하였다. 본 연구에 따른 결론은 다음과 같다.

1. 첫 번째로 악취배출원별 주요 원인물질 분석결과, ㉠페인트제조업, ㉡정밀기기제조업은 모든 공정에서 탄화수소류(톨루엔, 자일렌 등)의 농도가 높게 나타났고 ㉢동물사료제조업, ㉣동물용사료·조제식품제조업은 질소화합물(암모니아), 황화합물(메틸메르캅탄), ㉤폐기물중간재활용업, ㉥폐수처리업은 알데하이드류(아세트알데하이드), ㉦자동차부품제조업은 탄화수소류(메틸에틸케톤, MEK) 및 질소화합물(트리메틸아민)

Table 12. Analysis of Odor in Rivers and Sewers

		Odor(배수)			Hydrogen sulfide(ppm)			Methyl mercaptan (ppm)			Trimethylamine(ppm)		
		1st	2st	3st	1st	2st	3st	1st	2st	3st	1st	2st	3st
R I v e r s	1. Choryang-cheon	3	3	10	0.002	0.001	0.009	0.0000	0.0005	0.0011	0.0007	0.0011	0.0008
	2. Dong-cheon(1)	3	14	10	0.003	0.000	0.014	0.0000	0.0005	0.0010	0.0009	0.0008	0.0005
	3. Oncheon-cheon(1)	3	3	4	0.001	0.002	0.002	0.0003	0.0007	0.0008	0.0003	0.0008	0.0006
	4. Bujeon-cheon	66	6	13	0.027	0.000	0.017	0.0020	0.0000	0.0017	0.0023	0.0008	0.0014
	5. Dong-cheon(2)	20	6	10	0.009	0.001	0.014	0.0004	0.0006	0.0010	0.0013	0.0002	0.0017
	6. Oncheon-cheon(2)	4	3	3	0.000	0.000	0.002	0.0006	0.0000	0.0003	0.0000	0.0014	0.0012
	7. Oncheon-cheon(3)	4	9	3	0.000	0.006	0.002	0.0011	0.0000	0.0002	0.0006	0.0009	0.0010
	8. Suyeong-gang	3	6	9	0.001	0.000	0.004	0.0003	0.0000	0.0008	0.0000	0.0000	0.0002
	9. Seobu-cheon	10	10	9	0.002	0.000	0.014	0.0002	0.0003	0.0012	0.0000	0.0004	0.0014
	10. Ilgwang-cheon	4	4	6	0.001	0.001	0.002	0.0001	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0012
S e w e r s	1. Seo-gu(1)	208	300	30	0.084	0.110	0.016	0.0041	0.0033	0.0017	0.0004	0.0013	0.0021
	2. Busanjin-gu	10	6	10	0.008	0.000	0.017	0.0002	0.0000	0.0010	0.0016	0.0002	0.0011
	3. Dong-gu	66	30	20	0.020	0.004	0.010	0.0011	0.0005	0.0012	0.0014	0.0003	0.0011
	4. Yeongdo-gu(1)	1,000	100	30	0.168	0.034	0.048	0.0029	0.0010	0.0010	0.0000	0.0005	0.0011
	5. Yeongdo-gu(2)	44	4	10	0.002	0.000	0.007	0.0001	0.0002	0.0010	0.0000	0.0002	0.0022
	6. Yeonje-gu(1)	144	669	14	0.022	0.194	0.003	0.0050	0.0066	0.0012	0.0009	0.0023	0.0008
	7. Yeonje-gu(2)	300	100	14	0.150	0.030	0.005	0.0064	0.0026	0.0006	0.0009	0.0012	0.0006
	8. Geumjeong-gu	10	4	20	0.001	0.000	0.005	0.0008	0.0000	0.0012	0.0003	0.0001	0.0009
	9. Suyeong-gu(1)	10	6	4	0.001	0.000	0.003	0.0006	0.0000	0.0005	0.0002	0.0001	0.0008
	10. Gijang-gun	30	14	144	0.008	0.000	0.010	0.0004	0.0000	0.0010	0.0000	0.0001	0.0020
	11. Haeundae-gu(1)	448	1,000	669	0.107	0.278	0.154	0.0012	0.0023	0.0071	0.0000	0.0016	0.0023
	12. Seo-gu(2)	1,442	144	100	0.376	0.110	0.018	0.0171	0.0007	0.0035	0.0000	0.0005	0.0024
	13. Buk-gu	1,000	144	66	0.266	0.095	0.005	0.0140	0.0025	0.0003	0.0027	0.0012	0.0006
	14. Saha-gu(1)	10,000	66	144	0.226	0.013	0.010	1.6369	0.0019	0.0051	0.0062	0.0017	0.0033
	15. Saha-gu(2)	100	100	100	0.035	0.072	0.023	0.0027	0.0016	0.0056	0.0000	0.0005	0.0007
	16. Seo-gu(3)	669	6	10	0.306	0.003	0.005	0.0053	0.0005	0.0012	0.0000	0.0004	0.0019
	17. Yeongdo-gu(3)	10,000	4,481	669	3.029	8.682	0.663	0.0835	0.0627	0.0359	0.0002	0.0028	0.0021
	18. Saha-gu(3)	66	3	6	0.003	0.009	0.004	0.0010	0.0007	0.0009	0.0000	0.0034	0.0013
	19. Suyeong-gu(2)	2,080	10,000	4,481	2.254	7.361	1.321	0.0367	0.1409	0.0344	0.0006	0.0046	0.0012
	20. Haeundae-gu(2)	208	300	448	0.035	0.020	0.159	0.0006	0.0011	0.0095	0.0000	0.0010	0.0008
Emission standards (Other areas)		15			0.02			0.002			0.005		

