

GC/FPD를 이용한 환경기초시설 폐기물의 대기중 황계열 악취물질 배출특성에 관한 연구

Determination of Major Reduced Sulfur Gases Emitted from Wastes Stored in Environmental Facility Using GC/FPD

이 태 윤[†] · 이 제 근¹⁾ · 이 준 기²⁾

Lee, Taeyoon · Lee, Jeakeun · Lee, Junki

ABSTRACT : With the economic development of Korea, sewage treatment facilities and waste food treatment facilities have been steadily increased. These facilities have positive effects such as the conservation of the water resources quality and waste food recycling while they also affect the neighborhood life with severe odor problems. Therefore, it was first collected sludge samples from 5 sewage treatment facilities and 5 waste food treatment facilities where the amounts of waste produced from above sites are relatively immense in Busan and estimate the H₂S emission rates. Then it was selected 1 sample which has the highest emission rate of H₂S. Using flux chamber and GC/FPD analyses, it was tried to quantify the emitted amount of sulfonic gas concentration under anoxic condition. The sludge sample obtained from Noksan sewage treatment facility has the highest emission rate of H₂S. This sample contained 156.18 mg/kg H₂S. The odor compounds were analyzed using GC/FPD and the concentrations were converted to odor quotient. Among odor compounds the ratio of CH₃SH (methylmercaptan) for the total odor quotient was 47.3% and considered to be the main odor compound in the sample.

Keywords : Odor, Hydrogen sulfide, GC/FPD

요 지 : 우리나라는 경제발전과 더불어 하수종말처리장과 음식물쓰레기처리시설의 수가 꾸준히 증가해왔다. 이들 시설들은 상수원 수질보전과 음식물쓰레기 재활용과 같은 긍정적인 역할을 수행하지만 한편으로는 심각한 악취문제를 유발해 인근주민들의 쾌적한 생활을 해치고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 부산시 환경기초시설에서 발생되고 있는 탈수슬러지케익 및 음식물쓰레기 샘플을 채취, 황화수소 발생 가능량을 예측함과 동시에 발생 가능량이 많을 것으로 나타난 1개 시료를 선정하여 실험실 규모의 Flux Chamber 실험을 통해 대기 시료를 포집하여 GC/FPD분석을 실시, 혐기성 상태일 때 이들 처리장폐기물에서 대기 중으로 배출하는 황계열 악취물질에 대한 배출농도 측정결과를 제시하고자 하였다. 황화수소발생량이 가장 많은 시료는 녹산 하수처리장의 슬러지 샘플로 농도가 156.18mg/kg이었고, GC/FPD로 분석을 실시한 결과를 토대로 악취농도지수(Odor Quotient)를 산정해 본 결과 개별 악취물질중 CH₃SH(methylmercaptan)이 총악취농도지수에서 차지하는 비율이 47.3%로 가장 주요 악취원인물질로 나타났다.

주요어 : 악취, 황화수소, GC/FPD

1. 서 론

악취문제와 관련해 H₂S(hydrogen sulfide)나 CH₃SH(methylmercaptan), (CH₃)₂S(dimethylsulfide), (CH₃)₂S₂(dimethyldisulfide)와 같은 물질을 포함하는 황계열성분의 기여도나 중요성은 이미 널리 알려져 있다(김기현 등, 2005). 실제로 전라북도 보건환경연구원에서 연구된 ‘환경기초시설 악취저감방안연구(전라북도 보건환경연구원, 2007)’에서도 기 분석에 의해 악취농도지수를 산정한 결과 측정된 지점 대부분에서 황계열 악취물질에 의한 악취기여도가 약 61-

90%에 달하는 등 이들 물질이 주요 악취원인물질로 드러났다(전라북도 보건환경연구원, 2007). 더욱이 우리나라는 경제발전과 더불어 하수종말처리장의 수가 꾸준히 증가해 2005년 말 현재 우리나라에 설치된 공공하수처리장이 모두 294개소에 달하며, 하수도 보급률 또한 꾸준히 증가하고 있고 음식물쓰레기 처리시설 또한 정부의 음식물쓰레기 자원화정책과 폐기물관리법시행규칙에 의해 직매립 금지조치가 취해진 2005년 이후 해마다 증가해 환경부 음식물류 폐기물 처리시설현황(2007) 자료에 따르면 2007년 12월 기준 민간시설과 공공시설을 합하여 총255개소가 가동

