

논문

도시공단지역 복합 악취배출원에서 발생하는 악취물질별 기여율 분석

Contribution Analysis by Malodor Substances from Complex Odor Emission Sources in Urban Industrial Area

도우곤, 정우식^{1),*}

부산광역시 보건환경연구원 대기환경연구부

¹⁾인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

Woo-Gon Do, Woo-Sik Jung^{1),*}

Air Environment Research Department, Busan Metropolitan City Institute of Health and Environment, Busan, Republic of Korea

¹⁾Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae, Republic of Korea

접수일 2020년 4월 6일
수정일 2020년 4월 29일
채택일 2020년 5월 21일

Received 6 April 2020
Revised 29 April 2020
Accepted 21 May 2020

*Corresponding author
Tel : +82-(0)55-320-3932
E-mail : wsjung1@inje.ac.kr

Abstract Because of various waste treatment facilities in the urban industrial complex and neighboring regions, the civil complaints on malodor are steadily increasing. The purpose of this study is to investigate the cause of odor in the urban Industrial Complex and the surrounding area. The 22 designated odor compounds were measured at the outlets of three major emission sources, four boundary sites of plant areas and four affected areas. In the result of the odor measurement, it was confirmed that the odorous substances emitted from the outlet affect the surrounding area according to the weather conditions. Of the 22 designated odor compounds, 19 compounds were detected in the study area and propionic and n-butyl acids exceeded the emission standard at the boundary sites of industrial area. From the odor contribution analysis using odor activity value, volatile fatty acids showed the highest contribution rate at the outlets of three major emission sources, two boundary sites of plant area and one affected area in north of the major emission sources, and Aldehydes had a relatively high contribution rate at other sites.

Key words: Odor contribution, Oodor intensity, Urban industrial complex

1. 서 론

산업화에 따라 인근의 주거지역들은 다양한 형태의 대기오염물질에 직, 간접적으로 노출되게 되어있다. 특히 공단지역에서 발생하는 악취에 의한 대기오염 피해는 대도시 지역 중요한 민원의 요인이 되고 있다(Bundy, 1992). 이들 지역에서 발생하는 악취물질들은 인근 주민들의 건강상에 심각한 피해를 일으킬 뿐만 아니라, 낮은 농도에서 심리적인 불쾌감을 유발할 수 있다(Kabir and Kim, 2010; Herr *et al.*,

2003). 최근 들어 도시화에 따라 산업단지와 인접한 주거지역이 늘어나면서 이들 지역에서의 복합적이고 상생한 악취 분석의 필요성이 증가하고 있다(Brambilla and Navarotto, 2010; Harrison and Oakes, 2002). 악취물질의 기본적인 평가방법인 공기희석관능법에 의한 후각 측정법은 연속적인 측정에는 한계가 있다. 또한 이 방법은 악취 판정단이 필요하며 특정한 환경에서 비연속적으로 수행될 수밖에 없다(Hansen *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2016). 게다가 이러한 방법은 공기 중의 악취물질 농도가 검출한계 미만일 경우 효율적

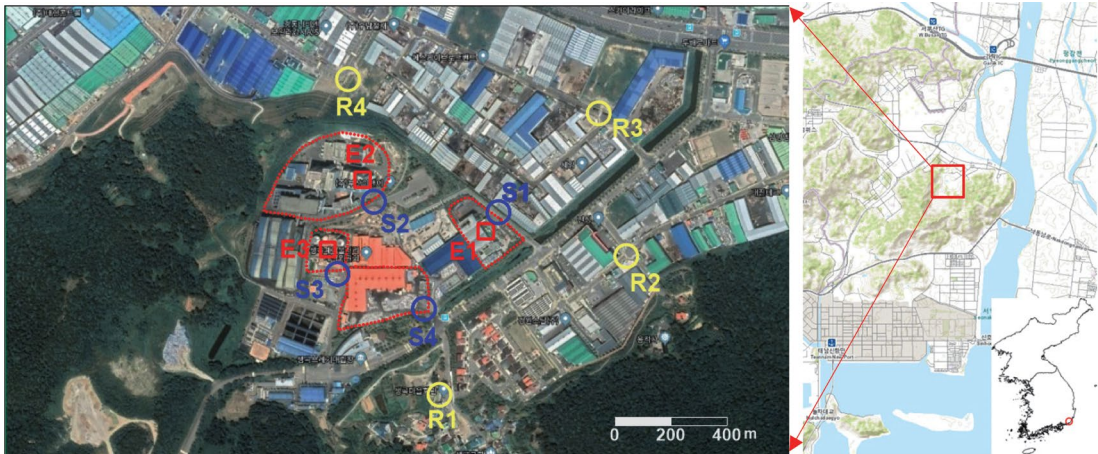


Fig. 1. Geographical map of the investigation area in Busan, Korea. The red dotted lines are the locations of the main emission sources. E1 to E3 are the locations of the outlets, S1 to S4 are the plant sites and R1 to R4 are the affected area.

이지 않다(Capelli *et al.*, 2013). 이러한 약점을 보완하기 위하여 단일 악취물질에 대한 악취활성값과 (Odor Activity Value, OAV) 각각의 물질에 대한 OAV의 합(Sum of Odor Activity Value, SOVA)을 계산하는 방법이 대안이 될 수 있다. 실제로 악취물질의 농도와 개별물질의 악취 최소감지농도의 비, OAV는 복합적 악취물질에 대한 특정 악취물질의 기여율을 평가하는데 매우 효과적인 방법으로 다양하게 사용되어지고 있고(Liu *et al.*, 2011; Feilberg *et al.*, 2010), SOVA와 측정된 악취물질들의 농도와의 상관성을 분석하거나 이를 활용하여 특정지역의 악취발생 특성을 분석한 다양한 연구도 진행된 바 있다(Blazy *et al.*, 2015). 국내에서도 Yoon and Kim (2012)이 생활폐기물 집하장에서 배출되는 악취물질에 대하여 악취활성값을 산정하고 악취배출특성을 분석하였고, Kim *et al.* (2016)은 시멘트 및 석회석 제조 사업장에서 발생하는 악취물질을 악취활성값을 활용하여 평가한 바가 있다. 한편 Yoo *et al.* (2012)은 음식물 폐기물 처리시설에서 발생하는 악취에 대하여 악취활성값을 활용하여 기여율을 분석하였고, Lee *et al.* (2013)은 주거지역과 인접한 부산의 사상공단을 대상으로 악취활성값을 활용하여 악취 기여율을 분석하였다. 이와 더불어 농도기반으로 측정된 악취물질에 대하여 실

제 사람이 느끼는 악취 강도로 환산하여 악취의 영향을 분석한 사례도 다수 있다(Wu *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2010; Kim and Jeong, 2009).

부산광역시 강서구에 위치한 생곡매립장은 폐기물 처리시설과 산업단지가 혼재해 있는 지역으로 부산의 대표적인 악취민원 다발지역이다. 해당 행정관청에서는 악취민원 해결을 위한 많은 노력을 수행하고 있으나 악취배출원들이 혼재해 있는 특성상, 정확한 발생원 파악과 대책 수립 및 저감대책의 우선순위를 선정하는 데에도 어려움을 겪고 있는 실정이다. 본 연구에서는 매립장이 위치한 생곡산업단지 인근의 주요 악취배출시설과 주변지역을 대상으로 악취유발의 원인이 되는 지정악취물질을 측정하여 이들 지역의 악취발생 현황을 파악한 후 주요 배출원별 악취발생 특성을 분석하고 주요 원인물질들의 악취기여율을 분석하였다.

