

QGIS를 이용한 하수악취 민원다발지역에 대한 하수악취 민원지도 및 농도지도 작성

정태욱*, 송도규, 이범구, 박정옥, 김경아, 유은철

Creating Civil Complaint Map and Concentration Map of a Sewage Malodor for Areas with Frequent Sewage Malodor Civil Complaint Using QGIS

Tae-Uk Jeong , Do-Kyu Song , Beom-Ku Lee , Jeong-Ok Park , Kyeong-Ah Kim  and Eun-Chul Yoo 

부산광역시 보건환경연구원

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

* Correspondence: masango48@korea.kr

<https://doi.org/10.5338/KJEA.2024.43.14>

Korean J. Environ. Agric. 2024, 43, 137-148

Received: August 26, 2024
Revised: September 12, 2024
Accepted: September 24, 2024
Published: September 30, 2024

Online ISSN: 2233-4173
Print ISSN: 1225-3537



Check for
updates

© The Korean Society of Environmental Agriculture 2024



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: To comprehend the status of sewer odor-related complaints in Busan Metropolitan City and create a complaint map, we collected and analyzed three years' worth of complaint data, mapping coordinates based on inputted addresses. Sewer odor complaints consistently totaled 1,274 cases over the three years, with a notable concentration in downtown areas. Yeongdo-gu recorded the highest number of complaints in 209 cases (16.4%), while Jung-gu exhibited elevated complaint rates per thousand residents and per square kilometer. Complaints were more frequent in the summer, particularly in June, with 207 cases, compared to the winter season. Recognizing the need for diverse analyses and foundational data for sewer odor reduction, it is deemed necessary to establish a standardized manual incorporating various checklists, in addition to unifying the management of complaint reception desks across districts. As Yeongdo-gu had the highest complaint frequency, a detailed investigation focused on 50 locations examined four sulfur compounds in sewer odors. The contribution analysis revealed hydrogen sulfide as the predominant odorant, constituting 82.74% of the total, reaffirming its significance in sewer odor. Analyzing sulfur compound concentrations by land use indicated higher hydrogen sulfide levels (133.61 ppb) in commercial areas compared to residential and industrial zones. Based on these data, civil complaint map and concentration map of sewer malodor were made using Geocoding tool program, QGIS, R leaflet package and sewerage network diagram layer. With sewer malodor complaints persistently occurring annually, it is expected that the sewer map can serve as foundational data for efficient sewer odor management. In addition, it is judged that continuous and extensive sewer malodor investigation and platform-type system construction should be conducted focusing on the original citer areas such as Jung-Gu, Seo-gu and Dong-gu, where the frequency of civil complaints was relatively high.

Keywords: Concentration Map, Sewage malodor complaints map, Sulfur compounds

서 론

국내에서 많이 발생하는 악취 문제는 배출원이 다양하고 그 피해 범위가 광범위하며, 평균 농도가 아닌 고농도의 순간 농도에 의해 발생하는 감각적인 특성이 있다. 또한 악취를 유발하는 원인물질이 매우 다양하고 지역마다 국지적인 특성이 있기 때문에 그 해결이 어려운 실정이다[1]. 특히 도심 하수관로에서 유래되는 하수 악취는 주민들에게 불쾌감과 혐오감을 유발하여 주민들의 쾌적한 생활을 저해하고 있다[2]. 하수구에서 발생하는 악취의 경우 황화수소를 포함한 황화합물에 의한 악취인 것으로 알려져 있으며[3], 이들 물질들은 악취방지법에서 정하고 있는 지정악취물질 22종에 포함되어 있다. 하수구에서 발생하는 황화합물은 주로 하수관거의 생물막층에서 화학적 반응과 미생물학적 반응에 의해서 생성되는 것으로 알려져 있다[4]. 이러한 악취 문제는 국민들의 생활 수준 향상과 쾌적한 환경에 대한 요구가 증대됨에 따라 악취 등 생활환경 전반에 대해 관심과 민원이 증가하고 있다. 악취 민원은 2006년 4,797건, 2010년 7,247건, 2015년 15,573건, 2018년 32,452건으로 악취방지법 시행 이후 지난 13년간 약 7배 증가하였고, 특히 하수도, 음식점 등 악취 비규제 시설과 악취관리지역 외의 사업장에서 증가한 것으로 나타났다[5]. 부산광역시 역시 악취관리지역 및 사업장 외 생활 악취 민원이 지속적으로 발생하고 있으며, 특히 하수도 정보시스템에 따르면 하수도 관련 악취 민원은 2019년 410건, 2020년 675건, 2021년 563건으로 지속적으로 발생하고 있다.

부산시의 하수관로 연장은 총 10,149 km이며, 이 중 5,626 km(55%)가 합류식 하수관거로 이루어져 있으며, 서울시(88%)를 제외하고는 전국에서 가장 높은 합류식 하수관거 비율이다. 합류식 하수관거는 정화조 오수가 유입될 때 하수의 냄새가 빗물받이, 맨홀뚜껑 등을 통해 대기 중으로 배출되어 사람들이 인지할 수 있을 정도의 악취가 발생하고 있고, 또한 오수와 우수를 분류하여 처리하는 분류식보다 악취강도가 높고 관리가 어려운 것으로 알려져 있다[1]. 그러나 하수구 악취 관련 연구가 많이 진행되고 있지만, 어디서 얼마나 발생하는지에 대한 정량적 연구가 부족한 실정이다[6]. 또한 제2차 악취방지종합시책(환경부)에 따르면 최근에는 악취관리지역이나 민원 다량 발생사업장을 지도 점검하는 등의 선 피해 후 사후조치 중심의 악취 관리 방법과 획일적 배출허용기준을 적용하는 관리 방법에서 생활과 밀접한 음식점, 하수구 등 수용체 중심의 피해 수준을 고려하는 등의 사전 예방적인 악취관리방법으로 변화하고 있다.

따라서 본 연구에서는 부산광역시 하수구 악취 관련 민원 현황을 파악하고 그에 따른 민원 지도 작성을 위하여 16개 구·군의 최근 3개년 민원 자료를 주소 기반으로 요청 및 파악하여 지도에 표시하였다. 또한 민원 빈도, 민원 발생 시기 등을 파악하여 빈도가 높은 지역을 대상으로 악취물질 농도를 조사하였으며, 이를 근거로 QGIS (Quantum Geographic Information System, 오픈 소스 데스크탑 지리정보시스템) 3.28.1-Firenze를 활용하여 점(point) 형태의 악취농도 지도를 작성하여[7,8] 하수 악취 민원 다발 지역의 관리에 활용될 수 있도록 향후 부산시 악취 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

조사 지점 및 조사 시기

부산광역시 하수 관련 악취 민원은 환경부에서 운영하는 하수도 정보시스템의 하수도 통계 자료에서 매년 보고되고 있으나, 구·군별 건수만 보고되고 있어 악취 민원 지도를 작성하기에는 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 각 구·군의 하수 악취 민원 접수 현황을 수집하여 이를 근거로 지도를 작성하였다.

부산광역시의 하수 관련 악취 민원 현황 조사 결과 합류식관거가 많은 지역인 중구, 서구, 동구 및 영도구 등 원도심 지역의 민원 건수가 대체로 많은 편이었으며, 그중 가장 많은 민원이 발생한 영도구를 대상으로 하수 농도지도를 작성하였다.

