

대구시 산업단지 인근 하수처리장의 악취발생 특성

이명숙 · 강동훈 · 금종록 · 권병윤 · 조항욱 · 이찬형 · 김은덕 · 임호진* · 송희봉†
대구광역시보건환경연구원, *경북대학교 환경공학과

Emission Characteristics of Odor Compounds from a Sewage Treatment Plant Near an Industrial Complex Area in Daegu City

Myeong-Sug Lee, Dong-Hoon Kang, Jong-Lok Keum, Byoung-Youne Kwon, Hang-Wook Jo,
Chan-Hyung Lee, Eun-Deok Kim, Ho-Jin Lim*, and Hee-Bong Song†

Public Health and Environment Institute of Daegu Metropolitan City

*Department of Environmental Engineering, Kyungpook National University

ABSTRACT

Objectives: This study evaluated the odor emission characteristics from a sewage treatment plant near an industrial complex area in Daegu City.

Methods: Odor samples were collected from March 2017 to December 2017 and analyzed for specified offensive odor substances. The odor quotient and the odor contribution were calculated.

Results: Ammonia, methyl mercaptane, hydrogen sulfide, dimethyl sulfide, acetaldehyde, propionylaldehyde, toluene, xylene, and methylethylketone were detected in all samples for monitoring the specified odor compounds. The result of contribution analysis is that hydrogen sulfide made the highest contribution in all processes, followed by acetaldehyde.

Conclusion: The major components of odor can be determined by evaluating their degree of contribution to the odor intensity and the concentration of the individual odor component. To increase the effectiveness of odor reduction, rather than addressing high-concentration odor compounds, policies focused on materials with a high odor contribution are necessary.

Keywords: Contribution, sewage treatment plant, major odor compounds, odor quotient

I. 서 론

악취방지법에서 악취는 “황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 그 밖에 자극성이 있는 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새”로, 지정악취물질은 “악취의 원인이 되는 물질로서 환경부령으로 정하는 것”으로 암모니아, 메틸메르캅탄 등 총 22종류의 물질로 적용하고 있으며,¹⁾ 그 물질의 특성은 Table 1과 같다. 그리고 복합악취는 “두 가지 이

상의 악취물질이 함께 작용하여 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새”로 정의하고 있다.¹⁾ 이러한 악취는 사람에게 특정냄새 자체로 정신적인 피해와 건강상의 피해를 주는 감각오염의 한 형태이다.²⁾

악취 민원은 봄에서 가을 사이에 많이 발생하고 있으며, 지리적 조건과 기상상태 등에 밀접한 관계가 있다. 도시지역에서는 지방자치단체에서 운영하는 하·폐수처리장과 대규모 사업장이 위치한 산업단지를

†Corresponding author: Public Health and Environment Institute of Daegu Metropolitan City, 215 Muhak-ro, Suseong-gu, Daegu 42183, Korea, Tel: +82-53-760-1270, Fax: +82-53-760-1333, E-mail: 10000gj@daegu.go.kr

Received: 26 March 2018, Revised: 03 April 2018, Accepted: 09 April 2018

Table 1. Properties of specified offensive odor substances

Compounds	Chemical formula	Molecular weight (g)	Odor threshold (ppb)	Odor character
Ammonia	NH ₃	17.03	100	irritating, pungent
Methyl mercaptane	CH ₄ S	48.11	0.1	garlic, rotten cabbage
Hydrogen sulfide	H ₂ S	34.08	0.5	rotten egg
Dimethyl sulfide	C ₂ H ₆ S	62.14	0.1	decayed, gasoline, repulsive
Dimethyl disulfide	C ₂ H ₆ S ₂	99.14	0.3	unpleasant, putrid, garlic
Acetaldehyde	C ₂ H ₄ O	44.05	2	fruity, pungent
Propionylaldehyde	C ₃ H ₆ O	58.05	2	irritating, pungent
Butylaldehyde	C ₄ H ₈ O	72.12	0.3	irritating, pungent
n-Valeraldehyde	C ₅ H ₁₀ O	86.13	0.7	irritating, pungent, stench
iso-Valeraldehyde	C ₅ H ₁₀ O	86.13	0.2	pungent, apple like
Trimethylamine	C ₃ H ₉ N	59.11	0.1	fishy, pungent, ammonia
Styrene	C ₈ H ₈	104.14	30	sweet, pungent
Toluene	C ₇ H ₈	92.14	900	benzene like, paint
Xylene	C ₈ H ₁₀	106.17	479	sweet, benzene like
Methylethylketone	C ₄ H ₈ O	72.12	440	sweet, minty
Methylisobutylketone	C ₆ H ₁₂ O	100.18	200	sweet, pleasant, irritant
Butylacetate	C ₆ H ₁₂ O ₂	116.16	8	fruity, irritant
iso-Butylalcohol	C ₄ H ₁₀ O	74.12	10	irritating, slightly musty
Propionic acid	C ₃ H ₆ O ₂	74.08	2	irritating, pungent
n-Butyl acid	C ₄ H ₈ O ₂	88.11	0.07	unpleasant, putrid
n-Valeric acid	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.13	0.1	unpleasant, putrid
iso-Valeric acid	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.13	0.1	unpleasant, cheese

