

# 음식물쓰레기 처리 설비로부터 발생하는 악취성분 분석 및 적정처리방안 연구( I )

대기보전과

송복주 · 정재은 · 김봉기 · 김익성 · 정경원 · 지기원 · 빈재훈 · 이상훈

## Removal of Malodorous Compounds Caused by Foodwaste Treatment Processing ( I )

*Air Preservation Division*

Bok-Joo Song, Jae-Eun Jung, Bong-Ki Kim, Ik-Sung Kim, Kyung-Won Jung,  
Gi-Won Ji, Jae-Hun Bin and Sang-Hun Lee

### Abstract

Gases sampled from the steam process of foodwaste and being passed biofilter in the foodwaste treatment processing were analyzed by GC/MSD with cryo concentrator in order to examine the origin of malodor in foodwaste treatment facilities.

Acetaldehyde, methyl mercaptan, dimethyl sulfide, etc., 61 species were detected. Major malodorous compounds were estimated by the concentrations and threshold values from the detected components.

From the results of analysis, 27 compounds were confirmed and among them, i-valeraldehyde, propyl mercaptan, methyl mercaptan, i-butyraldehyde, acetaldehyde were identified to attribute to the malodor.

Attribution of aldehydes which has the most highly attribution to the malodor was 92.5%, and then that of sulfide compounds was 7.4%.

Consequently it is expected that the deodorization is improved by controlling of these kinds of compound.

**Key Words** : foodwaste, malodor, i-valeraldehyde, attribution, deodorization

## 서 론

종래의 대기환경규제는 매연, 먼지, 가스상 물질 등 인간에게 직접적인 피해를 주는 물질의 규제에 초점을 맞추고 있었으나 현재는 2차 오염물질인 휘발성유기오염물질, 오존 등이나 소음, 진동 및 악취 등 감각공해에 의한 피해 감소 쪽으로 옮겨가고 있는 실정이다. 특히 우리나라와 같이 인구밀도가 높고 주거지역과 공업지역이 혼재하고 있는 현실에서는 악취 등 감각공해에 의한 민원 발생 가능성이 한층 높으며 실제 부산시 악취민원 발생 현황을 살펴보면 1997년 73건, 1998년 112건, 1999년 242건으로 매년 급격히 증가하는 추세에 있다(부산광역시, 2000).

음식물쓰레기는 매립처리시 침출수 및 악취발생의 주된 요인으로 매립지 관리의 저해요인으로 대두될 뿐만 아니라 소각시 소각효율을 크게 저하시키는 등의 환경적 유해요인과 더불어 풍부한 영양소를 함유한 유기성 자원이라는 양면성을 지니고 있다. 이에 정부에서는 음식물쓰레기로 인한 환경부하를 줄여 자연환경을 보전하고 유용한 자원으로의 가치 재창조를 통한 자원의 효율적 이용을 위하여 음식물쓰레기 감량·자원화 사업을 적극 추진하고 있다.

그러나 이러한 자원화시설이 음식물쓰레기 처리설비로부터 발생하는 악취물질로 인하여 주변지역 주민의 민원 대상으

로 대두되면서 NIMBY 현상이 나타나고 있고 이로 인하여 처리시설 설치 및 운영 관리에 많은 어려움을 겪고 있다.

따라서 본 연구에서는 기초자치단체에서 운영관리하고 있는 음식물 쓰레기 처리시설에서 발생하는 악취성분의 정확한 분석을 통해 악취원인을 규명하고, 저온흡착-GC-MSD를 이용한 다성분 동시분석법의 검증을 통하여 새로운 악취분석법을 제시하고자 하였으며 악취의 최소감지값(threshold)을 이용하여 악취성분의 기여도를 비교검토함으로써 음식물 쓰레기 처리시설의 적정 관리운영 및 방지시설 설계 등의 기초자료로 활용하고자 이 연구를 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구대상

Table 1은 부산시에서 현재 운영되고 있는 음식물 자원화시설 현황으로서 우리는 사료화시설의 악취원인 물질규명에 중점을 두고자 기존 사료화시설 중 두 곳을 선정하여 시료를 채취, 분석하였으며 기존시설의 운영상태를 확인하고자 최종배출구 뿐만 아니라 가장 강한 취기를 발생하는 건조시설의 발생가스, 1차처리 후(Biofilter)의 시료를 채취하여 분석을 행함으로써 효율을 평가하고자 하였다.