2. 자료 및 방법

2.1 연구대상 지역

그림 1은 연구대상 지역의 위치와 악취물질 시료 채취 지점을 나타낸 그림이다. 연구대상 지역은 부산



Fig. 2. The sampling process for outlets of main emission sources (a) and the plant sites (S1 to S4) and the affected area (R1 to R4) (b).

광역시 강서구 생곡동 생곡산업단지 인근에 위치한 폐기물처리시설들에서 배출된 악취물질의 영향이 예상되는 인근의 마을 및 산업단지 지역이다. 그림 1에 붉은 선은 본 연구에서 고려하는 주요 배출시설의 위치를 나타내고 E1에서 E3는 주요 배출시설에서 악취시료를 채취한 배출구의 위치를 나타낸다. 주요 배출시설 4개소는 해당지역 관할구청의 자료조사를 통해 민원 유발이 가장 많은 배출업소를 대상으로 선정하였다. S1에서 S4는 4개의 주요 배출시설의 부지경계 악취시료를 채취한 지점을 의미한다. 각 배출시설의 부지경계 시료채취 지점은 주변에 건물 등이 없어 배출구의 영향이 직접 미칠 수 있는 지점 중 측정이 용이한 지점을 대상으로 선정하였다. 각 시설별 특성을 살펴보면 S1은 하수슬러지를 건조하여 발전소 등의 연료로 공급하는 시설이며, S2는 생활폐기물을 연료로 사용하여 전기를 생산하는 시설이다. S3는 음식물쓰레기를 처리하는 시설이며, S4는 재활용품을 선별 처리하는 시설이다. 각 시설별로 부지경계 시료채취는 각각 S1에서 S4의 위치에서 실시하였으나 재활용품을 선별 처리하는 시설의 경우 배출구가 없는 관계로 배출구의 악취시료는 E1에서 E3의 3개 지점에서만 채취하였다. R1에서 R4는 배출시설의 영향을 알아보기 위한 영향지점으로 R1은 주민 거주지역 내에

위치한 생곡마을회관이며 R2에서 R4는 배출원과의 거리를 고려하여 생곡산업단지 내의 지점들로 선정하였다.

2.2 조사항목 및 분석방법

그림 1의 총 11개 조사지점에 대하여 2018년 3월 16일, 7월 10일, 9월 18일, 11월 4일 총 4회에 걸쳐 악취측정을 실시하였다. 각 일자별로 측정지점에 대하여 순차적으로 시료채취를 하였으며 측정항목은 악취방지법에 지정된 22종의 지정악취물질을 대상으로 하였다(KME, 2017). 항목별 시료채취는 악취공정시험기준에 준하여 실시하였으며 배출구(E1~E3)는 각 항목별 시료채취용 펌프를 사용하였고, 부지경계(S1~S4)와 영향지점은(R1~R4) 악취시료채취 차량을 활용하였다(그림 2). 황화합물은 흡인상자법(10-Liter Bag sampler, ACEN, Korea)으로 공기시료를 포집하였으며 악취공정시험기준의 전기냉각 저온농축 모세관 칼럼법에 따라 전처리 후 Thermal desorber가 연결된 GC/FPD로 분석하였다. 암모니아는 0.5% 붕산용액 40 mL를 2개의 임핀저에 나누어 담고 직렬로 연결한 후 5분간 10 L/min의 유량으로 50 L의 공기시료를 포집하였고 붕산용액 흡수법-자외선 분광법에 따라 UV/vis spectrophotometer로 분석하였다. 알데

Table 1. A summary of sampling and analytical methods.

	Compound	Sampling	Analytical instrument
Nitrogenous compounds	Ammonia (NH ₃)	Solution absorption	UV/vis spectrophotometer (cary60, Agilent)
	Trimethylamine (TMA)	Acid filter	GC/NPD, Headspace (7890A, Agilent)
Sulfur compounds	Methyl mercaptane (MESH)	Airbag sampler	GC/FPD, Thermal desorber (456-GC, Bruker)
	Hydrogen sulfide (H ₂ S)		
	Dimethyl sulfide (DMS)		
	Dimethyl disulfide (DMDS)		
Aldehyde compounds	Acetaldehyde (a-Ald)	DNPH cartridge	HPLC (1100series, Agilent)
	Propionaldehyde (p-Ald)		
	Butyraldehyde (b-Ald)		
	i-valeraldehyde (i-v-Ald)		
	n-valeraldehyde (n-v-Ald)		
VOCs	Styrene	Tenax tube absorption	GC/MS, Thermal desorber (5972i, Agilent)
	Toluene		
	(m, p, o)Xylene		
	Methyl ethyl ketone (MEK)		
	Methyl isobutyl ketone (MIBK)		
	Butyl acetate (b-Acetate)		
Volatile fatty acids	i-butyl alcohol (i-b-Alcohol)	Solution absorption	GC/FID, Headspace (clarus 680, Perkinelmer)
	Propionic acid (Pro-pionic)		
	n-butyric acid (n-Butyric)		
	i-valeric acid (i-Valeric)		
	n-valeric acid (n-Valeric)		

하이드류는 DNPH카트리지 (LpDNPH S10, Supelco, USA)를 이용하여 5분간 1 L/min의 속도로 5 L의 시료를 채취하고 HPLC를 이용하여 분석하였다 (DNPH 카트리지-액체크로마토그래피법). 트리메탈아민은 황산 용액에 함침시킨 GF여지에 5분간 10 L/min의 속도로 50 L의 시료를 채취하고 Headspace가 연결된 GC/FID로 분석하였다 (헤드스페이스-모세관 칼럼-기체크로마토그래피법). 휘발성 지방산은 임핀저법을 이용하여 수산화나트륨용액에 5분간 10 L/min에 속도로 50 L의 시료를 채취하고 악취공정시험 기준의 헤드스페이스-기체크로마토그래피법에 따라 GC/FID로 분석하였다. 휘발성유기화합물은 고체 흡착관(Tenax-TA, Supelco, USA)을 이용하여 5분간 0.1 L/min에 속도로 0.5 L의 시료를 채취하고 Thermal desorber가 연결된 GC/MS를 이용하여 분석하였다 (저온 농축-기체크로마토그래피법). 표 1에는 각 항목별 시료채취 방법과 분석방법은 제시하였다.

분석데이터의 신뢰도는 방법검출한계(MDL)와 적분면적(area)과 머무름시간(RT)의 정밀도 그리고 검정곡선의 결정계수를 이용하여 확인하였다. 방법검출한계(MDL)는 검출한계에 근접한 수준의 표준물질을 7번 반복 측정하여 얻은 표준편차에 3.14를 곱하여 산정하였고 정밀도는 동일한 시간, 동일한 조건에서 3회 반복 분석하여 크로마토그램의 적분 넓이(area)와 머무름 시간(RT)의 상대표준편차로 확인하였다(표 2).

2.3 악취활성값 및 악취강도

악취물질의 농도값을 측정하더라도 물질별로 최소 감지농도가(Odor Threshold Values, OTV) 다르기 때문에 악취물질별 농도에 대하여 사람들이 느끼는 악취강도에는 차이가 난다(Gostelow *et al.*, 2001). 그래서 악취물질의 농도가 높더라도 악취강도는 낮게 평가되거나 그 반대의 경우가 발생하기도 한다. 따라서

Table 2. QA/QC parameters of each odorant considered in this study.