중심으로 민원발생 현상이 높아지는 추세이다. 특히, 도시생활 주변에 위치한 환경기초시설에서 민원발생이 급증하고 있기 때문에 환경기초시설에 대한 기초적인 현상파악과 함께 악취원인물질 및 배출원 규명을 통하여 적절한 악취저감과 관리방안을 마련할 필요가 있다.²⁾ 이러한 현실 속에서 산업단지 주변에 악취 민원이 빈번하게 발생함에 따라 2015년도엔 악취발생원으로 알려진 환경기초시설의 부지경계선에서 악취강도와 악취원인물질을 연구한 결과, 폐수처리장이 하수처리장이나 음식물류폐기물처리장에 비해 악취강도가 높았고 황화수소가 주요 악취원인물질로 밝혀졌다.³⁾ 또한 2016년도엔 환경기초시설 중 악취강도가 높았던 폐수처리장 내의 각 공정에서 악취강도와 악취원인물질을 연구한 결과, 침사조가 다른 공정에 비해 악취강도가 높았고 황화수소가 주요 악취원인물질로 밝혀졌다.⁴⁾

따라서 본 연구에서는 대구광역시 서구 산업단지

인근에 위치한 환경기초시설 중 하수처리장의 각 공정을 대상으로 (1) 복합악취의 농도분포 특성, (2) 지정악취의 농도분포 특성, (3) 최소감지농도를 이용한 악취농도지수 평가, (4) 총악취농도지수를 이용한 악취기여도 평가, (5) 지정악취물질과 총악취농도지수, 복합악취간의 상관성 분석을 수행하여 악취발생강도와 악취원인물질을 도출함으로써 주민의 일상생활 피해를 최소화하고 악취저감방안을 마련하는데 필요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

II. 재료 및 방법

1. 측정지점 및 측정기간

측정지점은 인구 20만 여명이 거주하는 대구광역시 칠곡지역에서 주로 발생되는 하수를 처리하는 생활하수처리장이며, 시설용량은 하루 170,000톤, 평균유입량은 하루 1,300톤, 평균슬러지케이크발생량

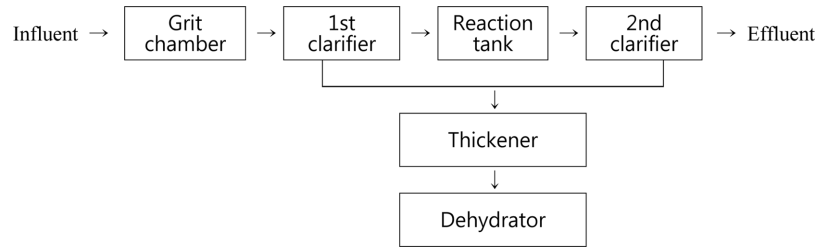


Fig. 1. Sewage treatment process.

은 하루 22.51톤이다. 처리공법은 혐기/무산소/호기 가변공정 및 화학적 총인처리방법을 이용하고 있으며, 하수처리장의 처리계통도는 간략하게 Fig. 1과 같다.

창문 있는 밀폐형 건물인 탈수동을 제외한 침사조와 1차침전조, 반응조, 농축조는 상부에 덮개가 있는 밀폐형(close type)으로, 그리고 2차침전조는 상부에 덮개가 없는 개방형(open type)으로 운영된다. 이때 시료채취지점은 처리공정별로 수처리공정의 경우엔 침사조, 1차침전조, 반응조, 2차침전조에서, 그리고 슬러지처리공정의 경우엔 농축조와 탈수동(실내)에서 시료를 각각 채취하였다.

시료채취기간은 2017년 3월(봄)과 6월(여름), 9월(가을), 12월(겨울)로 계절별 각 1회씩 실시하였고, 시료채취당일의 날씨는 모두 맑았고, 평균기온이 13.9±14.2°C, 평균상대습도가 50±15%, 평균풍속이 2.2±1.3 m/s, 주풍향이 서풍계열이었다.⁵⁾

2. 분석항목 및 분석방법

시료채취와 시료분석은 환경부의 악취공정시험기준⁶⁾에 준하였고, 연구대상인 악취물질(복합악취, 지정악취)과 분석기기, 분석조건 등에 관한 상세한 사항은 이미 발표한 문헌에 잘 표현하고 있다.^{3,4)}

분석방법의 정도관리(Quality Control, QC)는 악취공정시험기준⁶⁾에 있는 방법검출한계(Method Detection

Limit, MDL) 측정, 정밀도 및 검정곡선 작성을 이용하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다. 그리고 데이터의 정리는 Microsoft Excel Program을, 지정악취물질과 복합악취간의 상관성 분석은 SPSS Program (version 25)을 이용하여 Pearson 상관관계 분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 복합악취 농도분포 특성

