

국내 화학물질 배출량 특성에 관한 연구: 악취물질 중심으로

임지영* · 전다영*** · 김보경*** · 류지성* · 윤대식* · 이청수***†

*화학물질안전원 사고예방심사1과, **충남대학교 응용화학공학과,
***화학물질안전원 사고총괄훈련과

A Study on the Emission Characteristics of Odorous Substances in Korea

JiYoung Im*, DaYoung Jeon***, BoKyeong Kim***, JiSung Ryu*,
DaeSik Yoon*, and ChungSoo Lee***†

*Accident Prevention and Assessment Division 1, National Institute of Chemical Safety, Daejeon, Korea

**Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, Chungnam National University, Daejeon, Korea

***Accident Coordination and Training Division, National Institute of Chemical Safety, Daejeon, Korea

ABSTRACT

Objectives: A variety of industries handling hazardous chemicals emit odorous substances. Based on the emission characteristics of major odor substances from the results of hazardous chemical substance emissions, we will define basic data for improving the management methods of odorous substances.

Methods: A survey of hazardous pollutant emissions for 2010-2016 was conducted through the Pollutant Release and Transfer Register homepage. Eight kinds of designated odor substances (ammonia, hydrogen sulfide, dimethyl disulfide, acetaldehyde, styrene, toluene, xylene, methyl ethyl ketone) provided the study subjects. The status of chemical accidents for the target substances was analyzed using the Chemistry Safety Clearing-house system.

Results: From 2010 to 2016, it was found that more than 30% of businesses that emitted odorous substances accounted for more than 50% of the total emissions of the eight substances. Emissions of xylene, toluene, methyl ethyl ketone, and ammonia were found, in that order, and they made up more than 90% of the total emitted. By region, about 70% of odorous substances were emitted in the top-four regions: Gyeongsangnam-do Province, Ulsan, Gyeonggi-do Province, and Jeollanam-do Province.

Conclusion: Recently, the amount of chemical emissions has been continuously increasing, including those that can cause odor. Odorous substances can be a serious risk to the lives of local residents. Systematic research is needed for the health protection of residents.

Key words: Odor pollution, chemical substance emissions, designated offensive odor substances, chemical management

I. 서론

현대사회의 생활 전반에 다양하게 사용되고 있는

화학물질의 경우 쉽게 노출되어 심각한 건강과 환경 피해를 유발하고 있다.¹⁾ 특히, 최근 경제발전이 따라 생활수준이 향상되고 보다 쾌적한 환경에서 생활하

†Corresponding author: National Institute of Chemical Safety, Daejeon 34111, Republic of Korea, Tel: +82-42-605-7072, Fax: +82-42-605-7799, E-mail: leecs1103@korea.kr

Received: 29 July 2019, Revised: 25 August 2019, Accepted: 29 August 2019

고자 하는 요구가 높아지면서, 악취, 소음 등 생활형 환경문제에 대한 다양한 관심이 증가되고 있는 실정이다.²⁾ 악취의 경우 감각적이고 주관적인 환경오염 물질로 개인의 상황과 성향에 따라 문제의 심각성 여부와 정도를 판단하기 때문에 정량적인 측정이 어려운 물질이다.³⁾ 또한, 낮은 농도에서도 피해를 유발할 수 있고, 많은 종류의 성분이 섞여서 발생하는 복합적인 감각공해로써 인체에 어떤 영향을 미치는지 판단하기 어렵다.⁴⁾ 국내의 경우 사업장에서 사용하는 다양한 화학물질과 유해한 대기오염물질과 연계하여 악취가 발생하고 있으며, 악취는 물질별로 각각 특유의 냄새 특성과 휘발성, 용해도, 기온 등의 물리적 인자 등이 서로 복합적으로 악취 발생에 관여하는 것으로 알려져 있다.^{5,6)}

환경부에서는 국민의 건강과 쾌적한 생활을 위해 2004년부터 「악취방지법」을 제정하여 사업 활동 등으로 인하여 발생하는 악취를 방지하여 국민이 건강하고 쾌적한 환경이 될 수 있도록 규제하고 있으며, 악취방지법상에서는 악취에 원인이 되는 황화합물, 알데하이드류, 암모니아, 아민류, 그리고 휘발성유기화합물(VOCs) 등 22종을 ‘지정악취물질’로 지정하여 관리하고 있다.⁷⁾ 이런 악취를 포함한 환경오염은 국민들의 일상 생활환경에 위해요인으로 나타나 정서적·생리적 스트레스로 인한 두통, 메스꺼움, 복통, 구토, 현기증 및 알레르기 등을 유발하며 인간의 삶에 심각한 위해요인으로 부각되어 이에 대한 관리의 필요성과 관심도가 높아지고 있다.⁸⁾ 악취물질들은 주로 사업장에서 도료제조, 도장시설, 인쇄 및 잉크제조시설 등에서 사용되는 유기용제에 의해 톨루엔, 스티리렌, 자일렌 등의 탄화수소와 알데하이드, 에스테르계 물질들이 주로 발생되며, 아민류는 식료품 제조시설 등에서 주로 악취를 유발하며, 하수·폐수처리