† 정희원, 부경대학교 환경해양대학 환경공학과 조교수(E-mail : badger74w@pknu.ac.kr)

1) 비회원, 부경대학교 환경해양대학 환경공학과 교수

2) 비회원, 부경대학교 환경공학과 대학원

중이며 현재 추가로 10곳이 설치 중에 있는 등 계속적으로 증가하고 있는 추세이다. 이처럼 꾸준히 증가하는 이들 시설들이 상수원 수질보전과 음식물쓰레기 재활용과 같은 긍정적인 역할을 수행하지만 한편으로는 심각한 악취문제를 유발해 인근주민들의 생활권을 해치고 있는 실정이다. 최근에는 도시의 확장으로 인해 쓰레기 매립장, 소각시설, 하수처리시설, 음식물쓰레기처리시설등의 환경기초시설과 주거지역간의 거리가 점점 가까워지고 있는 상황이지만 황 화합물을 비롯한 여러 종류의 악취물질을 배출시키고 있는 이들 시설에서 발생하는 악취물질에 대한 발생농도나 발생량 산정에 관한 연구가 체계적으로 이루어지지 않고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 부산시 환경기초시설에서 발생되고 있는 탈수슬러지케익 및 음식물쓰레기샘플을 채취, 황화수소 발생 가능량을 예측함과 동시에 발생 가능량이 많을 것으로 나타난 1개 시료를 선정하여 실험실 규모의 flux chamber 실험을 통해 대기 시료를 포집하여 GC/FPD분석을 실시, 혐기성 상태일 때 이들 처리장폐기물에서 대기중으로 배출하는 황계열 악취물질에 대한 배출농도 측정 결과를 제시함으로써 탈취대책 수립시 악취 부하량 산정과 탈취방식선정 등에 필요한 기초자료로써 활용함을 목적으로 한다.

2. 이론적 배경과 연구범위

황계열 악취물질은 시료채취 및 분석과정의 복잡성으로 인하여, 정확한 측정에 어려움이 존재하며, 환경 대기에서 수십ppt~수백ppt사이의 매우 낮은 농도로 존재하여 검출한계와 관련한 문제가 존재하며, 극미량의 농도로 존재할 시에도 사람의 감각기관을 자극해 호흡기장애, 순환기장애, 소화기능장애, 수면장애 등을 유발시킨다(손윤석 등, 2007). 예를 들어 CH_3SH (methylmercaptan)의 경우는 썩은 양배추 냄새가 나는 무색의 기체로써 매우 낮은 최소감지농도(0.1ppb)를 갖고 있어 가스누출을 감지하기위한 냄새유발물질로 사용되기도 하지만 고농도에서는 심각한 독성을 나타낸다(김대중 등, 2005). 악취물질 중 휘발성 황 화합물은 계란 썩는 냄새, 양파 및 양배추 썩는 냄새를 유발시키는 성분으로 하수처리장, 분뇨처리장, 쓰레기 매립장등에서 주로 발생된다고 알려져 있다(양성봉 등, 1997). 특히 H_2S (hydrogen sulfide)나 CH_3SH (methylmercaptan), $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ (dimethylsulfide), $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$ (dimethyldisulfide)과 같은 황계열악취물질은 ppb 혹은 ppt 수준에서도 악취를 유발시키는 등 최소감지농도가 낮고 악취민원의 주원인물질

이 되는 경우가 많아 현재 국내외 여러국가에서 규제물질로 지정, 관리 하고 있는 실정이다(환경부, 2001; 서용수, 2007).

이러한 황계열 악취물질 중 H_2S (hydrogen sulfide)뿐만 아니라 H_2S (hydrogen sulfide)나 CH_3SH (methylmercaptan), $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ (dimethylsulfide), $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$ (dimethyldisulfide)와 같은 성분들을 동시에 분석하고자 할 때에는 GC-FPD를 이용한 방법이 가장 효과적이라고 할 수 있다(서용수, 2007). 또한 가스크로마토그래피로 황화물을 분석할 때 사용 가능한 검출기로는 FPD(flame photometric detector), ELRD(electrolytic redox detector), SD(sulfur chemiluminescence detector)등이 있지만 이 중 환원황 화합물을 다른물질의 간섭 없이 분리 및 검출하기 위해 황화합물 만을 선택적으로 정량할 수 있는 FPD가 가장 많이 사용되고 있다(최용욱, 1994).

