

수질복원센터의 악취 특성 및 개선방안 연구

이준영* · 정승호†

Study on the Characteristics of Odor and Improvement Measures of the Sewage Treatment Plant

Jhun young Lee*, Seungho Jung†

Key Words : compound odor(복합악취), designated odor concentration(지정악취농도), odor intensity(악취강도), odor contribution(악취 기여도), neutralization reaction(중화반응)

ABSTRACT

An odor prevention facility was installed and operated in a sewage treatment plant in Sejong City to reduce the odors generated during sewage and food waste treatment. High concentrations of odor were generated in the sludge treatment and solidification facilities in the sewage treatment plant. There was a limit to the deodorization treatment of odor prevention facilities.

In the sewage treatment plant, 22 kinds of compound odors and designated odorous substances were measured. Designated odor substance concentrations were measured by liquid and gas chromatography. Trimethylamine, hydrogen sulfide, aldehyde and the like were measured and analyzed. Odor intake and outlet odor were measured and analyzed. The problem was confirmed by a high concentration of odor in the sludge treatment facility and a duct installation and airtight structure, which are odor collection facilities, were improved in the treatment process. After analyzing the results, the existing biofilter in the odor prevention facility was removed since it didn't have any deodorizing effect. The demister, chemical cleaning facility, and activated carbon adsorption process had deodorizing effects. It was found that the chemical cleaning facility was suitable for neutralizing and oxidizing 98% of complex odor and 99% of designated odor after improvement.

1. 서 론

경제발전으로 도시가 팽창되고 국민소득향상으로 삶의 질도 향상되고 있지만, 생활환경 주변에 다양한 환경시설, 하수처리시설, 폐기물처리시설의 악취로 인한 민원이 발생하고 있다.⁽¹⁾ 일상생활에 필요한 의식주를 해결하기 위하여 식품, 채소 등 생필품의 구매와 사용 후에 남은 각종 하수와 폐기물의 배출 또한 매일같이 반복되고 있다. 즉 대량의 하수와 폐기물 배출로 인하여 환경오염과 시나브로 악취 발생으로 인한 생활 불편이 발생하고 있다. 이러한 악취를 관리하는데 중요한 것은 악취의 특성을 고려하여 발생원을 효과적으로 관리해 나가는 것이다.⁽²⁾ 악취 발생원인 음식물쓰레기와 폐기물은 배출 및 수거하는 기술이 중요하다.⁽³⁾ 또한 폐기

물을 이송 배관을 통해 자동으로 수송하는 것은 초미세먼지 제거효과와 함께 좋은 일자리를 창출할 수 있는 4차 산업 기술이다.⁽⁴⁾

악취는 아파트의 오수펌프의 방류수 와류, 중계펌프의 방류수 와류, 연결 하수관의 낙차에 의해 황화수소와 황화수소 이온이 용출되면서 발생한다. 상가 밀집 지역의 오수관거에 오수가 정체되어 퇴적물이 쌓여 혐기성이 되어 황산이온이 발생하며 악취가 된다.⁽⁵⁾ 또한 음식점에서 하수구로 무단 투기한 음식물 찌꺼기 잔반, 식자재 쓰레기의 부패에 의해 악취가 발생하고 있다.⁽⁶⁾

오수관 경사가 낮은 단지에서는 오수가 관로에 오래 머물게 되면 퇴적물, 혐잡물 등에 의한 유기물이 혐기성 미생물에 의해 분해되어 도로의 빗물받이, 맨홀 등에서 악취가 배

* 아주대학교 환경공학과 (Department of Environmental Engineering, Ajou University)

† 교신저자, E-mail : processsafety@ajou.ac.kr

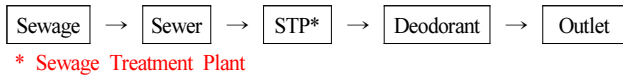


Fig. 1 Flow chart of domestic sewage treatment facility

출한다.⁽⁷⁾ 오수관로의 주요 악취물질은 황화수소, 메틸메르캅탄 등의 황화합물류가 주로 발생하고 있는 것으로 알려져 있다.⁽⁸⁾ 환경기초시설 중 폐수종말처리장, 침출수 종말처리장에서도 황화합물류가 많이 발생한다.⁽⁹⁾

이에 본 연구에서는 수질복원센터를 대상으로 처리공정별 악취 발생 원인분석 및 악취실태를 조사하고, 분석하여 악취물질의 배출 특성을 고찰하고 개선하는데 목적이 있다. Fig. 1에 생활하수의 처리시설 흐름을 나타내었다.