Compound		MDL (ppb)	Precision (RSD in %)	Linearity (R ²)
Nitrogenous compounds	Ammonia (NH ₃)	2.3	0.2	0.9999
	Trimethylamine (TMA)	0.23	3.3 (area), 0.4 (RT)	1.0000
Sulfur compounds	Methyl mercaptane (MESH)	0.04	1.3 (area), 0.1 (RT)	1.0000
	Hydrogen sulfide (H ₂ S)	0.03	2.0 (area), 0.0 (RT)	1.0000
	Dimethyl sulfide (DMS)	0.05	2.3 (area), 0.1 (RT)	1.0000
	Dimethyl disulfide (DMDS)	0.06	1.0 (area), 0.0 (RT)	1.0000
Aldehyde compounds	Acetaldehyde (a-Ald)	0.1	0.2 (area), 0.0 (RT)	1.0000
	Propionaldehyde (p-Ald)	0.18	0.2 (area), 0.0 (RT)	1.0000
	Butyraldehyde (b-Ald)	0.17	0.1 (area), 0.0 (RT)	1.0000
	i-valeraldehyde (i-v-Ald)	0.21	0.4 (area), 0.0 (RT)	0.9998
	n-valeraldehyde (n-v-Ald)	0.51	0.1 (area), 0.0 (RT)	0.9998
VOCs	Styrene	0.92	2.9 (area), 0.1 (RT)	0.9940
	Toluene	1.11	1.9 (area), 0.1 (RT)	0.9870
	(m, p, o)Xylene	0.66	3.7 (area), 0.0 (RT)	1.0000
	Methyl ethyl ketone (MEK)	0.75	2.4 (area), 0.1 (RT)	0.9980
	Methyl isobutyl ketone (MIBK)	0.73	4.3 (area), 0.1 (RT)	1.0000
	Butyl acetate (b-Acetate)	0.63	5.9 (area), 0.0 (RT)	0.9999
	i-butyl alcohol (i-b-Alcohol)	1.13	5.0 (area), 0.1 (RT)	1.0000
Volatile fatty acids	Propionic acid (Pro-pionic)	1.14	0.3 (area), 0.1 (RT)	0.9999
	n-butyric acid (n-Butyric)	1.86	0.6 (area), 0.0 (RT)	0.9989
	i-valeric acid (i-Valeric)	0.77	0.2 (area), 0.1 (RT)	0.9998
	n-valeric acid (n-Valeric)	1.31	0.2 (area), 0.0 (RT)	1.0000

악취강도의 평가를 위해서는 각 악취물질별로 상대적인 악취강도가 먼저 정의되어야 한다 (Leonardos *et al.*, 1969). 악취활성값은 (Odor Activity Value, OAV) 개별 악취물질이 가지는 최소 감지농도를 이용하여 개별 악취물질들이 전체 악취발생 정도에 미치는 기여도를 평가하는 방법이며 개별 악취물질의 농도를 각각의 악취물질이 가지는 최소 감지농도로 나눈 값으로 정의가 된다 (Guadagni *et al.*, 1963). 다음으로 총 악취활성값은 (Sum of Odor Activity Value, SOVA) 개별물질들 악취활성값의 합으로 정의가 되며, 최종적으로 악취물질의 기여도는 (Odor Contribution, OC)는 총 악취활성값에 대한 개별물질의 악취활성값의 비율로 평가가 된다 (Kim *et al.*, 2016). 본 연구에서는 각 지점별로 측정된 22종의 지정악취물질 농도값을 이용하여 악취활성값을 계산하고 최종적으로 개별물질의 기여도를 평가하였다.

Odor Activity Value (OAV)

$$= \frac{\text{Odor concentration (ppm)}}{\text{OTV (ppm)}} \quad (1)$$

Sum of Odor Activity Value (SOVA) = Σ OAV (2)

$$\text{Odor Contribution (OC)} = \frac{\text{OAV}}{\text{SOVA}} \times 100 \quad (3)$$

개별 악취물질들은 각각의 물질별로 서로 다른 최소 감지농도를 가지기 때문에 농도만으로 실제 체감되는 악취강도를 판단하기 어려운 점이 있다. 물질별 최소 감지농도를 활용한 악취활성값과 총 악취활성값을 이용하면 최소 감지농도를 초과하는 비율과 기여율을 알 수는 있으나 실제 체감하는 악취강도와 직접적인 관계를 파악하기에는 다소 어려운 점이 있다. 따라서 본 연구에서는 Nagata and Takeuchi (1980)에 의해서 제안되어 일본의 악취관리 편람에 수록된 물질별 악취강도 환산식을 적용하여 각 지점별로 측정

된 악취물질의 농도를 악취강도로 환산하였다. 또한 각 개별물질에서부터 산정된 악취강도 (Odor Intensity, OI)를 아래식과 같이 로그스케일로 변환, 합산하여 지점별악취강도 합(Sum of Odor Intensity, SOI)을 계산하고 연구대상지역 악취강도의 공간분포를 분석하였다(Lee *et al.*, 2013).

$$\begin{aligned} \text{Sum of Odor Intensity (SOI)} \\ = \log(10^{OI_1} + 10^{OI_2} + \dots + 10^{OI_n}) \end{aligned} \quad (4)$$

3. 결과 및 고찰

3.1 측정일자별 기상 특성

본 연구대상 지역의 주요 배출시설 및 영향지점의 악취현황을 파악하기 위하여 그림 1의 조사지점별로 총 4회 악취측정을 실시하였다. 측정일은 각각 2018년 3월 16일, 7월 10일, 9월 18일, 11월 4일로 초봄에서 늦가을에 걸치는 기간을 대상으로 각 지점별로 측정 당일별 1회씩 악취측정을 수행하였다. 각각의 악취물질 측정일에 측정지점에서 측정시간동안 기상요소를 현장 측정하였으며 일평균 운량은 부산지방기상청의 자료를 사용하여 표 3에 나타내었다.

3.2 지정악취물질 발생특성

연구대상지역에서 총 4일(표 3) 동안 각 지점별로 22종의 지정악취물질들을 측정한 전체 결과 중에서, i-부틸알코올, n-발레르산과 i-발레르산 3종을 제외하고 총 19개 물질이 검출되었으며 측정값은 Table 4와 같다. 악취방지법에 의하면 지정악취물질의 배출허용기준은 부지경계에서만 적용이 된다. 배출시설의 부지경계(S1~S4)와 영향지점(R1~R4)에서 측정된 악취물질별 농도를 살펴본 결과, 전체 측정결과 중 프로피온산과 n-부틸산이 배출허용기준을 초과한 것으로 나타났다. 프로피온산은 11월 14일 측정시 S1과 S2, 그리고 R1에서 기타지역 배출허용기준(0.03 ppm)을 3.3배에서 4.0배까지 초과한 것으로 나타났으며 같은 날 배출구인 E1에서도 0.08 ppm의 높은 농도가 배출되는 것으로 나타났는데, 이날의 주풍향이 북동풍이었다는 점을 고려해 보면, E1에서 배출된 악취물질이 부지경계인 S1과 S2, 그리고 E1의 남서쪽에 위치한 R1의 농도에 영향을 주었을 가능성을 생각해 볼 수 있다. n-부틸산의 경우에는, 3월 측정시 R4에서 기타지역 배출허용기준(0.001 ppm)을 26배 이상 초과하는 0.0268 ppm의 높은 농도가 측정되었고 배출구인 E1과 E2에서 각각 0.16106, 0.171498 ppm의 고농도 배출이 있었지만, R4가 E1, E2의 북쪽에 위치하고 있고 측정 당일 북풍이 주풍향이어서 E1, E2에서 배출된 악취물질이 R4 농도에 직접적인 영향을 주었다고 보기에는 어려움이 있다. 또한 E1, E2에서 고농도의 악취물질 배출이 있었음에도 불구하고 이들 배출구의 남쪽에 위치한 R1에서 농도가 검출되지 않은 것은 이날 풍속이 무풍에 가까울 정도로 매우 약해(0.2 m/s) 이류, 확산효과가 거의 없었을 가능성도 생각해 볼 수 있겠다. 따라서 3월 R4에서 나타난 고농도의 배출허용기준 초과는 주변의 다른 요인이 있었을 것으로 판단된다. 프로피온산과 n-부틸산은 지방산류에 속하는 물질로 지방산류는 하수처리장, 슬러지처리, 쓰레기 매립장 침출수, 동물의 배설물, 유기체의 부패, 생활폐수 등의 과정에서 발생하는 것으로

Table 3. Meteorological conditions at each sampling date.