### 2. 분석장비

악취의 성분분석은 극미량 다성분 유기

Table 1. The state of foodwaste resource equipment in Busan (환경부, 2002)

시·군	시설종류	처리방법	용량(톤/일)	설치일자
부산시(공공)	하수병합	혐기성	120	2000.10.30
서구(공공)	퇴비화	진공발효	20	1999.02.27
동구(공공)	퇴비화	진공발효	24	1999.02.10
남구(공공)	퇴비화	건조퇴비	30	1997.06.10
영도구(공공)	사료화	진공건조	10	1997.09.06
연제구(공공)	퇴비화	건조퇴비	15	1998.05.11
해운대구(공공)	사료화	가열건조	50	2000.07.26
부산진구외(공공)	퇴비화	열풍건조	40	2001.03
강서구(민간)	사료화		80	2001.05
강서구(민간)	사료화	건식	80	2000.11
해운대구(민간)		파쇄	133	2000.10
사상구(민간)		파쇄	150	1997.12

화합물의 혼합물이므로 고도의 분석기술이 요구되며 가스크로마토그래피가 기초가 되는 당연하다. GC의 검출기로서 질량분석기를 결합시킨 GC/MSD가 1970년대에 개발되었으며, GC에 의해 분리된 개개의 성분에 대해 질량스펙트럼을 얻을 수 있으므로 성분확인을 위하여 많은 실험실에서 기초 장비로 활용되고 있다.

그러므로 우리는 여러 가지 화합물을 정성하기가 용이한 GC-MSD를 분석기종으로 선정하였고 또한 대부분의 악취성분을 흡착할 수 있고 또 흡착효율이 가장 우수한 저온흡착법을 시료농축장치(전처리장치)로, 포집 후 시료성분의 변화가 거의 없는 캐니스터를 포집용기로 선정하였다.

Fig. 1은 본 연구의 분석장비로 활용된 Agilent사의 6890N-5973MSD이다.

## 결과 및 고찰

### 1. 표준가스의 분석

대부분의 악취는 특정한 몇 가지 냄새 나는 물질에 의한 것이 아니라 대단히 많은 물질을 포함하는 다성분계이다.

현행 우리나라에서는 악취물질을 기기 분석법으로 암모니아 등 8개 항목에 대하여 규제를 하고 있고 일본에서는 크실렌 등이 포함된 22개 항목을 규제하고 있으며 규제대상 악취물질은 Table 2에 나타내었다.



Fig. 1. Gas chromatograph (Agilent 6890N-5973MSD).

실험에 사용된 각 장치와 성능을 확인하고자 EPA TO-14 표준물질(각 20 ppb)을 이용하여 분리능과 감도를 확인할 수 있었으며 그 결과는 Fig. 2 및 Table 3과 같다.

기상 표준품은 수질, 폐기물과 같은 여타 환경표준물질과는 달리 기체가기 때문에 모든 목적물질에 대한 표준품의 제조가 어려우며 시판 표준품들의 가격이 높은 편이라 모든 물질을 정량하는데는 엄청난 비용이 소요된다. 그러므로 일반화된 표준품을 사용하여 대략적인 오염물질의 종류와 양을 파악한 후 목적성분에 맞는 물질을 구입하여 사용함이 바람직하다.

본 실험에서는 압축 봄베의 형태로 제조 판매되는 SPECTRA사, RESTEK사,

RIGAS사의 혼합가스와 SUPELCO사의 액상 표준품인 Japanese Indoor Air Standard Mix.를 사용하였다.

특히 액상 표준품인 Japanese Indoor Air Standard Mix.를 액상으로 직접 주입하지 않고 Tedler bag을 이용하여 기화시켜 시료와 같은 방법으로 실험하였으며, 이 과정에서의 회수율을 기존 가스상 혼합 표준품과 비교 분석하였다.

