

## 물재생센터의 부지경계 및 시설별 악취발생 특성

대기화학팀

차영섭 · 김영두 · 이준연 · 김은숙 · 신덕영  
천정완 · 김교봉 · 전재식 · 엄석원 · 어수미

### The Emission Characteristics of Odor Compounds from Boundary Area and Facilities on The Sewage Treatment Plant

*Atmospheric Chemistry Team*

Yeong-seop Cha, Young-doo Kim, Jun-yeon Lee, Eun-sook Kim,  
Deok-young Shin, Chung-wan Chun, Gyeo-bung Kim,  
Jae-sik Jeon, Seok-won Eom and Soo-mi Eo

#### Abstract

We investigated complex odor and designated odor compounds(18 kinds) on the boundary area and main facilities of a sewage treatment plant which is known as a kind of causing odor complaint facility in Seoul, in order to find out characteristics of odor effluence from the plant. The odor concentrations which were obtained at all 3 sampling points on the boundary area were lower than regulatory emission standards. Butyraldehyde was the highest contribution rate, which was higher than 70% followed by Propionaldehyde, Acetaldehyde, Hydrogen sulfide. We found that aldehyde compounds such as Butyraldehyde et cetera occupied high contribution rate among human sensory odor compounds which were emitted from the sewage treatment plant. The complex odor concentrations of main facilities showed us that the result of sludge treatment facility was highest and the second was the data of septic tank sewage disposal facility and then that of dried sludge container facility was third highest data followed by the data of sewage treatment facility. All exhausted complex odor concentrations of the odor reduction equipment in the plant were lower than regulatory emission standard(500 times). The odor reduction rate of bioreactor is 92% that was assessed by complex odor analysis, that of UV deodorant was 90%, that of biofilter was 71% and that of activated carbon adsorption was 70%.

**Key words** : sewage treatment plant, odor, contribution rate, odor reduction, aldehyde

## 서론

악취방지법(2013.7.16.)에 따르면 “악취란 황화수소, 메르캡탄류, 아민류, 그 밖에 자극성이 있는 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새를 말한다.”고 정의되어 있다. 악취물질은 대단히 많은 종류의 물질들이 대기에 방출됨으로써 발생하는 환경오염으로 여러 측면에서 복잡한 특성을 지니고 있고, 악취 오염의 결과도 단일물질에 의한 것보다는 다양한 화합물들에 의해 복합적으로 나타난다고 볼 수 있다(1).

대도시인 서울에는 2000년대에 들어, 악취 민원이 상존하던 대규모 식품, 제약, 화학, 인쇄 공장 등의 대규모 산업시설의 지방 또는 해외이전으로 인하여 최근 수년간 관련 시설에 대한 악취 민원은 감소하였다. 이러한 시설의 감소에도 불구하고, 도시민의 생활과정에서 필연적으로 배출되는 쓰레기 및 하수의 처리를 위한 쓰레기 소각시설, 쓰레기 적환장, 재활용쓰레기 선별시설, 음식쓰레기 감량화 시설과 물재생시설(하수처리시설)은 도시민의 생활공간에 존재하면서, 시설 주변 주민들의 악취 민원을 유발하는 주요시설 들이다. 따라서 이들 시설에 대한 악취 발생 방지 및 감소를 위한 실효성있는 대책수립과 실행의 중요성이 점점증하고 있다. 도시민들의 생활환경에 대한 관심과 우려의 증가로 인하여 이러한 시설에 대한 악취 민원은 지속적으로 나타나고 있으며, 이 가운데에서도 물재생시설은 주요한 악취배출시설의 하나이다(2). 대부분의 물재생시설은 대기오염물질 중 가장 불쾌감을 유발하는 악취를 발생시키며, 이러한 물재생시설에서 발생하는 악취는 하수의 본질적 특성에서 기인하는 것으로 알려져 있다(3).