따라서 본 연구에서는 부산지역에 위치한 환경기초시설 10곳중 황화수소 발생량이 가장 많을 것으로 예측되는 1개 지점의 하수처리장 탈수슬러지를 대상으로 대기환경보전법의 악취기기분석법 대상물질중 황화합물인 H_2S (hydrogen sulfide), CH_3SH (methylmercaptan), $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ (dimethylsulfide), $(\text{CH}_3)_2\text{S}_2$ (dimethyldisulfide) 4가지 물질의 농도분석을 위해 GC-FPD를 선택하여 분석을 실시하였다.

3. 실험재료 및 분석방법

3.1 시료채취

부산시에는 2008년 현재 총 9개의 하수처리장 사업소가 있으며 음식물쓰레기처리시설의 경우 공공시설과 민간시설을 합쳐 총 8곳이 가동 중에 있다. 본 연구에서는 이들 시설 중 하수슬러지의 발생량이 상대적으로 많은 5개 시설인 수영사업소, 남부사업소, 중앙사업소, 장림사업소, 녹산사업소의 탈수슬러지케익을 분석대상으로 선정하였고 음식물쓰레기처리시설의 경우도 처리량이 많은 수영하수병합처리시설, 사하FR센터, 반여농산물도매시장, 생곡 음식물쓰레기 자원화시설의 시료를 분석대상으로 하였다. 하수처리장의 경우 처리과정으로 중앙사업소는 고정상생물막 공법을, 녹산사업소의 경우는 활성슬러지변법(MLE)과 화학처리를 병행하고 있었으며, 나머지 사업소의 경우는 표준 활성슬러지법을 통한 수처리와 중온혐기성소화법을 이용한 슬러지처리방식을 적용하고 있었다. 음식물쓰레기처리시설의 경우 수영하수병합처리시설은 하수병합, 사하FR센터는 건식사료화, 반여농산물도매시장은 파쇄, 탈수, 생곡음식물쓰레기 자원화시설은 혐기성소화, (주)삼득산업은 습식사료화 공정을 사용하고 있었다. 시료는 2008년 6월 한

달 동안 채취되었으며 시료는 4°C의 냉장고에서 보관되어졌다.

3.2 분석방법 및 항목

하수처리장과 음식물쓰레기처리시설에서 채집한 총 10개의 시료에 대한 기본적인 물리, 화학적 특성을 살펴보기 위해 2008년 6월 채취한 시료에 대해 가장 먼저 원소분석과 공업분석을 실시하였다. 이때 원소분석은 시료를 건조, 파쇄의 전처리를 거쳐 얻은 분말상태의 시료 약 9g을 취해 Elementar(Germany)사의 Vario macro/micro를 사용하여 분석하였다. 그리고 황화물 농도분석을 통해 H₂S(hydrogen sulfide) 발생량을 측정함으로써 황화수소가능발생량이 가장 많을 것으로 예상되는 1개 시료를 선정하였다. 이를 위한 과정으로 먼저 시료내의 총 황화물농도 분석은 고품 폐기물에 대한 분석방법인 증류법에 의한 요오드 환원 적정법(Method No. 9030A(EPA SW-846))이 사용 되었으며 실험장치의 구성은 그림 1과 같다.

이 방법은 시료에 황산(H₂SO₄)을 추가함으로써 시료내의 황화물을 분리, 포집하는 방법이다.

샘플을 70°C로 가열한 후 생성되는 수소황화물(hydrogen sulfide)이 산성의 조건에서 증류되고 이를 질소가스의 흐름으로 아연황화물(zinc sulfide)로써 침전시켜 흡수병 내에 포집한다. 이렇게 포집된 황화물이 과량의 요오드용액으로 인해 황으로 산화된 후 티오황산나트륨표준용액으로 무색의 종말점까지 적정하는 방법이며 그 계산은 식(1)과 같다.

$$\text{mg/L sulfide} = [[(A \times B) - (C \times D)] \times 16,000] / V \quad (1)$$

위의 식에서 A = 첨가된 요오드의 양(mL), B = 요오드 용액의 노르말농도, C = 티오황산나트륨의 적정량(mL), D = 티오황산나트륨의 노르말농도, 16,000 = 1000 × 16(16은