Japanese Indoor Air Standard Mixture(Supelco)  $10\mu\text{l}$ (각 물질  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 고순도질소  $10\text{ l}$ 가 들어있는 Tedler bag에 주입하여 기화시켜 시료와 동일한 조건으로 실험하였으며, 5회 반복실험에 대한 회수율(%) 및 상대표준편차(relative standard deviation)를 Table 4에

나타내었다. 의 평균회수율은 90.4%, 상대표준편차는 액상 표준품에 들어있는 51개 물질 중 5.7%로서 대체로 정량적으로 기화되는 가스상 표준물질로 정량 가능한 26가지 것으로 판단되었다.

Table 2. Regulatory odorous materials in Japan and Korea

악취물질	화학식	Threshold	악취세기대 농도		
			2.5	3.0	3.5
Trimethyl amine ◎	(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> N	0.00011	0.005	0.02	0.07
Dimethyl sulfide ◎	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	0.00012	0.01	0.04	0.2
Hydrogen sulfide ◎	H <sub>2</sub> S	0.0005	0.02	0.06	0.2
Methyl mercaptan ◎	CH <sub>3</sub> SH	0.00012	0.002	0.004	0.01
Ammonia ◎	NH <sub>3</sub>	0.15	1	2	5
Acetaldehyde ◎	CH <sub>3</sub> CHO	0.0015	0.05	0.1	0.5
Dimethyl disulfide ◎	CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub>	0.00028	0.009	0.03	0.1
Styrene ◎	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH=CH <sub>2</sub>	0.033	0.4	0.8	2
Propionic acid	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	0.0024	0.03	0.07	0.2
n-Butanoic acid	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH	0.000068	0.001	0.002	0.006
n-Valeric acid	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH	0.0001	0.0009	0.002	0.004
i-Valeric acid	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> COOH	0.000053	0.001	0.004	0.01
Propyl aldehyde	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CHO	0.0015	0.05	0.1	0.5
n-Butyl aldehyde	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CHO	0.00032	0.009	0.03	0.08
i-Butyl aldehyde	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCHO	0.0009	0.02	0.07	0.2
n-Valeric aldehyde	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CHO	0.00071	0.009	0.02	0.05
i-Valeric aldehyde	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CHO	0.00019	0.003	0.006	0.01
i-Butanol	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> OH	0.012	0.9	4	20
Acetic acetate	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	0.25	3	7	20
Methyl i-butyl ketone	CH <sub>3</sub> COCH <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.17	1	3	6
Toluene	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub>	0.92	10	30	60
Xylene	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.11	1	2	5

◎ : 한국 대기환경보전법 규제대상 물질

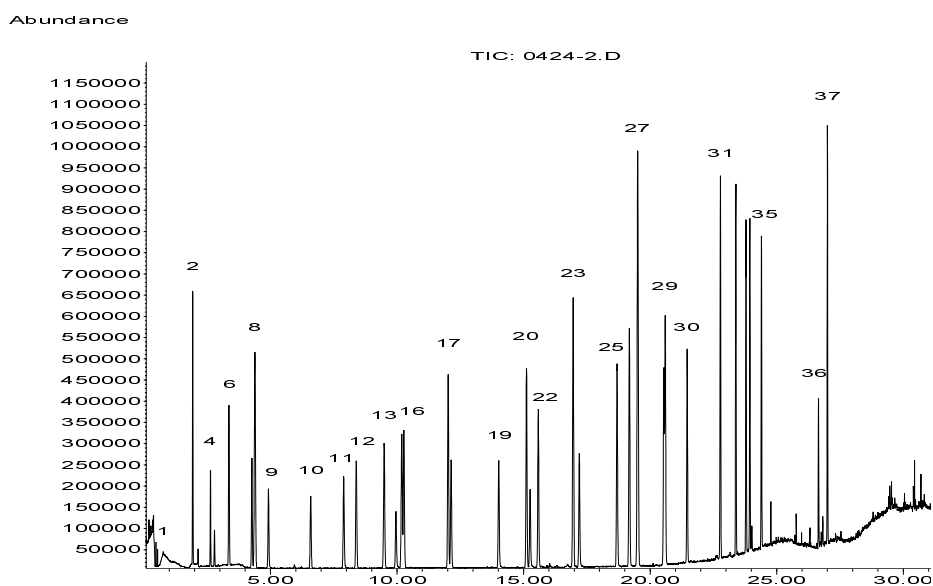


Fig. 2. Gas chromatogram of VOCs standard gas.