하수는 자연적으로 악취를 유발하는 액체로서, 하수내의 유기물이 분해되면서 악취를 유발하는 가스를 발산한다. 하수처리공정의 각 단계마다 악취 유발물질을 배출하고 이 물질들은 하수처리공정의 한 단계에서 다른 단계로 이전되면서 다양한 형태로 변화된다. 하수 자체는 유기물 입자와 용존물질, 황화합물, 질소화합물을 함유하고 있으며, 이들 물질은 하수를 처리하는 단계에서 직·간접적으로 악취를 발생시킨다(4). 하수는 혐기적 조

건이 되거나 한 단계에서 체류시간이 길어지면 악취의 강도는 증가한다(5). 물 재생센터에서 발생하는 악취를 감소시키기 위한 첫 단계는 악취배출량의 측정과 배출원을 파악하는 것이다(2). 현재 서울시내에는 4개의 물재생센터가 운영되고 있으며, 시설 관리자들에게 있어서 하수를 배출허용기준 이내로 처리하는 것 뿐만 아니라, 시설에서 발생하는 악취를 감소시키는 것이 큰 과제이다. 이에 따라 각 물 재생센터에서는 침사지, 침전지, 포기조 등에 덮개를 씌우고 악취가스를 포집하여 바이오 필터 등을 이용한 탈취를 하는 등 주요 공정별로 악취방지시설을 설치하여 운영하고 있으며, 이러한 생물학적 악취처리기술은 다른 처리기술에 비해 생물학적으로 분해가능성이 있는 오염물질을 함유한 가스를 보다 실용적, 저비용으로 제거할 수 있는 처리기술(6, 7)로 운전관리가 간단하며, 2차오염의 염려가 없다는 특징을 가지고 있다(8). 특히, 생물학적 처리기술 중에서 대표적으로 사용되고 있는 바이오필터는 담체 표면에 부착된 미생물의 활동에 의해 악취물질을 산화분해 시키는 것으로(9, 10) 농도는 낮으나 배출유량이 많은 악취물질 처리에 적합하다고 보고되고 있다(11~14).

이에 본 연구에서는 서울시내 주요 악취 민원발생 시설중의 하나인 물재생센터의 복합악취와 암모니아 등 18개 개별항목에 대해 부지경계 지점에서 항목별 농도를 조사 하고 악취방지시설의 유입부와 유출부에서 복합악취를 측정하였다. 측정결과를 토대로 물재생시설의 악취발생 현황과 악취방지시설의 효과를 평가하고, 향후 악취 발생을 더욱 감소시키기 위한 방안을 마련하는데 필요한 기초 자료를 제공하고자 한다.

## 시료채취 및 분석방법

### 1. 시료채취

본 연구는 물 재생시설의 부지경계와 주요 시설별 악취 발생 특성을 파악하기 위한 것으로 서울시내 소재 J 물 재생센터의 부지경계 중 주변으로 확산 시 악취 피해가 우려되는 상업지역(1지점)과 주택지역(2지점)이 인접한 두 지점과 자동차 전용

도로에 접하였으나, 악취발생이 가장 많을 것으로 예상되는 분뇨투입시설 근처 부지경계 한 지점(3지점) 등 세 개 지점에서 2013년 3월~12월에 걸쳐 4회에 걸쳐 시료를 채취하였다. 본 연구대상물 재생센터는 수처리 시설, 슬러지 처리시설, 분뇨처리시설, 기타 케익 야적장 등 시설별로 덮개 및 밀폐시설을 한 후 방출되는 가스는 악취방지시설을 거쳐서 대기 중으로 배출하고 있었다. 따라서, 악취방지시설이 가동되는 조건에서 물 재생시설로부터 외부로 배출되는 악취의 농도를 조사하였다. 또한, 주요 시설별 악취 배출 현황을 파악하기 위하여 하수처리 공정 등 4개 시설(하수 처리 공정, 슬러지 처리공정, 정화조 오수 투입공정, 건조슬러지 보관시설)로 구분하여 각 처리시설에 설치된 악취방지시설 별 배출구 13곳에서 악취 민원이 많이 발생하는 하절기에 시료를 채취하였으며, 동시에 각 공정에 설치된 악취방지시설의 효율을 평가하기 위하여 방지시설의 유입부에서도 시료를 채취하였다. 시료 채취는 주로 분뇨 투입 등이 진행되는 오전 시간대에 악취공정시험법에 따라 수행하였다.