조사 대상지점은 악취 방지 덮개 설치, 유량이 없는 지역 등 조사가 불가능한 지점을 제외하고 조사 지점 간 거리가 500~1,000 m 이내가 되도록 하여 하수구 50개 지점을 조사하였다. 용도지역별로 구분하면 2종 일반주거지역 16건(32%), 3종 일반주거지역 5건(10%), 준주거지역 1건(2%), 상업지역 16건(32%) 등을 연구 대상으로 하였으며, 세부지점은 Table 1에 나타내었다.

시료는 하수량에 영향을 주는 봄철 갈수기 및 여름철 장마 기간을 제외한 기간인 9~10월 동안 각 조사 지점의 하수구에서 유량이 일부 있을 때 집중적으로 시료를 채취하였다.

Table 1. GPS coordinates of sampling sites

Sampling site	GPS Coordinate		Sampling site	GPS Coordinate		Sampling site	GPS Coordinate	
	Lat.	Long.		Lat.	Long.		Lat.	Long.
A-1	35.0886	129.0445	B-2	35.0871	129.0435	D-13	35.0935	129.0386
A-2	35.0898	129.0450	B-3	35.0923	129.0469	D-14	35.0927	129.0414
A-3	35.0904	129.0479	B-4	35.0832	129.0452	D-15	35.0921	129.0415
A-4	35.0890	129.0473	B-5	35.0921	129.0528	D-16	35.0922	129.0404
A-5	35.0876	129.0467	C-1	35.0844	129.0419	E-1	35.0927	129.0332
A-6	35.0970	129.0587	D-1	35.0903	129.0401	E-2	35.0910	129.0350
A-7	35.0936	129.0527	D-2	35.0905	129.0414	E-3	35.0882	129.0389
A-8	35.0940	129.0566	D-3	35.0922	129.0391	E-4	35.0885	129.0370
A-9	35.0890	129.0604	D-4	35.0930	129.0379	E-5	35.0871	129.0376
A-10	35.0866	129.0632	D-5	35.0897	129.0379	E-6	35.0853	129.0366
A-11	35.0940	129.0601	D-6	35.0891	129.0394	E-7	35.0842	129.0387
A-12	35.0966	129.0625	D-7	35.0887	129.0410	F-1	35.0949	129.0481
A-13	35.0845	129.0673	D-8	35.0869	129.0409	F-2	35.0938	129.0664
A-14	35.0816	129.0711	D-9	35.0934	129.0443	G-1	35.0916	129.0675
A-15	35.0814	129.0691	D-10	35.0945	129.0405	G-2	35.0748	129.0758
A-16	35.0785	129.0732	D-11	35.0951	129.0446	G-3	35.0842	129.0761
B-1	35.0828	129.0406	D-12	35.0956	129.0461	-	-	-

A, Type 2 Residential zone; B, Type 3 Residential zone; C, Semi Residential zone; D, Commercial zone; E, Light Industrial zone; F, Exclusive Industrial zone; G, Green zone.

시료 채취 및 분석 방법

악취 시료는 악취공정시험기준에 따라 악취 흡인 상자(5L-bag sampler, supelco, USA)와 시료 채취 주머니(5L Polyester Aluminum bag)를 이용하여 채취하였다. 시료 채취 주머니는 5회 이상 세척하여 사용하였고, 지점별 시료 채취 전 각 시료 채취 주머니의 무취 공기(질소)의 농도를 분석하여 시료의 결과값을 보정하였다. 시료 채취 시 약 1 L/min의 흡입 유량으로 하수구 입구에 최대한 가깝게 하여 약 5 L 채취하였고, 시료는 차광을 유지하여 실험실로 운반 후 즉시 분석하였다.

시료의 분석은 선택적 다중이온 질량분석기(SIFT-MS; Selected Ion Flow Tube-Mass)를 이용하여 분석하였으며, Table 2에 나타난 것처럼 악취방지법에서 정한 지정악취물질 22종 중 하수구 악취의 주요 원인물질로 알려져 있는 황화합물 4종을 분석하였다.

SIFT-MS는 전처리와 농축 과정 없이 분자량이 작은 할로젠화합물, 휘발성유기화합물 등 미량가스상 물질을 동시에 정량·정성할 수 있는 장점이 있다[9]. SIFT-MS의 분석 과정은 3단계의 과정을 거친다. 첫 번째 단계는 대기 중의 수분이 풍부한 공기와 산소, 질소를 마이크로파 플라즈마(microwave plasma)를 통해 이온화시켜서 반응 이온(O^{2+} , NO^+ , H_3O^+)을 생성시키는 단계이다. 두 번째 과정은 사중극자관의 매스 필터(Quadrupole mass filter)에서 생성된 반응 이온 중 분석에 필요한 반응 이온들은 흐름 튜브(flow tube)로 주입되고, 운반가스(carrier gas)와 충돌하여 안정화된다. 안정화된 반응 이온들은 샘플과 만나 화학적 특성에 따라 4가지 반응이 진행되며, 반응 이온의 에너지를 시료에 전달하여 생성 이온을 만드는 단계이다. 세 번째 단계는 이렇게

Table 2. Target compounds for SIFT-MS analysis

Type	Compound	CAS No.	Molecular formula	Odor threshold* (ppb, v/v)
Sulfur Compounds	Hydrogen sulfide	7784-06-4	H_2S	0.41
	Methyl mercaptan	74-93-1	CH_4S	0.07
	Dimethyl sulfide	75-18-3	C_2H_6S	3.00
	Dimethyl disulfide	624-92-0	$C_2H_6S_2$	2.20

* Odor threshold measured by the triangle odor bag method (Nagata, 2003)

생성된 생성 이온의 정량분석을 위해 다시 한번 사중극자 매스 필터를 통해 검출기로 들어가서 정량분석을 하는 단계이다. SIFT-MS를 이용한 정량은 분석 물질별 고유 반응속도, 반응 이온의 농도 및 생성 이온의 농도 등을 이용한 절대검량법으로 분석하기 때문에 표준물질이 없어도 pptv까지 분석이 가능하다.

본 연구에 사용된 SIFT-MS (Voice 200 ultra, Syft Technologies Ltd.)는 이론적으로 생성 이온농도, 반응 이온농도 및 반응속도로 시료의 농도 파악이 가능하다. 그러나 운반가스의 희석배율이나 검출기의 효율 등이 분석 결과의 오차로 작용할 수 있어 분석 전 교정(Validation)을 통하여 운반가스, 사중극자, 샘플 플로우, 장비 진공도, 표준가스의 질량 위치 확인 및 검출기 성능 등 10단계 과정을 통과시킨 후 분석하였으며, 분석 전 1시간 이상의 기기 안정화 과정을 거친 후 분석하였다. 또한 시료 채취 주머니 자체의 오염 등을 고려하여 시료 채취 주머니를 5회 이상 질소로 세척 후 바탕 농도를 분석한 후 시료의 결과값을 보정하였다[10].

