

TECHNICAL NOTE

악취기여도평가를 이용한 악취원인물질 연구
- 오창과학산업단지를 중심으로 -

정지선 · 김덕철 · 이한철 · 연승원¹⁾ · 연익준^{1)*}

한국교통대학교 일반대학원 녹색바이오공학과, ¹⁾한국교통대학교 환경공학과

A Study on the Odor Compounds Emitted using Odor Contribution Analysis - Focus on the Ochang Scientific Industrial Complex Area -

Ji-Sun Jung, Duk-Chul Kim, Han-Chul Lee, Seung-Won Yeon¹⁾, Ik-Jun Yeon^{1)*}

Department of Green Bio Engineering, Graduate School of Korea National University of Transportation, Chungju 27469, Korea

¹⁾Department of Environment Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 27469, Korea

Abstract

The purpose of this study was to obtain the basic data needed to identify the impact of the odor, emitted from the Ochang Scientific Industrial Complex area on the surrounding residential areas by measuring and confirming odor compounds. The analysis showed that complex odors were diluted from around 4 to 1. The offensive odor measurement results showed that among the sites, site 1 was highest in sulfur compounds, site 2 was highest in toluene, site 3 was highest in trimethylamine, and site 4 was highest in buthylaldehyde. It cannot be decided to be odor-causing compounds for higher odor concentration because each odor substance has a different odor threshold value. According to the odor contribution analysis for each site, site 1, site 2, and site 4 contained high buthylaldehyde concentrations, and site 3 had a high level of trimethylamine. It could be determined that highly evaluated substances were main causes to result in substance for each site.

Key words : Odor contribution analysis, Legal complains, Odor activity value

1. 서론

국민의 소득수준이 높아지고 생활수준이 향상되면서 쾌적한 삶을 추구하기 시작하였고, 자연스럽게 맑은 공기, 깨끗한 물 등 주위의 환경에 관심이 쏠리기 시작하였다. 이러한 환경에 대한 관심은 점차 산업활

동으로 인해 발생하는 환경오염으로 변해왔다. 악취 오염은 환경오염의 한 분야로서 악취를 배출하는 산업장 등에서 발생하는 민원의 꾸준한 증가로 인해 학계 및 행정기관 등에서 많은 주목을 받고 있다.

악취는 소음과 같은 대표적인 감각공해로서 코 내부의 후각세포를 자극하여 불쾌감을 유발하는 기체상

Received 3 June, 2016; Revised 7 September, 2016;

Accepted 20 September, 2016

*Corresponding author : Ik-Jun Yeon, Department of Environment Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju 27469, Korea

Phone : +82-43-841-5359

E-mail : ijyn@ut.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://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.

물질을 의미한다(Dincer and Muezzinoglu, 2006). 이러한 악취 물질들은 사람들에게 정신적, 생리적 스트레스를 유발시키고 메스꺼움, 두통, 식욕감퇴, 위장장애, 수면장애, 호흡곤란 및 알레르기 현상 등 건강상해를 주고 있기 때문에, 환경 분야에서 발생하는 민원 중 악취로 인한 민원이 상당 부분을 차지하고 있는 실정이다(Mun et al., 2011).

악취는 발생물질의 종류와 배출원이 다양하고(Kim et al., 2011; Kim, 2009), 생활환경과 사람의 심리상태 등에 따라 피해로 인식되는 정도가 달라지는 특성이 있어, 다른 대기오염물질과는 달리 발생원을 효과적으로 관리하기 위한 대책을 수립에 어려움이 있다. 또한, 악취현상은 발생원, 기상조건 및 대기 중에서 이루어지는 반응현상과 함께 감지자가 처해있는 다양한 환경요소에 의해 다르게 평가될 수 있기 때문에, 요소 중 어느 하나도 간단하게 평준화시키기 어려우며, 이 유로 객관적인 평가에 많은 어려움을 겪게 된다.

악취배출원으로부터 발생하는 악취물질들은 대기오염물질로서 악취가 관리되어 왔으나, 대기오염물질과는 달리 국지적이고 순간적으로 발생하였다 소멸된다는 특성 때문에 별도로 관리할 필요성을 느껴 2004년 2월 「악취방지법」을 제정하게 되었다. 법에서는 2005년 12종의 물질, 2008년 17종의 물질, 그리고 2010년도에는 22종 물질에 대해 단일악취물질을 순차적으로 늘리면서 지정악취물질로 정하여 관리하고 있다(MOE, 2015).

「악취방지법」의 제정 배경에는 대기오염물질과는 다른 악취물질만의 특성도 있었지만, 악취로 인해 생활환경까지 영향을 미쳐 지역주민들로부터 발생하는 민원을 해결할 수 없었던 이유도 크다. 인구밀도가 높은 우리나라로서는 악취발생원과 주거지역간의 거리가 짧고, 이는 지역주민들로부터의 민원이 발생할 수밖에 없는 상황을 만들어 낸다. 더욱이 경제성장을 위하여 1970년대 건설된 산업단지들은 낙후된 도시 변두리에 조성되었으나, 최근 들어 주거지역이 교외지역으로 확장되면서 산업단지와 주거지역과의 거리가 가까워졌다(Kim et al., 2015). 이로 인해 인근주거지역으로부터 민원이 끊이지 않고 발생하고 있으며, 이를 해결하기 위한 노력에도 불구하고 실질적으로 미흡한 상태이다.