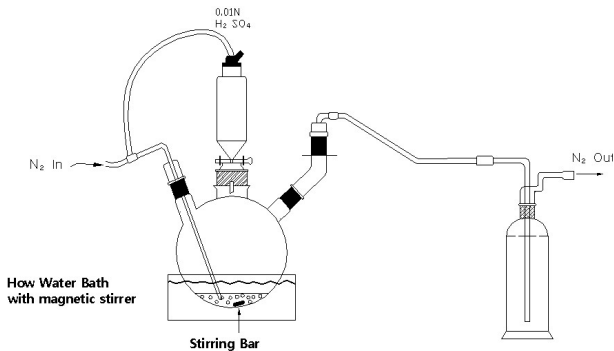


그림 1. Gas evolution apparatus to determine reactive sulfide released from wastes

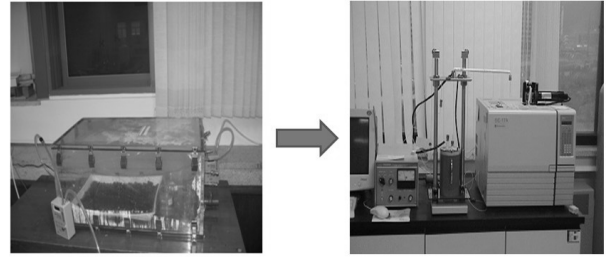


그림 2. Flux Chamber와 Gas Chromatography(FPD) with Cooling injection system

황화물 당량이며 1000은 단위환산계수임), V = 적정된 샘플의 양(mL)의 값이다(Maria Csuros, 1997).

측정된 각 시료내 총 황화물 중 이온화분을 계산을 통해 H₂S(hydrogen sulfide) 가능발생량을 예측하기 위해 EUTECH INSTRUMENTS사의 PC510 Bench pH/conductivity meter를 사용하여 pH와 Conductivity를 측정 하였다.

최종적으로 혐기성 상태일 때 황계열 악취물질의 시간에 따른 발생 특성을 살펴보기 위해 70×40×30(cm)크기의 Flux Chamber를 제작하여 H₂S(hydrogen sulfide) 농도가 가장 높았던 녹산사업소의 시료를 약 1.6kg를 넣고 반응조 양쪽에 펌프를 설치, 유입유량 약 210mL/min, 유출유량 약 200mL/min으로 고정하였고 시료를 혐기성상태로 만들기 위해 유입가스를 UHP등급의 고순도 N₂가스로 하였다. 발생된 악취물질은 약 보름에 걸쳐 일단위로 1L 크기의 Polyester Aluminum bag으로 포집하여 분석을 실시하였으며 분석에 사용된 기기는 Shimadzu사의 GC-17A(FPD) with FLS이다. 본 연구에 사용된 Flux Chamber와 GC/FPD의 모습을 그림 2에 나타내었다.

4. 결과 및 고찰

4.1 원소분석, 공업분석 결과

원소분석결과와 공업분석결과를 표 1에 나타내었다. 하수슬러지의 경우 평균탄소함량이 30.7%, 황 성분이 약 2.2%정도 함유되어 있으며, 음식물쓰레기처리시설의 경우 평균탄소함량이 42.9%로 하수슬러지에 비해 높은 반면 황 성분은 0.7%로 상대적으로 낮음을 알 수 있다(여기서, O는 계산에 의한 값임).

공업분석의 결과 하수슬러지의 평균 함수율이 74.5%로 상당히 높은 값을 보였으며, 평균 휘발분 함량 17.7%, 회분의 함량이 7.2%로 나타났다. 하수슬러지의 경우는 비교적 시료별 성상이 비슷한 반면 음식물처리시설 시료의 경우 처리공법의 차이로 인해 시료별 성상의 차이가 매우 큰 것을 알 수 있다.

