

## 서울시 물재생센터 발생 악취의 처리 효율 및 기여도 평가

대기화학팀

김창모 · 김영두 · 김은숙 · 최인석 · 전병모 · 천정완 · 김홍제 · 정종흡 · 어수미

### **Evaluation of Treatment Efficiency and Contribution Rate of Odor Compounds from Sewage Treatment Centers in Seoul**

*Atmospheric Chemistry Team*

**Chang-mo Kim, Young-doo Kim, Eun-sook Kim,  
In-suk Choi, Byung-mo Jeon, Chung-wan Chun,  
Hong-je Kim, Jong-heub Jung and Soo-mi Eo**

#### **Abstract**

Sewage treatment systems in cities are considered an odor source. In general, the public is sensitive to sewage treatment centers(STCs) near their properties due to odors emitted from some sources, although STCs play an important role in the urban environment. This study obtained emission characteristics, fractional contributions of odor compounds, odor reduction rates from different odor reduction equipment in four STCs. We investigated complex odors quarterly and identified twenty-two odor compounds from eleven sampling sites at four STCs in Seoul. While a number of compounds were detected, the concentrations were all lower than regulatory emission standards. Biofilters were operated as the primary odor reducing equipment in the STCs. All complex odor concentrations from the odor reduction equipment in the plant were lower than regulatory emission standards, 500 times lower. The odor reduction rates from equipment were 53.3~93.7% for biofilters, 79.0% for activated carbon adsorption, 69.2% for UV deodorant and 92.5% for chemicals washing. In terms of odor emitters, aldehydes accounted for the largest contributions of emissions, >50%, followed by hydrogen sulfide and ammonia. The sum of odor quotient(SOQ) had the following ranking: STC II > STC I, STC IV > STC II.

**Key words** : STC, odor emission contribution, odor reduction rate, aldehydes, SOQ

## 서 론

서울시에서는 4개 대형 물재생센터(하수처리장)를 운영하고 있으며 이곳에서 다양한 수질오염물질을 정화하는 역할을 수행함으로써 환경오염물질 저감 및 수생태계 보전에 기여하고 있다(1). 최근에는 고유의 하수처리 역할 뿐만 아니라 정화조처리, 슬러지 소각, 음식물처리 시설 등을 운영하며 종합적인 환경처리센터로서 점차 그 영역을 넓혀가고 있다. 시민들의 쾌적하고 안전한 환경 및 기본 생활권과 관련이 있는 물재생센터에서는 이러한 중요성을 감안하여 다양한 법적 규제를 받고 있다. 이를테면 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률”, “하수도법”, “폐기물관리법”, “대기환경보전법” 및 “악취방지법” 등을 예로 들 수 있을 것이다. 위에서 열거한 법률에서 추정할 수 있듯 물재생센터에서는 공공하수처리시설 방류수 배출허용기준을 준수(2)하거나 슬러지 케익과 같은 폐기물을 적정하게 처리하기 위해 다양한 하수처리 설비, 슬러지처리 설비 및 정화조 오수 처리 설비 등을 설치·운영하고 있다. 이에 따라 하수 처리나 슬러지 처리 과정 등에서의 악취 발생은 필연적이라 할 수 있다. 또한 환경기초시설 중 주로 도시지역에 위치하여 악취물질이 발생하기 때문에 인근 주민들에게는 민원의 대상이 될 가능성이 높은 점도 물재생센터가 주요한 악취배출시설의 하나(3)로 지목되는 이유일 것이다.

악취란 황화수소, 메르캅탄류, 아민류 등 자극성을 유발하는 기체상 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 정의할 수 있으며 발생원이 다양하고 악취물질의 종류도 많은 특징을 갖는다(4). 또한 악취 오염의 결과도 단일 물질에 의한 것보다는 다양한 화합물들에 의해 복합적으로 나타나는 특성을 띠게 된다(5). 일반적으로 물재생센터에서 발생하는 악취는 하수의 본질적 특성에서 기인하는 것으로 알려져 있으며(6), 일종의 악취 유발 액체인 하수에서는 유기물이 분해되는 하수처리과정 각 단계마다 악취를 유발하는 가스를 발산하며 처리 과정에서 다양한 형태의 악취물질로 변화되기도 한다. 또한 하수의 황화합물, 질소화합물 등이 처리 단계에서 직·간

접적으로 악취를 유발하거나(7) 혐기성 조건이나 각 처리단계에서 체류시간이 길어지면 악취 강도가 증가하는 특징을 띠기도 한다(8).