수질복원센터에서 발생하는 악취물질은 상시 고농도로 배출되어 주변 지역에 나쁜 영향을 미치고 있으며 주민들의 악취 민원의 원인이 되고 있다. 따라서 수질복원센터에서 발생하는 오염물질의 악취 특성을 파악하고, 공정별 악취 발생원과 방지시설을 효율적으로 개선 관리하는 것이 중요하다. 행복 도시에 직·간접적으로 악취 영향을 미칠 수 있고 민원이 제기되는 수질복원센터를 대상으로 연구범위를 설정하였으며, 처리시설 공정별 악취 발생원 분석 및 배출 특성, 악취방지시설의 특성 및 개선방안을 제시코자 아래와 같은 방법으로 연구를 진행하였다.

- 1) 문헌 고찰을 통하여 악취물질의 특성, 처리시설 별 악취 발생원, 악취물질 처리기술 및 연구 동향, 그리고 악취 민원 현황을 조사하였다.
- 2) 수질복원센터의 악취관리에 필요한 발생원, 발생원의 기초자료를 위하여 처리시설의 유입시설, 전처리시설, 생물 반응시설, 슬러지 처리시설, 음식물처리시설, 고화시설에서 발생하는 악취를 측정하고 배출 특성을 분석하였다.
- 3) 악취방지시설의 유입구 및 배출구에서 악취를 측정하여 처리효율을 파악하고, 악취 배출 특성을 분석하여 악취방지시설에 대한 문제점을 도출하였다.
- 4) 수질복원센터에서 발생한 악취를 파일럿 실험과 실증 실험으로 악취방지시설 개선방안을 제시하였다.

2. 문헌연구

악취는 악취방지법에서 암모니아, 트라이메틸아민, 황화수소, 메틸메르캅탄, 알데하이드류, 휘발성유기화합물, 지방산류 등 사람의 후각에 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 정의하고 있다. 악취를 유발하는 시설, 기계, 기구의 악취배출시설에서 악취의 원인이 되는 지정악취 22종류와 두 가지 이상의 악취물질이 사람의 후각을 자극는 복합악취가 있다.

최소감지농도와 악취방지법의 기타지역 배출허용기준 농

도와의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 트라이메틸아민이 156 으로 가장 높았으며 암모니아가 0.7로 가장 낮았다. 트라이메틸아민과 아세트알데하이드의 관능적 취기가 한국사람이 일본인에 비해 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.⁽¹⁰⁾ 상관관계를 분석한 결과 정확도는 $R^2 = 0.1017$ 로 낮았다. 일본은 $R^2 = 0.95$ 이상으로 국내는 연구가 지속되어야 한다. 민감한 최소감지농도와 배출허용기준 농도와 악취관리에 많은 차이가 발생하였다.

악취강도 산정은 지정악취 물질 중 악취물질의 최소감지농도를 이용하여 기여도를 분석하는 방법이다. 악취강도는 이론적 희석배수라고도 하며 지정악취 농도를 각각의 최소감지농도로 나눈 값이다.⁽¹¹⁾

악취강도는 기기분석을 통해 측정된 악취물질의 농도를 식 (1)과 같이 사람이 감지할 수 있는 최소감지농도로 나누어 산정하였다. 감각적인 공해물질은 사람의 주관적 기준에 따라 차이가 발생할 수 있다. 악취물질 강도 지수와 악취기여도는 다음 식으로 나타내었다.

$$\text{악취강도} : \text{OI} = \text{OC} / \text{T} \quad (1)$$

$$\text{악취기여도} : \text{OC}_o = \text{OI} / \text{SOI} \times 100 \quad (2)$$

여기서 OI(Odor Index) : 악취강도, OC(Odor Concentration) : 악취물질 측정농도, T(Threshold) : 최소감지농도, OC_o(Odor Contribution) : 악취물질 기여도(%), SOI(Sum of Odor Index) : 22종의 지정악취 농도의 합이다.

3. 실험방법

수질복원센터의 주요 처리공정별 악취 발생원에서 악취가 배출되는 부분에서 복합악취 및 지정악취물질 시료를 채취한다.⁽¹²⁾

수질복원센터의 시설규모는 1일 11만 톤중 1단계 A2O공법 5 계열, 각 1만 톤으로 유입시설, 전처리시설, 생물반응시설, 슬러지처리시설, 소화조, 바이오필터에 대하여 각각 공정별로 악취물질 측정 지점을 선정한다. 악취방지법에서 정하고 있는 공기희석관능법에 의한 주요공정별로 복합악취와 지정악취물질 22개 항목, 총 23개 항목을 대상으로 악취공정시험기준으로 악취물질을 현장에서 측정·분석한다.⁽¹³⁾ 암모니아, 트라이메틸아민 및 지방산류는 용액흡수방법, 복합악취와 황화합물류는 간접흡인상자방법, 알데하이드류는 2,4-DNPH 카트리지(dinitrophenylhydrazine cartridge), 휘발성유기화합물 및 알코올류는 고체흡착방법을 이용하여 채취한다.⁽¹⁴⁾