Kim et al.(2011), Park et al.(2010), Park et al.(2006), Shin et al.(2011) 등 많은 연구자들에 의해서 산업화 초기에 대규모로 조성된 산업단지를 대상으로 사업장별 악취물질 특성연구, 농도화산특성 등에 대한 연구가 꾸준히 수행되어 왔으며, 연구결과는 인근 지역 주민들로부터의 민원해결을 위한 기초자료 역할을 하고 있다. 하지만 2000년대 이후 조성되어진 산업단지를 대상으로 하는 악취연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 2002년에 산업단지가 건설·운영되고, 그 후 산업단지 인근에 신도시 대규모 주택단지가 형성된 청주시 오창과학산업단지를 대상으로 하였다. 주거지역이 형성되기 전에는 산업단지에서 발생하는 악취가 크게 문제시 되지 않았고, 악취물질이 무엇인지에 대한 연구도 진행되지 않았다. 그러나 쾌적한 삶을 지향하게 되면서 주민들은 산업단지로부터 발생하는 악취로 인해 아파트 단지에서 집단 민원을 제기하고 있는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 집단적으로 발생하는 악취민원을 해결하기 위하여, 산업단지에서 발생하는 악취물질을 측정하고, 측정된 악취물질을 이용하여 악취기여도 평가를 수행하며, 이로 인해 주요 악취원인물질을 규명하고자 하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 연구대상 오창과학산업단지의 현황

본 연구대상인 오창과학산업단지는 총 면적 9,450천 m^2 으로, 2002년 완공되어 전기·전자 및 정보, 정밀기계·신공정, 재료·소재, 신물질·생명공학, 광학·의료기기 등의 업종이 입주되어 있다. 41.4%가 연구 및 생산용지, 20.6%가 공공·기타용지, 18.7%가 공원·녹지용지, 14.0%가 주거용지, 5.3%가 업무·상업용지로 구성되어 있으며, 2014년을 기준으로 총 189개의 업체가 입주하여 현재 90%가 정상적으로 가동·운영중에 있다. 입주된 사업장 중 악취를 배출하는 사업장은 23개 사업장으로 전기·전자 사업장이 14개로 가장 많다.

오창과학산업단지의 동쪽으로 대규모 아파트 단지 및 상업지역이, 북서쪽으로는 단독주택지역이 밀집되어 있다. 밀집된 주거지역에서는 산업단지에서 발생하는 악취로 인해 민원을 제기하고 있고, 민원을 제기하는 빈도는 지속적으로 증가하고 있다. 산업단지가

형성되기 전에는 축산업과 농업을 본업으로 하는 농가들이 대부분이었고, 이후 산업단지가 조성·운영된 2007년에는 악취로 인한 민원이 43건이었으나, 산업단지 인근에 대규모 아파트 단지가 입주 시작된 2008년에는 193건으로 크게 증가하였다. 이후 민원은 집단적으로 제기되고 있으며 2012년도에는 159건의 악취민원이 발생하였다.

2.2. 악취의 측정

2.2.1. 조사지점 및 측정항목

오창과학산업단지는 주거지역과 상업지역이 인접해 있고, 산업단지에서 발생하는 악취로 인해 인근 주

거지역으로부터 집단민원이 발생되고 있다. 또한 산업단지의 남서쪽 방향으로는 축산농가와 퇴비공장이 위치하고 있다. 악취의 측정은 집단민원이 발생하는 산업단지 인근의 주거지역 1개 지점(1지점)과 주된 악취를 배출하는 사업장 3개 지점(2지점 : J공장 정문, 3지점 : S공장 정류장, 4지점 : M공장 앞)으로 하였다.

선정한 4개 지점에 대하여 3회의 복합악취 및 22개 지정악취물질을 측정하였고, 측정 시 기상상황은 Table 1에, 측정지점은 Fig. 1에 나타내었다.

2.2.2. 시료의 채취 및 분석방법

본 연구에서 선정한 4개 지점의 시료채취는 부지경계선에서 수행하였으며, 각 물질별 분석은 악취공정

Table 1. The atmospheric conditions

Classification	Date	Ave. Temperature (°C)	Wind (m/s)	Main wind
1st	2014. 6. 20 (day)	24.4	1.5	SW
2nd	2014. 9. 30 (night)	20.3	2.1	S / SE
3rd	2014. 10. 28 (night)	10.1	0.7	WSW



Fig. 1. Sampling site location of odor substances around Ochang industrial complex area.