Date	Temperature (°C)	Wind dir.	Wind speed (m/s)	Relative humidity (%)	Pressure (hPa)	*Daily mean cloud (1/10)
16 Mar.	7.3	N	0.2	48.5	1,025	6.4
10 Jul.	29.5	NW	1.1	68.4	1,015	7.8
18 Sep.	27.8	SE	1.6	68.0	1,013	4.3
14 Nov.	16.5	NE	1.0	51.3	1,021	1.1

*Busan regional meteorological observatory (Korea Meteorological Administration, 2018)

Table 4. An overall summary of odorant concentrations measured at sampling sites in this study.

(unit: ppm)

Emission standard	Nitrogenous compounds		Sulfur compounds				Aldehyde compounds					VOCs							Volatile fatty acids		
	NH ₃	TMA	MESH	H ₂ S	DMS	DMDS	a-Ald	p-Ald	b-Ald	i-v-Ald	n-v-Ald	Styrene	Toluene	m-Xylene	p-Xylene	o-Xylene	MEK	MIBK	b-Acetate	Pro-pionic	n-Butyric
Industrial area	2	0.02	0.004	0.06	0.05	0.03	0.1	0.1	0.1	0.006	0.02	0.8	30		2		35	3	4	0.07	0.002
Other area	1	0.005	0.002	0.02	0.01	0.009	0.05	0.05	0.029	0.003	0.009	0.4	10		1		13	1	1	0.03	0.001
Threshold value	0.1	0.0001	0.0001	0.0005	0.0001	0.0003	0.002	0.002	0.0003	0.0002	0.0007	0.03	0.9	0.041	0.058	0.38	0.44	0.2	0.008	0.002	0.00007
E1	n	4	1	1	3	1	1	4	4	3	4	2	1	2	2				2	1	4
	16 Mar.	0.1			0.0036			0.717	0.026	0.0617	0.0431										0.16106
	10 Jul.	2.7						1.657	0.232	0.1325	0.1078	0.01	0.2	0.004	0.004						0.08268
	18 Sep.	7.8			0.0018			1.7	0.112	0.4778	0.4724								0.008		0.40308
	14 Nov.	3.2	0.0006	0.001	0.0736	0.0036	0.0016	0.676	0.041		0.0217	0.01		0.002	0.002				0.001	0.08	0.2174
	mean	3.45	0.00060	0.0010	0.02633	0.00360	0.00160	1.1875	0.1028	0.22400	0.16125	0.010	0.20	0.0030	0.0030				0.0045	0.0800	0.216055
	SD	3.20			0.04094			0.5675	0.0940	0.22263	0.21063	0.000		0.0014	0.0014				0.0049		0.136374
E2	n	4	1				4	4	3	1		1	1	2	2				1		4
	16 Mar.	0.1					0.043	0.036	0.0023												1.71498
	10 Jul.	0.5					0.048	0.033				0.01	0.1	0.002	0.002						0.14048
	18 Sep.	2.5					0.361	0.022	0.0095	0.0074											0.61699
	14 Nov.	0.4	0.0011				0.001	0.022	0.0055					0.002	0.002				0.001		0.3685
	mean	0.88					0.1133	0.0283	0.00577					0.0020	0.0020				0.0010		0.710238
	SD	1.10	0.00110				0.1665	0.0073	0.00361	0.00740		0.010	0.10	0.0000	0.0000				0.0010		0.697522
E3	n	3	2		3	3	3	3	1			2	1	2	2	1	1		1		1
	16 Mar.	0.1			0.0053	0.0005	0.0006	0.113	0.002												
	10 Jul.																				
	18 Sep.	2	0.0013		0.0012	0.0007	0.0017	0.248	0.006	0.0065		0.21	0.1	0.006	0.006	0.01	0.06				1.01802
	14 Nov.	1.3	0.0012		0.089	0.0047	0.0035	0.176	0.003			0.01		0.002	0.002				0.001		
	mean	1.13	0.00125		0.03183	0.00197	0.00193	0.1790	0.0037			0.110		0.0040	0.0040	0.010	0.060		0.0010		1.018020
	SD	0.96	0.00007		0.04955	0.00237	0.00146	0.0675	0.0021	0.0065		0.141	0.10	0.0028	0.0028	0.010	0.060		0.0010		1.018020
S1	n	3			3		4	4				1	1	1	1				1		
	16 Mar.				0.0004		0.004	0.009													
	10 Jul.	0.1					0.015	0.001				0.03	0.1	0.002	0.002						
	18 Sep.	0.1			0.001		0.007	0.02													
	14 Nov.	0.1			0.0004		0.01	0.004												0.113	
	mean	0.10			0.00060		0.0090	0.0085				0.030	0.10	0.0020	0.0020					0.1130	
	SD	0.00			0.00035		0.0047	0.0083													
S2	n	2			3	1	4	4					1	1	1				1		
	16 Mar.				0.0007	0.0004	0.004	0.011													
	10 Jul.						0.013	0.003					0.1	0.001	0.001						
	18 Sep.	0.1			0.0008		0.005	0.002													
	14 Nov.	0.1			0.0005		0.01	0.004												0.121	
	mean	0.10			0.00067		0.0080	0.0050													
	SD	0.00			0.00015	0.00040	0.0042	0.0041					0.10	0.0010	0.0010					0.1210	
S3	n	3			3		4	4	1				1	1	1						
	16 Mar.				0.0004		0.002	0.001													
	10 Jul.	0.1					0.016	0.001	0.0028				0.1	0.002	0.002						
	18 Sep.	0.2			0.0007		0.007	0.002													
	14 Nov.	0.1			0.0006		0.005	0.003													
	mean	0.13			0.00057		0.0075	0.0018													
	SD	0.06			0.00015		0.0060	0.0010	0.00280				0.10	0.0020	0.0020						

Table 4. Continued.