복합악취의 농도분포는 Table 3과 같다. 복합악취의 평균농도는 침사조 5.3배(4.5~6.7배), 1차침전조 12.0배(10.0~14.4배), 반응조 4.6배(3.7~5.5배), 2차침전조 4.2배(3.7~5.5배), 농축조 4.4배(3.0~5.5배), 탈수동 9.3배(4.5~14.4배)를 보였다. 복합악취농도는 1차침전조와 탈수동이 다른 공정에 비해 2배 전·후로 높았다. 특히 수처리공정인 1차침전조의 복합악취농도(12.0배)는 슬러지처리공정인 농축조의 복합악취농도(4.4배)에 비해 3배나 높았다. 그러나 슬러지처리공정의 일부인 농축조의 복합악취농도는 수처리공정의 일부인 침사조, 반응조, 2차침전조와 유사한 수준이었다.

최근에 대구지역의 염색폐수처리장을 대상으로 연구한 결과⁴⁾에서 복합악취의 평균농도는 침사조 20.5배(8.2~44.8배), 반응조 22.1배(11.8~31.1배), 2차침전

Table 2. Quality control (QC) of analytical methods

Odor compounds	MDL (ppb)	Precision (RSD%)	Calibration curve (R ²)
Ammonia	0.180~1.430	0.006~0.063	0.994~1.000
Sulfur	0.120~0.159	0.457~2.622	0.999~1.000
Aldehyde	0.297~0.607	0.069~1.370	0.998~1.000
Amine	0.050~0.271	0.040~2.289	0.992~0.999
VOCs	0.586~5.329	0.049~8.515	0.995~1.000
Fatty acid	4.478~8.666	0.795~9.282	0.998~0.999

Table 3. Concentrations of complex odor (unit: dilution value)

	Water processing				Sludge processing	
	Grit chamber	1st clarifier	Reaction tank	2nd clarifier	Thickener	Dehydrator
Spring	4.5	11.8	3.7	3.7	5.5	8.2
Summer	5.5	14.4	3.7	3.7	3.7	4.5
Fall	4.5	11.8	5.5	5.5	5.5	14.4
Winter	6.7	10.0	5.5	3.7	3.0	10.0
Mean±SD	5.3±1.0	12.0±1.8	4.6±1.0	4.2±0.9	4.4±1.3	9.3±4.1

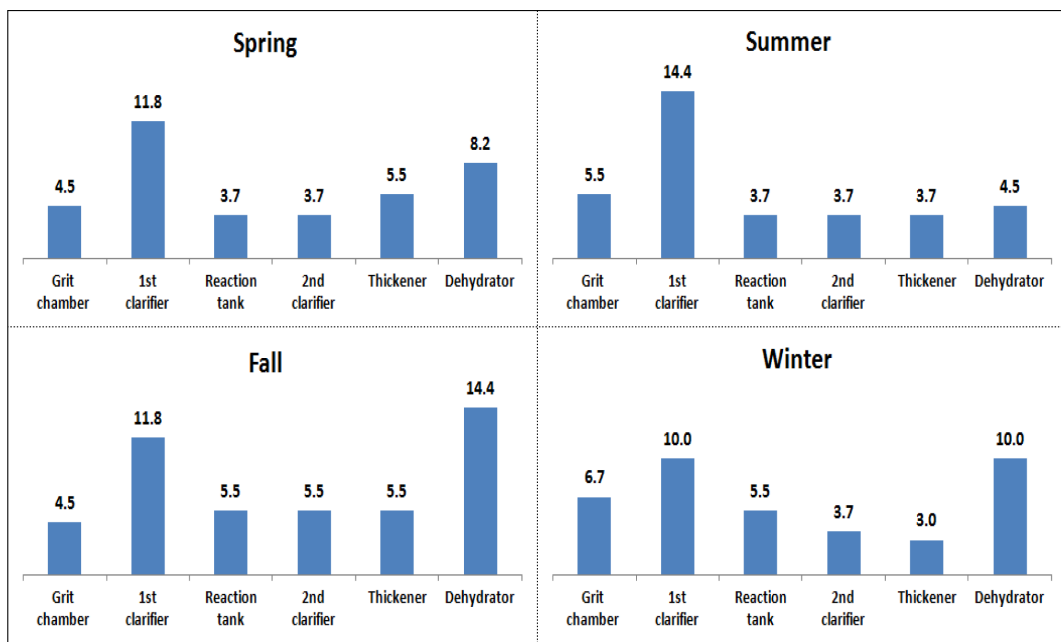


Fig. 2. Seasonal variations of complex odor.