의 농도가 높게 나타났다.

2. 추가적으로 악취기여도(OC) 분석결과, ㉠폐인트제조업, ㉡폐수처리업, ㉢정밀기기제조업 및 ㉣자동차부품제조업은 질소화합물(트리메틸아민), 지방산류(뷰티르산)의 기여도가 높게 나타났고 ㉤동물사료제조업, ㉥동물용사료·조제식품제조업은 질소화합물(트리메틸아민) 및 황화합물(메틸메르캡탄)의 기여도가 높게 나타났다. 또한 ㉦폐기물중간재활용업은 황화합물(메틸메르캡탄), 질소화합물(트리메틸아민) 및 지방산류(뷰티르산)의 기여도가 높게 나타났으며 ㉧폐인트제조업, ㉨정밀기기제조업과 같이 탄화수소류(톨루엔, 자일렌 등)의 농도가 높은 업종의 경우 주요 원인물질과 악취기여도(OC)의 차이가 있는 것으로 나타나 이에 따른 종합적인 비교·분석이 필요해 보인다.

3. 두 번째로 역추적모델 기법(CPF, CWT 등)을 통해 악취오염원의 위치 및 영향반경을 추적한 결과, CPF 모델의 경우 1차 조사 시 황화합물(황화수소, 메틸메르캡탄)은 동북동(ENE) 방향의 끝단에서 수용점(측정지점)으로 유입이 두드러졌고, 질소화합물(트리메틸아민)은 동북동(ENE) 및 동(E)쪽 방향의 수용점 인근 지역에서 유입된 것으로 분석되었다. 2차 조사 시는 황화합물 중 황화수소는 남(S)쪽 방향의 수용점 인근지역, 메틸메르캡탄은 북북동(NNE) 방향의 끝단에서 수용점으로 유입이 두드러졌고 질소화합물은 약한 풍속 시 수용점 인근 지역에서 유입되는 것으로 분석되었다.