물재생센터에서 발생하는 악취 문제를 해결하기 위한 선행 단계는 시설 관리자들이 배출특성, 악취 배출량 및 배출원 등을 파악하고 지속적으로 감시하는 일이다. 시설의 발생 악취를 감소시키는 것이 큰 과제인 물재생센터 뿐만 아니라 우리 연구원에서도 악취에 대하여 주기적으로 모니터링을 하고 있으며 관련 연구과제도 지속적으로 수행하고 있다(3, 9~11). 현재 각 물재생센터에서는 침사지, 침전지, 포기조 등과 같은 하수처리시설에 덮개를 씌우고 악취가스를 포집한 후 탈취하는 등 주요 공정별로 악취방지시설을 설치하여 운영하고 있다. 이 중 생물학적 악취처리기술은 다른 처리기술에 비해 악취유발물질을 실용적, 경제적으로 제거할 수 있는 처리기술(12)로 인식되고 있으며 운전이 쉽고 2차오염이 적다는 특징을 가지고 있다(13). 이 중 담체 표면에 부착된 미생물이 악취물질을 산화분해시킴으로써 악취를 저감시키는 바이오필터 공법(14)은 하수처리장에서 악취물질을 저감시키기 위한 대표적인 생물학적 처리기술로 적용되고 있다. 또한 이 공법은 서울의 대형 물재생센터와 같이 농도는 낮으나 배출유량이 많은 시설의 악취물질 처리에 적합하다고 보고되고 있다(15).

이에 본 연구에서는 시민들의 쾌적한 생활권 보장을 위한 악취관리의 필요성이 점점 증대하고 있는 추세에 맞추어 서울시내 4개 물재생센터의 주요 악취발생지점에서 복합악취와 지정악취 22종에 대해 농도를 조사하여 악취발생 현황 및 악취기여도를 고찰하고자 하였다. 또한 복합악취를 이용하여 악취방지시설의 악취 제거효율을 평가하였다. 이를 토대로 악취 발생을 줄이고 효율적인 악취관리 방안을 마련하는데 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 시료채취 및 분석방법

### 1. 조사대상 및 방법

본 연구는 2016년 3월부터 12월까지 서울시에 소재하는 4개 물재생센터(Sewage Treatment

Center, STC)를 대상으로 하였는데 악취발생 현황 및 악취 기여도 평가의 경우 센터별로 주요 악취발생원이거나 악취 발생으로 인한 민원이 우려되는 2~3곳을 조사지점으로 선정하여 분기별(3월, 6월, 9월, 12월)로 악취 검사를 수행하였다. 조사 지점은 총 11지점으로 STC I의 경우 1지점(물재생센터 정문 앞), 2지점(토양탈취상 앞), 3지점(분뇨처리장 앞)을 대상으로 하였으며 STC II는 4지점(분뇨처리장 앞), 5지점(음식물처리장 입구), 6지점(축산농가 앞 부지경계), STC III는 7지점(OO APT 부지경계), 8지점(OOOO APT 부지경계), 9지점(분뇨처리장 앞), STC IV는 10지점(물재생센터 정문 앞)과 11지점(슬러지 건조 시설 앞)을 대상지점으로 선정하였다. 또한 각 센터 악취방지시설 악취 제거효율 평가의 경우 현장 조사 및 자료를 근거로 악취방지시설 현황을 파악한 후 각 센터에서 실시한 복합악취에 의한 악취 제거효율 평가 자료를 이용하여 수행하였다.

## 2. 분석방법

각 센터의 분기별 악취 모니터링의 대상 항목은 총 23개 항목으로 공기회석관능법에 의한 복합악취 1종과 지정악취물질 22종을 대상으로 하였다. 본 항목들은 악취공정시험기준(16)에 준하여 시료 채취 및 분석을 수행하였는데 주요 악취물질의 채취 및 분석방법은 표 1과 같았다. 복합악취 및 황화합물의 시료채취는 채취 백 자체의 냄새를 배제하기 위하여 고순도 질소로 3회 이상 세척한 테들러 백을 이용하여 5 L/min으로 시료를 간접 흡입하였다. 시료 채취를 마친 테들러 백은 상온(15~25℃)을 유지하고 직사광선을 피하여 보관

및 운반하였으며, 시료 채취 후 24시간 이내에 분석하였다. 복합악취 분석은 무취 공기 제조 장치와 6방 분배기를 이용해 제조된 무취 공기에 시료를 단계별로 희석해가면서 5인의 판정요원이 직접 평가하였다. 전체 판정요원의 시료 희석배수 중 최대값과 최소값을 제외하고 나머지를 기하평균하여 희석배수를 산정하였다. 황화합물은 Air sampler가 부착된 전자 냉각방식을 이용한 열탈착장치(AS/TD Unity, Markers)를 이용하였으며 내부 Cold trap에서 시료를 -15℃로 일정시간 농축 후 수초내에 280℃ 고온 탈착하여 GC/PFPD(GC-3800 Varian)로 주입시켜 분석하였다. 암모니아의 경우 0.5% 붕산 용액을 임핀저 2개에 각각 20 mL씩 채워 직렬로 연결한 후 10 L/min으로 5분간 50 L를 채취하였다. 채취한 시료는 흡광광도계(UV-1650PC, Shimadzu)를 이용하여 640 nm에서 측정하였다. 트라이메탈아민은 산성여과지를 여과지 홀더에 장착하여 10 L/min으로 5분간 총 50 L를 채취한 다음 헤드스페이스(Turbomatrix 40, Perkin Elmer)로 전처리하고 GC/FID(GC 2010, Shimadzu)로 분석하였다. 스타이렌과 같은 휘발성유기화합물인 경우 고체흡착관(Tenax TA, Supelco)에 0.2 L/min로 5분간 통과시켜 채취하였다. 이후 흡착관을 열탈착장치(STD1000, Dani)로 전처리하고 GC/MS(QP2010, Shimadzu)로 분석하였다. 알데하이드류는 오존 스크리버를 연결한 DNPH 카트리지(LpDNPH S10, Supelco)를 사용 1.5 L/min으로 5분간 채취하여 acetonitrile 5 mL/min으로 용출시킨 후 HPLC(Flexar, Perkin Elmer)로 분석하였다. 지방산류의 경우 0.1 N NaOH 용액을 임