표 1. 원소분석, 공업분석 결과

시 설 명		원소분석[wt, %]					공업분석[%]			
		C	H	O	N	S	수분	휘발분	고정탄소	회분
하수 처리장	수영사업소	28.4	4.7	33.2	4.8	2.4	73.4	19.1	0.44	7.1
	남부사업소	29.9	4.9	35.2	5.2	1.5	74.8	18.7	0.64	5.9
	중앙사업소	30.7	5.1	26.4	4.2	1.8	71.2	19.0	0.71	9.2
	장림사업소	27.1	4.4	26.6	4.3	2.7	74.1	16.7	0.75	8.5
	녹산사업소	37.2	5.8	24.3	5.7	2.5	78.8	15.1	0.96	5.2
평균		30.7	5.0	29.1	4.8	2.2	74.5	17.7	0.7	7.2
음식물 쓰레기 처리시설	수영하수병합처리시설	47.9	6.5	34.0	4.3	0.8	93.6	5.9	0.1	0.4
	사하FR센터	44.3	6.2	26.0	11.2	0.5	6.9	69.6	12.5	11.0
	반여농산물 도매시장	41.3	5.4	48.7	3.5	0.5	84.4	13.5	0.2	2.0
	생곡음식물쓰레기자원화시설	35.0	4.9	31.8	2.8	1.2	86.3	10.0	0.3	3.4
	(주)삼득산업	46.2	6.2	34.6	4.5	0.5	79.5	16.9	1.9	1.7
평균		42.9	5.8	35.0	5.3	0.7	68.7	23.2	3.0	3.3

(출처:2008 한국지반환경공학회 학술발표회 논문집, P415~419 일부요약)

4.2 황화수소 발생량 예측결과

요오드 환원적정법을 사용해 시료 내 총 황화물농도를 측정하였고 다시 이온화분을 계산을 통해 황화수소 발생량을 예측하였다. 이온화분을 계산식을 식 (2)~(6)에 나타내었다.

$$C_{T,S} = [H_2S] + [HS^-] \quad (2)$$

$$K_{a,1} = 10^{-7} = \frac{[H^+][HS^-]}{[H_2S]} \quad (3)$$

식 (3)를 식 (2)에 대입해 $[HS^-]$ 를 제거하면,

$$C_{T,S} = [H_2S] + \frac{K_a}{[H^+]} [H_2S] \quad (4)$$

이를 $C_{T,S}$ 에 대한 $[H_2S]$ 의 분율, 즉 $[H_2S]/C_{T,S}$ 에 대하여 풀면,

$$\frac{[H_2S]}{C_{T,S}} = \frac{[H^+]}{[H^+] + K_a} \quad (5)$$

이 된다.

위의 식에서 $C_{T,S}$ 는 리터(L)당 S를 함유하는 화학종의 몰수를 나타내고 K_a 는 산의 평형상수로써 산이 물분자에 게 양성자를 주려는 경향을 나타낸다. 그리고 위의 식에 표 2를 통해 전기전도도와 온도를 측정해 이온세기의 영향과 온도의 영향을 고려해 주면 $pK(=-\log K)$ 값을 보정한 pK' 값을 구할 수 있는데 이를 통해 K_a 값을 보정해준다.

표 2. 온도와 Conductivity에 따라 보정된 pK' 값

Conductivity at 25°C	pK' at Given Temperature		
	20°C	25°C	30°C
0	-	7.03	-
100	7.08	7.01	6.94
200	7.07	7.00	6.93
400	7.06	6.99	6.92
700	7.05	6.98	6.91
1200	7.04	6.97	6.90
2000	7.03	6.96	6.89
3000	7.02	6.95	6.88
4000	7.01	6.94	6.87
5200	7.00	6.93	6.86
7200	6.99	6.92	6.85
10,000	6.98	6.91	6.84
14,000	6.97	6.90	6.83

(출처: Maria Csuros(1997), *Environmental Sampling and Analysis: Lab Manual*, Lewis Publishing Company, pp. 295-311)

위의 과정을 거쳐 최종적으로 H_2S (hydrogen sulfide)의 비율을 구하는 식은 식 (6)과 같다(Vernon L et al, 1980).

$$H_2S(\%) = \frac{[H^+]}{[H^+] + K'} \times 100 \quad (6)$$

위와 같은 방법을 적용해 시료내의 총 황화수소농도를 예측 해본 결과 9.77-156.18mg/kg으로 시료에 따라 그 격차가 매우 큼을 알 수 있었으며, 시료내 H_2S (hydrogen sulfide) 발생량이 가장 높은 것으로 나타난 시료는 156.18 mg/kg의 농도를 가진 녹산사업소의 시료로 나타났다.