복합악취는 공기희석관능법에 따라 지점별로 악취 샘플을 채취 및 희석하여 5인이 측정하며, 인간의 후각인 코로 직접 악취를 흡입하여 최소값과 최대값을 제외한 나머지 3인의 값

을 기하 평균하여 악취실험에 활용한다.⁽¹⁵⁾ 본 실험에서는 공기희석관능법의 복합악취 희석배수 산정을 위해 펌프 내장형의 진공흡인상자(Odor design 사, Korea)와 폴리에스터 알루미늄 백(5 L, 10 L, Top trading 사, Korea)으로 현장에서 악취 시료를 채취하였다. 복합악취 측정에 사용한 폴리에스터 알루미늄 백은 측정 전 고순도 질소(99.9%)로 3회 이상 세척하였으며, 냄새 유무, 누기 여부를 확인 후 사용하였다. 이처럼 냄새의 유무와 누기 여부가 확인된 폴리에스터 알루미늄 백은 현장시료 1회 이상 채우고, 배기 후 1 L/min으로 5분간 시료를 채취하였다. 시료채취가 완료된 폴리에스터 알루미늄 백은 상온(15~25℃)에서 직사광선을 피하여 보관 후 운반하였으며, 희석배수의 판정은 악취 시료채취 후 48시간 이내에 수행하였다. 시험장소는 환기장치가 설치된 통풍과 배기가 원활한 실험실에서 실시하였다. 공기희석관능 실험실에서는 관능시험이외의 냄새의 유입과 발생하는 일이 없도록 하였으며, 희석배수가 낮은 것부터 높은 순으로 시험을 하였다.

공기희석배율은 무취공기 제조 장치와 활성탄이 채워진 육방 분배기를 통해 제조하였다. 무취 공기는 진공펌프에 의해 공기가 먼지 필터, 증류수 병, 공병, 실리카겔 병, 활성탄 병을 순차적으로 이동하면서 제조된다. 제조된 무취 공기는 무취 주머니에 담고 악취 시료를 주입하여 단계별로 희석하여 평가하였다. 그러나 현장에서 판정 요원이 느끼는 악취강도는 상당한 편차를 보여주고 있어 이의 개선이 필요하였다.⁽¹⁶⁾ 감각 측정은 주관적으로 결과 해석에 주의가 필요하다.⁽¹⁷⁾

악취배출시설 시료채취 지점은 악취방지법상의 기타지역 배출허용기준 준수 여부 및 처리효율의 확인을 위하여, 수질복원센터의 각각 공중에서 발생하는 지점을 선정하였다. 악취의 측정항목은 지정악취 물질로 하였다.⁽¹⁸⁾ 수질복원센터는 유입멘홀, 침사지, 1차 침전지, 혐기조, 폭기조, 2차 침전지, 슬러지처리시설, 소화조, 탈수기, 반류수 저류조, 악취방지시설인 바이오필터의 유입부와 배출구를 대상으로 시료채취가 가능한 지점을 선정하였다.

악취 발생원의 시료 채취는 탈취 배관이 연결되어 있는 시설을 기본으로 간접흡인 채취백, 용액흡수방법, 오존 스크리버 DNPH 카트리지, Tenax 고체흡착관을 이용하였다. 채취된 시료 분석은 암모니아는 흡광광도계(UV/visible spectrophotometer), 산성, 중성, 알카리 악취는 기체 크로마토그래피(gas chromatography)로 분석하였으며, 비휘발

성 성분이나 열적으로 불안정한 물질인 알데하이드는 고성능 액체 크로마토그래피(liquid chromatography)를 이용하여 분석하였다.

파일럿과 악취방지시설의 실험은 수질복원센터의 악취를 이용하여 탈취시설의 유입부분과 배출구에서 시료를 채취하고 복합악취와 지정악취물질을 측정하고 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 수질복원센터의 복합악취와 지정악취농도 특성

하수처리 공정, 슬러지처리시설, 음식물처리시설 및 고화처리시설의 주요공정에서 발생하는 복합악취에 대해 측정하였다. 각 공정에서 복합악취는 최저 100배수에서 최대 14,422배수이며, 평균 884배수로 측정되었다. 슬러지처리시설, 음식물처리시설, 소화조 시설에서 복합악취가 높게 발생하고 있으며 생물반응시설에서 악취가 낮게 발생하고 있었다. 생물반응시설은 하수처리시설의 핵심으로 하수처리가 잘되고 처리효율이 높아 수중의 악취물질이 낮게 발생하고 있는 것으로 추정되었다. Table 1에 수질복원센터의 주요공정에서 복합악취 희석배수 측정결과를 나타내었다.