장 등에서는 황화수소, 메르캅탄류 등이 발생되고 있어 다양한 업종에서 악취물질들이 발생되고 있다.⁹⁾

지정악취물질 중 암모니아, 황화수소, 이황화메틸, 아세트알데하이드, 스티리렌, 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸 케톤 총 8종의 경우 유해화학물질 배출량조사 대상 물질에 포함되어 있다. 유해화학물질 배출량조사는 1996년부터 사업장에서 배출되는 유해화학물질이 환경(대기, 수계, 토양)으로 배출되거나 또는 폐기물, 폐수처리업체로 이동되는 양을 파악하여 공개하는 PRTR (Pollutant Release and Transfer Registers, PRTR)제도이다.¹⁰⁾ 이와 같이 악취물질의 경우 다양한 유해화학물질 취급 업종에서 많이 발생되고 있어, 유해화학물질 배출량 조사 결과를 바탕으로 배출원 파악과 효과적인 환경정책 결정을 위한 신뢰성 있는 자료 구축이 필요한 실정이다.

이번 연구에서는 유해화학물질 배출량 조사 결과 중 주요 악취물질의 배출 특성을 바탕으로 악취물질 관리방안 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 화학물질 배출량조사

본 연구에서는 악취방지법에 따라 지정악취물질이 22종으로 확대 적용되었던 2010년 이후 화학물질 배출·이동량 정보공개 홈페이지에 공개된 유해화학물질 배출량 조사 결과를 활용하였다. 배출량 조사 결과는 2010년에는 총 34개 업종, 2,985개 사업장을 대상으로 배출량조사가 실시되었고, 2016년도 자료(2018년 공개 기준)에 의하면 총 34개 업종, 3,732개 사업장을 대상으로 조사대상 415종 중 228종의 화학물질 배출량이 조사되었고, 조사대상 사업장 범위는 기존 30인 이상에서 종업원 수 규정을 삭제하여

Table 1. Hazardous pollutant emissions survey status

Investigation year	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Category of business	34	34	34	34	34	35	34
Number of hazardous substance* (Research**)	213 (388)	242 (415)	233 (415)	228 (415)	226 (415)	226 (415)	228 (415)
Scale company (Number of employees)	30 or more	30 or more	30 or more	1 or more	1 or more	1 or more	1 or more
Number of companies	2,985	3,159	3,268	3,435	3,524	3,634	3,732

*Reported substance, **Object of interest substance

1인 이상 전체 사업장으로 변경하여 2013년부터 조사되었다. Table 1은 연구대상의 연도별 조사대상 현황을 나타내고 있다. 유해화학물질 배출량 조사대상 중 지정악취물질인 암모니아, 황화수소, 이황화메틸, 아세트알데하이드, 스티렌, 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸 케톤 총 8종에 대한 물질별 배출량 현황을 분석하였다.

2. 대상 물질별 배출량 특성 비교

주요 악취물질별 배출 특성을 확인하기 위해 2010년 이후 연구대상 물질 8종의 전체 배출량을 파악하고, 이후 광역자치단체인 17개 시·군별로 구분하여 배출량 특성을 조사하였다. 광역자치단체 중 상위 지역을 대상으로 세부 물질별 배출 특성으로 조사하여 배출량과의 연관성 및 발생 원인에 대한 분석을 실시하였다. 추가적으로, 대상 물질별 화학사고 현황을 파악하기 위해 화학물질안전원 화학안전정보공유시스템을 활용하여 연도별 화학사고 현황을 분석하였고, 악취 민원 현황의 경우 환경부 환경통계포털 자료를 활용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 화학물질 배출량 현황

2010년 이후 유해화학물질 배출량조사 결과에 따르면(Table 2), 2010년에는 전국 2,985개 사업장에서 50,034톤의 화학물질이 배출되었다. 이 중 연구대상 악취물질 8종의 배출은 1,008개 사업장에서 총 27,604톤을 배출하고 있는 것으로 조사되었다. 2016년에는 전국 3,732개 사업장에서 57,247톤의 유해화학물질을 배출하였고, 악취물질 8종의 배출은 1,187개 사업장에서 총 30,957톤을 배출하였다. 2010년부터 2016년까지 배출량조사 결과 중 악취물질을 배출하는 사업장 수는 30% 이상, 연구대상 물질 8종의 배출량이 많은 부분을 차지하고 있었다. 또한 표에는 제시하지 않았지만 유해화학물질의 배출은 약 99% 이상이 대기를 통해 환경으로 배출되는 것으로 나타났다.