조 10.3배(6.7~14.4배), 농축조 8.3배(5.5~14.4배), 탈수동 18.7배(5.5~31.1배)로, 본 연구결과는 염색폐수처리장에 비해 3.0배(1.9~4.8배) 정도 낮았다. 이러한 결과는 부지경계선에서 복합악취농도가 폐수처리장(3곳: 8.1~22.5배)이 하수처리장(2곳: 3.5~4.3배)에 비해 높았던 기존의 연구와 일치하였다.³⁾

복합악취의 변동추이는 Fig. 2와 같다. 복합악취의 평균농도는 1차침전조(12.0배)와 탈수동(9.3배)의 경우엔 2차침전조, 침사조 등 다른 공정(최소 4.2배, 최대 5.3배)에 비해 계절별로 뚜렷하게 높은 농도를 보였다. 게다가 계절별로 농도차이는 탈수동(Δ9.9배)의 경우엔 반응조, 1차침전조 등 다른 공정(최소 Δ1.8배, 최대 Δ4.4배)에 비해 뚜렷하였다.

이는 밀폐된 공간에서 측정된 탈수동의 경우엔 악취강도가 1차침전조 등에 비해 높을 것으로 예상하였으나 오히려 낮았다. 즉, 탈수과정에서 발생한 악취가 환기(창문개폐) 여부에 따른 외부공기와의 희석이 큰 영향을 준 것으로 사료된다. 때문에 현장측정당일 창문을 닫은 상태인 가을철(14.4배)이 창문을 열린 상태인 여름철(4.5배)에 비해 무려 3.2배나 높게 나타난 결과와 같은 맥락에서 설명된다.

2. 지정악취 농도분포 특성

검출된 지정악취물질의 농도분포는 Table 4와 같다. 지정악취물질(22종) 중 질소화합물(1종)인 암모니아, 황화합물(3종)인 메틸메르캅탄, 황화수소, 다이

Table 4. Concentrations of odor compounds (unit: ppb)

		Water processing				Sludge processing	
		Grit chamber	1st clarifier	Reaction tank	2nd clarifier	Thickener	Dehydrator
Ammonia	Spring	11.48	16.60	29.43	16.23	40.36	20.31
	Summer	47.56	29.03	28.05	12.75	41.05	31.42
	Fall	53.48	50.99	63.93	28.29	40.07	49.64
	Winter	67.02	98.15	32.76	25.33	29.95	94.62
Methyl mercaptane	Spring	0.00	2.26	0.00	0.00	0.00	1.93
	Summer	0.00	2.57	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fall	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	1.48
	Winter	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.95
Hydrogen sulfide	Spring	1.61	41.97	1.68	0.00	3.23	5.65
	Summer	17.34	84.32	2.02	1.90	1.84	3.32
	Fall	2.54	32.51	5.23	2.79	2.17	2.33
	Winter	2.59	11.45	0.00	0.00	0.00	2.17
Dimethyl sulfide	Spring	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02
	Summer	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fall	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30
	Winter	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Acetaldehyde	Spring	7.24	9.44	3.84	9.44	6.45	5.73
	Summer	7.62	6.61	5.18	4.71	6.50	5.24
	Fall	4.42	4.73	4.69	6.06	6.44	7.24
	Winter	2.40	0.60	2.70	0.70	0.00	0.40
Propionyl-aldehyde	Spring	0.00	2.40	0.00	2.57	0.00	0.00
	Summer	0.00	2.58	0.00	2.76	0.00	0.00
	Fall	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Winter	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Toluene	Spring	10.54	9.93	9.61	9.32	9.47	9.31
	Summer	15.91	23.54	15.98	15.85	16.27	16.35
	Fall	18.54	17.66	34.51	73.14	61.01	53.24
	Winter	19.95	19.70	19.97	19.16	20.00	21.77
Xylene	Spring	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Summer	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fall	14.66	14.50	15.06	15.61	15.44	15.23
	Winter	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Methylethyl-ketone	Spring	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Summer	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Fall	7.53	6.85	10.86	21.35	17.79	14.80
	Winter	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

메틸설파이드, 알데하이드류(2종)인 아세트알데하이드, 프로피온알데하이드, 그리고 VOCs (3종)인 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤 등 9종이 검출되었고, 아

민류와 지방산류는 전혀 검출되지 않았다. 이들 9종에 대한 검출빈도는 총 24회 측정 중 암모니아와 톨루엔은 모두 100%(24회)로, 황화수소와 아세트알데

하이드는 각각 83%(20회)와 96%(23회)로, 메틸메르캅탄과 자일렌, 메틸에틸케톤은 모두 25%(6회)로, 그리고 프로피온알데하이드와 다이메틸설파이드는 각각 17%(4회)와 8%(2회)로 검출되었다.

공정별 및 계절별로는 암모니아(사계절), 황화수소(사계절), 아세트알데하이드(사계절), 톨루엔(사계절), 자일렌(가을철), 메틸에틸케톤(가을철)의 경우엔 모든 공정에서, 그리고 메틸메르캅탄은 1차침전조(봄철, 여름철, 가을철)와 탈수동(봄철, 가을철, 겨울철)에서, 프로피온알데하이드는 1·2차침전조(봄철, 여름철)에서, 다이메틸설파이드는 탈수동(봄철, 가을철)에서 검출되었다. 특히, 이들 중 암모니아와 황화수소, 아세트알데하이드는 기존의 연구대상이었던 환경기초시설(폐수처리장, 하수처리장, 음식물류폐기물처리장)에서³⁾ 모두 공통적으로 검출된다는 사실로 볼 때 시설별 유사한 오염원이 존재함을 시사한다.