## 2. 분석방법

물 재생센터에서의 악취발생 특성을 파악하기 위해 복합악취 및 주요 지정악취물질 중 암모니아, 황화합물류, 알데하이드류 등 17종을 대상으로 조사 분석하였다. 복합악취 및 황화합물의 시료채취는 시료채취 전 고순도 질소(99.999%)로 3회 이상 세척한 테들러 백을 이용 5 L/min로 시료를 간접 흡입하였다. 복합악취 분석은 3점식 공기 희석 관능법으로 하였다. 지정악취물질인 황화합물류는 Air sampler가 부착된 전자 냉각방식을 이용한 열탈착장치(AS/TD Unity, Markes)를 이용, 내부 Cold trap에서 시료를 -15°C로 일정시간(용량) 농축 후 수초내에 280°C 고온 탈착하여 GC/PFPD(GC-3800 Varian)로 주입시켜 분석하였다. 표준시료( $\mu\text{mol/mol}$  농도)는 인증표준가스(Rigas, Korea, 메틸머캅탄 9.7, 황화수소 9.9, 다이메틸설파이드 9.8, 다이메틸다이설파이드 9.9)와 테들러백(Tedlar bag : 10 L, SKC)을 사용하여 고순도 질소와 혼합 희석하여 사용하였다. 암

모니아의 경우 0.5% 봉산용액을 임편저에 각각 20 mL씩 채워 직렬로 연결한 후 10 L/min으로 5분간 50 L를 채취하여 흡광광도계(Shimadzu UV-1650PC, 640 nm)를 이용 인도페놀법을 적용하여 분석하였다. 표준시료는 황산암모늄을 이용하여 공정시험방법에 따라 준비하였다. 알데하이드류는 오존 스크리버를 연결한 DNPH 카트리지(LpDNPH S10, Supelco)를 사용 1.5 L/min으로 5분간 채취하여 acetonitrile 5 mL/min으로 용출시킨 후 HPLC(Waters2695, Waters)로 분석하였다. 표준시료는 알데하이드 표준용액(All aldehydes 0.1  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ , acetonitrile solution, Wako)을 단계별로 희석하여 사용하였다.

휘발성유기화합물인 스티렌, 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤, 메틸아이소부티르케톤, 뷰티르아세테이트의 경우 고체흡착관(Tenax TA, Supelco)에 0.2 L/min로 5분간 통과시켜 채취하였다. 그리고 흡착관을 열탈착장치(STD1000, Dani)로 전처리하고 GC/MS(QP2010, Shimadzu)로 분석하였다. 표준시료( $\mu\text{mol/mol}$  농도)는 인증표준가스(Rigas, Korea)로 스티렌 5.2, 톨루엔 5.1, o,m,p-자일렌 4.9, 메틸에틸케톤 10, 메틸아이소부티르케톤 9.8, 뷰티르 아세테이트 9.8로 준비하였다. 이들 표준가스는 희석시스템(APK610, KnR)을 사용하여 고체흡착관에 고순도 질소로 희석하여 사용하였다. 또한 트리메틸아민도 산성여과지를 여과지 홀더에 장착하여 10 L/min으로 5분간 50 L 채취한 다음 헤드스페이스(Turbomatrix 40, Perkin Elmer)로 전처리하고 GC/FID(GC 2010, Shimadzu)로 분석하였다. 표준시료는 1  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$  TMA표준용액(Wako)을 사용 희석하여 악취공정시험법(15)에 준하여 준비하였다. 위의 주요 지정 악취물질 분석에 따른 기기분석조건은 표 1과 같다.

## 결과 및 고찰

### 1. 부지경계에서의 악취발생 특성

부지경계 세 개 지점에서 2013년 3월~12월에 걸쳐 분기별 4회 측정된 복합악취 농도를 표 2에

나타내었다.

복합악취는 3~10배로 악취방지법에 규정된 배출허용기준인 15배를 초과하는 경우는 없었다. 3월과 6월의 시료채취 시에는 0.7 m/sec~0.9 m/sec 의 바람이 불었고 9월과 12월에는 무풍이었으나, 시기별로 복합악취의 희석배수는 뚜렷한

차이를 보이지 않았다.

측정결과를 지점별로 살펴보면 정화조 오수투입 시설 부근 부지경계 지점에서 전반적으로 다른 두 지점에 비해 높은 경향을 보였는데, 시료 채취 시점인 오전 시간대에 오수 운반차량의 투입작업이 주로 진행되었던 것과 연관된 것으로 판단된다.