8종 유해화학물질에 대한 연도별 배출량 결과를 살펴보면(Table 3), 주로 자일렌, 톨루엔, 메틸에틸케톤,

Table 2. Emissions of odorous substance characteristics by year

Year	Number of companies	Number of companies with odor substances	%	Hazardous pollutant emissions (ton)	Emissions of odorous substance (ton)	%
2010	2,985	1,008	33.8	50,034	27,604	55.2
2011	3,159	1,063	33.6	52,289	27,722	53.0
2012	3,268	1,091	33.4	51,121	27,042	52.9
2013	3,435	1,109	32.3	50,767	27,088	53.4
2014	3,524	1,137	32.3	54,261	30,374	56.0
2015	3,634	1,132	31.2	53,732	29,985	55.8
2016	3,732	1,187	31.8	57,247	30,957	54.1

Table 3. Emissions of odorous substance by year (Unit: ton (%))

Classification	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ammonia	457(1.7)	574(2.1)	510(1.9)	520(1.9)	546(1.8)	744(2.5)	913(2.9)
Hydrogen sulfide	36(0.1)	47(0.2)	46(0.2)	44(0.2)	39(0.1)	35(0.1)	28(0.1)
Dimethyldisulfide	7.7(-)	7.2(-)	8.5(-)	8.2(-)	7.5(-)	1.8(-)	3.4(-)
Acetaldehyde	0.5(-)	0.6(-)	0.5(-)	0.9(-)	2.4(-)	<0.1(-)	<0.1(-)
Styrene	175(0.6)	183(0.7)	181(0.7)	171(0.6)	159(0.5)	219(0.7)	157(0.5)
Toluene	6,836(24.8)	6,931(25.0)	6,560(24.3)	7,070(26.1)	8,538(28.1)	8,225(27.4)	8,979(19.3)
Xylene	17,475(63.3)	17,442(62.9)	17,358(64.2)	16,397(60.5)	17,661(58.1)	16,857(56.2)	16,617(53.7)
Methyl ethyl ketone	2,615(9.5)	2,537(9.2)	2,377(8.8)	2,877(10.6)	3,422(11.3)	3,903(13.0)	4,261(13.8)
Total	27,604	27,722	27,042	27,088	30,374	29,985	30,957