(unit: ppm)

Emission standard	Nitrogenous compounds		Sulfur compounds				Aldehyde compounds					VOCs							Volatile fatty acids		
	NH ₃	TMA	MESH	H ₂ S	DMS	DMDS	a-Ald	p-Ald	b-Ald	i-v-Ald	n-v-Ald	Styrene	Toluene	m-Xylene	p-Xylene	o-Xylene	MEK	MIBK	b-Acetate	Pro-pionic	n-Butyric
Industrial area	2	0.02	0.004	0.06	0.05	0.03	0.1	0.1	0.1	0.006	0.02	0.8	30		2		35	3	4	0.07	0.002
Other area	1	0.005	0.002	0.02	0.01	0.009	0.05	0.05	0.029	0.003	0.009	0.4	10		1		13	1	1	0.03	0.001
Threshold value	0.1	0.0001	0.0001	0.0005	0.0001	0.0003	0.002	0.002	0.0003	0.0002	0.0007	0.03	0.9	0.041	0.058	0.38	0.44	0.2	0.008	0.002	0.00007
S4	n	2	1	3	1		4	4					1	1	1						
	16 Mar.			0.0009	0.0004		0.002	0.001													
	10 Jul.						0.012	0.002					0.1	0.001	0.001						
	18 Sep.	0.2		0.0009			0.006	0.002													
	14 Nov.	0.1	0.0001	0.0005			0.009	0.004													
	mean	0.15		0.00077			0.0073	0.0023													
SD	0.07	0.00010	0.00023	0.00040		0.0043	0.0013					0.10	0.0010	0.0010							
R1	n	4		3			4	3	1				1	1	1					1	
	16 Mar.			0.0006			0.003														
	10 Jul.	0.1					0.013	0.002	0.0026				0.1	0.001	0.001						
	18 Sep.	0.4		0.0007			0.007	0.013													
	14 Nov.	0.1		0.0005			0.015	0.002												0.099	
	mean	0.20		0.00060			0.0095	0.0057	0.00260												
SD	0.17		0.00010			0.0055	0.0064		0.00260			0.10	0.0010	0.0010					0.0990		
R2	n	3	1	3			4	4	1								1				
	16 Mar.			0.0004			0.004	0.001													
	10 Jul.	0.1	0.001				0.014	0.002	0.0024												
	18 Sep.	0.1		0.0007			0.008	0.014									0.04				
	14 Nov.	0.1		0.0005			0.002	0.002													
	mean	0.10		0.00053			0.0070	0.0048	0.00240												
SD	0.00	0.0010	0.00015			0.0053	0.0062									0.040					
R3	n	3		3			4	2	1				1	2	2				1		
	16 Mar.			0.0004			0.002														
	10 Jul.	0.1		0.0005			0.015	0.003	0.003				0.1	0.002	0.002						
	18 Sep.	0.1					0.009	0.014													
	14 Nov.	0.1		0.0008			0.002							0.001	0.001				0.001		
	mean	0.10		0.00057			0.0070	0.0085						0.0015	0.0015						
SD	0.00		0.00021			0.0062	0.0078	0.0030				0.10	0.0007	0.0007				0.0010			
R4	n	4		2	1		4	3					1	1	1						1
	16 Mar.						0.002														0.0268
	10 Jul.	0.1					0.012	0.002					0.1	0.001	0.001						
	18 Sep.	0.1		0.001			0.007	0.002													
	14 Nov.	0.1		0.0004	0.0004		0.006	0.002													
	mean	0.10		0.00070			0.0068	0.0020													
SD	0.00		0.00042	0.00040		0.0041	0.0000					0.10	0.0010	0.0010						0.026800	

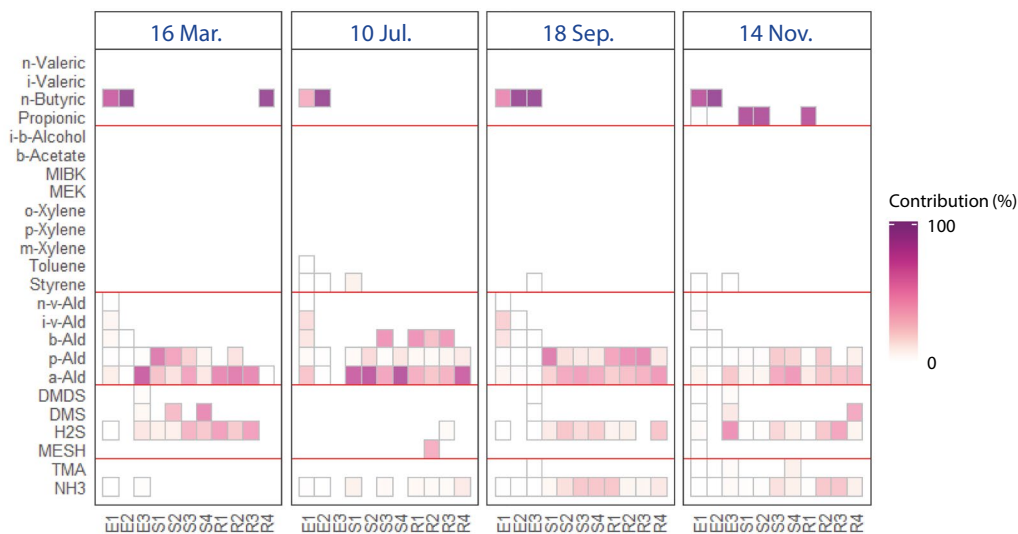


Fig. 3. Distributions of odor contribution by the locations and the odorants according to the date.

알려져 있다(Elefsiniotis and Wareham, 2007). 지정악취물질 22종 중 각 지점별로 검출된 항목을 보면 배출구에서는 12에서 18개의 항목이 검출되어 부지경계선과 영향지점에서의 7에서 9개의 항목보다 많은 것을 확인할 수 있었다. E1의 경우 휘발성유기화합물(VOCs) 일부 항목을 제외하고 총 18개 항목이 검출되어 가장 많은 항목이 검출되었다. E3에서도 알데하이드류 일부 항목을 제외하고 E1과 비슷한 항목들이 검출되었으며 E2에서는 황화합물류를 제외한 항목들이 검출되어 다른 배출구보다 상대적으로 낮은 수의 물질들이 검출되었다. 배출시설의 부지경계선(S1~S4)과 영향지점(R1~R4)은 암모니아, 황화수소, 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, 톨루엔, 자일렌이 공통적으로 검출되었으며 그 외 항목들은 지점별로 조금씩 차이를 보이고 있다. 각 배출시설들의 부지경계선과 영향지점의 평균농도 수준은 비슷하게 나타났으며 암모니아 0.1~0.15 ppm, 황화수소 0.00053~0.0007 ppm, 아세트알데하이드 0.0068~0.0095 ppm, 프로피온알데하이드 0.0018~0.0085 ppm, 톨루엔 0.1 ppm, 자일렌 0.001~0.002 ppm으로 배출허용기준 대비 비교적 낮은 농도 수준을 보였다.

배출구와 그 외 지점의 농도 수준을 비교해보면 암모니아의 경우 E1에서 28배 이상, E2, E3는 7배 이상의 높은 농도를 보였는데 E1의 경우 9월 측정시 7.8 ppm으로 다른 지점대비 높은 농도가 나타나면서 비율이 증가하게 되었다. 황화수소는 E1에서 42배, E3에서 50배 이상의 농도가 나타났으며 아세트알데하이드는 E1, E2, E3 각각 152, 14, 23배 높은 농도를 보였다. 프로피온알데하이드는 E1, E2, E3가 그 외지점보다 각각 21, 5, 0.7배 높은 농도가 나타났으나 톨루엔과 자일렌은 배출구에서 약 1, 2배 높은 수준으로 보여 다른 항목과 비교하여 상대적으로 낮게 나타났다.