**Table 1.** Summary of instrumental set-up and analytical conditions

Items	Instrument	Analytical conditions
Trimethylamine	GC/FID (GC2010, Shimadzu)	Column Elite5Amine(30 m, 0.53 mm, 3 μm) Oven 40°C (4 min)→15°C/min→150°C Detector 260°C
	HS Sampler (TurboMatrix40, Perkin Elmer)	Transfer line 130°C Oven 50°C Carrier flow 10.0 psi
Hydrocarbons	GC/MS (GCMS-QP2010, Shimadzu)	Column VB5(60 m, 0.25 mm, 1 μm) Oven 40°C (5 min) → 8°C/min → 200°C (8 min) Ion Mode : EI, 70eV Ion Temp : 180°C Ion Source Temp : 230°C
	TD (STD1000, Dani)	Low temp 10°C High temp 300°C Tube 280°C Valve 250°C
Sulfur	GC/PFPD (CP-3800 Varian)	Column CP-Sil 5CB(30 m, 0.32 mm, 3 μm) Oven 40°C (6 min) → 8°C/min → 150°C Detector 200°C
	AS/TD (Unity, Markes)	Trap U-T8CUS cold trap Trap low -15°C Trap high 250°C Trap hold 5 min
Aldehydes	HPLC (2695, Waters)	Detector UV/Vis 360 nm Column temp. 40°C Mobile phase(acetonitrile /H <sub>2</sub> O : 60/40) Flow rate 1.5 mL/min Analysis temp 15 min
Ammonia	UV-Spectrophotometer (UV-1650PC, Shimadzu)	Absorbance 640 nm

오수 투입시설은 악취 방지를 위해 오수 운반차량과 투입구를 관과 관으로 밀폐 연결하여 투입을 하고, 바이오 필터와 생물학적 반응조 등 악취 방지시설을 설치하였으나, 관의 연결과 분리 시에 투입구가 개방되는 것에서 기인하는 것으로 판단된다. 12월에 주택가와 인접한 2지점에서 높게 나타났는데, 이것은 부근에 있는 소화조에서 발생하는 악취를 처리하는 바이오 필터와 생물학적 반응조의 운전효율이 일시적으로 낮아진 것으로 보이는데, 바이오 필터와 같은 생물학적 악취 방지시설은 사용하는 담체와 미생물의 종류에 따라 달라지며, 온도, pH, 영양물질 농도, 수분 함량, 상대습도 등이 처리 효율에 영향을 미친다고 한다(9, 14, 17). 따라서, 물 재생센터에서 발생하는 악취를 감소시키기 위해서는 악취방지시설의 지속적인 확충과 함께 하수처리시설의 운전과 악취 방지시설의 운전 현황에 대한 지속적 모니터링을 통해 운전 조건을 최적으로 유지하는 것이 중요한 것으로 판단된다. 정화조 오수 투입시설 부근과 12월에 일회적으로 높은 농도들 보였던 주택가 부근 지점은 악취배출허용기준 이내의 농도를 보이고 있더라도 처리시설의 운전 상황이나, 날씨가 따뜻해 야외 활동이 많고, 차창을 개방한 채 운행 시에는 언제든지 악취 민원이 제기 될 수 있다고 판단된다.

지정악취성분 18종에 대한 결과는 악취방지법상 기타지역 배출허용기준치를 초과하는 항목은 없었다. 1 지점에서는 암모니아>뷰티르알데하이드>프로피온알데하이드 = 톨루엔 = 자일렌>n-발레

르알데하이드 순으로 나타났고, 2 지점에서는 암모니아>뷰티르알데하이드>톨루엔>아세트알데하이드>프로피온알데하이드 = 자일렌 = 뷰티르아세테이트 순으로 검출되었으며, 3 지점에서는 암모니아>뷰티르알데하이드>아세트알데하이드>황화수소 = 프로피온알데하이드>i-발레르알데하이드 순으로 검출되었다.

악취는 각 물질별로 후각 최소감지농도(Odor Threshold)가 달라 각 물질별 기기분석 값인 악취농도 만으로는 실제 후각으로 느끼는 취기의 강도를 평가할 수 없으므로, 기기분석을 통하여 측정된 지정악취물질 18종의 각 물질별 농도에 대하여 그 물질의 후각 최소감지농도(18)로 나눈 값을 합산한 악취농도지수(Odor Quotient)로 환산하고, 이를 토대로 각 악취물질별 악취기여도 %(측정한 악취의 악취농도지수 \*100/ 측정된 모든 악취 농도 지수의 합)를 산출하였다(19). 각 물질별 평균농도와 악취농도지수를 표 3에 나타내었다. 악취 농도 지수를 통해서 본 각 지점별 악취물질의 세기는 1지점에서 뷰티르알데하이드>프로피온알데하이드>암모니아>n-발레르알데하이드>자일렌>톨루엔 순으로 나타났고, 2 지점에서는 뷰티르알데하이드>아세트알데하이드>프로피온알데하이드>암모니아>뷰티르아세테이트>자일렌>톨루엔 순으로 검출되었으며, 3 지점에서는 뷰티르알데하이드>황화수소>아세트알데하이드>프로피온알데하이드 = i-발레르알데하이드>암모니아 순으로 검출되었다.