3. 악취농도지수 평가

악취는 개별물질마다 사람이 느낄 수 있는 최소농도나 냄새의 질이 다르므로 측정된 악취물질의 농도가 높고 낮음에 따라 악취원인물질을 선정하기는 어렵다. 때문에 악취유발물질의 농도를 악취 정도와 연계시키기 위해 일반적으로 최소감지농도(Threshold)를 이용한다. 이때 어떤 물질이 사람에게 냄새로 느껴지기 시작되는 최소의 농도를 최소감지농도라 정의한다.^{7,8)} 본 연구에서는 주요 악취원인물질을 선정하기 위해 악취농도지수(Odor Quotient, 이하 OQ)를 이용하였다. 즉 OQ의 산출은 측정된 악취물질의 농도를 해당물질의 최소감지농도로 나누었는데, 이

때 최소감지농도는 환경부가 제시한 자료를 활용하였다.⁹⁾

$$\text{악취농도지수(OQ)} = \frac{\text{측정된 악취물질농도(ppb)}}{\text{측정물질의 최소감지농도(ppb)}}$$

여기에서, OQ가 10 이상이면 약한 취기를 느끼나 100 이상이면 강한 취기를 감지한다. 따라서 OQ가 100 이상인 물질들은 주요 악취원인물질로 작용한다고 볼 수 있으며, 이러한 물질들이 많을 경우에는 연구대상공정에서 강한 악취를 나타낼 것으로 추정된다.¹⁰⁾

검출된 지정악취물질(9종)에 대한 OQ의 산출결과는 Table 5와 같다. 공정별 OQ는 물질에 따라 평균 범위가 침사조 0.0~12.0, 1차침전조 0.1~85.1, 반응조 0.0~4.5, 2차침전지 0.0~2.6, 농축조 0.0~3.6, 탈수동 0.1~13.4로, 모든 공정에서 100 이상인 물질은 없었다. 게다가 약한 취기를 느끼는 수준인 10 이상을 보인 물질도 황화합물인 메틸메르캅탄(1차침전조, 탈수동)과 황화수소(침사조, 1차침전조) 뿐이었다. 그러나 평균농도가 44.9 ppb인 암모니아는 OQ가 0.4를, 평균농도가 42.6 ppb인 황화수소는 OQ가 85.1을 보여 양자의 현장농도가 비슷하더라도 암모니아에 비해 황화수소의 OQ가 2백배 이상으로 훨씬 더 높았다. 이러한 결과는 악취의 최소감지농도가 암모니아와 황화수소의 경우, 각각 100 ppb와 0.5 ppb로 서로 다르기 때문으로 향후 악취저감대책을 마련할 경우엔 개별물질의 단순농도가 아닌 OQ를 반드시 고려해야 한다고 사료된다.¹¹⁾

Table 5. Odor quotient (OQ) on the processes (mean unit: ppb)

	Grit chamber		1st clarifier		Reaction tank		2nd clarifier		Thickener		Dehydrator	
	Mean	OQ	Mean	OQ	Mean	OQ	Mean	OQ	Mean	OQ	Mean	OQ
Ammonia	44.88	0.4	48.69	0.5	38.54	0.4	20.65	0.2	37.86	0.4	49.00	0.5
Methyl mercaptane	0.00	0.0	1.47	14.7	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	1.34	13.4
Hydrogen sulfide	6.02	12.0	42.56	85.1	2.23	4.5	1.17	2.3	1.81	3.6	3.37	6.7
Dimethyl sulfide	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.58	5.8
Acetaldehyde	5.42	2.7	5.34	2.7	4.10	2.0	5.23	2.6	4.85	2.4	4.65	2.3
Propionylaldehyde	0.00	0.0	1.25	0.6	0.00	0.0	1.33	0.7	0.00	0.0	0.00	0.0
Toluene	16.23	0.0	17.71	0.0	20.02	0.0	29.37	0.0	26.69	0.0	25.17	0.0
Xylene	3.67	0.1	3.63	0.1	3.77	0.1	3.90	0.1	3.86	0.1	3.81	0.1
Methylethylketone	1.88	0.0	1.71	0.0	2.71	0.0	5.34	0.0	4.45	0.0	3.70	0.0

4. 총악취농도지수와 악취기여도 평가

악취는 개별 악취성분의 농도보다 악취의 세기를 표현하는 악취강도에 대한 기여율을 평가함으로 주요 악취성분이 어느 물질인가를 판단할 수 있다.¹²⁾ 악취물질이 악취발생에 어느 정도 기여하는가를 평가하기 위해 악취기여도를 분석하였다. 악취기여도의 산출은 측정된 악취물질의 농도지수를 총악취농도지수로 나누었는데, 이는 총악취물질에서 차지하는 악취의 세기를 나타낸다.

$$\text{악취기여도(}\%) = \frac{\text{측정된 악취농도지수(OQ)}}{\text{총악취농도지수(SOQ)}} \times 100$$

여기에서, 총악취농도지수(Sum of Odor Quotient, 이하 SOQ)는 측정된 악취농도지수(OQ)의 합을 나타낸다.