3.3 물질별 기여율 및 악취강도 분포

그림 3은 지점별로 4회 측정된 악취물질 농도를 바탕으로 악취활성값을 활용하여 지점별로 각 물질의 기여율을 전체 측정기간에 대하여 나타낸 것이고 그림 4는 지점별로 4회 측정된 기여율의 평균을 나타낸 그림이다. E1, E2, E3와 R4에서는 지방산류 중 n-뷰틸산이, S1, S2, R1 지점은 지방산류 중 프로피온산이 가장 높은 기여율을 보인 것으로 나타났는데, 특히 배출구인 E2, E3와 연구대상지역의 북쪽에 위치한 R4

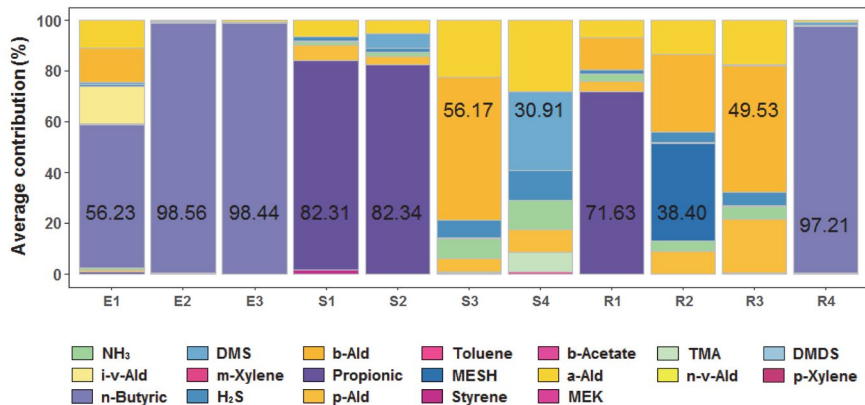


Fig. 4. The average odor contribution of odorants at each site.

에서는 90% 이상의 기여율을 보였다. 지방산류의 경우 최소 감지농도가 매우 낮기 때문에 낮은 농도로도 높은 기여율을 가지게 된다. 배출구인 E1, E2를 제외하고 나머지 지점들은 4회 측정 중 1회씩 검출되었지만(그림 3) 농도수준이 배출허용기준을 초과하는 정도를 나타내어 전체 평균 기여율이 높게 산정되었는데, 배출구에서 배출되는 물질이 기상조건에 따라 주변지역에 영향을 주었을 가능성이 있으므로 이와 관련해서는 추후 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구 대상지역에 위치한 배출시설의 업종을 고려하면 측정결과에서 나타난 지방산류의 검출은 타당성이 있는 것으로 판단되며 R4의 경우, 기상조건과의 연관성을 고려해 볼 때, 이들 배출원의 영향을 받았을 것으로 볼 수 있다. S3와 R3에서는 알데하이드류 중 뷰틸알데하이드의 기여율이 높게 나타났는데, 알데하이드류는 음식물류 폐기물처리 시설에서 높은 농도값이 검출된다는 Yoo *et al.* (2012) 연구결과와 유사하게, S3도 음식물쓰레기 처리시설의 부지경계에 위치하고 있기 때문에 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다. R3는 본 연구대상 배출시설의 북동쪽에 위치한 지점으로 다른 항목들의 농도 수준을 고려할 때 배출시설의 영향보다는 인근 지역의 영향이 반영된 결과로 판단된다. S4와 R2 지점은 다른 지점들과 달리 황화합물의 기여율이 가장 높았으나 그 외

항목들로 비슷한 기여율 수준을 보이는 것으로 나타났다. 일반적으로 황화합물은 하수처리장, 분뇨처리장, 쓰레기 매립장 등 환경기초시설과 하수관거 등에서 배출되는 것으로 알려져 있으며 S4의 경우에는 매립장과 그 관련 시설들과 인접한 지점으로 복합적인 영향으로 판단된다(Hong *et al.*, 2010).

그림 5는 전체 조사기간의 각 지점별, 측정된 악취물질별로 악취농도에 악취강도 환산식을 적용하여 산정한 물질별 악취강도 (Odor Intensity, OI)를 나타낸 그림이며 그림 6은 지점별 악취강도의 분포를 확인하기 위한 boxplot과 전체적인 악취강도의 분포를 나타낸 그림이다. 악취강도의 등급은 0에서 5까지이며 각각 ‘무취 (None)’, ‘감지취기 (Threshold)’, ‘보통취기 (Moderate)’, ‘강한취기 (Strong)’, ‘극심한 취기 (Very strong)’, ‘참기 어려운 취기 (Over strong)’의 악취강도를 의미한다. 그림에서는 악취강도 2를 중심으로 색깔이 변화하도록 되어있는데 일반적으로 2도 (보통취기) 이상이면 냄새로 감지가 되기 때문에 이를 구분하기 위해서이다(Lee *et al.*, 2013). 전체 기간 중 물질별 악취강도는 0.1에서 6.7의 범위를 보였으며 배출구에서 n-뷰틸산의 악취강도가 ‘극심한 취기’ 이상으로 전체 측정기간에 걸쳐 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다(그림 5). 다음으로 배출구에서 알데하이드류의 악취강도가 ‘보통취기’에서 ‘강한취기’까지의 분포

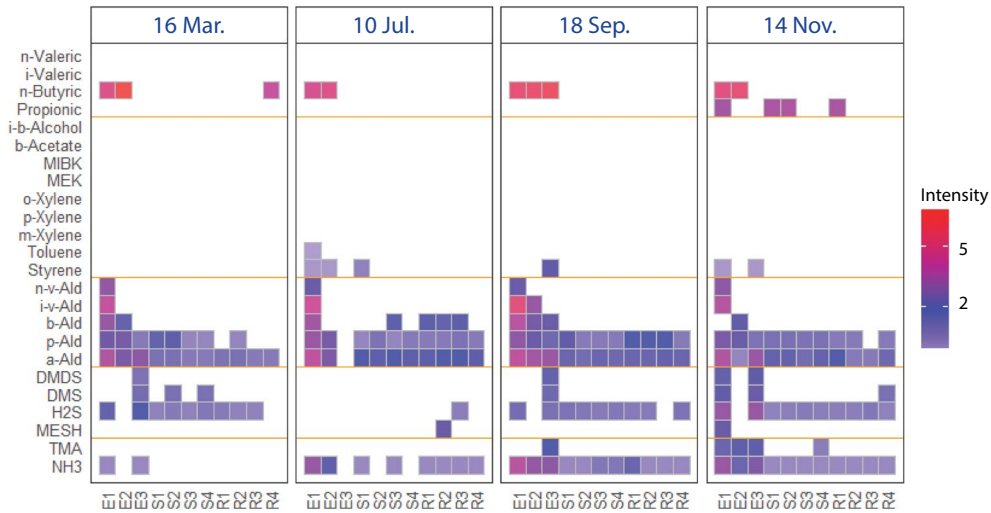


Fig. 5. Distributions of odor intensities by the locations and the odorants according to the date.



Fig. 6. Overall distributions of odor intensity by the locations.