Table 2. Summary of sampling and analytical methods for molodorous substances

Substances	Component	Analytical method	Sampling method
Complex odor		Air dilution olfactory method	Air dilution olfactory method : polyester teddler bag
Nitrogeneous compounds	Ammonia	Absorptionmetric analysis	UV-vis, Shimadzu : solutionabsorption
Sulfur compounds	Hydrogen sulfide	GC/FPD	GC-17A, Shimadzu; teddlee bag
	Methylmercaptan		
	Methylsulfide		
	Methyldisulfide		
Carbonyl Compound	Acetaldehyde	HPLC/UV	YL9100, HPLC System : 2,4-DNPH cartridge
	Propionaldehyde		
	n-buthylaldehyde		
	n-valeraldehyde		
Amine	Iso-valeraldehyde		
	Trimethylamine	GC/FID, GC/NPD	GC-17A, Shimadzu; sulfur deposition filter
Hydrocarbon	Styrene	GC/MSD	HP-6890, HP-5973N; canister
	Toluene		
	Xylene		
	Methyl ethyl ketone		
	Methyl isobutyl ketone		
	Butyl acetate		
	Isobutyl alcohol		
Fatty Acids	Propionic acid	GC/FID	GC-17A, Shimadzu; KOH impregnation filter
	n-Butyric acid		
	n-Valeric acid		
	Isovaleric acid		

시험방법(MOE, 2015)에 따라 수행하였다. 복합악취 및 지정악취물질에 대한 분석방법, 분석기기, 그리고 시료채취방법은 Table 2와 같다.

2.3. 악취기여도평가(odor contribution analysis : OCA)

악취는 여러 물질들이 복합적으로 작용하여 발생하는 것으로, 하나의 물질 농도만으로는 악취가 어느 정도인지 알 수 없다. 더욱이 각 물질별로 최소감지농도(odor threshold value, OTVs)가 다르기 때문에 개별적으로 측정된 물질의 농도만으로는 악취의 영향정도를 파악하거나, 물질별 비교 자체에 어려움이 있다. 따라서 발생한 악취에 대한 악취물질별 기여도를 평가하여, 악취발생지점에서의 주요 원인물질을 파악하는 것은 중요한 의미를 가진다고 할 수 있다.

악취기여도평가는 총악취활성값(sum odor activity value : SOAV)을 개별물질별로 나눈 값을 100으로 환산하여 평가하는 것으로, Guadagni et al.(1963)에 의해 처음 제안되었다. 여기서 총악취활성값은 개별 악취물질들의 악취활성값(odor activity value : OAV)의 합이고, 악취활성값은 개별 악취물질의 농도를 각각의 악취물질이 가지는 최소감지농도로 나눈 값으로 정의되고(Lee et al., 2013, Parker et al., 2013), 관련 식은 식(1) ~ 식(3)에 나타내었다.

$$\text{악취활성값 (OAV)} = \frac{\text{개별 악취물질의 농도 (ppb)}}{\text{개별 악취물질이 가지는 최소감지농도 (ppb)}} \quad \dots (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{총악취활성값(SOAV)} \\ & = \sum \text{개별 악취물질의 악취활성값(OAV)} \dots (2) \\ & \text{악취기여도(OC)} \\ & = \frac{\text{악취활성값(OAV)}}{\text{총악취활성값(SOAV)}} \times 100 \dots (3) \end{aligned}$$

학계의 기존 연구에 따르면 최소감지농도는 지역별, 성별, 인종 등에 따라서 차이를 보이며(Hatteveld et al., 1999; Nagata, 1990; Seo, 2000), 따라서 나라마다 조금씩 다른 최소감지농도에 대해 연구결과를 발표하였다(Leonardos et al., 1969; Nagata, 1990; Thomas et al., 1974). 본 연구에서는 환경부에서 발표된 자료를 이용하였다(MOE, 2005).

3. 연구결과 및 고찰

3.1. 악취물질 측정결과

3.1.1. 복합악취배출특성

복합악취도의 1차 측정 결과, 주거지역인 1지점 10배, 산업단지 내 사업장 부지경계에서 측정한 2지점 5배, 3지점 10배, 4지점 5배의 희석배수로 나타났다. 복합악취도의 2차 측정 결과, 주거지역인 1지점 5배, 산업단지 내 사업장 부지경계에서 측정한 2지점 10배, 3지점 3배, 4지점 5배의 희석배수로 나타났다. 복합악취도의 3차 측정 결과, 주거지역인 1지점 4배, 산업단지 내 사업장 부지경계에서 측정한 2지점 10배, 3지점 21배, 4지점 4배의 희석배수로 나타났다.

1~3차 측정결과로부터 산업단지 인근 주거지역과 악취배출사업장 경계부지에서 평균 복합악취도 결과 1지점은 6배, 2지점은 8배, 3지점은 11배, 4지점은 4배의 희석배수로 나타났으며, 3지점에서 악취도가 가장 높았다. 평균 악취도 결과 악취방지법의 배출허용기준치(기타지역 15이하, 공업지역 20이하) 이내로 조사되었다.