Table 3. Components of VOCs standard gas

	Compound	R.T	Area		Compound	R.T	Area
1	Freon-12	0.76	826930	20	Toluene	15.12	13809784
2	Freon-114	1.93	9126087	21	cis-1,3-Dichloropropene	15.26	5461952
3	Vinyl chloride	2.14	600237	22	1,1,2-Trichloroethane	15.58	10619939
4	Bromomethane	2.63	3290797	23	Tetrachloroethylene	16.96	18437213
5	Chloroethane	2.79	1500106	24	1,2-Dibromoethane	17.20	7779485
6	Freon-11	3.36	8030946	25	Chlorobenzene	18.69	13400930
7	1,1-Dichloroethane	4.27	6125371	26	Ethyl benzene	19.18	16678968
8	Freon-113	4.39	15995147	27	m,p-Xylene	19.51	31726263
9	Methylene chloride	4.92	4865946	28	Styrene	20.54	12097285
10	1,1-Dichloroethane	6.59	5005134	29	o-Xylene	20.60	16325645
11	cis-1,2-Dichloroethylene	7.89	6424544	30	1,1,2,2-Tetrachloroethane	21.46	11762961
12	Chloroform	8.39	7349972	31	1,2,4-Trimethylbenzene	22.78	17002035
13	1,1,1-Trichloroethane	9.49	9582227	32	1,3,5-Trimethylbenzene	23.39	15771749
14	1,2,-Dichloroethane	9.96	3993199	33	1,3-Dichlorobenzene	23.79	13909974
15	Carbon tetrachloride	10.19	10202986	34	1,4-Dichlorobenzene	23.94	13435887
16	Benzene	10.27	9796966	35	1,2-Dichlorobenzene	24.40	12670374
17	Trichloroethylene	12.02	13229423	36	1,2,4-Trichlorobenzene	26.65	5237819
18	1,2-Dichloropropane	12.14	7693139	37	Hexachloro-1,3-butadiene	27.01	15515251
19	1,3-Dichloropropene	14.02	7312303				

Table 4. Recovery and relative standard deviation of Japanese Indoor Air Standard Mixture (Supelco)

표준물질	주입농도(ppb)	평균농도(ppb)	회수율(%)	RSD(%)
Methylene chloride	26.67	23.80	89.2	6.2
n-Hexane	26.05	18.90	72.6	6.8
Chloroform	18.98	17.72	93.4	4.7
1,2-Dichloroethane	22.86	21.76	95.2	5.4
2,4-Dimethylpentane	22.40	17.97	80.2	6.6
1,1,1-Trichloroethane	16.97	16.08	94.8	5.1
Benzene	28.72	27.10	94.4	5.4
Carbon tetrachloride	14.74	13.67	92.8	5.5
Isooctane	19.65	17.61	89.6	5.9
n-Heptane	22.40	19.04	85.0	5.7
Toluene	24.35	24.25	99.6	5.5
Tetrachloroethylene	13.66	12.04	88.1	7.5
n-Octane	19.65	18.49	94.1	5.7
Ethylbenzene	21.13	21.04	99.6	4.8
m,p-Xylene	21.13	22.08	104.5	6.9
Styrene	21.54	18.01	83.6	8.4
o-Xylene	21.13	20.56	97.3	4.1
n-Nonane	17.50	16.87	96.4	5.4
3-Ethyltoluene(m-)	18.67	16.47	88.2	5.2
4-Ethyltoluene(p-)	18.67	15.33	82.1	5.0
1,3,5-Trimethylbenzene	18.67	15.84	84.8	4.9
2-Ethyltoluene(o-)	18.67	16.42	87.9	5.2
1,2,4-Trimethylbenzene	18.67	15.32	82.1	5.0
n-Decane	15.77	15.29	96.9	4.9
1,2,3-Trimethylbenzene	18.67	15.53	83.2	6.6
n-Undecane	14.36	13.66	95.1	5.2
<b>평 균</b>			<b>90.4</b>	<b>5.7</b>

**2. 음식물쓰레기 처리시설의 악취분석**

각 처리장의 취기가스는 Table 5의 분석조건으로 실행되었으며 저온농축-GC/MSD의 질량스펙트럼과 표준품 및 취기가스의 머무름 시간을 비교하여 악취성분을 규명하였고, 표준물질이 없는 검출 물질은 표준품의 검량선과 끓는점, 분자구조상 유사할 것으로 예상되는 물질로부터 해당성분의 농도를 추정하였다.