4.3 GC/FPD를 이용한 대기중 악취물질 농도 측정 결과

4.3.1 실험조건 및 표준물질 분석

H₂S(hydrogen sulfide)의 발생량 예측결과 H₂S(hydrogen sulfide) 농도가 가장 높았던 녹산산업소의 슬러지 1.6kg을 70×40×30(cm)크기로 제작한 아크릴 Flux Chamber에 넣은 후 N₂가스를 주입해 혐기성상태로 만든 후 1L 용량의 Polyester Aluminum bag 으로 채취하였다. 또한 GC분석은 주요 황계열 악취물질인 H₂S(hydrogen sulfide), CH₃SH(methylmercaptan), (CH₃)₂S(dimethylsulfide), (CH₃)₂S₂(dimethyldisulfide) 총4가지 성분에 대해 이루어졌으며 운전조건은 표 5와 같다.

분석에 앞서 10ppm의 Sulfide 4종 표준가스를 사용해 H₂S(hydrogen sulfide), CH₃SH(methylmercaptan), (CH₃)₂S(dimethylsulfide), (CH₃)₂S₂(dimethyldisulfide) 총 4가지 성분

표 3. 가스크로마토그래피의 운전조건

Parameter	Operating conditions
Instrument	GC-17A(SHIMADZU, JAPAN)
Column	Packed glass column*: 2.6mm ID, 3m length
Injection type	On-column
Oven Temp.	85°C constant
Column flow	50mL/min
Injector temp.	200°C
Detector temp.	200°C
Column pressure	220KPA
Carrier gas	N ₂ (99.999)

*ββ' -ODPN 25% Chromosorb 60/80 mesh

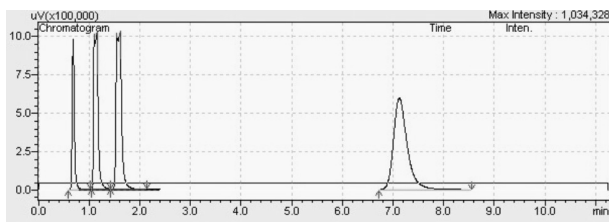


그림 3. Gas chromatogram of standard odorant

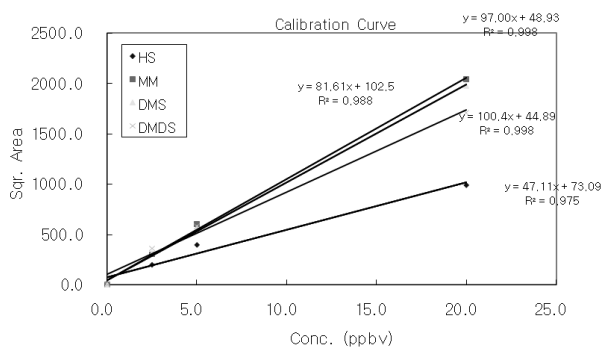


그림 4. 표준가스의 Calibration Curve

을 분리해 본 결과 그림 4와 같았다. H₂S(hydrogen sulfide)가 Retention time 0.694로 가장 먼저 용리되었고, CH₃SH(methylmercaptan)가 1.148로 두 번째, (CH₃)₂S(dimethylsulfide)가 1.613으로 세 번째, (CH₃)₂S₂(dimethyldisulfide)가 7.302로 가장 늦게 용리됨을 알 수 있었다.

또한 시료를 정량하기 위해 표준가스를 희석하여 Calibration Curve를 작성하였으며 그 결과는 그림 5와 같다.

4.3.2 주요악취물질의 확인

위와 같이 정성, 정량분석을 위한 준비과정을 거친 후 16일 동안 총 9회에 걸쳐 분석을 실시한 결과를 표 4에 나타내었다. 1일이 경과한 후 채집한 샘플에서는 H₂S(hydrogen sulfide)의 농도가 20.15ppbv, CH₃SH(methylmercaptan)가 60.65 ppbv, (CH₃)₂S(dimethylsulfide)가 95.78ppbv, (CH₃)₂S₂(dimethyldisulfide)가 94.92ppbv로 나타났고 시간이 경과함에 따라 H₂S(hydrogen sulfide)의 농도는 증가하는 양상을, 나머지 성분들은 감소하는 양상을 나타내었다. 표 6의 결과를 바탕으로 그래프를 작성한 결과 그림 5와 같이 (CH₃)₂S₂(dimethyldisulfide)의 경우 7일정도 경과 후부터는 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 그리고 그림 5에서와 같이 황계열 악취물질의 전체적인 농도변화는 측정시점에 따라 온도가 조금씩 변화함에 따라 악취발생량의 차이에 의해