하지만 3차 측정시 3지점에서는 21배의 희석배수로 나타나 배출허용기준치 초과하였고, 4지점은 주거지역인 1지점보다 희석배수가 낮게 측정되었다.

현재 오창과학산업단지의 주 풍향은 남서풍으로, 바람이 불 경우 3지점에서 발생된 악취는 2지점을 거쳐 주거지역인 1지점으로 이동·확산되게 된다. 더욱이

현재 3지점은 악취배출사업장에서 발생하는 악취 외에 인근에 위치해 있는 축산시설에서의 악취의 영향도 있는 지점으로, 복합악취가 다른 지점에서보다 높게 측정된 것으로 사료되고, 주풍향의 영향으로 악취배출사업장 인근의 4지점보다 주거지역인 1지점에서 복합악취가 더 높게 측정된 것으로 사료된다.

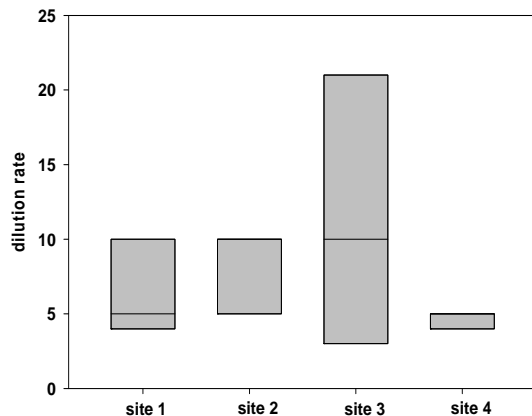


Fig. 2. Measurement result of the complex odor.

3.1.2. 지정악취물질 배출특성

오창과학산업단지 내 3개 지점 및 인근 주거지역 1지점을 대상으로 지정악취물질을 3회 측정하였으며, 분석결과(평균)를 요약하여 Table 3에 나타내었다.

측정결과 암모니아의 평균 농도는 1지점 81.72 ppb, 2지점 66.42 ppb, 3지점 80.53 ppb, 4지점 129.40 ppb로 측정되었으며, 4지점에서 가장 높게 측정되었다.

황화합물류 측정결과, 황화수소의 평균농도는 1지점 0.74 ppb, 2지점 0.33 ppb, 3지점 0.41 ppb, 4지점 0.57 ppb로 측정되었으며, 1지점에서 가장 높게 측정되었다. 메틸머캅탄의 평균농도는 1지점 0.52 ppb, 2지점 0.05 ppb, 3지점 0.28 ppb, 4지점 0.43 ppb로 측정되었으며, 1지점에서 가장 높게 측정되었고, 다이메틸설파이드의 평균농도는 1지점 1.41 ppb, 2지점 0.89 ppb, 3지점 1.62 ppb, 4지점 1.24 ppb로 측정되었으며, 1지점에서 가장 높게 측정되었다. 다이메틸다이설파이드의 경우 1지점 0.44 ppb, 4지점 0.12 ppb로 측정되었고, 2, 3지점에서는 불검출되었다.

카르보닐화합물류 측정결과, 아세트알데히드의

Table 3. Measured concentrations 22 offensive compounds in sampling sites (unit : ppb)

Classification		site 1	site 2	site 3	site 4
Nitrogenous compounds	Ammonia	81.72	66.42	80.53	129.40
	Hydrogen sulfide	0.74	0.33	0.41	0.57
Sulfur compounds	Methylmercaptan	0.52	0.05	0.28	0.43
	Methylsulfide	1.41	0.89	1.62	1.24
	Methyldisulfide	0.44	N.D. ^a	N.D. ^a	0.12
	Acetaldehyde	6.78	10.59	9.50	6.68
Carbonyl compound	Propionaldehyde	0.66	1.35	2.55	N.D. ^a
	n-buthylaldehyde	6.01	17.87	0.67	43.13
	n-valeraldehyde	0.64	0.68	0.82	N.D. ^a
	Iso-valeraldehyde	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a
	Trimethylamine	0.28	0.31	1.71	0.50
Amine	Styrene	0.19	0.16	0.49	0.43
	Toluene	4.67	1.72	1.01	1.26
	Xylene	2.22	1.53	1.45	1.22
	Methyl ethyl ketone	1.47	0.68	2.70	1.42
	Methyl isobutyl ketone	0.18	0.17	0.15	1.29
	Butyl acetate	1.50	1.08	0.38	1.80
	Isobutyl alcohol	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a
	Propionic acid	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a	0.03
Fatty acids	n-Butyric acid	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a
	n-Valeric acid	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a
	Isovaleric acid	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a	N.D. ^a

^a N.D. : not detected

평균농도는 1지점 6.78 ppb, 2지점 10.59 ppb, 3지점 9.50 ppb, 4지점 6.68 ppb로 측정되었으며, 2지점에서 가장 높게 측정되었다. 프로피온알데히드의 평균농도는 1지점 0.66 ppb, 2지점 1.35 ppb, 3지점 2.55 ppb, 4지점 불검출되었으며, 3지점에서 가장 높게 측정되었다. n-부틸알데히드의 평균농도는 1지점 6.01 ppb, 2지점 17.87 ppb, 3지점 0.67 ppb, 4지점 43.13 ppb로 측정되었으며, 4지점에서 가장 높게 측정되었다. n-발레르알데히드의 평균농도는 1지점 0.64 ppb, 2지점 0.68 ppb, 3지점 0.82 ppb, 4지점은 불검출되었으며, 3지점에서 가장 높게 측정되었다. iso-발레르알데히드의 경우 전 지점에서 불검출되었다.