또한 odor threshold가 알려진 성분의 최소감지값을 이용하여 예상악취 기여도를 산정하여 악취원인물질을 규명하고자 하였다.

(1) A구 처리장 악취시료분석  
가. 발생원에서의 악취성분

최근 일부 연구기관에서 매립장 악취물질, 퇴비화시설 악취물질 등에 관한 연구자료를 발표하고 있으나 지속적인 연구가 이뤄지지 않아 발생원에 대한 연구자료의 축적이 시급히 이뤄져야 할 것으로 사료된다.(울산대 연구논문, 첨단환경기술등)

A구 음식물쓰레기 사료화시설의 취기강도가 가장 강한 건조기 취기가스를 발생원으로 가정하여 저온흡착-GC/MSD를 이용하여 분석한 total ion chromatogram을 Fig. 3에 나타내었고 각 Peak로 확인된 물질명과 농도, 예상악취농도, 악취 기여도를 Table 6에 나타내었다.

휘발성 성분은 acetaldehyde를 포함한 61종의 물질이 검출되었고 odor threshold가 알려진 물질이 43종이며 밀감류의 대

Table 5. Analytical conditions of preconcentration and GC/MSD

Step		Conditions
7100 Preconcentrator	Trap 1 (Glass bead)	· Sample Vol. : 50~500ml · Flow rate : 150ml/min · Trapping : -150℃ · Desorb : 20℃ (Preheat 20℃)
	Trap 2 (Tenax)	· Trapping : -10℃ · Desorb : 180℃
	Cryofocusing Trap	· Cool down temp. : -150℃ · Injection temp : 80~90℃ · Desorb : 180℃ · Injection time : 3min
6890N GC	Injector	· Volatile Interface, 100℃
	Column	· HP-1MS(30m x 0.2mm x 1.0μm) · Carrier gas : He 1.0ml/min
5973MSD	Detector	· MSD temp : 230℃ · EM Volts : 1864 · Scan mode (range 30-400)