**Table 1.** Summary of analytical methods of odor compounds test

Items	No. of item	Sampling method	Analytical method
Complex odor	1	aspiration using sampling bag	air dilution olfactory method
Ammonia	1	boric acid solution absorption	absorptiometric analysis method
Trimethylamine	1	acid filter sampling method	head-capillary GC method
Sulfur compounds	4	aspiration using sampling bag	cold trap-capillary GC method
VOCs	7	sampling using Tenax adsorption tube	cold trap/thermal desorption-GC method
Aldehydes	5	sampling using DNPH cartridge	HPLC method
Volatile fatty acids	4	sodium hydroxide solution method	head space GC method

편저 2개에 각각 10 mL씩 채워 직렬로 연결한 후 2 L/min으로 5분간 10 L를 채취하였다. 채취한 시료는 헤드스페이스(Turbomatrix 40, Perkin Elmer)로 전처리하고 GC/FID(GC 2010, Shimadzu)로 분석하였다.

### 3. 악취물질 기여도 평가

일반적으로 악취는 인체의 후각에 의한 감각공해로 단일 성분보다는 여러 가지 물질이 복합적으로 작용하고, 사람의 후각이 개별악취물질마다 반응하는 농도가 다르기 때문에 검출된 악취물질의 농도를 기준으로 악취 물질의 기여도를 파악하기에는 어려움이 있다(17). 따라서 악취기여도는 검출된 개별 악취물질의 농도를 그 물질의 고유 최소 감지농도(18)로 나누어 준 값인 악취농도지수(odor quotient)를 이용하여 평가하였다(19~20). 또한 대상지점으로 선정된 곳에서 시료를 채취하여 지정악취물질을 분석하였으며, 악취물질별 악취기여율을 산정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 물재생센터 악취발생 현황

물재생센터 4개소를 대상으로 2016년 3월~12월에 걸쳐 주요 지점에 대해 분기별로 악취물질을

조사한 결과를 표 2에 나타내었다. 복합악취는 STC I 4~10, STC II 5~14, STC III 3~6, STC IV 3~8로 악취방지법에 규정된 배출허용기준인 회석배수 15배를 초과하는 경우는 없었다. 시기별로 복합악취의 회석배수는 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나 지점별로 살펴볼 때 STC I은 분뇨처리장 경계 지점(site 3)에서 높게 경향을 보였으며 STC II는 분뇨처리장 경계 지점(site 4)과 음식물처리장 유입 경계 지점(site 5)에서 높게 나타났다. STC III도 분뇨처리장 경계 지점(site 9)에서 높게 나타났으며 STC IV(site 11)는 슬러지 건조시설 경계 지점에서 높은 경향을 보였다.

무기 악취물질과 유기 악취물질로 구분할 수 있는(21) 지정악취물질의 경우 총 22종을 조사한 결과 암모니아를 포함하여 11종이 검출되었는데 황화합물은 4종 중 황화수소만, VOCs는 7종 중 4종, 알데하이드는 5종 전체가 검출되었으며 트라이메틸아민과 지방산류 4종은 검출되지 않았다. 각 악취물질의 농도를 살펴볼 때 암모니아는 전 물재생센터가 0.1 ppm 수준으로 낮게 나타났으며 황화수소는 STC II의 3분기 때 채취한 4지점과 5지점이 각각 9.8 ppb, 14.2 ppb로 높게 나타났다. VOCs는 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤, 뷰틸아세테이트가 검출되었으나 3분기에만 총 농도가 1~21 ppb 범위로 검출되었다. 알데하이드는 STC I의 경우 1지점, 2지점 및 3지점이 각각

**Table 2.** Results of main odorous compounds at site of sewage treatment plant  
(Unit : Complex odor(times), Amonia(ppm), Sulfur compounds, VOCs, Aldehydes(ppb))

STC	No. of site	Complex odor				Amonia				Hydrogen sulfide				VOCs				Aldehydes			
		1st <sup>1)</sup>	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th
I	1	4	4	5	5	0.1	0.1	0.1	0.1	1.3	0.2	1.5	7.2	ND	ND	1	ND	0.8	5.9	4.9	3.4
	2	5	5	6	5	0.1	0.1	0.1	0.1	ND	2.9	1.9	0.9	ND	ND	7	ND	0.7	1.5	3.0	4.5
	3	6	8	10	10	0.1	0.1	0.1	0.1	ND	ND	3.7	1.0	ND	ND	4	ND	0.9	5.1	6.0	3.6
II	4	6	8	10	10	0.1	0.1	0.1	0.1	1.2	6.7	9.8	1.7	ND	ND	8	ND	2.8	4.7	7.4	10.9
	5	6	14	6	8	0.1	0.1	0.1	0.1	ND	ND	14.2	ND	ND	ND	9	ND	2.3	8.1	5.4	29.4
	6	4	4	5	5	0.1	0.1	0.1	0.1	ND	0.4	0.2	1.2	ND	ND	9	ND	2.4	6.4	4.7	11.7
III	7	3	4	4	3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	ND	3.1	0.8	ND	ND	11	ND	ND	ND	1.4	12.6
	8	4	4	5	3	0.1	0.1	0.1	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	21	ND	1.0	10.7	4.7	7.9
	9	5	6	5	4	0.1	0.1	0.1	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5	ND	4.1	6.0	5.1	7.3
IV	10	3	4	4	4	0.1	0.1	0.1	0.1	ND	ND	0.2	0.7	ND	ND	2	ND	0.8	2.0	2.7	7.8
	11	3	5	8	5	ND	0.1	0.1	0.1	0.4	4.0	5.9	ND	ND	ND	2	ND	2.6	9.2	3.3	3.8