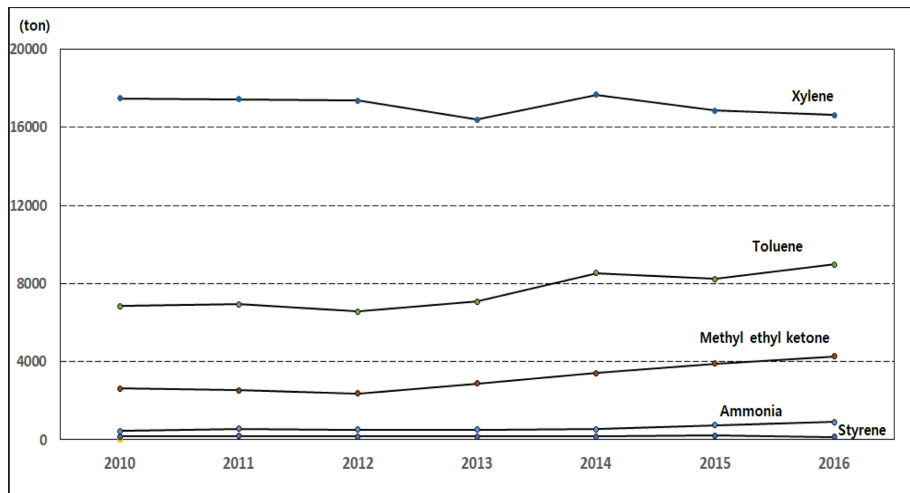


Fig. 1. The trend of odorous substance emissions by year

암모니아 순으로 배출하고 있는 것으로 조사되었다. 자일렌과 톨루엔의 경우 탄화수소류에 해당되며 주로 도장 및 인쇄공정, 화학제품 제조공정 등에서 악취물질의 주요 발생원으로 파악되고 있다.¹¹⁾ 배출량 조사에서도 주로 운송장비 제조업에서 용매나 희석제, 도료의 원료성분, 화학제품 제조업, 1차 금속업 등에서 주로 사용되고 있어, 이는 취급형태가 옥외 도장, 분사로 배출율이 매우 높으며 대기 중으로 비산되어 높은 배출량을 나타낸 것으로 보인다. 또한 자일렌의 경우 만성 노출 시 중추신경계, 간, 신장에 독성을 유발하고, 고농도인 경우 폐부종, 체중 감소, 효소 활성 저하를 일으킬 수 있으며,¹²⁾ 톨루엔은 장시간 노출되면 자각 증상과 중추신경계 억제 작용으로 피로, 졸음, 두통 등의 신경증상이 나타날 수 있는 것으로 보고되었다.^{13,14)} 특히 톨루엔의 경우 공기보다 무거워서 실내에 배출되면 바닥에 쌓이게 되므로 톨루엔을 함유한 페인트나 접착제를 사용할 때에는 환기가 필요하며, 피부 자극성의 경우, 톨루엔 액체나 증기가 직접 몸에 닿게 되면 피부와 눈에 자극을 유발할 수 있다.^{15,16)}

연구대상 물질 중 암모니아는 2014년 이후, 메틸 에틸케톤의 경우 2013년 이후 조금씩 증가하는 경향을 보였다(Fig. 1). 암모니아의 경우 환경기초시설 중 주로 축산사업장, 분뇨처리장 등에서 주로 발생하는 악취이며, 배출량조사에 증가추세를 보이는 것은 폐수 및 폐기물 처리과정과 화학제품 제조공정에서 주

로 배출량이 증가한 것으로 보인다. 또한 메틸 에틸 케톤과 같은 탄화수소류의 경우 화학제품 제조업 중 특히 석유제조공정, 펄프제조, 합성고무제조 등에서¹⁷⁾ 취급되는 양이 2015년 대비 2016년에 2.7% 증가함에 따라 배출량 8.4% 함께 증가한 것으로 판단된다. 이러한 악취물질의 경우 호흡기, 순환기, 소화기 등에 영향을 미치며 주로 감각적, 주간적으로 인체에 피해를 줄 수 있어 직접적 원인 파악이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 미세먼지는 액적상태 입자의 혼합물로 배출되거나 화학반응 또는 자연적으로 생성되어, 사업장 연소, 자동차 연료 연소, 생물성 연소 과정 등 특정 배출원으로부터 직접 발생할 수 있어 향후 유해화학물질 배출량 증가와 미세먼지 농도변화에 대한 분석이 추가적으로 필요하다고 생각한다.