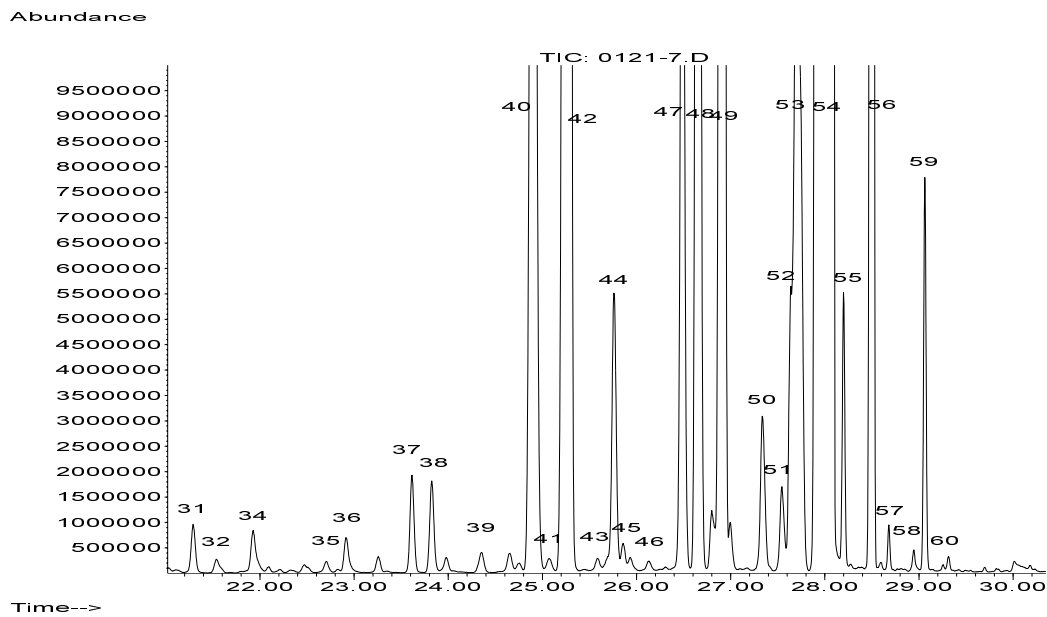
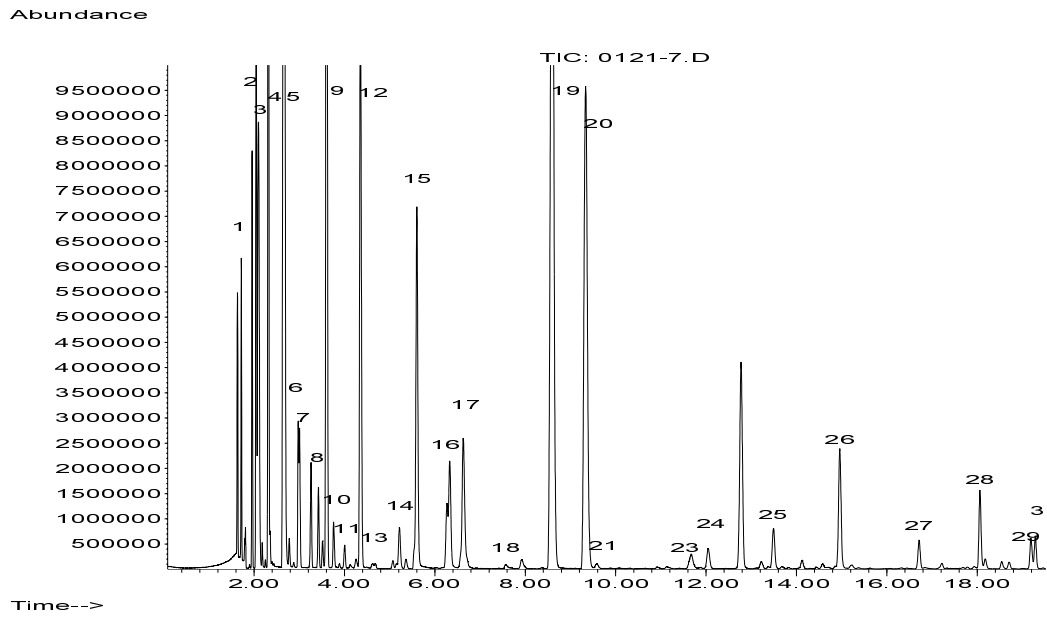


Fig. 3. Gas chromatogram of sample gas which was collected from steam process of foodwaste in A gu.

Table 6. Components and concentration of sample gas (steam process)