**Table 2.** Complex odor intensity on the boundary area of the sewage treatment plant

Point	Wind direction/wind velocity (m/sec)				Temperature(°C)				Complex odor (Dilution ratio : Times)			
	Mar	June	Sept	Dec	Mar	June	Sept	Dec	Mar	June	Sept	Dec
1 <sup>1)</sup>	SE/ 0.9	SE/ 0.8	-	-	11	29	22	8	3	3	3	3
2 <sup>2)</sup>	S/0.9	S/0.7	-	-	11	29	25	8	4	4	4	10
3 <sup>3)</sup>	NE/ 0.9	NE/ 0.7	-	-	11	28	20	8	10	7	10	7

<sup>1)</sup>1 : near business district, <sup>2)</sup>2 : near residential area, <sup>3)</sup>3 : near septic sewage disposal facility.

단순 농도만 비교했을 때는 암모니아의 농도가 가장 높게 나타났지만, 악취농도지수를 통해서 보면 뷰티르알데하이드, 황화수소, 아세트알데하이드 등이 높게 나타났다. 이는 최소감지농도의 차이 때문에 악취감소대책 수립 시 개별성분의 단순농도 보다는 악취지수를 고려해야 한다는 것을 의미한다.

악취농도지수 산출 결과를 토대로 지점별 각 악취물질의 악취기여도를 평가한 결과를 그림 1~3에 나타내었다.

악취물질 기여도 평가 결과, 세 지점 모두에서 뷰티르 알데하이드가 70% 이상 높은 기여도를 보였으며, 아세트 알데하이드와 프로피온 알데하이드, 황화수소 등의 기여도가 약간 높게 나타났으며, 기타 성분들은 기여도가 미미하거나 검출한계 미만이었다. 전 등(16)의 연구결과를 보면 하수처리과정에서 암모니아, 황화수소 등이 높게 나타나고, 메틸머캅탄, 아세트 알데하이드 등이 소량 나타난다고 하였으며, 高 等(18)의 연구에서는 바이오 필터와 같은 악취방지시설은 황화수소 등 황화합물 제거효율이 가장 높고 암모니아 등에 대한 제거능력은 조금 낮으며, 알데하이드 류 및 휘발성 유기물질에 대한 제거효율이 가장 낮은 결과를 보였다. 본 연구 대상 물 재생시설에는 다수의 바이오 필터를 비롯한 악취방지시설이 설치·가동중이어서 이들 방지시설을 통해 배출되는 가스에서 황화합물과 암모니아 등이 상대적으로 많이 제거되어 기여도가 낮고, 제거효율이 낮은 알데하이드 류의 잔류량이 상대적으로 많고 최소감지농도가 낮아 기여도가 높게 나타난 것은 앞선 연구들(16, 19)에서 규명한 사실과 같은 이유로 판단된다. 황화수소의 경우, 오수 정화조 투입시설 부근인 3지점에서만 검출되었는데, 이는 오수 투입 작업시 악취방지시설을 거치지 않고 투입구 부근에서 누출된 가스의 영향으로 판단된다. 따라서 물 재생시설의 악취관리 효율을 높이기 위해서는 생물학적 악취방지시설로는 제거에 어려움이 있는 알데하이드 류에 대한 감소 방안의 마련과 정화조 오수 투입시설과 같이 처리시설을 거치지 않고 배출되는 가스의 대기 중으로의 확산 가능성을 줄이는 것이 중요한 것으로 사료된다.

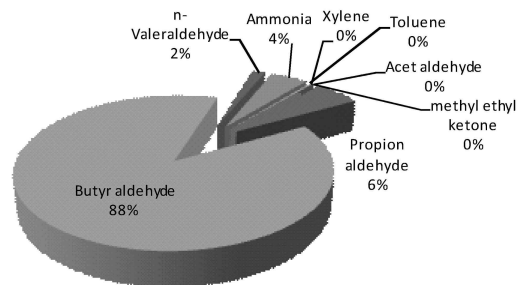


Fig. 1. Contribution ratio of major odorous compounds at point 1(near business district).