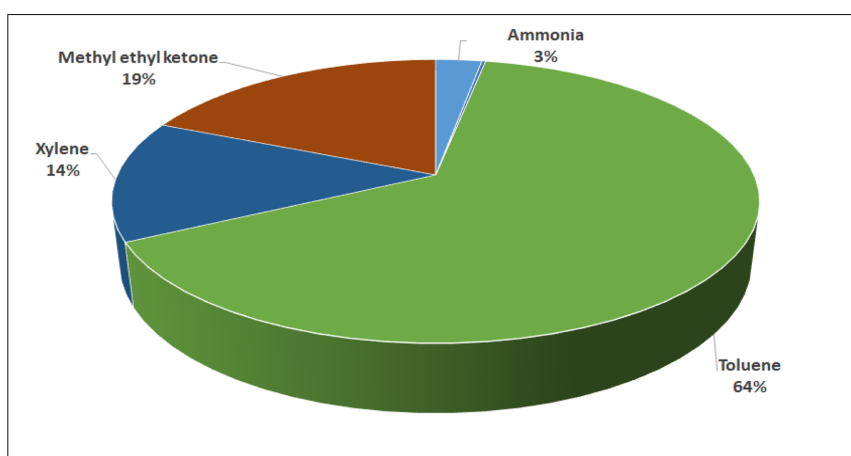
2. 대상 물질별 배출량 특성 비교

2.1. 지역별 배출특성

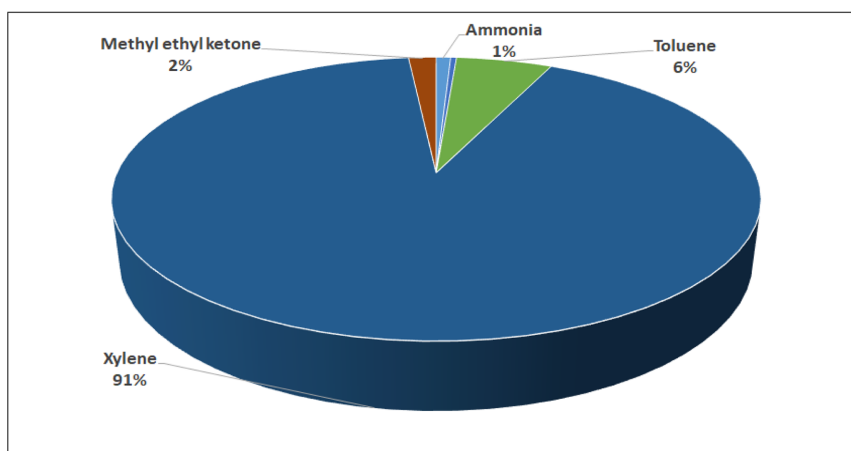
Table 4에 따르면, 2010~2016년 8종의 악취물질에 대한 지역별 배출량 조사결과 경상남도, 울산광역시, 경기도, 전라남도 상위 4개 지역에서 전체 물질의 약 70% 이상이 배출되고 있었고, 2016년 결과 경기도(24.1%, 7,447톤), 경상남도(22.4%, 6,942톤), 울산광역시(14.0%, 4,344톤), 전라남도(7.9%, 2,442톤) 순으로 조사되었다. 경기도의 경우 사업장 수가 배출량 조사 전체 사업장의 약 25%를 차지하고 있어 상대적으로 화학물질이 중소사업장에서 다량 배출되고

Table 4. Status of high rank odorous substance emissions by region

Classification	High rank region (%)				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
2010	Gyeongnam (32.5)	Ulsan (19.8)	Gyeonggi (13.8)	Jeonnam (7.4)	Chungbuk (4.8)
2011	Gyeongnam (28.1)	Ulsan (22.6)	Gyeonggi (14.4)	Jeonnam (7.7)	Busan (4.6)
2012	Gyeongnam (27.2)	Ulsan (22.1)	Gyeonggi (14.5)	Jeonnam (7.9)	Busan (4.9)
2013	Gyeongnam (24.0)	Ulsan (20.3)	Gyeonggi (19.8)	Jeonnam (8.4)	Gyeongbuk (5.8)
2014	Gyeongnam (22.1)	Gyeonggi (22.0)	Ulsan (19.9)	Jeonnam (9.3)	Gyeongbuk (5.0)
2015	Gyeonggi (22.7)	Gyeongnam (22.3)	Ulsan (17.4)	Jeonnam (8.5)	Jeonbuk (5.5)
2016	Gyeonggi (24.1)	Gyeongnam (22.4)	Ulsan (14.0)	Jeonnam (7.9)	Chungnam (6.6)

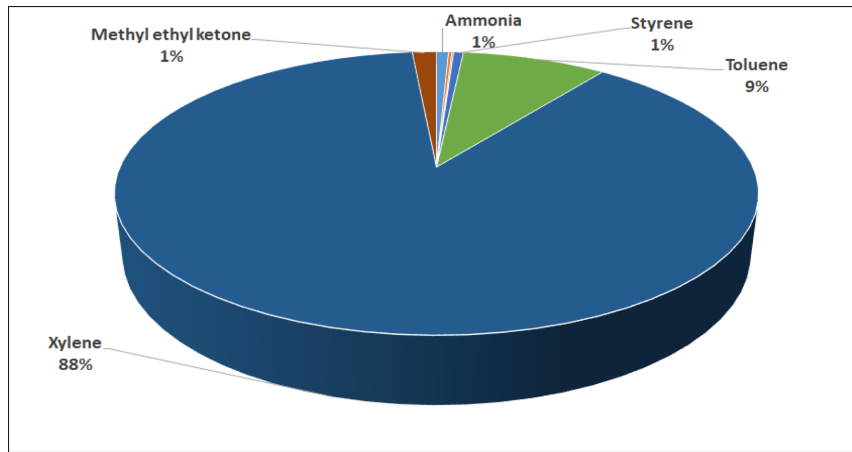


(a) Gyeonggi

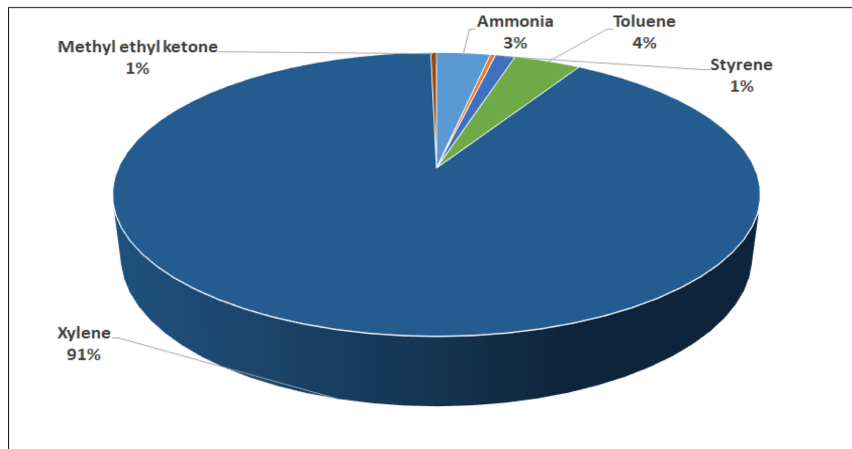


(b) Gyeongnam

Fig. 2. Status of high rank odorous substance emissions (2010~2016)