표 4. 시간경과에 따른 대기중 황계열 악취물질 농도변화

day	H ₂ S (ppbv)	CH ₃ SH (ppbv)	(CH ₃) ₂ S (ppbv)	(CH ₃) ₂ S ₂ (ppbv)
1	20.15	60.65	95.78	94.92
2	10.34	58.93	53.09	32.26
7	50.08	35.59	22.87	0
8	55.39	38.86	24.15	2.49
9	44.34	28.55	12.69	0
11	109.82	68.71	31.6	0
14	110.72	48.37	26.53	0
15	72.51	38.72	23.9	0
16	74.03	39.2	22.98	0

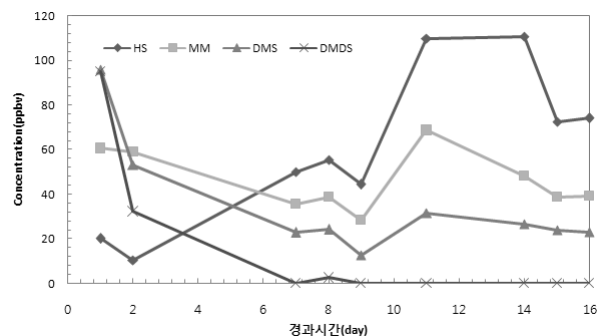


그림 5. 시간경과에 따른 악취물질의 농도변화 그래프

발생한 오차인 것으로 보인다.

4.3.3 악취농도지수에 의한 악취원인물질 분석

위에서 측정된 악취물질의 농도를 악취기여도와 연관시키기 위해 악취감지한계농도(Odor Threshold)라는 개념을 이용해 악취농도지수(Odor Quotient)를 산정하였다. 악취농도지수는 기기분석을 통해 측정된 개별 악취물질의 농도를 악취물질의 최소감지농도로 나누어 산정하였으며 환경부 자료에 의한 개별악취물질의 최소감지농도는 표 5와 같다.

$$\text{악취농도지수(OQ)} = \frac{\text{조사악취물질의 농도(ppb)}}{\text{물질의 최소감지농도(ppb)}}$$

개별 악취물질의 농도지수의 평균값을 계산하여 표 6과 같이 비교해 본 결과 녹산하수처리장의 탈수슬러지케익 1.6kg에서 발생되는 평균 악취농도지수는 982.1이었고 개별 악취물질중 CH₃SH(methylmercaptan)가 총 악취농도지수에서 차지하는 비율이 47.25%로 가장 주요 악취원인물질로 나타났고, 그 외 (CH₃)₂S(dimethylsulfide)35.48%, H₂S(hydrogen sulfide)가 12.39% 순으로 나타났으며, (CH₃)₂S₂(dimethyldisulfide)는 4.89%로 상대적으로 낮은 값을 나타내었다. 또한 악취농도지수 산정결과 시간이 지남에 따라 황계열 악취물질의 악취농도가 꾸준히 발생됨을 알 수 있었다.

표 5. 악취물질의 최소감지농도

화학물질명	농도(ppb)
H ₂ S(hydrogen sulfide)	0.5
CH ₃ SH(methylmercaptan)	0.1
(CH ₃) ₂ S(dimethylsulfide)	0.1
(CH ₃) ₂ S ₂ (dimethyldisulfide)	0.3

(출처: 환경부 '주요 화학물질의 악취 최소감지농도표 2005')

표 6. 각 배출물질의 악취농도지수

day	H ₂ S	CH ₃ SH	(CH ₃) ₂ S	(CH ₃) ₂ S ₂	Odor Quotient
1	40.3	606.5	957.8	316.4	1921.0
2	20.7	589.3	530.9	107.5	1248.4
7	100.2	355.9	228.7	0.0	684.8
8	110.8	388.6	241.5	8.3	749.2
9	88.7	285.5	126.9	0.0	501.1
11	219.6	687.1	316.0	0.0	1222.7
14	221.4	483.7	265.3	0.0	970.4
15	145.0	387.2	239.0	0.0	771.2
16	148.1	392.0	229.8	0.0	769.9
평균	121.7	464.0	348.4	48.0	982.1
평균비율(%)	12.39	47.25	35.48	4.89	