아민류의 트리메틸아민 측정결과, 평균농도는 1지점 0.28 ppb, 2지점 0.31 ppb, 3지점 1.71 ppb, 4지점

0.50 ppb로 측정되었으며, 3지점에서 가장 높게 나타났다.

방향족화합물류 측정결과, 스타이렌의 평균농도는 1지점 0.19 ppb, 2지점 0.16 ppb, 3지점 0.49 ppb, 4지점 0.43 ppb로 측정되었으며, 3지점에서 가장 높게 측정되었다. 톨루엔의 평균농도는 1지점 4.67 ppb, 2지점 1.72 ppb, 3지점 1.01 ppb, 4지점 1.26 ppb로 측정되었으며, 1지점에서 가장 높게 측정되었다. 자일렌의 평균농도는 1지점 2.22 ppb, 2지점 1.53 ppb, 3지점 1.45 ppb, 4지점 1.22 ppb로 측정되었으며, 1지점에서 가장 높게 측정되었다. 메틸에틸케톤의 평균농도는 1지점 1.47 ppb, 2지점 0.68 ppb, 3지점 2.70 ppb, 4지점 1.42 ppb로 측정되었으며, 3지점에서 가장 높게 측정되었다. 메틸아이소부티르케톤의 평균농도는 1지점

0.18 ppb, 2지점 0.17 ppb, 3지점 0.15 ppb, 4지점 1.29 ppb로 측정되었으며, 4지점에서 가장 높게 측정되었다. 뷰티르아세테이트의 평균농도는 1지점 1.50 ppb, 2지점 1.08 ppb, 3지점 0.38 ppb, 4지점 1.80 ppb로 측정되었으며, 1지점에서 가장 높게 측정되었다. i-발레르알코올은 전 지점에서 불검출되었다.

지방산류 측정결과, 4지점에서 평균농도 0.03 ppb로 측정되었고, 그 외 지점에서는 불검출되었다. 또한 n-뷰티르산, n-발레르산, i-발레르산 역시 전 측정지점에서 불검출되었다.

1지점은 주거지역으로, 22개 지정악취물질 중 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤의 물질들은 악취를 배출하는 사업장의 부지경계선에서 측정된 지점에서보다 높은 농도로 측정되었고, 지방산 물질들을 제외 한 그 외 물질들은 비슷한 수준의 농도로 측정되었다. 이는 산업단지 위치상 주 풍향이 남서풍으로, 산업단지에서 불어오는 바람이 주거지역으로 향하기 때문인 것으로 판단된다. 풍향에 의해 산업단지에서 발생한 악취가 주거지역으로 이동·확산되어 영향을 주고는 있으나, 기기분석에 의한 악취측정결과로부터 인근주거지역 1개 지점(배출허용기준 기타지역)과 산업단지 내 3개 지점(배출허용기준 공업지역)에서는 배출허용기준치 이내로 배출되는 것으로 분석되었다.

오창과학산업단지에서 발생하는 악취물질에 대한 연구는 현재까지 전무한 상황이어서 축적된 자료가 없다. 다만 Kim et al.(2015)에 의해 오창과학산업단지과 같은 지역에 위치하고, 악취물질 사업장 중 전기·전자사업장이 주를 이루는 청주산업단지에 대한 악취원인물질 규명연구가 수행되었으나, 그 결과와 본 연구결과를 상호 비교하고 단정하기에는 다소 어려움이 있다. 오창과학산업단지에서 발생하는 악취물질들에 대한 보다 정확한 원인과 실태를 파악하기 위해 다각적인 측면에서 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

3.1.3. 악취물질의 분포특성

1지점은 오창과학산업단지의 동쪽에 위치하고, 산업단지가 조성된 이후에 대규모 아파트 주거단지와 상업시설이 밀집되어 있는 곳이다. 1지점에서의 지정악취물질은 지방산류를 제외하고 거의 모든 물질이

검출되었으며, 측정된 물질 중 황화합물의 황화수소, 메틸머캅탄, 방향족 탄화수소류는 악취를 배출하는 사업장의 부지경계에서 측정된 농도보다(2지점 ~ 4지점) 높게 측정되었다. 악취배출사업장의 부지경계에서 측정된 값보다 아파트 주거단지와 상업시설이 밀집된 1지점에서 악취농도가 높게 나타난 이유는, 측정지점에서의 주 풍향은 남서풍으로 산업단지에서 주거지역쪽으로 바람이 불고 있기 때문이며, 사업장에서 배출되는 악취물질이 바람에 의해 확산·이동되면서 주거지역에 영향을 주고 있기 때문인 것으로 사료된다.