수질복원센터의 복합악취농도는 어떤 물질이 구체적으로 영향을 미치는지 영향을 주는지 한계점을 보여주고 있어 악취물질을 상세히 파악하고자 악취 발생지점에서 지정악취물질 농도를 측정하였다. 공중별 악취는 고화시설에서 암모니아가 33,861 ppb로 가장 높게 측정되었으며, 슬러지 처리시설에서 황화수소가 1,726 ppb, 전처리시설에서 아세트알데하이드는 4,037 ppb, 고화시설에서 톨루엔이 353 ppb, 슬러지 처리시설에서 지방산인 뷰티르산이 19 ppb로 측정되었다. 악취강도와 악취기여도는 황화합물류와 알데하이드류가 높게 발생하고 있었으며 황화합물류가 67%이며 메틸메르캅탄 36%, 황화수소 30%가 악취에 기여하고 있었다. 수질복원센터에 악취기여도가 높은 황화합물류는 하수의 유기물 분해로 황산염에 존재하는 황(S) 성분이 가장 많은 악취에 기여하고 있다.⁽¹⁹⁾ 황의 용해도는 2.9%로 물에 약간 녹는 정도이며 썩은 달걀 냄새와 함께 호흡기, 피부, 눈에 자극적인 물질로서 장기간 노출 시 신경 손상이 우려된다. 또한 발화 가능성과 주변의 금속류에 부식 영향을 주는 물질로 알려져 있다. 수질복원센터 주요공정의 지정악취농도를 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Average Complex Odor Concentration of Major Works of Sewage Treatment Plant (STP)

Division	Inlet	Pretreatment	Bioreaction	Sludge	Food waste	Digrster	Solidification
Maximum	300	448	1,000	14,422	2,080	6,694	300
Minimum	-	144	100	300	208	100	208
Average	300	299	352	2,452	697	2,298	239

Table 2 Designated odor concentration at the odor source of STP

(Unit : ppb)

Designated odor substances	Inlet	Pretreatment	Bioreaction	Sludge	Food waste	Digrster	Solidification	Average
ammonia	13	19	4	69	10	-	33,861	3,105
Trimethylamine	1	-	1	3	3	-	3	2
Hydrogen sulfide	95	45	201	1,726	11	20	-	565
Methyl mercaptan	19	15	31	334	29	43	-	117
Dimethyl sulfide	12	8	72	41	2	3	3	24
Dimethyl disulfide	-	-	1	17	10	25	1	9
Acetaldehyde	1,806	4,037	36	900	267	3,451	28	1,477
Propionaldehyde	75	161	8	23	44	97	4	57
Butyl aldehyde	74	118	15	42	24	45	14	50
n-valeraldehyde	10	15	3	4	-	7	-	5
i-valeraldehyde	39	75	-	15	2	23	-	22
Styrene	-	-	-	-	4	-	-	1
toluene	10	42	25	77	22	3	353	70
Xylene	-	22	-	2	8	-	7	6
Methyl ethyl ketone	-	20	-	12	28	3	13	13
Methyl isobutylketone	-	2	-	-	-	-	-	0
Butyl Acetate	-	3	-	-	2	-	-	1
i-butyl alcohol	-	-	-	-	6	-	-	1
Propionic acid	-	-	-	-	-	-	-	-
n-butyl acid	-	-	-	19	-	-	-	6
n-valeric acid	-	14	-	-	-	-	-	2
i-valeric acid	-	-	-	-	-	-	-	-

악취판단은 악취방지법에서 복합악취를 원칙으로 하고 있으며 보조적으로 지정악취 물질을 측정하도록 되어 있다.⁽²⁰⁾ 복합악취와 지정악취물질과 상관관계는 수질복원센터의 유입맨홀, 전처리시설, 생물반응조시설, 슬러지처리시설 등 처리시설의 공중과 복합악취와 지정악취물질 33개 공중을 비교하였으며, 하수 흐름에 따른 공중별로 로그함수 $y = 505.39 \ln(x) - 2084.9$ 이며, 계수는 $R^2 = 0.1306$ 으로 악취가 발생하고 있어 황화합물류의 영향으로 높은 상관성을 보여야 하는데 상관관계가 낮았다. 그러나 이론적희석배수와 복합악취는 $R^2 = 0.5096$ 으로 약한 상관성이 있는 결과를 보여주고 있다. 상관관계가 낮은 것은 복합악취와 지정악취물질의 정확한 측정과 실험에 한계가 있는 것으로 사료 되었다. 개선방안으로 지정악취는 크로마토그래피인 장비로 측정하고 있어 오차가 적을 것으로 판단되나 사람의 후각으로 직접 측정하는 복합악취 판정에 오차가 많이 발생할 수 있으므로 편차를 감소시키기 위하여 전문적인 공인 판정사 제도가 필요할 것으로 사료 되었다.