를 보이고 있다(그림 5). 특히 E1 지점에서는 알데하이드류 전 항목이 ‘보통취기’ 이상의 강도를 보이고 있다. 부지경계(S1~S4)와 영향지점(R1~R4)에서는 알데하이드류와 암모니아, 황화수소가 공통적으로 검출되고 있으나 ‘보통취기’ 이하의 강도를 보이는 것을 알 수 있다. 지점별로 전반적인 악취강도 분포를 살펴보면(그림 6) 배출구인 E1, E2에서는 ‘보통취기’ 이상에서 높은 빈도를 보이고 있으며 특히 ‘참기 어려운 취기’ 이상의 악취강도도 발생하는 것을 알 수

있었다. E3 지점은 앞의 두 지점보다는 악취강도가 낮게 나타나고 있지만 ‘강한취기’의 강도가 일부 발생하고 있어 E1, E2, 지점과 더불어 주요 악취발생원임을 확인할 수 있었다. 부지경계(S1~S4)와 영향지점(R1~R4)은 ‘보통취기’ 이하의 강도를 보이고 있으나 지방산류의 영향으로 일부 ‘강한취기’ 이상의 강도를 보이기도 하였다. 다시 말하면 배출구에서의 강한 악취물질이 기상조건에 따라 이들 지역에 영향을 주는 것으로 판단이 되며, 11월 측정 시 프로피온산이

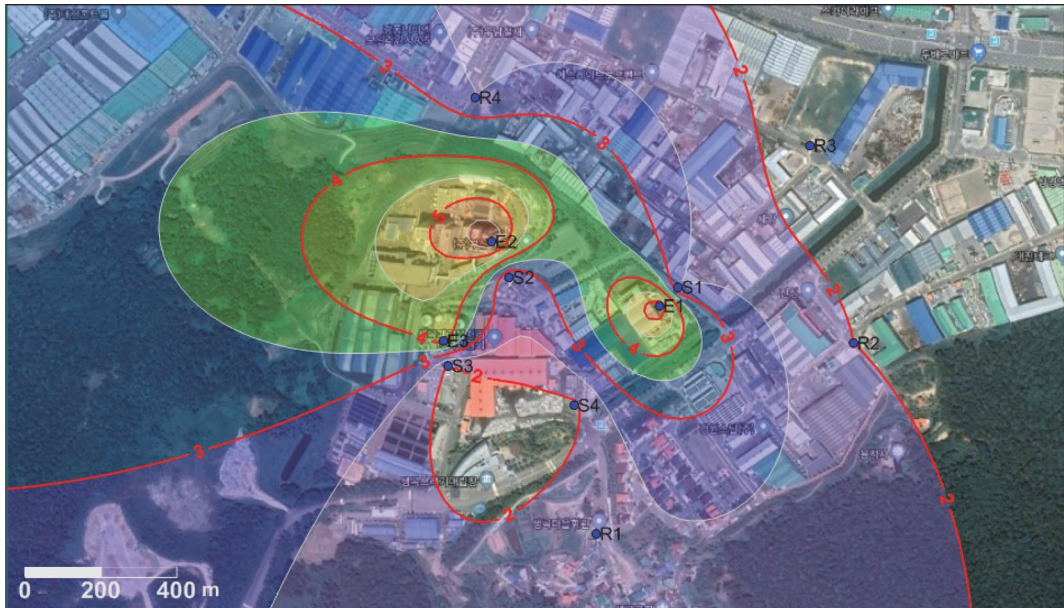


Fig. 7. Spatial distributions of sum of odor intensity (SOI) in investigation area.

E1, S1, S2, R1 지점에서 ‘강한취기’ 이상의 강도를 보이는 것으로 확인 할 수 있었다.

3. 4 악취강도의 공간분포

그림 7은 연구대상 지점들에서 산정된 악취강도의 합(Sum of Odor Intensity, SOI)을 바탕으로 객관분석을 수행하여 연구대상 지역 전체의 악취강도 분포를 나타낸 그림이다. 앞에서 산정한 개별악취물질의 악취강도에 식(4)를 적용하여 개별 물질의 악취강도를 모두 고려한 지점별 악취강도의 합을 산정한 후 객관 분석하여 공간분포를 작성하였다. 일반적으로 객관 분석은 측정지점들 간의 거리분포를 기준으로 공간 분포를 계산하기 때문에 실제와 다소 차이가 날수 있지만 측정지점들의 위치 따른 측정값의 분포를 최대한 반영하기 때문에 전체적인 경향을 파악하는데 무리가 없을 것으로 판단된다(Jang *et al.*, 2015). 그림 7에 의하면 연구대상 지역의 오른쪽 일부를 제외하고 대부분의 지역들이 ‘보통취기’ 이상의 분포를 보이는 것으로 나타났다. 이는 이들 지역에서 일반적인 사람

이 인식할 수 있는 악취강도 수준이 유지되고 있음을 의미한다. 배출구인 E1과 E2에서 ‘참기 어려운 취기’ 이상의 악취강도가 발생하고 있으며 배출시설 부지 내에서 확산되면서 부지경계에서 악취강도는 급격하게 낮아졌지만 그래도 ‘강한취기’ 이상의 강도가 유지되고 있음을 알 수 있다. E3의 경우 ‘극심한 취기’의 강도를 보였으나 부지경계인 S3에서는 ‘보통취기’로 급격히 낮아졌으며 S4의 서쪽 일부 지역에서 ‘보통취기’ 이하의 악취강도를 보이는 지역을 볼 수 있다.

본 연구에서 제시한 악취강도의 공간분포는, 현재 연구에서 측정과 관련된 지점수, 횟수 등에 있어, 상세한 공간분포의 파악을 위한 시료 자체의 절대적 양이 부족하여 정확한 고해상도의 정량적 분포를 제시하지는 못하지만, 악취배출시설이 주변에 미치는 영향의 공간적 확산에 관한 정성적 가능성을 파악하고 시공간적으로 충분한 시료의 확보가 상세한 정보제공과 밀접한 관련이 있을 수 있음을 제시하는 것에 의미가 있다고 판단된다.

4. 결 론

생곡산업단지와 인근 지역은 부산광역시내에서 악취관련 민원이 지속적으로 발생하는 지역이다.

본 연구에서는 대도시 악취피해 및 민원다발 지역을 대상으로 악취측정을 통한 현황 및 기여도 분석 등을 수행하였다. 이를 위해 부산광역시에 위치한 생곡산업단지와 인근 지역을 대상으로, 악취의 원인 분석을 위한 기초 연구로 악취물질들의 배출 실태를 파악하고 물질별, 배출원별 기여율을 조사하였다. 조사 대상 지점은 주요 배출원의 배출구 3개 지점, 부지경계 4개 지점, 영향지점 4개 지점, 총 11개 지점이며 지정악취 22개 항목을 조사하였다. 악취시료채취와 분석은 악취공정시험기준에 준하여 실시하였으며 측정 일자 는 2018년 3월 16일, 7월 10일, 9월 18일, 11월 4일, 총 4회로 봄에서 가을에 걸치는 계절을 중심으로 실시하였다. 지정악취물질 측정결과 i-부틸알코올, n-발레르산과 i-발레르산 3종을 제외하고 총 19개 물질이 검출되었으며 배출시설의 부지경계와 일부 영향 지점에서 프로피온산과 n-부틸산이 배출허용기준을 초과하는 수준을 보였다. 부지경계와 영향지점 모두 암모니아, 황화수소, 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, 톨루엔, 자일렌이 공통적으로 검출되었으며 이들 물질은 배출허용기준 대비 비교적 낮은 농도 수준을 보였다. 측정당시의 기상조건과 비교해 보면 배출구에서 배출되는 일부 항목이 주변지역에 영향을 주는 것으로 판단이 된다. 물질별 악취활성값을 활용하여 악취물질별로 기여율을 산정한 결과 배출구와 북쪽의 영향지점, 부지경계 2지점과 주거지역인 마을회관에서 지방산류의 기여율이 가장 높게 나타났으며 일부 지점에서는 알데하이드류와 황화합물의 기여율이 가장 높게 나타났다. 물질별 악취강도 환산식을 적용하고 지점별로 악취강도 합의 평균을 산정한 결과 연구대상지역 대부분에서 일반적인 사람이 인식할 수 있는 ‘보통취기’의 악취강도 수준이 유지되고 있으며 배출구에서는 ‘참기 어려운 취기’ 이상의 악취강도가 발생하고 배출시설 부지 내에서 확산되