2지점은 산업단지의 중심부에 위치한 곳으로, 카르보닐화합물류의 아세트알데히드가 10.59 ppb로 다른 지점에 비해 높게 측정되었으나, 배출허용기준치 보다 현저히 낮은 농도를 나타내었다. 산업단지의 서쪽에 위치한 3지점은 아민류의 트라이메틸아민이 1.7 ppb로 다른 지점에 비하여 상대적으로 높게 측정되었다. 산업단지 남쪽에 위치한 4지점은 암모니아를 비롯하여 뷰티르알데하이드, 메틸아이스부티르케톤, 뷰티르아세테이트 등 4개 물질이 다른 지점에 비해 높게 나타났으며, 이 물질들 중에서도 뷰티르알데하이드는 43.13 ppb로 상대적으로 매우 높게 측정되었다.

하지만 악취물질마다 최소감지농도가 있기 때문에, 각 지점에서 농도가 높게 측정된 물질을 그 지점의 주요 악취원인물질이라고 판단할 수는 없었다. 또한, 사업장에서 배출되는 악취농도가 법적으로 문제가 되지 않음에도 지역주민들로부터 지속적으로 민원이 제기되고 있다. 이러한 악취민원 제기는, 지역주민들의 악취로 인한 불만의 표출이며, 악취로 인한 지역의 부정적 이미지 증가, 지가하락 등의 부정적 인식의 작용이라 할 수 있다. 하지만 산업단지 운영으로 인한 고용창출, 지역경제성장의 원동력 등은 부정적 인식을 상쇄할 개연성을 갖고 있기 때문에(Yeon et al., 2016) 공학적 부분 외에 인근지역 주민들이 악취를 어떻게 생각하고 있는지에 대한 악취수용성 조사인 사회·과학적 분야의 접근방법에 대한 추가적인 연구도 필요할 것으로 사료된다.

3.2. 악취활성값 산정과 기여도평가

오창과학산업단지에서 발생하는 악취로 인해 인근

Table 4. Statistical summary of the odor activity value in sampling sites

Classification	site 1	site 2	site 3	site 4
Ammonia	0.82	0.66	0.81	1.30
Sulfur compounds	22.18	10.01	19.77	18.20
Carbonyl compounds	21.33	66.50	8.68	146.76
Amine	2.84	3.08	17.07	4.99
Hydrocarbon	0.20	0.14	0.07	0.25
Fatty acid	0.00	0.00	0.00	0.02
Total	47.37	80.39	46.40	171.52

주거지역에서 집단 민원이 발생됨에 따라 근본적으로 어떠한 물질로 인해 악취가 발생하는 파악하고자 악취기여도평가를 하였다.

악취기여도평가를 위하여 우선적으로 선정된 4개의 악취측정지점에서 시료채취 후 22개 지정악취물질에 대한 악취측정결과와 각각의 악취물질이 가지는 최소감지농도를 이용하여 악취활성값을 산정하였다.

결과는 Table 4에 나타내었다.

측정결과 지점별 평균 악취활성값은 1지점의 47.37, 2지점 80.39, 3지점 46.40, 4지점 171.52였으며, 4지점에서 가장 높았다. 산정된 총악취활성값 중 황화합물 별로 구분하였을 때, 1지점과 3지점에서는 황화합물류, 2지점과 4지점에서는 카르보닐화합물류가 높게 산정되었다.

Table 5. Odor contribution analysis of 22 offensive compounds in sampling sites

(unit : %)

Classification		site 1	site 2	site 3	site 4
Nitrogenous compounds	Ammonia	1.73	0.83	1.74	0.76
	Hydrogen sulfide	3.12	0.82	1.77	0.67
Sulfur compounds	Methylmercaptan	10.93	0.60	5.93	2.51
	Methylsulfide	29.70	11.03	34.91	7.21
	Methyldisulfide	3.07	0.00	0.00	0.23
	Acetaldehyde	7.16	6.59	10.24	1.95
Carbonyl compound	Propionaldehyde	0.70	0.84	2.75	0.00
	n-buthylaldehyde	35.25	74.07	3.18	83.62
	n-valeraldehyde	1.94	1.20	2.53	0.00
	Iso-valeraldehyde	0.00	0.00	0.00	0.00
Amine	Trimethylamine	5.99	3.83	36.79	2.91
	Styrene	0.01	0.00	0.04	0.01
Hydrocarbon	Toluene	0.01	0.00	0.00	0.00
	Xylene	0.01	0.01	0.00	0.00
	Methyl ethyl ketone	0.01	0.00	0.01	0.00
	Methyl isobutyl ketone	0.00	0.00	0.01	0.00
	Butyl acetate	0.40	0.17	0.10	0.13
	Isobutyl alcohol	0.00	0.00	0.00	0.00
	Propionic acid	0.00	0.00	0.00	0.01
Fatty acids	n-Butyric acid	0.00	0.00	0.00	0.00
	n-Valeric acid I	0.00	0.00	0.00	0.00
	Isovaleric acid	0.00	0.00	0.00	0.00