검출된 지정악취물질(9종)에 대한 SOQ의 산출결과는 Table 6과 같다. 공정별 SOQ는 1차침전조(103.7) > 탈수동(28.9) > 침사조(15.3) > 반응조(7.0) > 농축조(6.6) > 2차침전조(6.0) 순으로 높았다. 특히 1차침전조와 탈수동은 다른 공정에 비해 높았다.

데, 1차침전조의 경우엔 반응조, 2차침전조, 농축조에 비해 무려 16배 전·후로 높았다. 그 원인은 유기물의 분해가 다른 공정에 비해 매우 활발하게 진행된 까닭으로 사료된다. 이러한 결과는 국내의 다른 하수처리장 등에서 SOQ의 경우, 1차침전조가 가장 높았던 기존의 연구와도 일치하였다.^{8,10,13)} 계절별 SOQ (평균)는 여름철(45.0) > 봄철(30.9) > 가을철(26.0) > 겨울철(9.8) 순으로 높았다. 특히 여름철은 다른 계절에 비해 높았고, 겨울철의 경우엔 봄철, 여름철, 가을철에 비해 3배 전·후로 낮았다. 이는 여름철이 다른 계절에 비해 기온상승 등에 의한 미생물의 기작(mechanism)이 활발해진 결과로 판단된다.⁶⁾ 따라서 본 연구대상인 하수처리장은 악취발생강도가 1차침전조와 탈수동이 가장 높게 보여, 이들 시설에 대해 집중적으로 관리할 필요성이 있다고 사료된다.

악취기여도의 산출결과는 Table 7 및 Fig. 3과 같다. 물질별로 황화합물(61.1%) > 알데하이드류(28.3%) > 암모니아(9.2%) > VOCs(1.4%) 순으로 높았다. 이러한 결과는 국내의 다른 하수처리장 등에서 악취기여도의 경우, 황화합물이 가장 높았던 기존의 연구

Table 6. Sum of odor quotient (SOQ) on the processes

	Water processing				Sludge processing	
	Grit chamber	1st clarifier	Reaction tank	2nd clarifier	Thickener	Dehydrator
Spring	7.0	112.6	5.6	6.2	10.1	43.9
Summer	39.0	199.3	6.9	7.7	7.4	9.6
Fall	8.2	78.8	13.9	9.4	8.4	37.0
Winter	7.1	24.2	1.7	0.6	0.3	25.0
Mean±SD	15.3±15.8	103.7±73.4	7.0±5.1	6.0±3.8	6.6±4.3	28.9±15.0

Table 7. Odor contribution rate (%) on the processes

	Water processing				Sludge processing	
	Grit chamber	1st clarifier	Reaction tank	2nd clarifier	Thickener	Dehydrator
Ammonia	4.7	1.2	8.3	12.1	26.9	2.2
Methyl mercaptane	0.0	11.6	0.0	0.0	0.0	40.5
Hydrogen sulfide	67.6	84.1	48.5	27.2	41.3	31.2
Dimethyl sulfide	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6
Acetaldehyde	26.4	2.5	42.0	48.7	28.6	11.1
Propionylaldehyde	0.0	0.4	0.0	9.7	0.0	0.0
Toluene	0.2	0.0	0.5	1.2	2.0	0.1
Xylene	1.1	0.2	0.7	1.0	1.1	0.3
Methylethylketone	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