1) Sampling date : 1st(3.8~3.9), 2nd(6.17~6.20), 3rd(9.26~9.27), 4th(12.5~12.6)

0.8~5.9 ppb(평균 3.8 ppb), 0.7~4.5 ppb(평균 2.4 ppb), 0.9~6.0 ppb(평균 3.9 ppb)로 미량 검출되었으며 STC II는 4지점, 5지점 및 6지점이 각각 2.8~10.9 ppb(평균 6.5 ppb), 2.3~29.4 ppb(평균 11.3 ppb), 2.4~11.7 ppb(평균 6.3 ppb)로 음식물처리장 유입 경계 지점에서 높게 나타났으며 주 검출 물질은 아세트알데하이드와 뷰틸알데하이드였다. STC III는 7지점, 8지점 및 9지점이 각각 0.0~12.6 ppb(평균 3.5 ppb), 1.0~10.7 ppb(평균 6.1 ppb), 4.1~7.3 ppb(평균 5.6 ppb)였으며 STC IV는 10지점과 11지점이 각각 0.8~7.8 ppb(평균 3.3 ppb)와 2.6~9.2 ppb(평균 4.7 ppb)로 미량 검출되었다. 또한 알데하이드의 검출빈도는 각각 아세트알데하이드 84.1%, 프로피온알데하이드 45.5%, 뷰티르알데하이드 31.8%, i-발레르알데하이드 29.5% 및 n-발레르알데하이드 6.8% 순이었다.

위의 결과를 종합할 때 지정악취 22종에 대하여 악취방지법상 기타지역 배출허용기준치를 초과하는 경우는 없었으며 이는 STC I의 3개 지점을 대상으로 지정악취 18종에 대하여 검사한 차 등(3)의 결과와 유사하였다.

## 2. 악취방지시설 현황과 처리효율

서울 소재 물재생센터 4개소 중 악취방지시설의 처리효율을 평가하는 곳은 STC I, STC III,

STC IV였다. STC I에서는 하수 처리시설, 슬러지 처리시설, 건조 슬러지 보관시설 등에서 악취방지시설을 운영하고 있었다(표 3). 평가현황을 살펴보면 하수 처리시설에는 바이오필터 4대가 설치된 지점에서, 슬러지 처리시설에는 바이오필터 3대와 활성탄 흡착탑 2대에서, 건조 슬러지 보관 시설에서는 UV 탈취기의 처리효율을 평가하였다. 조사 대상 시설별 악취방지시설의 배출구에서 복합악취 농도를 측정된 결과 조사 대상 10개 시설 모두 악취배출허용기준인 500배 이내로 나타났으며, 300배 이상의 높은 농도를 보인 횟수는 총 6회로 바이오 필터 5회, 활성탄 흡착탑 1회였으며 유입구에서는 총 8회 악취배출허용기준을 초과하는 것으로 나타났다. 최종적으로 악취방지시설의 제거효율은 바이오 필터 44.9~62.7%(평균 53.3%), 활성탄 흡착탑 74.4~83.5%, UV 탈취기 69.2%로 나타났다.

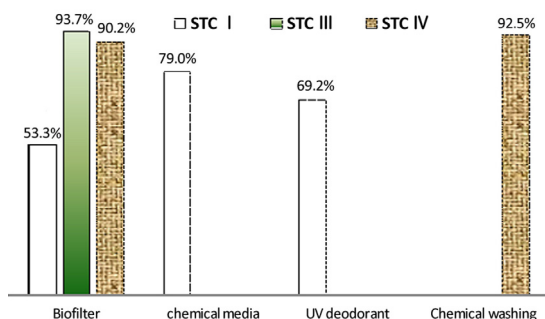
STC III에서는 하수 처리시설, 슬러지 처리시설, 음식물 처리시설 등에서 악취방지시설을 운영하고 있었다(표 4). 평가현황을 살펴보면 하수 처리시설, 슬러지 처리시설 및 음식물 처리시설모두 바이오필터가 설치되어 운영되고 있었다. 배출구에서 복합악취 농도를 측정된 결과 조사 대상 6개 시설 모두 악취배출허용기준 이내로 나타났으며, 300배 이상의 높은 농도를 보인 횟수는 총 2회로 유입구의 악취 농도가 높은 음식물 처리시설 배출