민원 지도 및 농도 지도 작성 방법

환경부 하수 관리 악취 관리 지침에 따르면 하수 악취지도는 민원 지도, 시설 지도, 체감 지도 및 농도 지도 등 4가지가 있으며, 본 연구에서는 이 중 16개 구·군을 대상으로 한 민원 지도를 작성하였고, 그중 민원이 가장 많은 영도구 지역을 대상으로 농도지도도 작성하였다.

민원지도는 최근 3년(2020~2022)간 부산시 16개 구·군에 접수된 하수구 관련 민원 접수 현황을 수집하여 민원 접수일, 민원 내용 및 악취 민원 발생지점 주소 등을 활용하였으며, 민원 지도 작성 시 빈도수 또한 중요한 요소이므로 민원 중복지점도 고려하여 작성하였다. 또한 데이터베이스화된 악취 민원 발생지점 주소를 지오코딩(Geocoding Tool) 프로그램을 활용하여 민원 발생지점의 위·경도를 좌표화(EPSG:4326-WSG84) 하였다.

좌표화된 민원 발생지점을 지도에 시각화하기 위해 GIS (Geographic Information System) 프로그램 중 QGIS (Quantum Geographic Information System, 오픈소스 데스크탑 지리정보시스템) 3.28.1-Firenze를 활용하여 점(point) 형태의 지도를 작성하였다. QGIS는 대표적인 오픈 소스 프로그램으로 공간 데이터 조회, 분석, 편집 기능들을 제공하고 사용자 간 광범위한 네트워킹을 통해 지속적으로 개발되고 있다[7,8].

한편 민원 발생지점을 바탕으로 하수 악취 민원 발생 가능성에 대한 확률밀도함수(pdf, probability density function)를 추정하고, R 프로그램의 지리정보시스템 패키지 중 하나인 leaflet을 활용하여 시각화하였다. R leaflet 패키지는 사용자가 원하는 지역을 확대 축소하여 검색이 가능한 동적 지도(interactive map)로 민원 발생지점을 시각화하는 데 매우 효과적인 방법이다.

농도지도는 민원이 가장 많이 발생한 영도구 지역의 시료 채취 장소에서 GPS 좌표 어플을 활용하여 좌표(도분초)를 획득하였고, 국토정보플랫폼에서 위·경도 좌표(타원체, GRS80)로 변환하였다. Fig. 1에서는 하수 악취농도를 하수관망도에 표현하기 위해 하수관로를 비롯한 집수정 및 하수 맨홀 등이 포함된 부산광역시 하수관망도 레이어(shp파일)를 활용하여 지도에 시각화

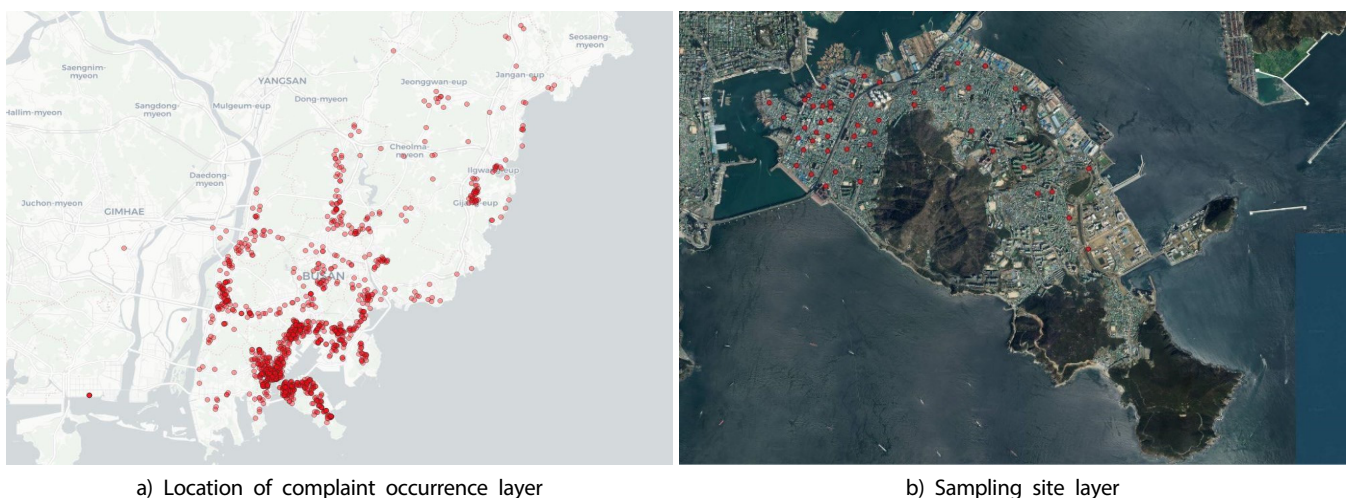


Fig. 1. Layers used in map creation.

였다. 영도구 전체의 하수관망도를 대상으로 하였으며, 하수관망도에 표현되어 있는 라인(line)과 폴리곤(polygon)을 가로, 세로 10 m 간격으로 격자(grid)화 하였다. 공간보간법 중에는 크리깅(Kriging), 불규칙 삼각망(Triangulated irregular network, TIN), 스플라인(Spline), 역거리 가중 보간법(Inversed distance weight, IDW) 등이 있으며, 이 중 역거리 가중 보간법은 공간통계분석 방법(Spatial statistics) 중 실무 및 다양한 연구 분야에서 폭넓게 사용되고 있다[11]. 따라서 본 연구에서는 조사되지 않은 지점의 유의미한 변수값을 추정하기 위해 역거리 가중 보간법을 사용하여 농도지도를 작성하였다. 역거리 가중 보간법은 공간의 수리적 성질에 의해 관측지 사이의 값을 근사적으로 계산하는 도구로, 거리의 역수에 가중치를 부여하여 값을 추정한다. 일반적으로 관측지 사이의 거리는 유클리드 거리를 사용하고 가까운 거리일수록 큰 가중치를 주어 공간적으로 지도화하며 아래 식과 같이 추정한다[12]. 역거리 가중 보간법은 QGIS 툴을 사용하여 보간하였고, 시각화 역시 QGIS를 이용하였다.

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad \text{where } W_i = 1/d_i^b$$

Z : Predict Value

Z_i : Reference Value for the location

W_i : weight

d_i : distance between grid points and observation points

b : distance weighting coefficient

n : number of reference values

결과 및 고찰

하수 악취 민원 지도

부산광역시의 최근 3년(2020~2022)간 하수 악취 관련 민원 발생 현황을 Table 3에 나타내었다. 부산광역시의 하수 악취 민원은 2020년 445건, 2021년 372건, 2022년 457건으로, 3년간 전체 민원 건수는 1,274건으로 조사되었으며, 민원 발생 분포를 보면 원도심이 있는 중구, 서구, 동구 및 영도구의 민원 건수가 전체 민원 건수의 약 50%를 차지하는 것으로 나타났다. 특히 중구는 인구 만 명당 민원 건수가 41.5건, 면적(km²) 당 민원 건수가 62.3건으로 조사되어 원도심의 상업지역이 밀집되어 있는

Table 3. Occurrence status of malodor civil complaints over the past three Year in Busan