4. 또한 역궤적 빈도수 및 CWT 모델 분석결과, 1차 조사 시 역궤적 빈도수는 북서(NW)쪽에서 수용점(측정지점)으로 유입이 두드러졌으나 CWT 모델 분석결과와는 악취물질이 북동(NE)쪽 방향에서 수용점으로 유입된 것으로 나타나 북동(NE)풍 계열의 바람이 불 때 고농도의 악취물질이 발생한 것으로 나타났다. 2차 조사 시 빈도수 및 CWT 모델 분석결과, 북동(NE) 및 남(S)쪽 인근 지역에서 악취물질이 대부분 수용점으로 유입된 것으로 분석되어 결과적으로 악취농도가 상대적으로 높은 경우(2차)에는 수용점의 남(S)쪽에 위치한 악취배출업체(식품제조·화학약품제조업)의 영향이 큰 것으로 분석되었고 그렇지 않은 경우(1차)에는 동(E)쪽에 위치한 장림생태공원에서 수용점으로 유입되는 영향이 주로 나타났다.

5. 마지막으로 부산시 악취지도 작성 시 공단악취(이

동, 고정) 및 생활악취(고정) 등 다양한 악취분석 결과를 이용하였으며, 이중 공단악취는 실시간 측정된 자료(이동) 및 주요 배출원별 악취분석 자료(고정)를 동시에 표출하였고 생활악취(하천·하수구)는 하천, 하수구로 구분하여 악취지도 결과물을 각각 표출하였다(3.3 악취지도 현행화 참조). 본 연구의 악취지도 현행화 목적은 기존 단편적인 악취조사 분석결과를 세부적이며 다양한 자료를 종합적으로 파악할 수 있도록 데이터 시각화(GIS 기반)를 통한 악취지도를 작성하여 차후 부산시 및 구·군별 담당자에게 유용한 자료로 제공하기 위함이다.

앞에서와 같이 본 연구에서는 부산지역의 악취분포특성을 파악하기 위해 악취배출원별 조사(주요물질, 기여도), 역추적 모델 기법을 통한 악취오염원별 위치 및 영향반경 추적, 공단(주요 산업단지)·생활악취(하천·하수구) 등 다양한 악취분석결과를 이용한 악취지도 현행화(GIS기반)를 진행하였다. 악취물질은 그 발생원이 다양하고 국지적인 영향으로 원인과 특성을 파악하는데 많은 어려움이 있으므로 이를 분석하기 위해서는 악취배출원 조사, 대기확산 모델링(정추적, 역추적)을 통한 영향반경 분석 및 종합적인 악취 자료의 시각화(악취지도) 등의 지속적이며 다양한 접근과 노력이 필요할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. J. S. Jung, D. C. Kim, H. C. Lee, S. W. Yeon and I. J. Yeon, A Study on the Odor Compounds Emitted using Odor Contribution Analysis - Focus on the Ochang Scientific Industrial Complex Area -, *Journal of Environmental Sciences International*, 25(9), pp.1329-1339(2016).
2. Y. S. Jin, D. W. Gon, I. Y. Seung, A Study on Malodor Mapping and Characteristics of Malodor Distribution in Busan Area, *Busan Metropolitan City Public Health and Environment Research Institute*, 2019.
3. J. E. Ghan, J. H. Sa, S. T. Kim and K. H. Kim, Odorous Emissions from Household-related Sources: A Case Study on a Sewage Treatment Plant, *Journal of Korean Society*