**Table 3<sup>1)</sup>**. The odor reduction treatment list according to each facility of STC I

Facility item	Treatment type	No. of site	Complex odor dilution ratio(tiomes)						Average reduction efficiency(%)
			1st(3/25)		2nd(6/20)		3rd(9/23)		
			Inf.	Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.	
Sewage treatment	Biofilter	1	208	100	208	144	300	144	44.9
		2	669	448	448	208	448	144	51.5
		3	208	100	144	66	300	100	57.6
		4	669	448	448	300	669	208	45.0
Sludge treatment	Biofilter	5	669	300	669	300	448	208	54.6
		6	300	144	300	144	300	100	56.9
		7	448	144	448	208	300	100	62.7
	Chemical-media	8	448	100	448	100	448	144	74.4
		9	1,000	144	1,442	300	1,442	208	83.5
Dried sludge container	UV deodorant	10	300	66	448	100	208	100	69.2

1) This data were produced by STC I.

구로 나타났다. 악취방지시설의 제거효율은 93.1~94.5%(평균 93.7%)로 높게 나타났다.



**Fig. 1.** Odor reduction efficiency of odor reduction treatment type in each STC.

STC IV에서는 하수 처리시설, 슬러지 처리시설, 정화조 오수 투입시설 등에서 악취방지시설을 운영하고 있었는데(표 5) 하수 처리시설에는 바이오

필터와 약품 세정식 설비가, 슬러지 처리시설에는 바이오필터가, 정화조 오수 투입시설에는 약품 세정식 설비가 설치되어 운영되고 있었다. 배출구에서 복합악취 농도를 측정된 결과 조사 대상 6개 시설 모두 300배 이하 낮은 농도를 보이며 악취배출 허용기준을 만족하였다. 악취방지시설의 제거효율은 89.3~93.5%(평균 91.4%)로 높게 나타났다.

그림 1은 대상 물재생센터 악취방지시설의 제거효율을 종합한 것으로 바이오필터 53.3~93.7%(평균 79.1%), 활성탄흡착탑 79.0%, UV 탈취기 69.2% 및 약품 세정식 설비 92.5%를 보였다. 바이오필터의 경우에는 STC I 과 STC III, STC IV 사이에 악취물질의 제거효율의 편차가 크게 나타났는데 실제 시설 간 성능 차이 때문인지 혹은 물재생센터 마다 복합악취의 측정업체가 달랐던 점에서 비롯된 것인지 확인할 수 없었다. 다만 복합악취 농도만으로 악취방지시설의 효율을 평가하기에는 제약이 있다는 지적(3)에도 불구하고 악취

**Table 4<sup>1)</sup>.** The odor reduction treatment list according to each facility of STC III

Facility item	Treatment type	No. of site	Complex odor dilution ratio(tioemes)						Average reduction efficiency(%)
			1st(2/18)		2nd(9/20)		3rd(11/25)		
			Inf.	Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.	
Sewage treatment	Biofilter	1	2,080	100	1,000	66	1,000	66	94.0
		2	1,442	100	1,000	66	1,442	100	93.2
Sludgetreatment	Biofilter	3	1,442	100	669	44	669	44	93.3
		4	3,000	208	2,080	144	1,442	100	93.1
		5	2,080	100	3,000	208	1,000	66	93.9
Food wastetreatment	Biofilter	6	10,000	300	4,481	300	2,080	144	94.5

1) This data were produced by STC III.

**Table 5<sup>1)</sup>.** The odor reduction treatment list according to each facility of STC IV

Facility item	Treatment type	No. of site	Complex odor dilution ratio(tioemes)						Average reduction efficiency(%)
			1st(3/28)		2nd(6/21)		3rd(10/4)		
			Inf.	Eff.	Inf.	Eff.	Inf.	Eff.	
Sewage treatment	Biofilter	1	1,000	66	669	66	448	44	91.2
	Chemicals washing	2	1,000	100	1,000	30	669	44	93.5
		3	669	66	669	20	669	44	93.5
Sludge treatment	Biofilter	4	1,442	173	1,442	144	1,442	144	89.3
		5	1,442	144	1,442	144	1,000	100	90.0
Septic tank Sewage disposal	Chemicals washing	6	2,080	207	2,080	207	2,080	173	90.6

1) This data were produced by STC IV.

문제는 직접적으로 사람의 후각에 의해서 발생한다는 점에서 악취물질의 제거 효율을 평가할 때 복합악취의 측정은 유용한 평가방법으로 알려져 있다(22).

### 3. 악취농도지수를 이용한 악취 기여도 평가

4개 물재생센터에서 악취농도지수를 이용하여 주요 악취원인물질을 파악하고 악취기여도를 평가한 결과를 표 6과 그림 3에 나타내었다. 악취농도지수(Odor Quotient, 이하 OQ)는 각 물질별 악취 검출농도를 그 물질의 최소감지농도(Odor threshold)로 나누어 구하였다. 평가지점에서 각 악취물질의 악취농도지수를 모두 합한 총 악취농도지수(Sum of Odor Quotient, 이하 SOQ)는 악취기여율(%)을 평가하는데 이용될 뿐 아니라 SOQ가 높으면 악취강도가 높고 측정지점에서 후각으로 느낄 수 있는 다양한 악취유발물질이 존재할 가능성이 큼을 의미하는데, 각 센터의 SOQ는 STC I 2.26~19.22, STC II 6.55~29.86, STC III 2.49~16.51 및 STC IV 2.08~20.88 범위였으며 평균값은 각각 11.77, 20.53, 8.07 및 12.24로 STC II > STC IV > STC I > STC III 순으로 나타났다. 분기별 SOQ 추이는 그림 2와 같이 증가하는 경향을 보였는데 이는 기온과 같은 계절적 영향으로 추정되며 4분기에 SOQ가 높게 나온 이유는 황화수소와 일부 알데하이드 물질이 높게 검출되었기 때문으로 풀이된다. 각 물재생