District	Population (person)	Area (km ²)	3 years complaint				Complaints per 10K people	Complaints per Square kilometer
			2020	2021	2022	Total		
Jung-gu	42,375	2.826	58	58	60	176	41.5	62.3
Seo-gu	106,930	13.956	41	18	57	116	10.8	8.3
Dong-gu	89,242	9.865	58	37	40	135	15.1	13.7
Yeongdo-gu	112,213	14.200	59	79	71	209	18.6	14.7
Jin-gu	355,467	29.668	11	17	20	48	1.4	1.6
Dongnae-gu	267,739	16.631	8	0	5	13	0.5	0.8
Nam-gu	267,024	26.819	18	49	73	140	5.2	5.2
Buk-gu	285,098	39.370	15	16	8	39	1.4	1.0
Haeundae-gu	399,947	51.503	12	12	13	37	0.9	0.7
Saha-gu	309,538	41.771	4	5	5	14	0.5	0.3
Geumjeong-gu	231,710	65.262	24	21	29	74	3.2	1.1
Gangseo-gu	147,016	181.495	1	6	3	10	0.7	0.1
Yeonje-gu	207,834	12.100	3	6	9	18	0.9	1.5
Suyeong-gu	176,387	10.213	7	20	23	50	2.8	4.9
Sasang-gu	212,354	36.101	49	20	34	103	4.9	2.9
Gijang-gun	178,926	218.296	77	8	7	92	5.1	0.4
Busan	3,389,800	883.700	445	372	457	1,274	3.8	1.4

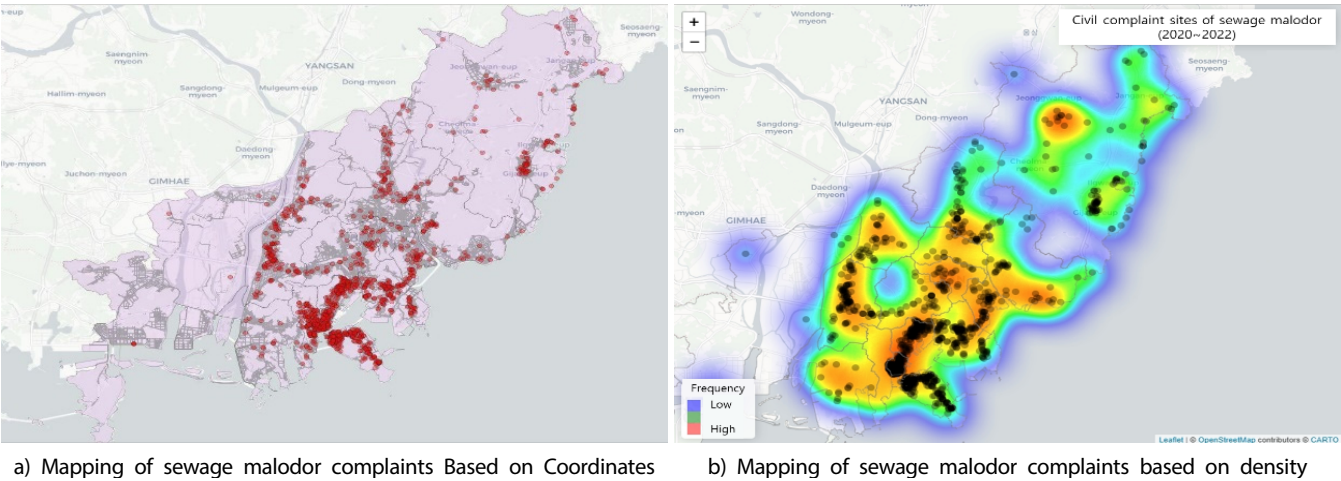


Fig. 2. Civil complaint map of sewage malodor in Busan.

곳에 민원이 많이 발생하는 경향을 나타냈다. 특히 민원이 가장 많이 발생한 지역은 영도구 지역으로 209건으로 전체 민원 건수의 약 16.4%의 민원이 접수된 것으로 조사되었다. 또한 인구 만명당 민원이 가장 적게 발생한 지역은 동래구와 사하구 지역이었으며, 면적당 민원 건수가 가장 적은 지역은 강서구 지역으로 조사되었다. 이러한 자료를 바탕으로 하수 민원 지도를 Fig. 2에 좌표지도와 밀도지도의 형태로 표현하였다.

하수 악취농도 지도

민원 발생 건수가 가장 많은 지역인 영도구 지역의 7개 용도지역 50개 지점에 대해서 강수와 바람이 없는 날 그리고 기온 조건이 비교적 일정한 날을 선택하여 시료 채취 후 분석한 결과를 Table 4에 나타내었다. 50개 조사 지점의 각 조사 항목별

Table 4. Concentration and malodor intensity of sulfur compounds by sampling Sites and metheological conditions

Sampling Site	Compounds				Meteorological		
	Hydorgen Sulfide (ppb)	Methyl Mercaptan (ppb)	Dimethyl Sulfide (ppb)	Dimethyl Disulfide (ppb)	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure (hpa)
TYPE 2 RESIDENTIAL Zone							
A-1	12.99	0.24	0.00	0.06	31.3	35.4	1009.3
A-2	5.21	0.51	0.00	0.01	31.0	34.9	1009.6
A-3	3.85	0.00	0.00	0.09	29.2	38.9	1004.9
A-4	15.95	0.00	0.00	0.27	29.2	34.7	1005.0
A-5	0.00	0.02	0.00	0.00	29.1	33.1	1004.9
A-6	4.63	0.12	1.35	0.11	23.5	48.5	1018.2
A-7	11.70	0.65	0.53	0.06	25.5	23.0	1009.3
A-8	17.35	1.48	0.00	0.09	24.6	25.3	1007.8
A-9	9.85	0.66	0.30	0.08	22.8	27.6	999.8
A-10	4.16	4.17	1.30	0.77	22.5	29.3	999.9
A-11	67.79	1.77	1.11	0.05	28.3	41.6	1015.9
A-12	0.00	0.64	0.09	0.00	24.9	42.5	1020.2
A-13	1.20	0.01	0.36	0.14	25.0	48.4	1008.8
A-14	291.26	16.41	2.67	0.25	24.7	51.1	1014.8
A-15	10.67	0.92	0.46	0.34	26.3	46.2	1011.9
A-16	315.31	6.89	0.39	0.00	25.2	50.3	1018.2