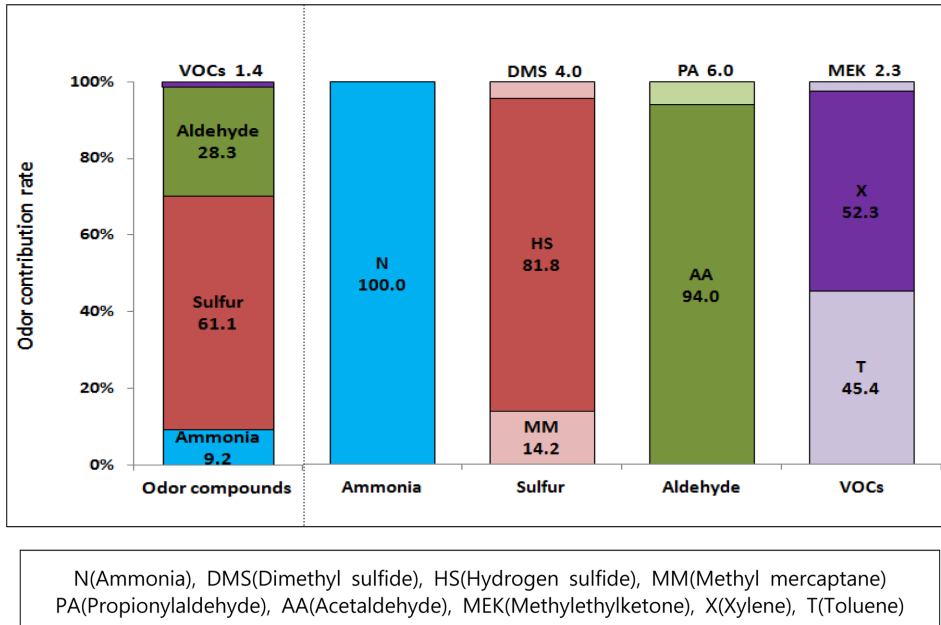


Fig. 3. Odor contribution rate (%) of odor compounds.

와도 일치하였다.^{8,10,13)} 하수 중 황화합물은 주로 황산염의 형태로 존재하고, 처리과정 중 혐기조건 하에서 황산염환원세포에 의해 황산염의 환원반응으로 황화수소가 발생된다.¹⁴⁾ 공정별로는 황화합물의 경우엔 2차침전조(27.2%)가 가장 낮았고 1차침전조(95.7%)가 가장 높았으며, 알데하이드류의 경우엔 1차침전조(2.9%)가 가장 낮았고 2차침전조(58.4%)가 가장 높았다. 또한 악취기여도를 백분율로 환산해서 세부적으로 보면 황화합물은 황화수소(81.8%) > 메틸메르캅탄(14.2%) > 다이메틸설파이드(4.0%) 순으로 황화수소가 대부분을, 그리고 알데하이드류는 아세트알데하이드(94.0%) > 프로피온알데하이드(6.0%) 순으로 아세트알데하이드가 대부분을 차지하였다.

이와는 반대로 암모니아와 VOCs는 황화합물과 알데하이드류에 비해 악취기여도가 상대적으로 매우 낮았는데, 공정별로는 암모니아의 경우엔 1차침전조(1.2%)가 가장 낮았고 농축조(26.9%)가 가장 높았으며, VOCs의 경우에도 1차침전조(0.2%)가 가장 낮았고 농축조(3.2%)가 가장 높았다. 또한 악취기여도를 백분율로 환산해서 세부적으로 보면 VOCs는 자일렌(52.3%) > 톨루엔(45.4%) > 메틸에틸케톤(2.3%) 순으로 자일렌과 톨루엔이 각각 절반 정도를 차지하

였다. 악취는 농도가 높은 악취물질을 대상으로 계획되기보다는 악취기여도가 높은 악취물질을 중심으로 제어(control)가 계획되어야 악취저감의 효율성을 높일 수 있다고 한다.¹¹⁾ 따라서 본 연구대상인 하수처리장은 악취기여도가 황화수소와 아세트알데하이드가 가장 높게 보여, 이들 물질에 대해 집중적으로 관리할 필요성이 있다고 사료된다.

5. 지정악취물질과 SOQ, 복합악취간의 상관성 분석

악취물질은 같은 농도라도 다른 물질의 영향, 온도, 습도 등에 따라 냄새의 세기가 다를 수 있기 때문에 측정된 농도값과 감지되는 악취간의 상관관계를 정확히 나타내는데 한계가 있다.¹⁴⁾ 악취물질과 복합악취, SOQ간의 상관분석을 실시한 결과, 상관성은 Table 8과 같다. 이때 선택된 지정악취물질은 본 연구에서 검출빈도가 높았던 암모니아, 황화수소, 아세트알데하이드, 톨루엔 등 4종에 한하였다. 그 결과는 악취물질인 암모니아와 아세트알데하이드(상관계수, 0.511)간에만 유의한 상관성($p < 0.05$)을 보였다. 그리고 악취기여도가 가장 높았던 악취물질인 황화수소는 SOQ(상관계수, 0.979)간에, 복합악취(상관계수, 0.677)간에 유의한 상관성($p < 0.01$)을 보였다.

Table 8. Correlation coefficient (n=24)

	Ammonia	Hydrogen sulfide	Acetaldehyde	Toluene	SOQ	Complex odor
Ammonia	(1.000)					
Hydrogen sulfide	-0.068	(1.000)				
Acetaldehyde	-0.511*	0.280	(1.000)			
Toluene	0.147	-0.086	0.052	(1.000)		
SOQ	-0.068	0.979**	0.319	-0.062	(1.000)	
Complex odor	0.324	0.677**	0.140	0.173	0.770**	(1.000)

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

또 복합악취와 SOQ (상관계수, 0.790)간에도 유의한 상관성($p < 0.01$)을 보였다. 이러한 결과는 복합악취와 SOQ간에,^{3,15-17} 황화수소와 SOQ간에⁴) 높은 상관성을 보인 기존의 연구와 일치하였다. 이는 황화수소가 많이 발생할수록 복합악취와 SOQ값도 동시에 높아진다는 것을 의미한다. 따라서 본 연구대상인 하수처리장은 황화수소가 주된 악취원인물질로서 작용하고 있다는 사실로 미루어 볼 때, 공기희석관능법으로 구해진 복합악취(희석배수)는 기기분석법으로 구해진 악취물질 중의 주 악취물질과 연관성이 있다는 것을 확인할 수 있었다.¹⁷⁾