터의 평균 악취농도지수는 STC I 알데하이드 7.05, 황화수소 4.19, 암모니아 0.67, STC II 알데하이드 12.66, 황화수소 7.20, 암모니아 0.67, STC III 알데하이드 6.50, 황화수소 0.90, 암모니아 0.67, STC IV 알데하이드 8.24, 황화수소 3.42, 암모니아 0.59로 나타나 알데하이드, 황화합물 및 질소화합물이 주요 악취 원인물질임을 알 수 있었다. 모든 물재생센터에서 알데하이드가 가장 높은 악취 유발 원인물질로 나타났는데 이는 해당 물질들의 최소감지농도가 낮고 5종의 알데하이드를 합산하여 악취농도지수를 산출하였기 때문으로 판단된다. 표 6에서 보는 바와 같이 황화수소도 최소감지농도가 0.41 ppb로 최소감지농도가 150 ppb인 암모니아보다 낮기 때문에 악취농도지수가 더 높게 산출되었다.

그림 3은 각 물재생센터의 분기별 악취기여율을 나타낸 그래프로 1분기에는 STC I 암모니아(42.2%) > 알데하이드(33.6%) > 황화수소(24.2%) 순으로 나타난 반면 STC II, STC III 및 STC IV는 알데하이드(44.8~73.4%) > 암모니아(20.0~33.7%) > 황화수소(6.6~21.6%) 순으로 나타났다. 2분기에는 STC I, STC II 및 STC IV의 경우 알데하이드(54.5~70.9%) > 황화수소(23.1~30.0%) > 암모니아(6.0~16.9%) 순으로 나타났다. 반면 STC III 알데하이드(62.0%) > 암모니아(38.0%) 순으로 나타났다. 3분기의 경우 STC I, STC III 및 STC IV가 알데하이드(55.1

**Table 6.** Determination of odor-causing compounds using odor quotient

Compounds	Odor Threshold (ppb)	STC I				STC II				STC III				STC IV			
		1st <sup>1)</sup>	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th	1st	2nd	3rd	4th
NH3	150	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.34	0.67	0.67	0.67
H2S	0.41	1.06	2.52	5.77	7.40	0.98	5.77	19.67	2.36	0.41	0.00	2.52	0.65	0.49	4.88	7.44	0.86
Toluene	330	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Butyr acetate	8	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AA	1.5	0.53	2.38	2.29	0.00	1.20	3.66	3.29	4.91	0.58	3.33	1.93	1.98	0.90	3.04	1.57	0.00
PA	1.0	0.00	0.60	0.50	0.00	0.37	0.67	0.33	2.53	0.83	0.83	0.53	0.90	0.35	1.20	0.00	0.45
BA	0.67	0.00	0.00	0.35	5.27	0.00	0.00	0.00	10.30	0.00	0.00	0.40	7.31	0.00	0.00	0.00	5.82
i-VA	0.1	0.00	3.67	9.01	3.00	3.33	5.67	5.87	7.67	0.00	2.33	0.03	5.00	0.00	0.00	6.52	11.00
n-VA	0.41	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.01	0.81	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	2.08
SOQ	-	2.26	9.24	19.22	16.34	6.55	16.44	29.86	29.25	2.49	7.16	6.12	16.51	2.08	9.79	16.21	20.88

1) Sampling date : 1st(3.8~3.9), 2nd(6.17~6.20), 3rd(9.26~9.27), 4th(12.5~12.6)

~59.9%) > 황화수소(27.3~36.7%) > 암모니아(4.8~12.2%) 순으로 나타났다. 반면 STC II는 황화수소(57.1%) > 알데하이드(40.4%) > 암모니아(2.4%) 순으로 암모니아의 기여율이 낮게 나타났다. 4분기는 STC I과 STC II가 알데하이드(57.6~82.8%) > 황화수소(14.1~37.8%) > 암모니아(3.1~4.7%) 순으로 나타났다. STC III와 STC IV는 알데하이드(91.4~92.4%) > 암모니아(5.5~6.2%) > 황화수소(2.1~2.4%) 순으로 나타났다. 이를 토대로 분기별 악취기여율을 평균하여 총전체기여율을 산출한 결과 알데하이드(62.1%), 황화수소(22.5%), 암모니아(15.2%)가 주요 악취유발 기여물질임을 알 수 있었으며 이는 박 등(23)의 결과와 유사하였다. 특히 대표적인 유기 악취물질의 하나인 알데하이드는 각종 탄화수소류의 분해과정의 중간생성물로 발생하는데(21) 검출 농도는 낮으나 악취기여도가 높기 때문에 개별 알데하이드의 경향을 포함하여 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 사료되었다.