5. 결 론

본 연구에서는 부산지역의 환경기초시설 중 5개 하수처리장과 5개 음식물쓰레기처리시설을 선정하여 원소분석, 공업분석, 요오드환원적정법에 의한 H₂S(hydrogen sulfide) 발생가능량측정을 실시하였고 최종적으로 H₂S(hydrogen sulfide)발생가능량이 가장 높은 시료에 대해 Flux chamber를 제작, Gas chromatography분석을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) GC/FPD를 통해 녹산사업소의 하수슬러지를 분석한 결과 약 1일 경과후 채취한 샘플에서 H₂S(hydrogen sulfide)의 농도가 20.15ppbv, CH₃SH(methylmercaptan)가 60.65ppbv, (CH₃)₂S(dimethylsulfide)가 95.78ppbv, (CH₃)₂S₂(dimethyldisulfide)가 94.92ppbv로 나타났고 시간이 경과함에 따라 H₂S(hydrogen sulfide)의 농도는 증가하는 양상을, 나머지 성분들은 감소하는 양상을 나타내었고, (CH₃)₂S₂(dimethyldisulfide)의 경우 7일정도 경과후 부터는 거의 나타나지 않음을 알 수 있었다.
- (2) 악취농도지수(Odor Quotient)를 산정해 본 결과, 총 악취농도지수는 평균 982.1이었고 개별 악취물질중 CH₃SH(methylmercaptan)이 총악취농도지수에서 차지하는 비율이 47.25%로 가장 주요 악취원인물질로 나타났고, 그 외 (CH₃)₂S(dimethylsulfide)가 35.48%, H₂S(hydrogen sulfide)가 12.39% 순으로 나타났으며, (CH₃)₂S₂(dimethyldisulfide)는 4.89%로 상대적으로 낮은 값을 나타내었다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2008-3206)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 김기현, 최여진, 안지원 (2005), 악취향 성분의 채취와 샘플백 내부의 시료 유실을 비교: 검량선의 기울기를 이용한 평가, *Analytical science & Technology*, Vol. 18, No. 4, pp. 338~343.
2. 김대중, 서성규, 김상채 (2005), 산으로 개질된 활성탄을 이용한 메틸 메르캡탄 악취물질 제거, *한국대기환경학회지*, Vol. 21, No. 2, pp. 155~160.
3. 서용수 (2007), *미량 다성분 복합 악취물질 정량분석을 통한 악취특성 평가*, 박사학위논문, 부경대학교, pp. 1~24.
4. 손윤석, 김수연, 김조천, 박강남, 문장수 (2007), 시료채취 용기에 따른 황계열 악취물질의 안정도 평가, *한국환경분석학회지*, Vol. 10, No. 2, pp. 66~71.
5. 양성봉, 이성화 (1997), *악취의 성분분석*, 동화기술, pp. 1-95.

6. 이태윤, 이준기 (2008), 환경기초시설 폐기물의 황화수소 발생량 예측 및 GC/FPD에 의한 대기중 황계열 악취물질 발생 특성에 관한 연구, 대한환경공학회 추계 학술연구발표회 논문요약집, pp. 143.
 7. 이태윤, 이준기, 김재진 (2008), 하수슬러지의 효율적인 처리를 위한 물리화학적 특성 분석, 한국지반환경공학회 학술발표회 논문집, pp. 415.
 8. 전라북도 보건환경연구원 (2007), *환경기초시설 악취 저감 방안 연구*, 전라북도 보건환경 연구원, pp. 12-13, 149-151, 165~174.
 9. 최용욱, 김종훈, 최건형, 신성식 (1994), GC/FPD에 의한 천연가스 중 황 함유 부취제의 정량, *Analytical science & Technology*, Vol. 18, No. 4, pp. 349~359.
 10. 환경부 (2001), *악취물질 발생원 관리방안 개선을 위한 조사 연구*, 환경부, pp. 267~287.
 11. 환경부 (2005), *주요 화학물질의 악취 최소감지농도표*, 환경부.
 12. 환경부 (2007), *하수도통계*, 환경부.
 13. Maria Csuros (1997), *Environmental Sampling and Analysis: Lab Manual*, Lewis Publishing Company, pp. 295~311.
 14. Vernon L. Snoeyink, David Jenkins (1980), *Water Chemistry*, John Wiley & Sons, pp. 134~135.
- (접수일: 2008. 10. 22 심사일: 2008. 11. 5 심사완료일: 2009. 1. 5)