IV. 결 론

본 연구는 대구지역 환경기초시설의 악취저감을 위한 기초자료로 활용하기 위해 기존 연구와 연계한 논문으로 하수처리장 내에 공정별(침사조, 1차침전조, 반응조, 2차침전조, 농축조, 탈수동 등 6개 공정)로 발생하는 복합악취와 지정악취물질(22종)을 계절별로 측정하여 배출특성을 파악하였다.

1. 복합악취는 1차침전조와 탈수동이 다른 공정에 비해 계절별로 뚜렷하게 높은 농도를 보였고, 계절별 변동추이는 탈수동이 다른 공정에 비해 뚜렷한 농도차이를 보였다.

2. 지정악취물질(22종)은 9종(암모니아, 메틸메르캅탄, 황화수소, 아세트알데하이드, 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤 등)이 검출되었고, 이들 중 5종(황화수소, 아세트알데하이드, 톨루엔, 메틸에틸케톤 등)은 모든 공정에서 공통적으로 검출되었다.

3. 악취는 농도가 높은 악취물질보다는 악취농도지수(OQ)와 총악취농도지수(SOQ)를 고려한 악취기여율이 높은 악취물질을 대상으로 악취저감대책을

마련해야 악취저감의 효율성을 높일 수 있다고 생각된다.

4. 악취발생강도는 1차침전조와 탈수동이 가장 높아 악취저감시설로서, 악취기여도는 황화수소와 아세트알데하이드가 가장 높아 악취저감물질로서 선정하여 관리할 필요성이 있었다.

5. 악취물질과 복합악취, SOQ간의 상관성은 악취기여도가 가장 높았던 황화수소와 복합악취간에, 황화수소와 SOQ간에, 그리고 복합악취와 SOQ간에 유의한 상관성을 보였다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 환경부 “환경분야 시험검사의 국제적 적합성 기반구축” 사업의 일부 지원으로 완성되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. Ministry of Environment. Odor prevention law; 2015.
2. National Institute of Environmental Research. A research on the odorous element and odorous source; 2006.
3. Lee CH, Jeon HS, Shin MC, Kim ED, Jang YJ, Kwon BY, Song HB. 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.
4. Lee CH, Jeon HS, Kwon BY, Kim ED, Jang YJ, Lee MS, Keum JL, Song HB. Emission Characteristics of Odor Compounds from a Dyeing Wastewater Treatment Plant in an Industrial Complex Area

- in Daegu City. *J Environ Health Sci.* 2017; 43(4): 314-323.
5. Disaster Prevention Meteorological Information Portal Service System. Available: <http://afso.kma.go.kr/afsOut/rsw/emg/rswMain.jsp>. [accessed 10 March 2018].
 6. Ministry of Environment. The Korea odor standard test method; 2014.
 7. Ministry of Environment. Odor management manual; 2012.
 8. Chung GH, Kim ST, Park MS, Chung JH. A survey on the odor emission characteristics in a sewage treatment plant. *Korean Journal of Odor Research and Engineering.* 2004; 3(4): 225-233.
 9. Ministry of Environment. The minium sensing concentration of major chemicals; 2005.
 10. Jeon JM, Seo YS, Jeong MH, Lee HS, Lee MD, Han JS, Kang BW. The emission characteristics of odor compounds from environment fundamental facilities. *Korean Journal of Odor Research and Engineering.* 2010; 9(2): 80-89.
 11. Yoo SS, Kim YD, Lee JY, Cha YS, Kim ES, Jeon JS, et al. The characteristic and management of odor emitted foodwaste treatment facility. *Environmental impact assessment.* 2012; 21(3): 353-365.
 12. Jung JE, Song BJ, Jung SR. Removal of malodorous compounds from foodwaste treatment processing (II). *Rep. Busan Inst. Health & Environ.* 2003; 13: 17-47.
 13. Seoul Development Institute. Evaluation of Nanjido Landfill and Environmentally-friendly Restoring Strategies; 2000.
 14. Ministry of Environment. Odor management manual; 2012.
 15. Chung GH, Kim ST, Park MS, Chung JH. A Survey on the Odor Emission Characteristics in a Sewage Treatment Plant. *Korean Journal of Odor Research and Engineering.* 2004; 3(4): 225-233.
 16. Nagata Y. Odor intensity and odor threshold value, Bulletin of Japan. Environmental Sanitation Center; 2003. p. 17-25.
 17. Park SY, Kim KH. A Comparative Study of Odors between Air Dilution Sensory Test and Instrumental Detection Method Using Industrial and Food Waste Samples. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment.* 2007; 23(4): 420-429.