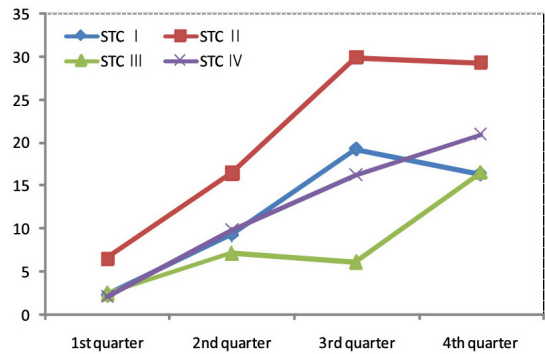


Fig. 2. SOQ quarterly trend of sewage treatment center.

## 결론

본 연구에서는 시민들의 쾌적한 생활권 보장을 위한 악취관리 필요성이 점점 증대함에 따라 서울시에서 운영하고 있는 4개 물재생센터의 주요 악취 모니터링 지점에서 악취 검사항목 23종에 대해 악

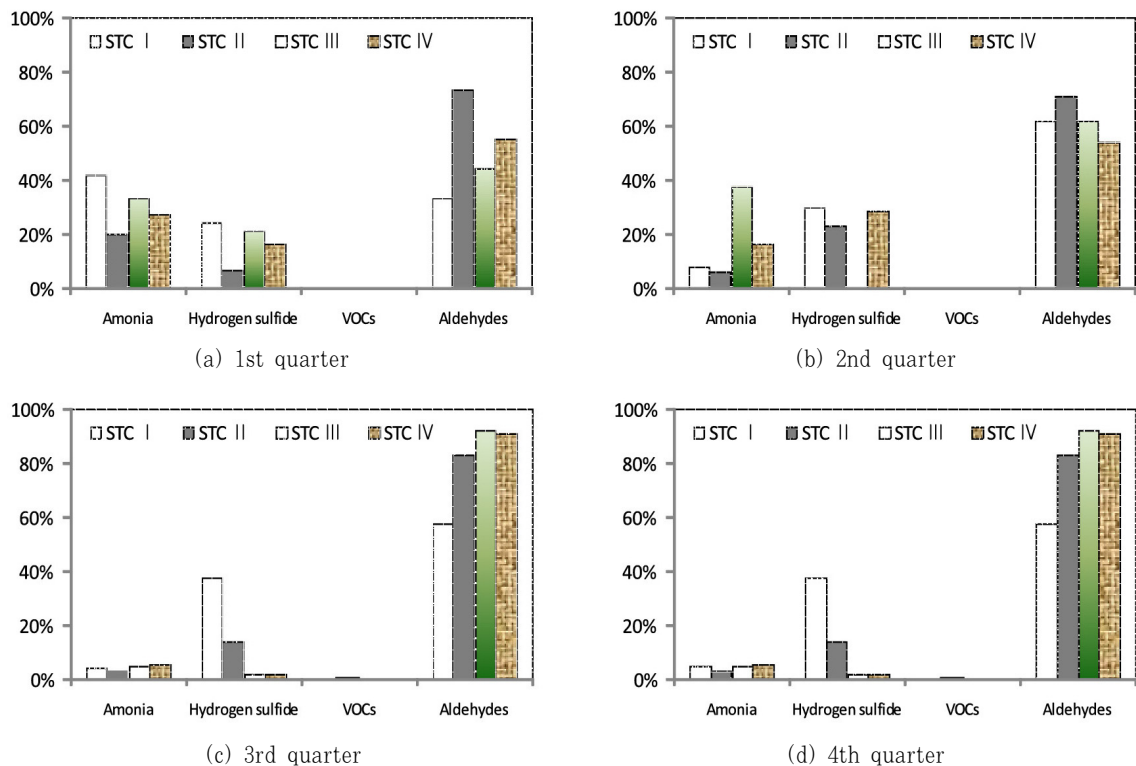


Fig. 3. Contribution rate of major odorous compounds of sewage treatment center.



취발생 현황 및 악취기여도를 평가하였다. 또한 복합악취를 이용하여 악취방지시설의 악취 제거효율을 평가하였다. 이에 대한 연구결과는 다음과 같다.

1. 4개 물재생센터의 11개 지점에서 분기별로 악취를 모니터링한 결과 총 23 항목 중 12 항목이 검출되었으나 전부 부지경계선의 배출허용기준을 만족하는 것으로 나타났다.
2. 물재생센터의 악취방지시설로 바이오필터, 활성탄 흡착조, UV 탈취기 및 약액 세정식 처리설비가 운영되고 있었으며 주 방지시설은 바이오필터로 나타났으며 평가 기간 동안 배출구에서 복합악취 배출허용기준(회석배수 500배)을 초과한 경우는 없었다.
3. 복합악취로 평가한 악취방지시설의 효율은 바이오필터 53.3~93.7%(평균 79.1%), 활성탄흡착탑 79.0%, UV 탈취기 69.2% 및 약품 세정식 설비 92.5%이었으며 바이오필터의 경우 센터 간 악취제거효율 차이가 크게 나타났는데 향후 이에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.
4. 물재생센터 주요 악취물질의 악취농도지수를 모두 합한 총 악취농도지수(SOQ)는 8.07~20.53 범위였으며 STC II > STC IV > STC I > STC III 순이었다.
5. 물재생센터의 악취 기여도 평가 결과 알데하이드(62.1%), 황화합물(22.5%) 및 암모니아(15.2%)가 주요 악취 유발기여물질로 나타났다. 이 중 알데하이드는 검출 농도는 낮으나 악취기여도가 높기 때문에 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 사료되었다.