Sampling Site	Compounds				Meteorological		
	Hydorgen Sulfide (ppb)	Methyl Mercaptan (ppb)	Dimethyl Sulfide (ppb)	Dimethyl Disulfide (ppb)	Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Pressure (hpa)
TYPE 3 RESIDENTIAL Zone							
B-1	6.42	0.55	0.00	0.10	28.6	38.6	1012.6
B-2	143.63	3.60	0.00	0.00	30.8	31.9	1010.5
B-3	1.92	0.00	0.04	0.00	29.8	45.2	1009.6
B-4	2.17	0.00	0.00	0.14	27.0	42.0	1004.8
B-5	44.80	13.45	0.68	0.00	22.5	29.8	1004.0
SEMI RESIDENTIAL Zone							
C-1	8.53	0.15	0.00	0.05	27.9	35.8	1011.0
COMMERCIAL Zone							
D-1	158.94	2.46	1.25	0.06	25.8	61.1	1016.3
D-2	442.65	12.93	0.74	0.00	26.8	58.9	1016.1
D-3	10.86	0.78	0.00	0.00	29.6	49.8	1016.2
D-4	164.22	10.87	0.00	0.00	29.5	51.4	1016.0
D-5	6.78	1.03	0.00	0.11	32.9	42.6	1015.7
D-6	115.69	3.75	0.80	0.00	31.0	48.8	1015.4
D-7	109.25	3.08	0.00	0.06	32.7	45.4	1015.1
D-8	101.61	9.27	0.00	0.18	28.7	68.1	1014.2
D-9	17.22	0.56	0.00	0.01	27.8	71.8	1014.0
D-10	7.29	0.70	0.27	0.07	28.1	72.8	1014.5
D-11	5.11	0.00	0.00	0.00	27.2	73.6	1014.2
D-12	5.02	0.09	0.00	0.09	27.0	73.5	1014.4
D-13	77.01	3.62	0.00	0.26	22.3	29.4	1014.7
D-14	783.30	35.05	1.78	0.19	23.9	25.7	1014.2
D-15	132.07	2.06	0.39	0.00	22.9	23.4	1014.0
D-16	0.78	0.49	0.34	0.00	23.7	24.2	1014.1
LIGHT INDUSTRIAL Zone							
E-1	10.33	0.99	0.00	0.00	26.5	59.7	1016.7
E-2	306.54	6.00	0.00	0.00	29.3	54.3	1016.8
E-3	111.67	4.28	0.00	0.00	26.1	58.7	1015.4
E-4	4.58	0.00	0.00	0.00	25.4	79.1	1015.1
E-5	30.76	1.97	0.00	0.00	27.8	71.5	1015.1
E-6	6.87	0.00	0.00	0.16	28.1	70.9	1014.8
E-7	303.90	7.95	1.04	0.21	29.1	66.8	1014.7
EXCLUSIVE INDUSTRIAL Zone							
F-1	3.19	0.44	0.00	0.00	26.6	75.2	1014.2
F-2	22.85	0.55	0.72	0.05	24.5	49.6	1019.6
GREEN Zone							
G-1	2.60	0.04	0.32	0.12	25.0	47.6	1014.7
G-2	2.85	0.00	0.14	0.14	27.0	48.2	1019.1
G-3	709.25	3.21	0.80	0.08	24.6	51.1	1016.6

None, Threshold, Moderate, Strong, Very Strong, Over Strong

평균 농도는 황화수소 96.25 ppb, 메틸메르캡탄 3.29 ppb, 다이메틸설파이드 0.36 ppb, 다이메틸다이설파이드 0.09 ppb로 조사되었다. 이러한 결과는 도심 합류식 하수도 내 황화합물 4종 조사 결과 황화수소 또는 메틸메르캡탄이 하수 악취를 유발하는 주요

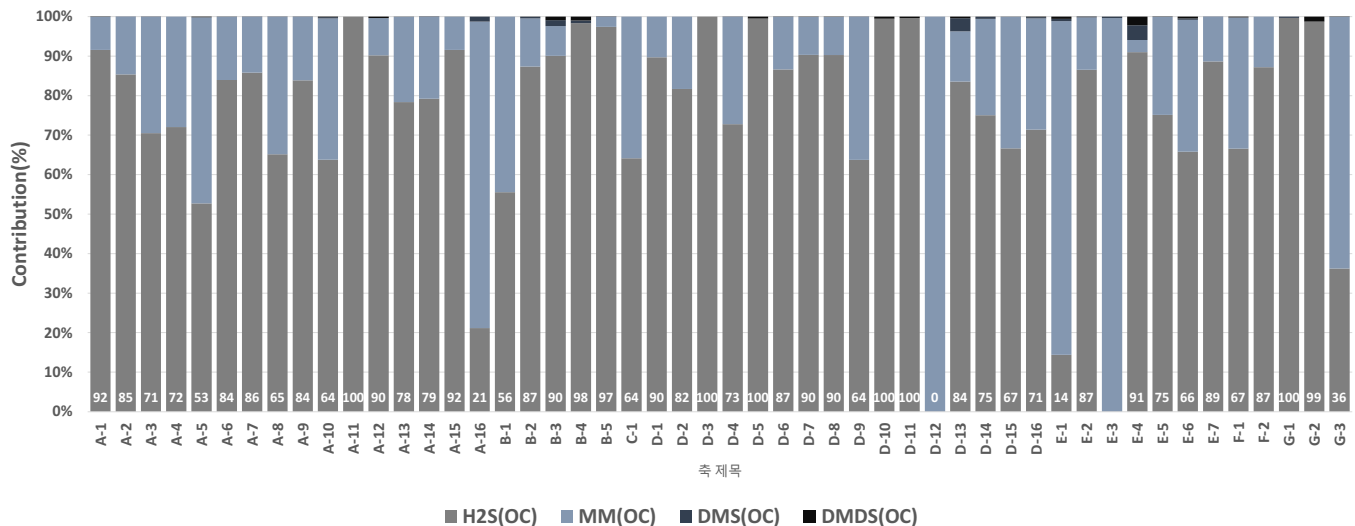


Fig. 3. Malodor contribution ratio of sulfur compounds by sampling sites.

화합물이라는 결과와 유사하였다[13].

Fig. 3에서는 시료 채취 지점별 황화합물 4종의 악취기여율을 나타내었다. 악취기여율(Odor contribution ratio)은 조사된 4가지 항목의 농도 값을 각각의 최소감지농도(Odor Threshold Value)로 나눈 악취활성값(Odor Activity Value, OAV)과 개별 악취활성값을 합한 총 악취활성값(Sum of Odor Activity Value, SOAV)을 활용하여 산정한다. 악취기여율 산정 결과, 황화수소의 기여도(82.74%)가 가장 높았고, 그 다음으로는 메틸메르캅탄(17.20%) > 다이메틸설파이드(0.04%) > 다이메틸다이설파이드(0.02%) 순으로 나타났으며, 황화수소와 메틸메르캅탄이 전체의 약 99.94%로 악취 원인물질에 대한 높은 기여도를 보여 이들 물질이 대표적인 하수 악취 유발 물질임이 확인되었다. 하수 악취 유발 물질 중 황화합물의 악취기여도가 높으며, 이는 생활하수에 포함된 다량의 황산염이 황산염 분해 박테리아 등의 특정 메커니즘에 의해 환원하는 과정에서 황화수소가 다량 발생하기 때문이며, 또한 황 함유 아미노산이 분해되면서 메틸메르캅탄 등의 생성을 촉진할 수도 있다고 하였다[14].