(c) Ulsan



(d) Jeonnam

Fig. 2. Continued

있었으며, 경상남도도는 강선건조업에서의 도장공정, 울산광역시에는 대규모 산업단지와 국가산단을 구성하고 있어 악취물질을 포함하여 다량의 유해화학물질이 배출된 것으로 판단된다. 경기도는 중소기업장이 주로 분포되어 있어 배출되는 화학물질의 안전관리 인식을 강화시키는 것이 중요하며, 경상남도, 울산광역시, 전라남도의 경우 주로 화학제품제조업을 하는 대규모 사업장이 많은 특성을 가진 지역인 만큼 화학물질의 관리측면에서 중소기업장의 모범이 될 수 있는 저감노력이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 상위 4개 지역에 대한 물질별 분포를 살펴보면, 경기도의 경우 톨루엔 64%, 메틸에틸케톤 19% 순으로

조사되었다. 경상남도, 전라남도, 울산광역시의 경우 연구대상 물질 중 자일렌이 약 88% 이상으로 조사되어 가장 분포가 높은 것으로 나타났다(Fig. 2). 지역별, 물질별 특성을 살펴보았을 때 주로 사업장 수가 많으며 산업단지와 대규모 국가산단을 구성하며 화학제품 제조업, 도장 및 인쇄공정, 1차 고무 및 플라스틱 제조업, 금속제조업 등에서 용매제, 세척제로 사용되는 휘발성유기화합물(VOCs)에 포함되는 악취물질이 배출량 결과에서도 높은 분포를 차지하였다.¹⁶⁾ 이러한 결과를 바탕으로, 배출량이 높게 나타난 휘발성 물질은 악취물질로 지정되어 있는 물질이므로 높게 배출되고 있는 지역에서도 우선적으로 배출

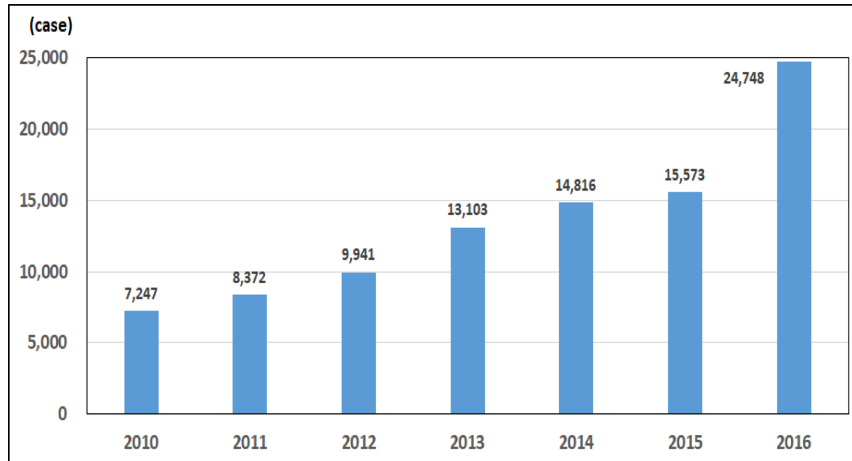


Fig. 3. Odor complaints status

Table 5. Status of chemical accidents (Unit: case)

Classification	2014	2015	2016	2017	2018	2019.4
Total	105	113	78	87	66	11
Ammonia	16	9	7	7	15	4
Hydrogen sulfide	-	1	1	-	1	1
Toluene	1	6	5	1	-	-
Methyl ethyl ketone	1	1	2	-	1	

량을 저감시킬 수 있는 공정에 대한 시설개선 및 관리가 필요하며, 악취물질에 대한 근본적인 대책마련이 가능하도록 악취 저감개선 및 방안 도출이 시급한 것으로 생각된다. 또한, 악취는 물질별로 휘발성, 용해도, 기온 등 다양한 물질적 인자뿐만 아니라, 다양한 화학적 특성에 따라 쉽게 바뀔 수도 있어 지역 특성에 따라 배출량이 저감될 수 있도록 지역사회의 지속적인 관심이 필요할 것으로 사료된다. 이러한 환경문제의 해결을 위해서는 환경오염문제에 대한 기술적인 접근 뿐 아니라 환경문제에 대한 사회적 인식 및 태도에 대한 이해가 우선적으로 고려되어야 한다.^{18,19)}