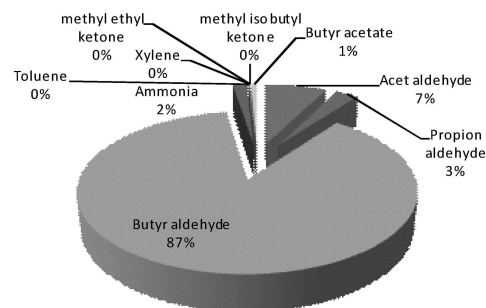


Fig. 2. Contribution ratio of major odorous compounds at point 2(near residential area).

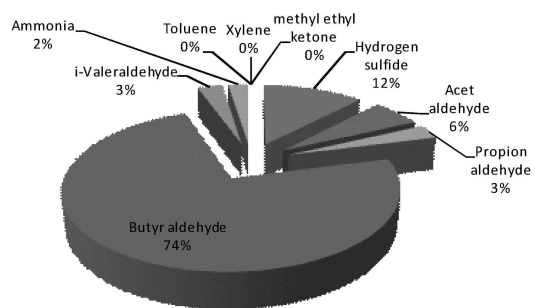


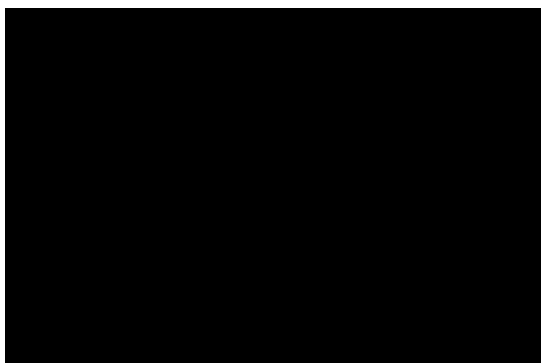
Fig. 3. Contribution ratio of major odorous compounds at point 3(near septic sewage disposal facility).

## 2. 시설별 악취발생 특성 및 악취방지시설 효율 평가

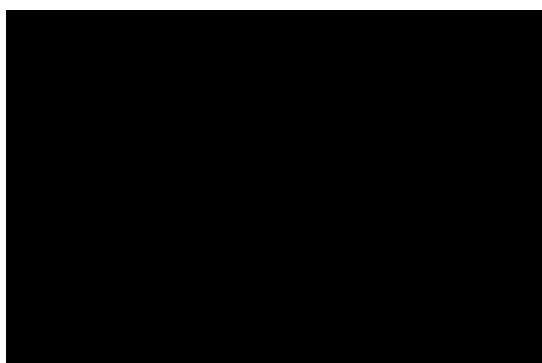
본 연구 대상 물재생센터는 하수 처리시설, 슬러지 처리시설, 정화조 오수 처리시설 및 건조 슬러지 보관시설 등 시설별로 덮개 및 밀폐시설을

설치하고 배출되는 가스를 포집하여 악취방지시설을 통해 처리한 후 대기 중으로 배출하고 있었다. 시설현황을 보면 하수 처리시설에는 바이오필터 4

대가 설치되어 있었고 슬러지 처리시설에는 바이오필터 3대, 활성탄 흡착탑 3대와 바이오 리액터가 1대 설치되어 있었으며, 정화조 오수 처리시설



**Fig. 4.** Complex odor concentrations of main facilities in the sewage treatment plant.



**Fig. 5.** Odor reduction efficiency of odor reduction equipment in the sewage treatment plant.

**Table 3.** Analysis results of odorous compounds on the boundary area of the sewage treatment plant

Odor Compounds	Odor Threshold(ppb)	Point 1 <sup>1)</sup>		Point 2 <sup>2)</sup>		Point 3 <sup>3)</sup>	
		Avg. (ppb)	Odor Quotient	Avg. (ppb)	Odor Quotient	Avg. (ppb)	Odor Quotient
Hydrogen sulfide	0.5	ND <sup>4)</sup>	0	ND	0	2.5	5.0
Acetaldehyde	2	ND	0	6.67	3.33	5.0	2.5
Propionaldehyde	2	2.5	1.250	2.5	1.25	2.5	1.25
Butyraldehyde	0.3	5.75	19.167	12	40	9.25	30.83
n-Valeraldehyde	0.7	0.25	0.357	ND	ND	ND	0
i-Valeraldehyde	0.2	ND	0	ND	ND	0.250	1.25
Ammonia	100	100	1	75	0.750	100	1.0
Toluene	900	2.5	0.003	7.5	0.008	ND	0
Xylene	41	2.5	0.061	2.5	0.061	ND	0
methyl isobutyl ketone	200	ND	0	ND	0	ND	0
Butyr acetate	8	ND	0	2.5	0.313	ND	0

<sup>1)</sup>Point 1 : near business district, <sup>2)</sup>Point 2 : near residential area,

<sup>3)</sup>Point 3 : near septic sewage disposal facility, <sup>4)</sup>ND : Not detected.