용도지역 중 가장 높은 황화수소 농도를 나타낸 자연녹지지역은 조사 지점이 3개 지점으로 아주 적었고, 특히 G-3 (709.25 ppb) 지점은 도로를 경계로 전용공업지역과 대형커피숍이 있어 사실상 자연녹지지역으로 보기 어려운 지점이었다. 따라서 자연 녹지지역을 제외한 황화수소의 평균 농도는 상업지역이 133.61 ppb (0.78~783.30 ppb)로 가장 높았고, 그 다음으로는 준공업지역이 110.66 ppb (4.58~306.54 ppb), 2종 일반주거지역이 48.24ppb (0.00~315.31 ppb), 3종 일반주거지역이 39.79 ppb (1.92~143.63 ppb), 전용공업지역이 13.02 ppb (3.19~22.85 ppb), 준주거지역이 8.53 ppb로 조사되었다. 메틸메르캅탄도 상업지역이 평균 5.42 ppb (0.00~35.05 ppb)로 가장 높은 농도를 나타내었고, 그 다음으로는 3종 일반주거지역이 3.52 ppb (0.00~13.45 ppb), 준공업지역이 3.03 ppb (0.00~7.95 ppb) 2종 일반주거지역이 2.15 ppb (0.00~16.41 ppb)로 조사되었다(Fig. 4). 악취의 기여도가 높은 황화수소와 메틸메르캅탄 모두 상업지역에서 가장 높은 농도로 조사되었고, 상업지역 인근에 위치해 있는 준공업 지역 역시 높은 농도로 조사되었다. 시료 채취 지역인 영도구 지역 내의 상업지역인 남향동 일대는 좁은 미로와 같은 골목에 시장, 상가, 그리고 주거가 같이 기능하는 형태의 건물이 밀집되어 있어 생활하수 및 음식물 찌꺼기 등이 다수 포함된 오수 등이 그대로 배출되는 등 하수 배출의 형태가 다양하고 관리가 어려운 형태로 악취물질의 농도가 높았으며, 준공업지역 또한 산업시설의 형태를 제대로 갖추지 못한 소규모 공장들로부터 배출되는 하수 등이 하수구나 관로를 오염시켜 악취물질 농도가 다른 지점에 비해 상대적으로 높았던 것으로 판단되었다.

악취물질의 농도를 활용한 악취활성값과 악취기여율 평가는 개별 악취물질의 최소 감지 농도를 이용하여 개별 악취물질들이 전체 악취 발생 정도에 미치는 기여도를 평가하는 방법이나, 취기도를 판단하기는 어려운 실정이다[15]. 따라서 Table 5 및 Fig. 5에서는 SIFT-MS를 이용하여 분석된 황화합물 4종의 농도를 악취강도(Odor Intensity, OI) 환산식에 적용하여 측정지점별 악취 강도를 나타내었다. 악취강도의 등급은 0에서 5까지로 나타내며, 각각 0도는 '무취(None)', 1도는 '감지 취기(Threshold)', 2도는 '보통 취기(Moderate)', 3도는 '강한 취기(Strong)', 4도는 '극심한 취기(Very Strong)', 그리고 5도는 '참기 어려운 취기(Over Strong)'의 악취강도를 의미한다. 일반적으로 악취강도가 2도(보통 취기) 이상이면 악취가 감지되는 것으로 알려져 있는데[16],

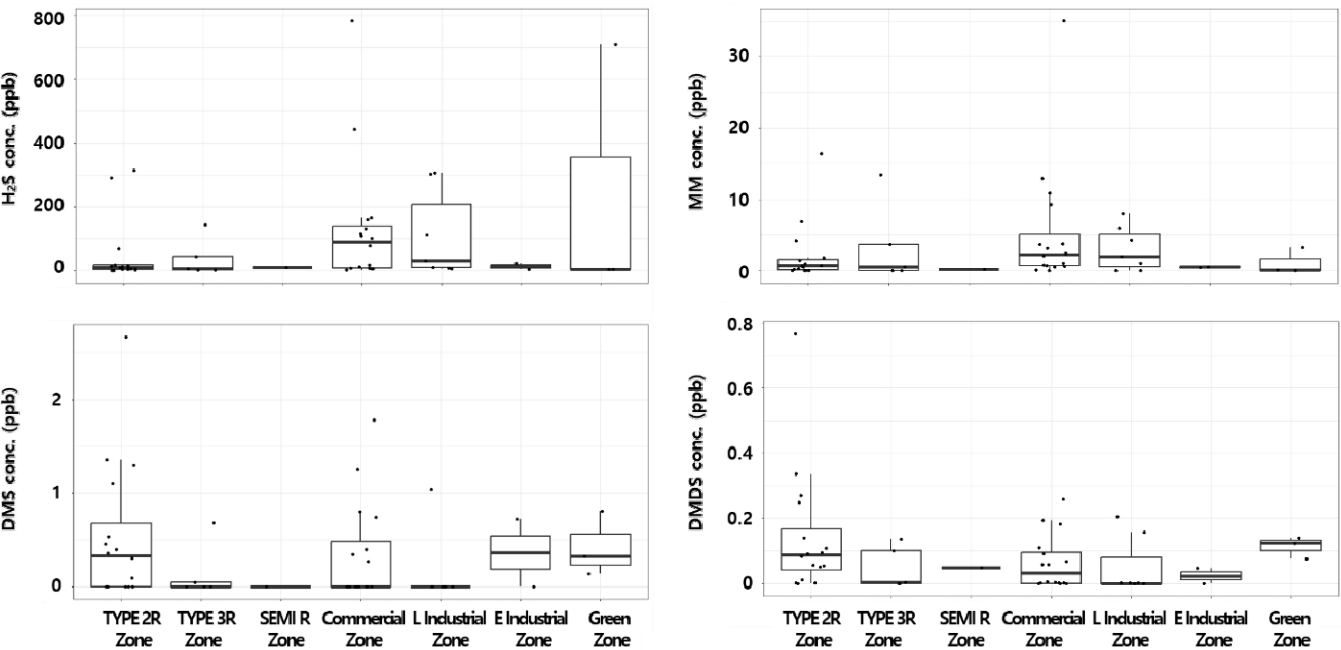


Fig. 4. Concentration distribution of sulfur compounds by land use.

Table 5. Correlation between the concentration of sulfur compounds and odor intensity

Compound	Functional Formulaa	Odor Intensity				
		1 Threshold	2 Moderate	3 Strong	4 Very Strong	5 Over Strong
Hydrogen sulfide	$Y = 0.950\log X + 4.14$	5.0×10^{-4}	5.6×10^{-3}	6.3×10^{-2}	7.2×10^{-1}	8.1
Methyl mercaptan	$Y = 1.25\log X + 5.99$	1.2×10^{-4}	6.5×10^{-4}	4.1×10^{-3}	2.6×10^{-2}	1.6×10^{-1}
Dimethyl sulfide	$Y = 0.784\log X + 4.06$	1.2×10^{-4}	2.3×10^{-3}	4.4×10^{-2}	8.3×10^{-1}	16
Dimethyl disulfide	$Y = 0.985\log X + 4.51$	2.8×10^{-4}	2.9×10^{-3}	3.0×10^{-2}	3.1×10^{-1}	3.2

* Odor Intensity(Y) and odorant concentration (X), (Nagata, 2003)
a All concentrations are plugged in ppm unit

본 연구에서는 황화수소의 악취강도는 0~4.04도의 범위였으며, 악취강도가 2도 이상인 지점은 50개 지점 중 34개 지점이었다. 메틸메르캡탄의 경우 0~4.17도의 범위였으며, 악취강도 2도 이상인 지점은 29개 지점으로 조사되었다. 다이메틸설파이드(DMS)의 경우 악취강도 2도를 초과한 지점은 1개 지점이었으며, 다이메틸다이설파이드(DMDS)의 경우 악취강도 2도를 초과한 지점은 없는 것으로 조사되었다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 하수구 악취 저감 대책 수립 시 개별물질의 단순 농도가 아닌 악취강도를 고려해야 할 것으로 판단되었다[17].