- for *Atmospheric Environment*, 22(3), pp.337-351(2006).
4. S. J. Youn, K. H. Jo, H. S. Kim, G. B. Song, S. B. Lee and J. Y. Jeong, Measurement of Hazardous Air Pollutants in Industrial Complex Using Mobile Measurement System with SIFT-MS, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 36(4), pp.507-521(2020).
  5. K. C. Hwang, J. G. An, S. H. Lee, W. S. CHOI and U. H. Yim, A Study on the Ozone Formation Potential of Volatile Organic Compounds in Busan using SIFT-MS, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 36(5), pp.645-668(2020).
  6. W. G. Do, W. S. Jung, Contribution Analysis by Malodor Substances from Complex Odor Emission Sources in Urban Industrial Area, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 36(3), pp.360-375(2020).
  7. 악취관리 업무편람, 환경부, <http://www.me.go.kr>, 2012.
  8. S. H. Cho, Y. Han and W. Kim, Characteristics of fine particles measured in two different functional areas and identification of factors enhancing their concentrations, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 32, pp.100-113(2016).
  9. R. L. Poirot, P.R. Wishinski, P. K. Hopke and A. V. Polossar, Comparative application of multiple receptor methods to identify aerosol sources in Northern Vermont, *Environ. Sci. Technol.*, 35, pp.4622-4636(2001)
  10. Y. L. Xie, P. K. Hopke, p. Paatero, L. A. Barrie and S. M. Li, Locations and preferred pathways of possible sources of Arctic aerosol, *Atmos. Environ.*, 33, pp.2229-2239(1999)
  11. Y. M. Lee, M. G. Song, E. Y. Kim, S. H. Oh, C. Y. Park, W. S. Choi, T. Y. Lee, S. Z. Ho and M. S. Bae, Source Identification of PM2.5 Major Elemental Components at the Harbor Industrial Area in Busan - Comparison of Trace Elemental Concentrations Using Two XRFs, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 36(2), pp.216-227(2020).
  12. B. W. Kang, C. M. Kang, H. S. Lee, W. Y. Sun, Identification of Potential Source Locations of PM2.5 in Seoul using Hybrid-receptor Models, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 24(6), pp.662-673(2008).
  13. J. S. Scire, F. R. Robe, M. E Fernau and R. J. Yamartino, A User's Guide for the CALMET Meteorological Model, 2000, *Earth Tech, Inc.*,
  14. H. W. Lee, H. Y. Won and H. J. Choi, Numerical Simulation of Atmospheric Flow Fields Using Surface Observational Data in the Complex Coastal Regions, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 20(5), pp.633-645(2004).
  15. H. W. Lee, D. H. Kim, S. H. Lee, M. J. Kim, S. Y. Park and H. G. Kim, Skillful Wind Field Simulation over Complex Terrain using Coupling System of Atmospheric Prognostic and Diagnostic Models, *Journal of the Environmental Sciences*, 19(1), pp.27-37(2010).
  16. J. W. Shim, Development of Data Visualization Education Program using Python for Data Analysis, *Sungkyunkwan University*, 2021.
  17. J. Y. Ham, H. J. Lee, J. W. Cha and S. B. Ryoo, Potential Source of PM10, PM2.5, and OC and EC in Seoul During Spring 2016, *Atmosphere. Korean Meteorological Society*, 27(1), pp.41-54(2017).
  18. 주민참여형 하수도 악취지도 작성 및 저감방안 마련 연구, 성남시·환경부·환경환경공단, 2019.
  19. 부산광역시 하수관거(년 2005~2021년), 국가통계포털(KOSIS), <https://www.kosis.kr/>, 2023.
  20. I. S. Kil, D. H. Kim, H. j. Park and G. H. Chung, Research on Odor Emission Sources in Sihwa and Banwol Industrial Complex by

- Participation of the Residents, *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 5(2), pp.119-124(2006).
21. H. D. Son, J. G. An, S. Y. Ha, G. B. Kim and U. H. Yim, Development of Real-time and Simultaneous Quantification of Volatile Organic Compounds in Ambient with SIFT-MS (Selected Ion Flow Tube-Mass Spectrometry), *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 34(3), pp.393-405(2018).
22. H. Y. Park, H. S. Park, B. R. Lee, H. J. Choi, H. R. Kim, H. J. Lim, C. O. Park, I. S. Kim, G. H. Park, D. Y. Jeon and M. S. Bae, Source Assessment of PM-2.5 in the Residential Areas of Gwangyang Bay using Source Apportionment Model(II), *Journal of Environmental Analysis, Health and Toxicology*, 25(1), pp.18-32(2022).
23. J. H. Moon, B. W. Kim, I. Y. Yoon, H. S. Kim, Y. S. Koo and H. S. Kim, A Study of Peak Odor Concentration Using Meteorological Data of Higher Time Resolution, *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 11(4), pp.191-202(2012).