면서 부지경계에서는 ‘강한취기’ 이상의 악취강도가 유지되고 있었다. 본 연구는 복합적인 악취 배출원이 혼재해 있는 공업지역에서 배출원별로 지정악취 물질의 측정을 통하여 악취배출 특성을 파악하고 각 물질별로 악취의 기여율을 파악하여 악취발생의 원인 물질을 규명하는 것을 목적으로 하였다. 그러나 본 연구 결과에 영향을 미칠 수 있는 연구대상 배출시설의 악취배출 공정이나 악취배출량의 산정 및 배출원이 주변지역에 미치는 영향에 관한 세부적인 분석은 향후 다수의 측정을 통한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서 제시한 방법을 활용하여 악취민원 다발지역인 생곡마을의 복합적인 악취 발생원에 대하여 주요 악취발생원과 원인물질을 규명하고 악취물질의 체감도를 반영한 저감대책이 수립되기를 바란다.

감사의 글

본 논문은 2019학년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임.

References

- Blazy, V., de Guardia, A., Benoist, J.C., Daumoin, M., Guiziou, F., Lemasle, M., Wolbert, D., Barrington, S. (2015) Correlation of chemical composition and odor concentration for emissions from pig slaughterhouse sludge composting and storage, *Chemical Engineering Journal*, 276, 398-409. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.04.031>
- Brambilla, M., Navarotto, P. (2010) Sensorial analysis of pig barns odour emissions, *Chemical Engineering Transactions*, 23, 243-248. <https://doi.org/10.3303/CET1123041>
- Bundy, D.S. (1992) Odor issues with wastes. In: *National livestock poultry and aquaculture waste management*, American Society of Agricultural Engineers Publication, St. Joseph, Michigan, 288-292.
- Capelli, L., Sironi, S., Del Rosso, R., Guillot, J.M. (2013) Measuring odours in the environment vs. dispersion modelling:

- a review, *Atmospheric Environment*, 79, 731-743. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.07.029>
- Elefsiniotis, P., Wareham, D.G. (2007) Utilization patterns of volatile fatty acids in the denitrification reaction, *Enzyme and Microbial Technology*, 41(1), 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.12.006>
- Feilberg, A., Liu, D., Adamsen, A.P., Hansen, M.J., Jonassen, K.E. (2010) Odorant emissions from intensive pig production measured by online proton-transfer reaction mass spectrometry, *Environmental Science and Technology*, 44, 5894-5900. <https://doi.org/10.1021/es100483s>
- Gostelow, P., Parsons, S.A., Stuetz, R.M. (2001) Odour measurements for sewage treatment works, *Water Research*, 35, 579-597. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00313-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00313-4)
- Guadagni, D.G., Buttery, R.G., Okano, S., Burr, H.K. (1963) Additive effect of sub-threshold concentrations of some organic compounds associated with food aromas, *Nature*, 200, 1288-1289. <https://doi.org/10.1038/2001288a0>
- Hansen, M.J., Jonassen, K.E.N., Løkke, M.M., Adamsen, A.P.S., Feilberg, A. (2016) Multivariate prediction of odor from pig production based on in-situ measurement of odorants, *Atmospheric Environment*, 135, 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.060>
- Harrison, E.Z., Oakes, S.R. (2002) Investigation of alleged health incidents associated with land application of sewage sludges, *New Solutions*, 12(4), 387-408. <https://doi.org/10.2190/0FJO-T6HJ-08EM-HWW8>
- Herr, C., Zur Nieden, A., Bödeker, R.H., Gieler, U., Eikmann, T.F. (2003) Ranking and frequency of somatic symptoms in residents near composting sites with odor annoyance, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 206, 61-64. <https://doi.org/10.1078/1438-4639-00182>
- Hong, O.F., Kabir, E., Susaya, J., Kim, K.H. (2010) Characteristics of major offensive odorants emitted from urban stormwater catch basins, *Analytical Science and Technology*, 23(4), 347-356. <https://doi.org/10.5806/AST.2010.23.4.347>
- Jang, H.S., Kang, N.R., Noh, H.S., Lee, D.R., Choi, C.H., Kim, H.S., (2015) Applicability of spatial interpolation methods for the estimation of rainfall field, *Journal of Wetlands Research*, 17(4), 370-379. <https://doi.org/10.17663/JWR.2015.17.4.370>
- Kabir, E., Kim, K.H. (2010) An on-line analysis of 7 odorous volatile organic compounds in the ambient air surrounding a large industrial complex, *Atmospheric Environment*, 44, 3492-3502. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.06.021>
- Kim, J.B., Jeong, S.J. (2009) The relationship between odor unit and odorous compounds in control areas using multiple regression analysis, *Korean Journal of Environmental Health*, 35(3), 191-200. <https://doi.org/10.5668/JEHS.2009.35.3.191>
- Kim, K.H., Ahn, J.W., Hong, O.F. (2010) Examination of individual and mixed odorant concentration and their relationship with odor intensity, *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, 9(2), 72-79. <http://db.koreascholar.com/article.aspx?code=239656>
- Kim, K.Y., Kang, B.W., Yeon, I.J., Song, C., Jung, J.S. (2016) A study on the odor compounds emitted from cement and lime manufacturing plant using odor contribution analysis, *Journal of the Korean Society for Environmental Technology*, 17(4), 340-352, UCI: G704-SER000009024.2016.17.4.010
- Korean Ministry of Environment (KME) (2017) Malodor prevention act.
- Leonardos, D., Kendall, D., Barnard, N. (1969) Odor threshold determinations of 53 odorant chemicals, *Journal of the Air Pollution Control Association*, 19(2), 91-95. <https://doi.org/10.1080/00022470.1969.10466465>
- Liu, D., Feilberg, A., Adamsen, A.P., Jonassen, K.E. (2011) The effect of slurry treatment including ozonation on odorant reduction measured by in-situ PTR-MS, *Atmospheric Environment*, 45, 3786-3793. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.04.028>
- Lee, H.D., Jeon, S.B., Choi, W.J., Lee, S.S., Lee, M.H., Oh, K.J. (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>
- Nagata, Y., Takeuchi, N. (1980) Relationship between concentration of odorants and odor intensity, *Bulletin of Japan Environmental Sanitation Center*, 7, 75-86.
- Yoo, S.S., Kim, Y.D., Lee, J.Y., Cha, Y.S., Kim, E.S., Jeon, J.S., Sunwoo, Y., Eom, S.W., Chae, Y.Z. (2012) The characteristic and management of odor emitted from food-waste treatment facility, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 21(3), 353-365. <https://doi.org/10.14249/eia.2012.21.3.353>
- Yoon, Y.K., Kim, D.K. (2012) Emission characteristics of odor compounds from pneumatic waste collection plants, *Korean Society Of Environmental Engineers*, 34(8), 541-548. <https://doi.org/10.4491/KSEE.2012.34.8.541>
- Wu, C., Liu, J., Zhao, P., Piringer, M., Schaubberger, G. (2016) Con-

version of the chemical concentration of odorous mixtures into odour concentration and odour intensity: a comparison of methods, *Atmospheric Environment*, 127, 283-292. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.12.051>

Authors Information

도우곤 (부산광역시 보건환경연구원 대기환경연구부 환경연구사)
정우식 (인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터 교수)