또한 조사 대상 50개 지점의 황화합물 조사 결과를 하수관망도에 시각화한 것을 Fig. 6에 나타내었다. 하수 악취농도를 하수 관망도에 표현하기 위해 하수관로를 비롯한 집수정 및 하수 맨홀 등이 포함된 부산광역시 하수관망도 레이어(shp파일)를 활용하여 지도에 시각화하였으며, 하수관망도에 표현되어 있는 라인(line)과 폴리곤(polygon)을 가로, 세로 10 m 간격으로 격자(grid)화 하였다. 또한 조사되지 않은 지점의 유의미한 변수값을 추정하기 위해 역거리 가중 보간법을 사용하여 농도지도도를 작성하였다 [12]. 앞서 언급한 것처럼 악취기여율이 큰 황화수소와 메틸메르캡탄은 상업지구에서의 농도가 높은 경향이었으나, 다이메틸설파이드와 다이메틸다이설파이드의 경우 농도가 매우 낮아 특정한 경향을 찾기는 어려웠다.

부산시의 하수구 악취 관련 민원이 매년 지속적으로 발생함에 따라 하수 악취 민원의 위치정보와 악취물질 오염도를 신속하게 파악할 수 있는 하수 악취지도는 효율적인 하수 악취 관리의 기초자료로 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

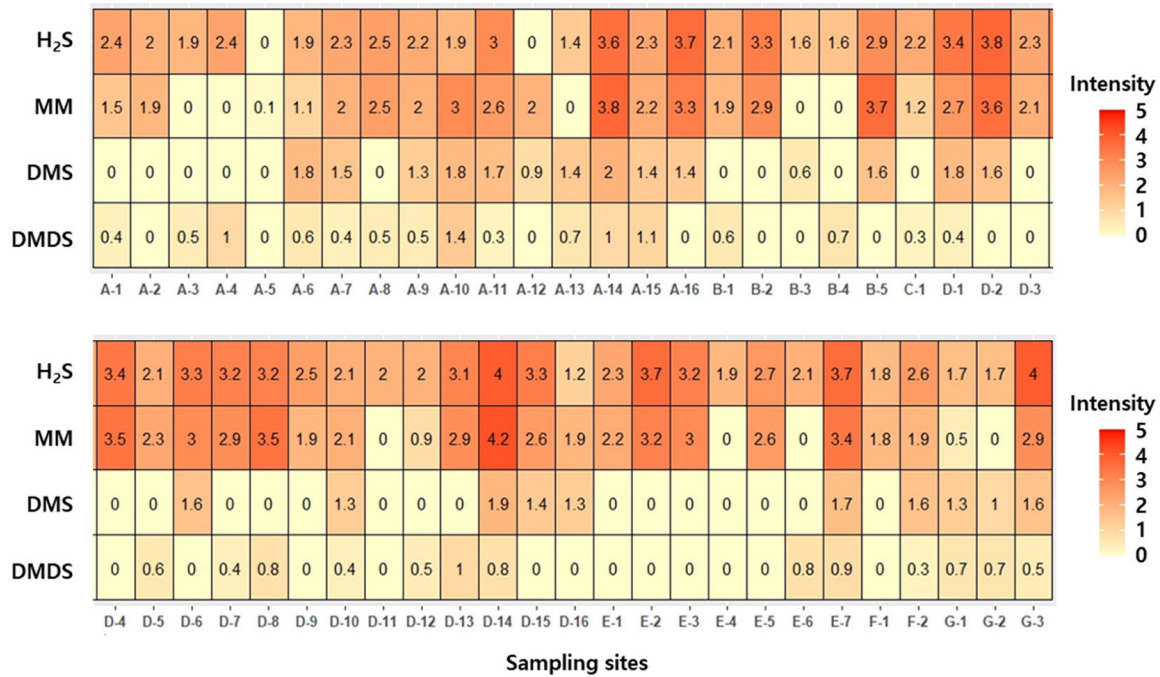


Fig. 5. Odor intensity distribution of sulfur compounds by sampling sites.

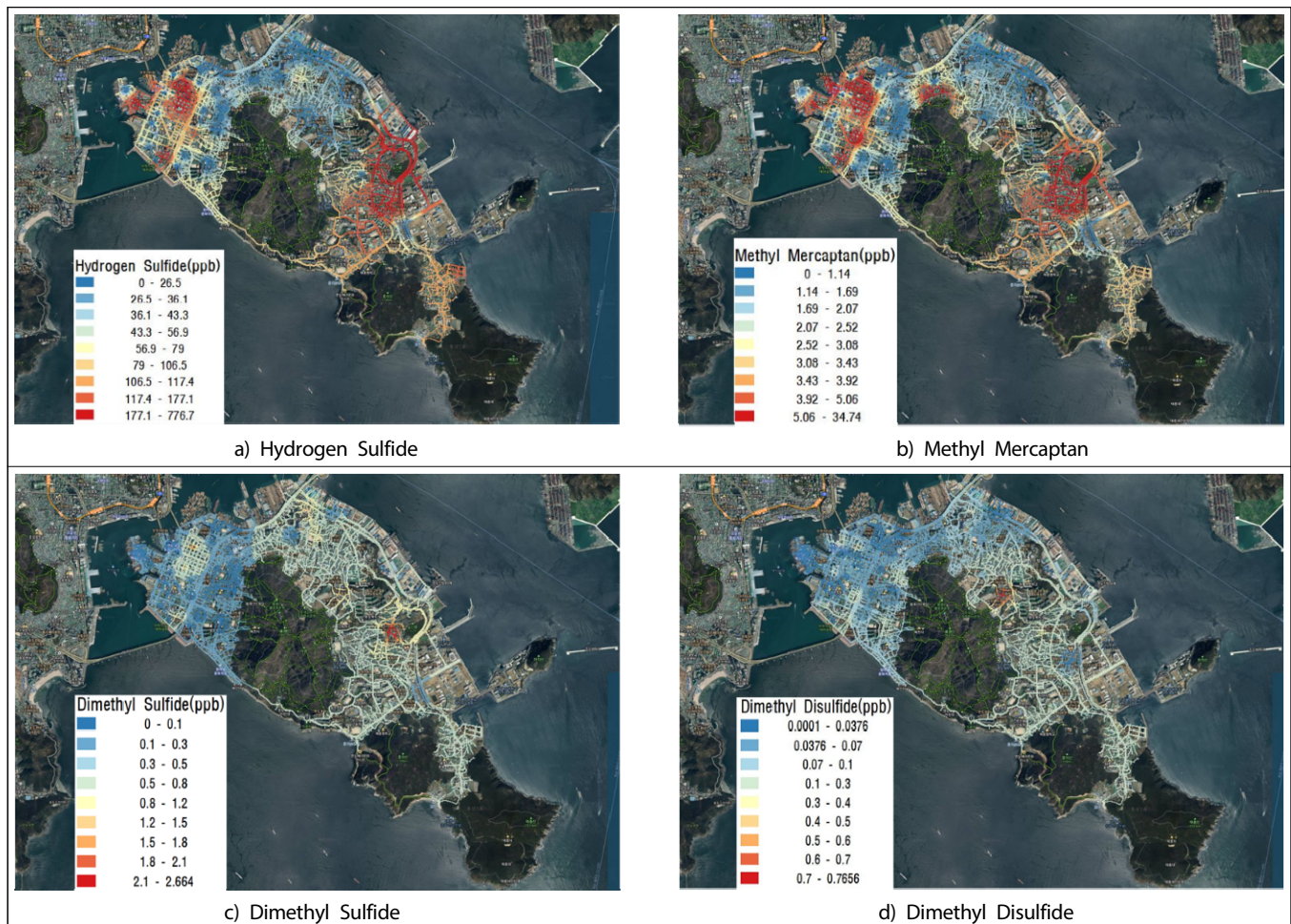


Fig. 6. Concentration map of sewage malodor by sulfide compounds in Young-Do District