또한, Fig 3 악취 민원의 경우 2010년 7,247건에서 2016년에는 24,748건으로 해마다 늘어나고 있다.²⁰⁾ 국내의 경우 좁은 국토로 인해 악취배출시설들과 거주지가 인접지역에 있어 생활환경과 밀접한 체감형 생활악취에 대한 민원이 증가하고 있으며, 문제 해결에 대한 사회적 요구 역시 높다고 할 수 있다. 악취의 경우 한번 발생하면 순간적으로 대기로 확산하

는 데다, 유해화학물질 사용하는 공장들에서 두 개 이상의 화학물질이 섞이는 경우도 많아 원인이 되는 사업장을 정확하게 파악하기에는 어려움이 있다. 따라서 악취물질의 경우 지역주민들의 삶에 심각한 위협요인으로 부각됨에 따라 지속적인 모니터링이 필요하며, 장기적으로는 다양한 악취 저감 기술 개발로 악취 발생을 최소화하고, 발생된 악취에 대한 처리 기술개발도 병행 되어야 할 것으로 생각된다.

2.2. 배출량 특성 비교

Table 5는 주요 화학물질의 화학사고 빈도를 제시하였다. 화학안전정보공유시스템에서는 2014년에서 2019년 4월까지 화학사고 460건에서 8종의 화학물질 중 암모니아 58건, 황화수소 4건, 톨루엔 13건, 메틸에틸케톤 5건의 화학사고가 발생한 것으로 나타났다.²¹⁾ 화학사고가 30건 이상 발생한 화학사고 다발물질의 경우 암모니아, 염산, 질산 등으로 조사되었다.²¹⁾ 화학사고의 발생하면 막대한 인적, 물적 손실을 초래하고, 환경오염 및 지역주민의 건강 피해를 줄

수 있다.^{22,23)} 특히 악취 오염물질의 경우 화학물질 사고에 의한 지역주민들의 자극적이고 역겨운 냄새로 인해 주변 주민들의 피해와 함께 대기 중에 고농도로 존재하는 경우 추가적인 환경문제를 발생시킬 수 있다. 이처럼 화학물질의 경우 다양한 원인으로 인해 화학사고가 발생하므로 사고를 예방 및 관리하기 위해 안전 인식 변화, 지속적인 교육 등 적절한 관리가 매우 중요한 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 2010년부터 2016년까지의 유해화학물질 배출량조사결과 중 지정악취물질 8종(암모니아, 황화수소, 이황화메틸, 아세트알데하이드, 스티렌, 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤)에 대한 배출량 특성을 살펴보았다.

연구대상 물질 8종을 배출하는 사업장 수는 30% 이상, 배출량은 50% 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 유해화학물질 배출량 조사에서 주요 악취물질이 차지하는 비율이 상당히 높은 것으로 파악되었다. 물질별로 자일렌, 톨루엔, 메틸에틸케톤, 암모니아 순으로 배출량을 나타내었으며 전체 90% 이상을 배출하고 있는 것으로 조사되었다. 지역별로는 경상남도, 울산광역시, 경기도, 전라남도 상위 4개 지역에서 악취물질의 약 70% 이상이 배출되었다. 주로 사업장 수가 많으며 산업단지외 대규모 국가산단을 구성하며, 업종별로는 화학제품 제조업, 도장 및 인쇄공업, 1차 금속제조업, 고무 및 플라스틱 제조업 등에서 용매제, 세척제로 사용되는 휘발성유기화합물(VOCs)에 포함되는 악취물질이 배출량에서 높은 분포를 차지하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