에는 바이오 리액터 1대, 그리고 탈수오니 처리시설에는 UV탈취기 1대가 설치되어 있었다. 주요 시설별 악취방지시설 현황과 악취 발생 특성을 파악하기 위해 각 시설별 악취방지시설의 배출구와 유입부에서 복합악취 농도를 측정된 결과를 표 4에 나타내었다. 각 시설에 대한 복합악취 측정결과, 악취물질이 대기로 방출되는 배출구에서 보면 조사대상 13개 시설 모두 악취배출허용기준인 500배 이내로 나타났으며, 300배 이상의 높은 농도를 보인 곳은 4곳으로 슬러지 처리시설에 설치된 방지시설 배출구로 나타났다. 유입구를 기준으로 악취농도를 보면, 6개 시설에서 악취배출허용기준인 500배를 초과하는 것으로 나타났으며, 슬러지 처리시설에서 4개(1,000~1,442배), 정화조오수 투입시설(3,000배) 및 건조슬러지 적치장

(2,080배)이었다. 물 재생센터의 주요 시설 및 방지시설 종류별 복합악취 농도와 악취제거 효율을 그림 4, 5에 나타 내었다. 최종 배출구에서 주요 시설별 복합악취 농도를 보면, 슬러지 처리시설>정화조오수 투입시설, 건조슬러지 보관시설>하수 처리시설 순으로 농도 분포를 보였다. 각 시설별 발생농도로 볼 수 있는 유입부 복합악취 농도를 보면, 정화조오수 투입시설>건조슬러지 보관시설 >슬러지 처리시설>하수처리시설 순으로 나타났다. 그러나, 배출량과 농도를 보았을 때, 슬러지 처리시설 부분에서 최종 배출농도가 높고 배출량이 많아서(20) 슬러지 처리시설에서 발생하는 악취물질에 대한 악취방지시설의 제거 효율을 높여 최종 배출농도를 감소시키는 것이 악취 민원 발생을 줄이는데 중요할 것으로 판단된다.

**Table 4.** The odor reduction equipment list according to each facility of the sewage treatment plant

Facility item	Equipment type	Capacity (m <sup>3</sup> /min)	Complex odor regulatory standard (times)	Complex odor dilution ratio(times)		Reduction efficiency(%)
				Influx	Efflux	
Sewage treatment	Biofilter	1,300	500	208	67	67.8
		450	500	448	144	67.9
		300	500	300	45	85.0
		230	500	300	67	77.7
Sludge treatment	Biofilter	1,400	500	144	45	68.8
		250	500	208	45	78.4
		195	500	1,000	300	70.0
	Activated carbon adsorption	900	500	1,442	300	79.2
		800	500	1,000	448	55.2
		350	500	1,000	300	70.0
	Bioreactor	1,200 m <sup>3</sup> /day	500	100	45	55.0
septic tank sewage disposal	Bioreactor	2,000 m <sup>3</sup> /day	500	3,000	208	93.1
Dried sludge container	UV deodorant	1,312	500	2,080	208	90.0



복합악취 농도만으로 악취방지시설의 효율을 평가하기에는 자료의 제약이 많고, 또한 이번 연구의 경우 종류별 측정대상 시설의 숫자도 편중되는 한계는 있으나, 악취관련 민원이 사람의 후각에 의해 이루어진다는 점에서 악취물질의 제거 효율을 평가할 때 복합악취의 측정은 중요한 평가방법(19)이다. 악취방지시설의 종류별 악취물질 제거 효율은 바이오리액터 > UV 탈취기 > 바이오필터 > 활성탄흡착시설의 순으로 나타났다.

## 결 론

물 재생시설에 대한 악취 측정 결과, 부지 경계 지점에서는 조사기간 동안 악취배출허용기준을 초과하는 경우는 없었다.

악취물질 기여도 평가 결과, 조사대상 지점 3곳 모두에서 뷰티르 알데하이드가 70%이상 높은 기여도를 나타냈으며, 프로피온 알데하이드, 아세트 알데하이드, 황화수소 등이 약간 높은 기여도를 보였다.