결 론

본 연구에서는 부산지역 16개 구·군의 최근 3년간(2020~2022) 접수된 하수 악취 민원 발생 현황자료를 이용하여 하수 악취 민원 지도를 작성하였으며, 이를 토대로 민원 발생지점을 지도 위에 시각화하였다. 또한 민원 다발 지역에 대하여 대표적인 하수구 악취 원인물질인 황화합물 4종을 분석하였으며, QGIS Tool을 사용하여 민원 다발 지역에 대한 하수구 악취농도지도도를 작성하였다.

민원 지도는 Geocoding Tool 프로그램을 활용하여 민원 발생지점의 위·경도를 좌표화하였으며, 좌표화된 민원 발생지점을 시각화하기 위하여 QGIS를 이용하여 작성하였다. 또한 민원 발생지점을 바탕으로 하수구 악취 민원 발생 가능성에 대한 확률밀도함수를 추정하고 R leaflet 프로그램을 활용하여 시각화하였다.

SIFT-MS로 분석한 50개 지점의 황화합물 평균농도는 황화수소 96.25 ppb, 메틸메르캅탄 3.29 ppb, 다이메틸설파이드 0.36 ppb, 그리고 다이메틸다이설파이드 0.09 ppb였다. 악취기여율이 큰 황화수소와 메틸메르캅탄은 상업지구에서 농도가 높은 경향이었으며, 다이메틸설파이드와 다이메틸다이설파이드는 농도가 매우 낮은 수준으로 조사되었다. 이들 결과를 바탕으로 작성한 하수구 농도지도는 최근 3년간 민원이 가장 많이 발생한 영도구 지역 50개 지점을 대상으로 좌표지도와 밀도지도의 형태로 표현하였으며, 황화합물 조사 결과를 하수관망도 위에 시각화하였다.

부산시의 하수구 관련 악취 민원은 매년 지속적으로 발생함에 따라 하수 민원의 위치정보와 악취물질 오염도를 신속하게 파악할 수 있는 하수 악취 민원 지도 및 농도지도는 효율적인 하수구 악취 관리의 기초자료로 이용할 수 있을 것으로 판단되며, 또한 상대적으로 민원 발생빈도가 높았던 중구, 서구, 동구 및 영도구 등 원도심 지역을 중심으로 지속적이고 광범위한 하수구 악취실태 조사와 플랫폼 형태의 시스템 구축이 동시에 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

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

Author Contributions: T.-U. Jeong conceived and designed the research; D.-K. Song led the making map and wrote the first manuscript; B.-K. Lee performed the Sift-MS analysis; J. -O Park revised the manuscript; K.-A. Kim collected the data; E.-C. Yoo provide critical feedback

Notes: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment: 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.2024.43.14>

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

- Gong BJ, Han JS, Kim HC, Bong CG, Park JM, Lee SB, Hong JH (2016) Assessment of performance of VOCs odor sensors at different levels of temperature and humidity. *Journal of Odor and Indoor Environment*, 15(3), 213-221. <https://doi.org/10.15250/joie.2016.15.3.213>.
- Kim CG, Lee JH (2018) Performance evaluation of manhole filter to remove odor inside sewage pipe –Focused on removal of hydrogen sulfide–. *Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association*, 26(4), 45-51. <https://doi.org/10.17137/korrae.2018.26.4.45>.
- 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. Nielsen AH, Hvitved-Jacobsen T, Vollertsen J (2005) Kinetics and stoichiometry of sulfide oxidation by sewer bio films. *Water Research*, 39(17), 4119-4125. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.07.031>.
 5. An SS, Jang JW, Cho MC, Kim MJ, Kim HG, Park SI, Bae SJ, Seo GY (2020) The characteristics of odor substances in sewer pipes in urban areas. *Journal of Odor and Indoor Environment*, 19(2), 157-165. <https://doi.org/10.15250/joie.2020.19.2.157>.
 6. Choi IJ, Lee DW, Tak KH, Jo JH (2023) A study on the characteristics of HAPs in residential areas affected by industrial complex using SIFT-MS. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 45(1), 21-33. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2023.45.1.21>.
 7. Kim JY, Bae YS, Park JH, Son YG, Oh JK (2019) Mapping soil contamination using QGIS. *Journal of Environmental Health Sciences*, 45(5), 487-496. <https://doi.org/10.5668/JEHS.2019.45.5.487>.
 8. Lee JH, Bae IS, Ha KT, You SS, Han KM, EO SM, Jung K, Lee JS, Koo JY (2016) A study on the distribution map construction of asbestos buildings owned by Seoul using QGIS. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 38(9), 528-533. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2016.38.9.528>.
 9. 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>.
 10. Choi JW, Zaman MWU, Ko YJ, Yang JH (2023) A study on the distribution of VOCs characteristics in industrial complexes in the central region using SIFT-MS and drone measurement equipments. *Journal of the Korean Society of Urban Environment*, 23(3), 105-121. <https://doi.org/10.33768/ksue.2023.23.3.105>.
 11. Lee YJ, Choi DS (2023) Analysis of influencing factors for forecasting solar radiation and solar power generation based on inverse distance weighted interpolation (IDW) technology: Focused on observatory distance and cell size. *Journal of Korean Society of Living Environment System*, 30(4), 384-395. <https://doi.org/10.21086/ksles.2023.8.30.4.384>.
 12. Park SW, Kim JW, Song DS (2017) A proposal of an interpolation method of missing wind velocity data in writing a typical weather data. *Journal of the Korean Solar Energy Society*, 37(6), 79-91. <https://doi.org/10.7836/kses.2017.37.6.079>.
 13. Gil KI, Shin GC, Im JY (2010) Investigation of odor release from combined sewer. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 10(6), 185-191.
 14. Hong OF, Kabir E, Susaya J, Kim KH (2010) Characteristics of major offensive odorants emitted from urban stormwater catch basins. *Analytical Science & Technology*, 23(4), 347-356. <https://doi.org/10.5806/AST.2010.23.4.347>.
 15. Cho HJ, Yoon SC (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>.
 16. 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>.
 17. Lee MS, Kang DH, Keum JL, Kwon BY, Jo HW, Lee CH, Kim ED, Lim HJ, Song HB (2018) Emission Characteristics of odor compounds from a sewage treatment plant near an industrial complex area in Daegu city. *Journal of Environmental Health Sciences*, 44(2) 178-187. <https://doi.org/10.5668/JEHS.2018.44.2.178>.