악취활성값의 결과로부터 화합물별 악취기여도를 평가한 결과는 Fig. 3, Table 5에 나타내었다. 평가 결과, 주거지역에서 측정된 1지점의 경우 46.82%로 황화합물류가 가장 높게 평가 되었으나, 개별물질에 대한 악취기여도평가결과에서는 두번째로 높은 카르보닐화합물류의 뷰티르알데하이드가 35.25%로 가장 높았다.

산업단지 내 악취배출사업장의 부지경계에서 측정된 2지점과 4지점은 각각 82.70%, 85.57%로 카르보닐화합물류가 다른 화합물류에 비해 월등히 높게 평가되었고, 개별 물질에 대한 악취기여도평가에서 뷰티르알데하이드가 74.07%, 83.62%로 가장 높았다. 카르보닐화합물류는 알코올류의 산화에 의해 인위적으로 형성되는데, 2지점과 4지점의 사업장은 반도체 및 LCD광학필름을 제조하는 회사로서 다양한 알코올류가 사용되고 있다. 결과로부터 2지점과 4지점은 제품제조공정에서 사용되는 다양한 알코올류가 산화되면서 카르보닐화합물류의 뷰티르알데하이드에 의한 악취가 발생하는 것으로 예측되며, 발생된 뷰티르알데하이드는 바람에 의해 확산되면서 인근주거지역인 1지점에까지 영향을 미치는 것으로 사료된다. 하지만 사업장에서 사용되는 물질에 대한 검토가 이루어지지 않았기 때문에 향후 이에 대한 추가적 조사가 필요할 것으로 판단된다.

3지점은 황화합물류가 42.61%로 가장 높게 평가되었으나, 개별물질의 기여도평가결과에서 아민류의 트리메틸아민이 36.79%로 가장 높게 평가되었다. 실제적으로 3지점 인근에는 산업단지가 입주되기 전부터 운영되어온 크고 작은 축사와 더불어 퇴비공장이 위치하고 있으며, 축사와 퇴비공장에서의 주요 악취원인물질은 황화합물류와 트리메틸아민으로 알려져 있다. 이 결과로부터 3지점의 경우 산업단지 내에 위치한 악취배출사업장의 영향도 있겠으나, 주된 악취원인은 인근 지역으로부터의 영향이 더 큰 것으로 사료된다.

결과로부터, 1지점, 2지점, 4지점은 카르보닐화합물류의 뷰티르알데하이드, 3지점은 아민류의 트리메틸아민의 주요 악취원인물질로 판단된다.

또한, 지정악취물질 측정결과와 악취기여도평가 결과로부터 두 결과가 서로 상이함을 확인하였고, 이

는 물질마다 최소감지농도가 존재하기 때문에 측정결과가 높다고 해서 악취의 주된 물질이라고 판단할 수 없다는 결과를 뒷받침 하는 계기가 되었다.

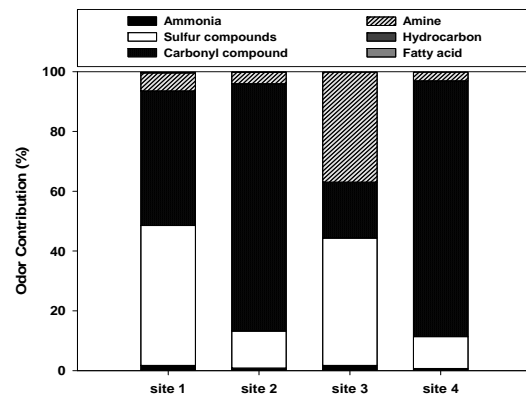


Fig. 3. Odor contribution analysis by compounds.

4. 결론

본 연구에서는 오창과학산업단지 내 사업장에서 배출되는 악취로 인해 지속적인 민원이 발생됨에 따라 이에 대한 대책마련의 기초 데이터 축적을 위하여, 복합악취 및 지정악취물질을 측정하고 악취기여도를 평가하고자 하였으며, 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 복합악취 측정결과 4개 지점에서 평균 4~11배의 희석배수로 분석되었고, site 1지점인 주거지역보다 악취배출사업장 부지경계에서 측정된 4지점에서 복합악취가 더 낮게 측정되었으나, 평균 복합악취도는 악취방지법 상 부지경계선의 배출허용기준 이하였다.
2. 지정악취물질 측정결과 1지점에서는 황화수소 0.74 ppb, 톨루엔 4.67 ppb, 3지점에서는 트리메틸아민이 1.71 ppb, 4지점에서는 뷰티르알데하이드가 43.13 ppb로 다른 지점들에 비해 상대적으로 높게 나타났으나, 측정된 물질 모두 전 지점에서 배출허용기준치 이내로 측정되었다.
3. 악취활성값에 의한 악취기여도평가 결과 1지점, 2지점, 4지점은 카르보닐화합물류의 뷰티르알데하이드, 3지점은 아민류의 트리메틸아민이 높게 평가되어,

높게 평가된 물질들이 각 지점에서의 주된 악취원인 물질인 것으로 판단된다.