4.2 악취방지시설의 복합악취와 지정악취농도 특성

탈취처리시설의 복합악취 및 지정악취물질의 시료를 채취, 분석하였다 하수처리시설과 음식물류폐기물 처리시설에

서 발생하는 악취는 지하 1층에 설치된 바이오필터 3개소에서 탈취처리하고 있었다. 바이오필터의 유입덕트에 평균 복합악취는 656배수이며 배출구의 평균 복합악취는 767배수로 탈취처리가 안 되고 생각한 바와 달리 유입덕트보다 배출구에서 17% 증가하여 배출되고 있었다. 바이오필터는 악취물질을 미생물을 이용하여 처리하는 탈취공정으로 음식물쓰레기 자원화시설, 쓰레기 자동크린넷 집하장, 하수처리장 등 다양한 악취처리에 사용되고 있었으나 본 수질복원센터에서는 미생물 활성화, 유지관리 경험 등 부족으로 처리가 되지 않은 것으로 추정되었다. 바이오필터에서 복합악취의 유입 및 배출농도를 Fig. 2에 나타내었다.

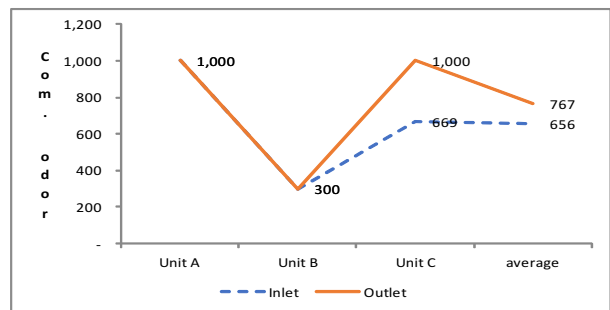


Fig. 2 Inflow and discharge concentration of complex odor from biofilter

Table 3 Designated concentration of odor substances in the inlet and outlet of the biofilter

(Unit : ppb)

Designated odor substances	Inlet				Outlet				Efficiency (%)
	A	B	C	Contribution (%)	A	B	C	Contribution (%)	
ammonia	-	-	5	0	-	83	-	0	-1,560
Trimethylamine	1	1	-	1	2	-	-	1	-50
Hydrogen sulfide	76	642	1,421	60	72	427	873	49	36
Methyl mercaptan	90	64	-	25	90	50	-	29	9
Dimethyl sulfide	15	36	-	0	15	25	-	0	22
Dimethyl disulfide	8	-	-	0	8	-	-	0	0
Acetaldehyde	93	46	12	1	74	51	8	1	12
Propionaldehyde	10	-	6	0	15	-	-	0	6
Butyl aldehyde	31	-	1	1	56	7	-	2	-97
n-valeraldehyde	7	-	-	0	-	-	-	-	100
i-valeraldehyde	6	-	-	1	-	-	-	-	100
Styrene	-	-	-	-	-	-	-	-	-
toluene	10	30	60	0	10	30	60	0	0
Xylene	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Methyl ethyl ketone	10	-	-	0	10	10	-	0	-100
Methyl isobutylketone	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Butyl Acetate	-	-	-	-	-	-	-	-	-
i-butyl alcohol	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Propionic acid	-	-	-	-	-	-	-	-	-
n-butyl acid	-	-	179	11	-	-	227	17	-27
n-valeric acid	-	-	-	-	-	-	-	-	-
i-valeric acid	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sum	-	-	-	100	-	-	-	100	21

수질복원센터 바이오필터 배출구에서 지정악취 물질을 측정하였다. 바이오필터 배출구의 악취 강도는 총 2,287로 황화합물류 78%, 지방산류 17%의 악취기여도를 보이고 있었다. 황화수소는 873 ppb로 가장 높게 발산되고 있으며, 악취기여도는 황화수소 49%, 메틸메르캡탄 29%가 발생하였다. 탈취효율은 유입부분 전체 악취강도의 21% 정도로 탈취효율이 낮았다. 개별적으로 황화합물류는 28%, 알데하이드류 11%의 낮은 탈취효과가 발생되었으나, 질소화합물, 휘발성 유기화합물류, 지방산류는 탈취가 안 되고 악취물질 농도가 증가하고 있었다. 유입되는 황화합물류의 고농도와 유지관리 상태에 따라 악취물질의 처리효율에는 차이가 있었으나, 악취방지시설의 바이오필터 단독으로 고농도 악취물질을 처리하기에는 처리효율이 낮아 한계가 있을 것으로 판단되었다. 다만 연결형 악취방지시설을 설치하여 운영할 경우 악취가스 처리효율이 개선될 것으로 예상된다. 바이오필터는 하수처리장, 퇴비화 시설, 음식물처리시설에서 악취 및 휘발성 유기화합물 물질을 안정적, 경제적으로 처리 가능하다고 하였으나,⁽²¹⁾ 본 수질복원센터의 바이오필터는 배출구에서 암모니아, 트라이메틸아민, 뷰틸알데하이드, 메틸에틸케톤, 뷰