References

1. Strum M, Cook R, Thurman J, Ensley D, Pope A, Palma T, et al. Projection of hazardous air pollutant emissions to future years. *Science of Total Environment*. 2006; 366(2-3): 590-601.
2. JiYoung Im, Bokyeong Kim, Hyunji Kim, Jeonghyeon Yun, HwaJin Heo, JiHo Lee, et al. Study on the Characteristics of Carcinogenic Pollutant Emissions and Cancer Incidence Rates in Korea. *J Environ Health Sci*. 2018; 44(2): 160-168.
3. Both R. Directive on odour in ambient air: an established system of odour measurement and odour regulation in Germany. *Water Sci Technol*. 2001; 44(9): 119-126.
4. Myeong-Sug Lee, Dong-Hoon Kang, Jong-Lok Keum, Byoung-Youne Kwon, Hang-Wook Jo, Chan-Hyung Lee, et al. Emission Characteristics of Odor Compounds from a Sewage Treatment Plant Near an Industrial Complex Area in Daegu City. *J Environ Health Sci*. 2018; 44(2): 178-187.
5. Kwang-Yul Kim, Ji-Sun Jung, Ik-Jun Yeon. Confirmation of odor materials in the Cheong-ju industrial complex area and characteristics of diffusion in residential areas. *J Odor Indoor Environ*. 2015; 14(3): 157-166.
6. Chan-Hyung Lee†, Hyun-Sook Jeon, Myung-Cheol Shin, Eun-Deok Kim, Yun-Jae Jang, Byoung-Youne Kwon, et al. Emission Characteristics of Odor Compounds from Fundamental Environmental Facilities in an Industrial Complex Area in Daegu City. *J Environ Health Sci*. 2016; 42(4): 246-254.
7. Ministry of Environment. Offensive odor control law. 2019.
8. Kwon J, Weisel CP, Morandi MT, Stock TH. Source proximity and meteorological effects on residential outdoor VOCs in urban areas: Results from the Houston and Los Angeles RIOPA studies. *Sci Total Environ*. 2016; 15(573): 954-964.
9. Jin-Sook Noh, Mi-Young Park, Deug-Soo Kim, Go-Su Yang. A Study on Characteristics of Volatile Organic Compounds and Odors in Wan-Ju Industrial Area. *J Odor Indoor Environ*. 2007; 6(4): 225-233.
10. JiYoung Im, HyunJi Kim, MinSun Kim, JiHo Lee, SangMok Lee, ChungSoo Lee. A Study on the Variation of Hazardous Pollutant Emissions in Korea from 2006 to 2015. *J Environ Health Sci*. 2018; 44(1): 15-23.
11. Moolla R, Curtis CJ, Knight J. Assessment of occupational exposure to BTEX compounds at a bus diesel-refueling bay: A case study in Johannesburg, South Africa. *Sci Total Environ*. 2015; 15(537): 51-57.
12. Xiong F, Li Q, Zhou B, Huang J, Liang G, Zhang L, et al. Oxidative Stress and Genotoxicity of Long-Term Occupational Exposure to Low Levels of BTEX in Gas Station Workers. *Int J Environ Res Public Health*. 2016; 13(12): 1212.
13. Benignus VA. Health effects of toluene: a review. *Neurotoxicology*. 1981; 2(3): 567-588.
14. Edokpolo B, Yu QJ, Connell D. Health risk assess-

- ment of ambient air concentrations of benzene, toluene and xylene (BTX) in service station environments. *Int J Environ Res Public Health*. 2014; 11(6): 6354-6374.
15. Brown DR, Lewis C, Weinberger BI. Human exposure to unconventional natural gas development: A public health demonstration of periodic high exposure to chemical mixtures in ambient air. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*. 2015; 50(5): 460-472.
 16. Kwon J, Weisel CP, Morandi MT, Stock TH. Source proximity and meteorological effects on residential outdoor VOCs in urban areas: Results from the Houston and Los Angeles RIOPA studies. *Sci Total Environ*. 2016; 573: 954-964.
 17. YoungSeong Yu, KyuSeong Sim. A Study on the Effective Odor Reduction in the Area where Strong Civil Complaints Take Place to Odor. *Gyeonggi Research Institute*. 2007.
 18. Barker F. Risk communication about environmental hazards. *J Public Health Policy*. 1990; 11(3): 341-359.
 19. Lee CS, Lim YW, Kim HH, Yang JY, Shin DC. Exposure to heavy metals in blood and risk perception of the population living in the vicinity of municipal waste incinerators in Korea. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2012; 19(5): 1629-1639.
 20. Environment statistical information service. Available: <http://stat.me.go.kr> [accessed 26 July 2019].
 21. Chemistry safety clearing-house. Available: <https://csc.me.go.kr> [accessed 26 July 2019].
 22. Pałaszewska-Tkacz A, Czerczak S, Konieczko K. Chemical incidents resulted in hazardous substances releases in the context of human health hazards. *Int J Occup Med Environ Health*. 2017; 30(1): 95-110.
 23. Hyunji Kim, JiYoung Im, Jeonghyeon Yun, JiHo Lee, JunHo Jeon, ChungSoo Lee. A Study on the Characteristics of Chemicals in Major Industrial Complexes. *J Environ Health Sci*. 2018; 44(6): 515-523.

<저자정보>

임지영(전문경력관(나)), 전다영(전문위원),
 김보경(환경연구소), 류지성(과장),
 윤대식(공업연구소), 이청수(보건연구소)