본 연구는 오창과학산업단지에서 발생하는 악취로 인해 인근지역의 주민들로부터 발생하는 민원을 해결하기 위한 목적, 악취의 측정과 기여도평가를 통해 주요 악취원인물질을 규명에 의의가 있다. 결과로부터 측정된 농도는 법적규제 농도 이하였으나 민원이 집단적·지속적으로 발생되고 있는 상황이므로 각 지점에서 악취기여물질로 평가된 개별물질에 대한 집중적 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 충북녹색환경지원센터의 지원으로 수행되었습니다(충북 14-2-40-44).

REFERENCES

- Dincer, F., Muezzinoglu, A., 2006, Chemical characterization of odor due to some industrial and urban facilities in Izmir Turkey, *Atmospheric Environment*, 40, 4210-4219.
- Guadagni, D. G., Buttery, R. G., Okano, S., Burr, H. K., 1963, Additive effect of subthreshold concentrations of some organic compounds associated with food aromas, *Nature*, 200, 1288-1289.
- Hellman, T. M., Small, F. H., 1974, Characterization of the odor properties of 101 petro chemicals using sensory methods, *Journal of the Airpollution Control Association*, 24(10), 979-982.
- Kim, G. B., 2009, A study on the characteristics of sensory odor and the counterplan of odor management in the industrial complexes, Ph. D, Dissertation, Kyonggi National University, Korea.
- Kim, G. R., Jeong, J. S., Yeon, I. J., 2015, Confirmation of odor materials in the Ochang scientific industrial complex area and characteristics of diffusion in residential areas, *Journal of Odor and Indoor Environment*, 14(3), 157-166.
- Kim, N. H., Park, K. S., Lee, S. H., Park, S. Y., Kim, D. S., Kim, D. S., Lee, K. S., Park, K. J., Moon, Y. W., 2011, A study on the examination of odor substances generated from the painting, the plating, the casting, the rubber manufacturing, and the used oil refining facilities in gwangju hanam industrial complex, *Korea Journal of Odor Research and Engineering*, 10(2), 53-161.
- 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.
- Leonardos, G., Kendall, D., Barnard, N., 1969, Odor threshold determinations of 53 odorant chemicals, *Journal of the Airpollution Control Association*, 19(2), 91-95.
- Mun, S. M., Lee, H. D., Cho, S. W., Kang, D. H., Park, H. S., Oh, K. J., 2011, Dispersion characteristics of odorous elements from nambu wastewater treatment plant and a nearby streams in Busan, 20(8), 953-962.
- Ministry of Environment (MOE), 2005, Standard Method of Odor Compounds.
- Ministry of Environment (MOE), 2015, Offensive Odor Control Law.
- Nagata, Y., 1990, Measurement of odor threshold by triangle odor bag method, *Japan Environmental Sanitation Center*, 17, 77-89.
- Park, M. Y., Park, H. G., Park, B. O., Yang, G. S., 2006, A study on characteristics of volatile organic compounds and odors in jeon-ju industrial area, *Korea Journal of Odor Research and Engineering*, 5(2), 75-82.
- Park, H. Y., Park, G. H., Kim, I. S., Bae, J. S., Oh, Y. G., Seo, Y. G., Yang, S. I., 2010, Characteristics of odors in yeo-su industrial complex, *Korea Journal of Odor Research and Engineering*, 9(4), 177-185.
- Parker, D. B., Gilley, J., Woodbury, B., Kim, K. H., Galvin, G., Bartelt-Hunt, S. L., Li, X., Snow, D. D., 2013, Odorous voc emission following land application of swine manure slurry, *Atmospheric Environment*, 66, 91-100.
- Seo, Y. S., 2007, Assessment of odor emission characteristics through quantitative analyses of trace multi-odorous compounds, Master's Thesis, Pukyong National University, Korea.
- Shin, J. H., Kweon, B. Y., Ryu, H. Y., Kim, S. H., Kim, H. J., Kim, J. B., 2011, Monitoring and dispersion modeling of odorous compounds in songtan

- industriial complex, Korea Journal of Odor Research and Engineering, 10(4), 169-174.
- Van Hattveld, A. P.(Ton), Paul, H., Hendrik, H., 1999, A Review of 20 years of standardization of odor concentration measurement by dynamic olfactometry in Europe, Journal of the Air & Waste Management Association, 49(6), 705-715.
- Yeon, I. K., Jung, J. Y., Park, S. S., 2016, A study on the effects of residents' perception of odor to their subjective odor sensitiveness, Korea Journal of Odor Research and Engineering, 15(2), 100-108.