### 참고문헌

1. 김창모, 길혜경, 심미희, 조혜윤, 박창호, 이목영, 어수미 : 서울시 물재생센터의 수질 종합 평가. 서울특별시 보건환경연구원보, 48:173~182, 2012.
2. 이호찬, 김창모, 심미희, 조혜윤, 조석주, 어수미, 이민환, 채영주 : 서울시 소재 물재생센터 방류수에 대한 생태독성 평가. 서울특별시 보건환경연구원보, 47:183~192, 2011.
3. 차영섭, 김영두, 이준연, 김은숙, 신덕영, 천정완, 김교봉, 전재식, 엄석원, 어수미 : 물재생센터의 부지경계 및 시설별 악취발생 특성. 서울특별시 보건환경연구원보, 49:134~143, 2013.
4. 김은숙, 이준연, 차영섭, 김영두, 신덕영, 천정완, 이종현, 유승성, 전재식, 엄석원 : 쓰레기 적환장의 악취발생 특성. 서울특별시 보건환경연구원보, 48:107~113, 2012.
5. 김만구, 정영림, 박정진, 서영민, 윤인구 : 관능법과 기기분석법을 접목한 악취 원인물질 평가 방법. 한국냄새환경학회지, 1(1):31~32, 2002.
6. Bourgeois, W and Stuetz, RM : Use of a chemical sensor array for detecting pollutants in domestic wastewater. Water Research, 36:4505~4512, 2002.
7. Gostelow, P, Parsons, SA and Stuetz, RM : Odour measurements for sewage treatment work. Water Research, 35(3) : 579~697, 2001.
8. Boon, AG : Septicity in sewers: causes, consequences and containment. Water Science Technology, 31:237~253, 1995.
9. 김현국, 최유리, 이용민, 정의근, 권승미, 김광래, 이종현, 이상철, 어수미, 신정식, 김민영 : 탄천 물재생센터 주변의 악취발생 물질의 거동에 관한 연구. 서울특별시 보건환경연구원보, 41:329~336, 2005.
10. 신진호, 김광래, 오석률, 권승미, 김현국, 이상철, 어수미, 김주형 : 서울지역 물재생센터 부근의 악취특성 조사. 서울특별시 보건환경연구원보, 42:371~380, 2006.
11. 최유리, 오석률, 이제승, 고현욱, 권승미, 이상철, 어수미, 김주형 : 서남 물재생센터 주변의 악취발생 물질의 거동에 관한 연구. 서울특별시 보건환경연구원보, 43:337~344, 2007.
12. Kienney, KA, Loehr, RC and Corsi, RL :

- Vapor-phase bioreactor : avoiding problems through better design and operation. Environ. Prog., 18:222~230, 1999.
13. 박진도, 서정호, 이학성 : Biofilter에 의한 VOCs 및 악취물질의 제거특성에 관한 연구. 한국환경과학회지, 14(9):843~849, 2005.
  14. 정승호, 이은희, 정영도, 김윤신 : 미생물축매가 담지된 바이오필터를 이용한 하수처리장 악취제거. 한국냄새환경학회지, 7(2):60~67, 2008.
  15. Zilli, M, Palazzi, L, Sene, L, Converti, A and Borghi, MD : Toluene and styrene removal from air in biofilters. Process Biochemistry, 37:423~429, 2001.
  16. 환경부 : 악취공정시험기준. p.23~239, 2014.
  17. 김영두, 이준연, 김은숙, 최낙경, 신덕영, 천정완, 김홍제, 정종흡, 어수미 : 서울시내 주요 업종별 악취발생 특성과 악취기여도 평가. 서울특별시 보건환경연구원보, 50:177~186, 2014.
  18. 서울특별시 : 서울특별시 중량물재생센터 악취기술진단보고서. p.229, 2015.
  19. 장영기, 정봉진, 김정, 송기봉, 김호정, 유용희 : 축산시설의 축종별 악취물질 농도특성과 악취도 평가. 환경영향평가, 19(1):29~38, 2010.
  20. 정구희, 김선태, 박민수, 정재호 : 하수처리장에서의 악취 배출 정상 조사. 한국냄새환경학회지, 3(4):225~233, 2004.
  21. 김정웅, Kweku Sekyama, 이도원, 김현욱 : 하수 및 하수처리장에서 발생하는 악취에 대한 고찰. 한국냄새환경학회지, 5(3):180~192, 2006.
  22. 고병철, 박영호, 김동일, 이민규, 김상규 : 복합악취와 악취농도지수 분석을 통한 국내 하수처리시설 바이오필터의 악취제거 특성. 한국환경과학회지, 22(1):109~117, 2013.
  23. 박귀환, 오길영, 이지현, 정경훈, 정선용 : 3개 유형의 하수처리장에서 발생하는 악취물질의 비교. 한국냄새환경학회지, 4(4):196~206, 2005.