티르산이 증가하고 있는 것을 보면 탈취가 이루어지지 않고 있었다. 바이오필터의 정상운전에 요구되는 미생물 활성을 위하여 온도조건, 영양분, 습도조절 등 세심한 유지관리와 관리자에게 전문적인 운전 교육과 매뉴얼이 필요한 것으로 사료되었다. 바이오필터에서 유입덕트 및 배출구의 지정악취 물질농도를 Table 3에 나타내었다.

4.3 수질복원센터 악취물질의 파일럿 실험

수질복원센터의 파일럿 실험은 포집된 악취물질에는 수분 및 비산먼지 등 이물질이 다량 함유되어 있어 바이오필터에 악취방지시설의 세정수 오염, 세정수 분사시설 막힘, 담체 폐색 등을 일으켜 처리효율에 나쁜 영향을 미치고 있어 데미스터를 설치하였다. 황화합물류를 실험한 결과 메틸메르캡탄, 다이메틸설파이드, 다이메틸다이설파이드의 산성계, 중성계 악취물질에는 염기성인 수산화나트륨, 차아염소산나트륨이 적절한 것으로 알 수 있었으며, 메틸메르캡탄과 수산화나트륨의 중화실험 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

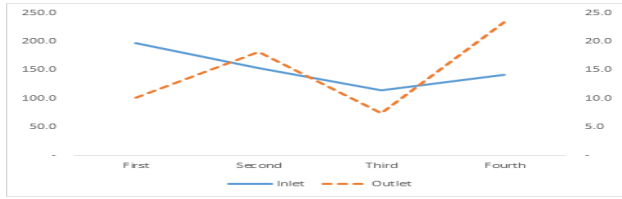
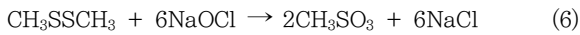
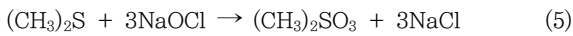
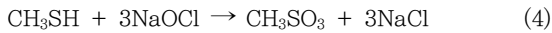


Fig. 3 Neutralization test results of methyl mercaptan and sodium hydroxide



4.4 악취처리시설의 공정 개선

수질복원센터의 음식물쓰레기 처리시설에서 고농도 악취가 발산되고 있어 유입 부분에서 악취 발생농도가 높아 탈취공정을 개선하였다. 탈취시설 A, B, C 중 1단계 약액세정탑에 차아염소산나트륨과 수산화나트륨을 분사하였으며, 2단계 수산화나트륨과 황성탄흡착으로 처리하였으나 저농도에는 처리 효과가 있으나 고농도에는 한계가 있었다. 음식물처리시설의 유입악취가 고농도로 반입되고 있어 C 탈취시설의 1단계 약액 세정에 차아염소산나트륨 I + 차아염소산나트륨 II + 수산화나트륨 + 황성탄흡착 실험을 하였다. 본 탈취공정을 개선하여 고농도 악취측정은 약액세정시설의 유입 부분과 배출구에서 7차를 측정하였으며 유입덕트 평균 6,635배수로 높았으며 배출구 평균 157배수로 처리효율은 평균 98%로 높은 처리결과를 얻을 수 있었다. 약액세정과 황성탄 흡

Table 4 Deodorization treatment facility complex odor of food waste treatment facility

(Unit : times)

Division	First	Second	3rd	4th	5th	6th	7th	Average
Inlet	10,000	4,481	10,000	10,000	3,000	4,481	4,481	6,635
Outlet	300	144	208	144	100	100	100	157
Efficiency (%)	97	97	98	99	97	98	98	98

착시설은 수질복원센터 지하 1층에 설치하여 실험환경 기온은 20±5℃와 습도는 50±20% R.H. 이었으며, 악취 기체는 세정조의 수온이 5℃ 증가 시 처리효율이 7.3% 감소하였다. 악취방지법의 배출허용기준 300배수보다 52% 낮게 탈취처리되는 효과가 있었다. 음식물처리시설의 탈취처리시설 복합악취를 Table 4에 나타내었다.