주요 시설 별 배출농도는 슬러지 처리시설 > 정화조오수 투입시설, 건조슬러지 보관시설 > 하수 처리시설 순으로 나타났다.

악취방지시설의 유입부에서 측정된 복합악취 농도를 보면 13개 중 6개 시설에서 배출허용기준(500배)을 초과(1,000~3,000)하였다. 그러나, 배출구에서 측정된 결과는 모두 배출허용기준 이내였다.

복합악취 측정을 통한 악취방지시설의 효율은 바이오리액터는 92%, UV 탈취기는 90%, 바이오필터가 71%, 그리고 활성탄 흡착시설은 70%를 나타냈다.

주요 시설 중 슬러지 처리시설에서의 악취발생 농도가 높고 배출량이 많아, 슬러지 처리시설에서 발생하는 악취물질에 대한 악취방지시설의 제거 효율을 높이는 것이 악취 민원 발생을 줄이는데 중요한 것으로 판단되며, 정화조오수 투입 작업 시 밀폐방법을 개선하는 것 또한 필요할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 김만구, 정영림, 박정진, 서영민, 윤인구 : 관능법과 기기분석법을 접목한 악취 원인물질 평가 방법. 한국냄새환경학회지, 1(1):31~32, 2002.
2. Guleda, OE, Ibrahim, D and Seref, NE : Determination of the relationship between sewage odour and BOD by neural networks. Environmental Modeling & Software, 20:843~850, 2005.
3. Bourgeois, W and Stuetz, RM : Use of a chemical sensor array for detecting pollutants in domestic wastewater. Water Research, 36:4505~4512, 2002.
4. Gostelow, P, Parsons, SA and Stuetz, RM : Odour measurements for sewage treatment works. Water Research, 35(3) : 579~597, 2001.
5. Boon, AG : Septicity in sewers: causes, consequences and containment. Water Science Technology, 31:237~253, 1995.
6. Kienney, KA, Loehr, RC and Corsi, RL : Vapor-phase bioreactors : avoiding problems through better design and operation. Environ. Prog., 18:222~230, 1999.
7. Xi, J, Hu, HY and Qian, Y : Effect of operating conditions on long-term performance of a biofilter treating gaseous toluene: Biomass accumulation and stable-run time estimation. Biochem. Eng. J., 31(2):165~172, 2006.
8. 박진도, 서정호, 이학성 : Biofilter에 의한 VOCs 및 악취물질의 제거특성에 관한 연구. 한국환경과학회지, 14(9):843~849, 2005.
9. Leson, G Winer and AM : Biofiltration: An innovative air pollution control technology for VOC emissions. J. Air Waste Manage. Assoc., 41(8):1045~1054, 1991.

10. Swanson, WJ and Raymond, CL : Biofiltration: Fundamentals, design and operations principles. J. Environ. Eng., 54:538~546, 1997.
11. Auria, R, Aycaguer, AC and Deviny, JS : Influence of water content on degradation rates for ethanol in biofiltration, J. Air Waste Manage. Assoc., 48(1):65~70, 1998.
12. Burgess, JA, Parsons, SA and Stuetz, RM : Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology : a review. Biotechnol. Advances, 19:35~63, 2001.
13. Smet, E, Lens, P and Langenhove, H : Treatment of waste gases contaminated with odorous sulfur compounds, Critical Rev. Environ. Sci. Technol., 28:89~117, 1998.
14. 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.
15. 환경부 : 악취공정정시험방법, 2007.
16. 전의찬, 사재환, 김선태, 홍지형, 김기현 : 생활악취 배출원의 악취배출 특성 연구 : 하수처리장을 중심으로. 한국대기환경학회지, 22:337~351, 2006.
17. Hodge, DS and Deviny, JS : Modeling removal of air contaminants by biofiltration. J. Environ. Eng., 12(1):21~32, 1994.
18. 환경부 : 악취발생원 관리 개선에 관한 연구. 181, 2001.
19. 고병철, 박영호, 김동일, 이민규, 감상규 : 복합악취와 악취농도지수 분석을 통한 국내 하수처리시설 바이오필터의 악취제거 특성. 한국환경과학회지, 22(1):109~117, 2013.
20. 고병철, 이종국, 이운수, 이민규, 감상규 : 복합악취 농도와 황화수소 농도를 이용한 국내 하수처리시설의 악취발생 특성에 대한 연구. 한국환경과학회지, 21(11):1379~1388, 2012.