음식물처리시설에서 유입악취가 고농도로 반입되고 있으며 수처리 약액세정공정이 탈취기준을 초과하는 한계가 있다. 탈취시설 C 공정을 차아염소산나트륨 I + 차아염소산나트륨 II + 수산화나트륨 + 황성탄흡착으로 변경하였다. 전체 악취강도는 12,298이며, 황화수소 악취강도 9,659으로 악취기여도 79% 나타났다. 처리효율은 암모니아와 황화합물류는 100% 처리되고 있었으나 알데하이드류는 25% 낮고, 전체 99% 처리 결과를 얻을 수 있었다. 특히 알데하이드류는 기타 금속제품, 자동차 수리, 인쇄 업종에서 발생되어 있어 고온연소로 제거가 가능하나 수중에서 농도가 낮게 발생되고 있어 고온연소는 경제성이 없을 것으로 보여진다. 중성물질은 차아염소산나트륨으로 산화처리에 한계가 있어 잔류 약품과 악취는 황성탄에서 흡착처리 될 것으로 사료되었다. 음식물쓰레기 고농도 악취의 약액세정 탈취시설 C에서 복합악취 처리효율은 98%로 처리되고 있었다. 탈취시설의 유입부분에서 지정악취 황화수소가 3,960 ppb로 높게 측정되었다. 메틸메르캅탄과 함께 황화합물류의 악취기여도가 99%로 주요 악취 발생원이었다. pH는

Table 5 Designated odor treatment efficiency at the inlet and outlet of the food deodorization facility

(Unit : ppb, ppb/ppb, %)

Designated odor substances	Inlet			Outlet			Efficiency
	Concentration	intensity	contribution	Concentration	intensity	contribution	
ammonia	1,500	1	0	-	-	-	100
Trimethylamine	-	-	-	-	-	-	-
Hydrogen sulfide	3,960	9,659	79	-	-	-	100
Methyl mercaptan	180	2,571	21	-	-	-	100
Dimethyl sulfide	10	3	0	-	-	-	100
Dimethyl disulfide	15	7	0	-	-	-	100
Acetaldehyde	70	47	0	50	33	77	29
Propionaldehyde	10	10	0	10	10	23	0
Butyl aldehyde	-	-	-	-	-	-	-
sum	-	12,298	100	-	43	100	99.6

차아염소산나트륨 I 9.2이상, 차아염소산나트륨 II 10.2이상, 수산화나트륨 8.8이상 이었다. 아세트알데하이드 처리효율은 29%, 프로피온알데하이드는 처리가 안 되고 있었다. 유입부분 알데하이드의 악취기여도는 0.5%로 적었다. 약액세정시설의 배출구에서 악취가 거의 없었으며 활성탄 흡착으로 잔류 악취취기와 악취가 제거된 것으로 사료 되었다. 유입 부분과 방지시설 배출구의 지정악취농도를 Table 5에 나타내었다.

5. 결 론

본 연구에서 수질복원센터의 복합악취와 지정악취 특성을 파악하고 효율적인 악취관리 방안을 제시하였으며, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 복합악취는 평균 1,194배수이며, 스킴 처리시설에서 14,422배수로 악취발생 농도가 가장 높으며, 지정악취물질은 평균 암모니아 3,105 ppb로 높게 나타났으나, 악취강도는 황화합물류인 메틸메르캡탄이 1,671로 높았다. 악취기여도는 황화합물류가 67%, 알데하이드류 30%의 악취특성을 보이고 있었다.

2. 복합악취와 지정악취의 상관관계를 분석한 결과 황화수소와 상관성은 $R^2=0.75$ 로 유의미하였으며, 메틸메르캡탄은 $R^2=0.58$ 로 상관성이 있었다.

3. 악취방지시설인 생물학적 바이오필터의 복합악취는 배출구에서 17% 증가하여 배출되고 있었다. 지정악취는 황화수소가 1,421 ppb로 유입되고, 배출구에서 873 ppb로 처리되고 있었으며, 질소화합물, 지방산류 농도는 배출구에서 높아지고 있었다. 바이오필터의 악취처리가 21%로 황화수소, 메틸메르캡탄, 아세트알데하이드의 일부만 제거되었으며, 바이오필터는 경제성이 있으나 고농도 악취처리에는 한계가 있으며 악취처리시설은 악취처리 목적이므로 경제성으로 판단하는 것은 조심하여야 한다.

4. 악취방지시설 개선을 위해 파일럿 실험을 하였다. 미세 먼지는 악취물질과 결합 시 악취농도가 증가하고 있어 필터가 필요하며, 데미스터는 미세먼지 처리로 효율 58%로 향상시킬 수 있었다. 메틸메르캡탄은 수산화나트륨 중화 실험으로 90%, 차아염소산나트륨 산화 실험으로 100% 처리할 수 있는 것을 볼 때 악취를 중화제와 산화제로 처리하는 것이 효과적이었다.

5. 파일럿 실험을 기초로 실증실험을 하였다. 실험결과 탈취효율은 복합악취 71%, 지정악취 91%이었다. 음식물처리시설의 고농도 악취물질 처리는 차아염소산나트륨을 보강하여 처리한 결과 복합악취 98%, 지정악취 99%로 약액세정시설이 악취를 중화, 산화에 적합한 것으로 알 수 있었다.

본 연구는 수질복원센터의 악취환경 개선방안을 결정하는데 기초자료로써 향후 악취방지시설의 다양한 분야에서 활용되기를 기대한다.

References

- (1) Joon Young Lee, Seungho Jung, 2020, "A Study on the Characteristics of Odor Generated in Waste Fueling Facilities and Improvement of Deodorization Process", The KSFM Journal of Fluid Machinery Vol. 23, No. 4, pp. 54-60.
- (2) Ministry of Environment, 2012, "Odor Management Handbook".
- (3) Baek Kyung-il, etc, 2014, "Review of Odor Reduction Measures in Automatic Garbage Collection Facilities", The KSFM Journal of Fluid Machinery Vol. 17, No. 2, pp. 54-58.
- (4) Joon Young Lee, Soon Haeng Cho, 2020, "Research on Indoor Fine Dust Reduction Plan Using Waste Transport Pipeline", The KSFM Journal of Fluid Machinery Vol. 23, No. 3, pp. 35-41.
- (5) Hae-young Ahn etc, 2011, "Occurrence of Odor by Organic Matter Deposited in Sewage Pipes and Reduction of Odor Using an Oxidation Ionization System." Journal of Korean Society for Atmospheric Environment Vol. 27, No. 6, pp. 703-508.
- (6) Ministry of Environment, 2015, "Sewer odor management guidebook".
- (7) Cho Jung-il, Song Ho-myeon, 2011, "Study on the Current Status of Odor Complaints and Odor Management in Domestic Sewage Facilities", Journal of the Korean Waterworks and Sewerage Society · Korea Water Environment Association, pp. 692-697.
- (8) Ho-Myeon Song, Jo-Il Jo, 2013, "A Study on the Effect of Malodorous Substances Generated from Sewage Pipes and Septic Tanks on Complex Malodors", Journal of Korean Waterworks and Sewerage Society Vol. 27, No. 2, pp. 165-170.
- (9) Samein etc, 2003, "A Study on the Characteristics of Emissions of Air Pollutants from Basic Environment Facilities", Korean Society of Atmospheric Environment Engineering, Spring Conference, pp. 265-270.
- (10) Jinseok Han and Sangjin Park, 2013, "A Study on the Relationship between the Odor Intensity of Koreans and the Concentration of Styrene and Aldehyde substances", Journal of the Korean Society of Smell Environment, Vol. 12, No. 1, pp. 8-13.
- (11) Ilhwan Choi etc, 2016, "Analysis of the correlation between the dilution factor of the air dilution sensory method by odor emission facility and the measured value of the odor sensor", Journal of Indoor Environment and Smell Vol. 15, No. 1, pp. 38-43.
- (12) National Institute of Environmental Sciences, 2006, "Investigation of Odor Sources and Sources".

- (13) The Korean Society of Odor Environment, 2014., "Preparation of Improvement Plan for Classification System of Odor Emission Facilities", National Institute of Environmental Sciences.
- (14) National Institute of Environmental Sciences, 2019. "Odour Process Test Standards (Ammonia, Trimethylamine, Sulfur Compounds, Aldehydes, Volatile Organic Compounds, Ffatty Acids)".
- (15) National Institute of Environmental Sciences, 2019, "Odor Process Test Standards (General Rules, Air Dilution Sensory Act)".
- (16) Kyu-Sik Kim etc, 2019, "A Study on the On-Site Olfactory Measurement for the Evaluation of Odor Frequency in Industrial Complexes in Gyeonggi Province", Journal of Indoor Environment and Smell Vol. 18, No. 4, pp. 279-284.
- (17) P Gostelow 1, S A Parsons, R M Stuetz, 2001, "Odour Measurements for Sewage Treatment Works, Water Research, Vol. 35, No. 3, pp. 579-597.
- (18) Ministry of Environment, 2019, "Odor Technology Diagnosis Practical Manual".
- (19) Ko, Byung-Churl, etc, 2012, "A Study on Odor Emission Characteristics of Domestic Sewage Treatment Facilities Using Composite Odor Concentration and Hydrogen Sulfide Concentration", Journal of Environmental Science International Vol. 21, No. 11, pp. 1379-1388.
- (20) Ministry of Environment, 2019, "Enforcement Rule of the Odor Prevention Act."
- (21) Nojun Heo, 2003, Biofilter System, News and information for chemical engineers Vol. 21, No. 3, pp. 383-388.