	Compounds	R.T	Conc. (ppm)	Threshold (ppm)	Expected Odor conc.	Atr. (%)
1	Hydrogen sulfide	1.72	14.325	0.00041	34938.54	2.064
2	Acetaldehyde	2.05	14.282	0.0015	9521.4	0.562
3	Methanol	2.10	12.703	33	0.384939	0.000
4	Methyl mercaptan	2.32	8.914	0.00007	127348.6	7.523
5	Ethanol	2.67	276.712	0.52	532.1387	0.031
6	Acetone	2.98	1.365	42	0.0325	0.000
7	Propanal	3.01	4.167	0.001	4167	0.246
8	n-Pentane	3.42	0.356	1.4	0.254357	0.000
9	Dimethyl sulfide	3.60	8.251	0.003	2750.3	0.162
10	Methyl acetate	3.76	0.049	1.7	0.028824	0.000
11	Carbon disulfide	4.00	0.098	0.21	0.466667	0.000
12	Isobutyl aldehyde	4.35	27.081	0.00035	77374.29	4.571
13	1-Propanol	4.59	0.087	0.038	2.3	0.000
14	2-Butanone	5.52	0.172	0.44	0.391136	0.000
15	Propylene sulfide	5.60	4.191	-	-	-
16	Propyl mercaptan	6.33	2.423	0.000013	186384.6	11.010
17	Ethyl acetate	6.63	0.280	0.87	0.321839	0.000
18	Isobutyl alcohol	7.52	0.214	0.22	0.972727	0.000
19	3-Methyl butanal	8.60	77.741	0.0001	7774.10	45.924
20	2-Methyl butanal	9.34	44.398	0.0001	44398.0	26.227
21	Benzene	9.58	0.036	2.7	0.013519	0.000
22	2-Pentanone	11.10	0.080	0.028	2.857143	0.000
23	n-Pentanal	11.67	1.561	0.00041	3807.317	0.225
24	Allyl methyl sulfide	12.05	0.343	0.00014	2450	0.145
25	n-Heptane	13.49	0.204	0.67	0.304627	0.000
26	Dimethyl disulfide	14.96	0.829	0.0022	376.8636	0.022
27	Toluene	16.72	0.098	0.33	0.296667	0.000
28	n-Hexanal (Caproaldehyde)	18.06	4.509	0.00028	16103.57	0.951
29	2-Furancarboxaldehyde (Furfural)	19.19	1.853	-	-	-
30	n-Octane	19.28	0.112	1.7	0.066	0.000
31	Allyl sulfide (Diallyl sulfide)	21.29	0.595	0.00022	2704.545	0.160
32	Ethyl benzene	21.54	0.016	0.17	0.094706	0.000
33	n-Hexanol	21.79	0.053	0.006	8.833333	0.001
34	m,p-Xylene	21.93	0.133	0.058	2.3	0.000
35	Styrene	22.71	0.034	0.035	0.997143	0.000
36	o-Xylene	22.92	0.041	0.38	0.109737	0.000
37	Methyl allyl disulfide	23.61	0.571	-	-	-
38	n-Nonane	23.83	0.257	2.2	0.116864	0.000
39	Methyl propyl disulfide	24.35	0.151	-	-	-
40	$\alpha$ -Thujene	24.90	4.742	-	-	-
41	Benzaldehyde	25.07	1.044	-	-	-
42	$\alpha$ -pinene	25.28	3.816	0.018	211.9889	0.013
43	n-Propyl benzene	25.59	0.035	0.0038	9.210526	0.001
44	Camphene	25.76	0.707	-	-	-
45	m-Ethyltoluene	25.86	0.058	0.018	3.238889	0.000
46	1,3,5-Trimethylbenzene	26.13	0.025	0.17	0.145882	0.000
47	Sabinene	26.48	2.131	-	-	-
48	$\beta$ -pinene	26.66	2.479	0.033	75.11818	0.004
49	Myrcene	26.91	7.242	-	-	-
50	$\ell$ -phellandrene	27.34	0.409	-	-	-
51	$\delta$ -3-carene	27.54	0.203	-	-	-
52	$\alpha$ -Terpinene	27.63	0.413	-	-	-
53	p-Cymene	27.70	2.698	-	-	-
54	Limonene	28.07	48.320	0.038	1271.579	0.075
55	Trans- $\beta$ -ocimene	28.20	0.413	-	-	-
56	$\gamma$ -Terpinene	28.50	6.825	-	-	-
57	Diallyl disulfide	28.68	0.180	0.00022	818.1818	0.048
58	2-Nonanone	28.82	0.106	-	-	-
59	$\alpha$ -terpinolene	29.06	0.563	-	-	-
60	Dipropyl disulfide	29.25	0.040	-	-	-
61	Decanal	30.60	0.227	0.0004	567.5	0.034

표적 향기성분인 pinene, 당근의 terpinene 등 odor threshold가 알려지지 않은 그 외 물질들도 대부분 식품중의 향기성분에서 유래하고 있음을 알 수 있었다.(식품학 개론)

식품의 부패과정에서 발생하는 아민류, 황화합물, 메르캡탄, 지방산등의 기여도가 높을 것으로 예상하였으나 전체 취기물질에서 최고의 악취를 나타낸 물질은 토마토의 향기성분으로 알려진 익어서 나는 시고 탄 냄새의 isovaleraldehyde로 나타났다으며 그 기여도가 72%였고 propyl mercaptan(11%), methylmercaptan(7.5%)

의 순으로 나타났다. 이는 음식물쓰레기 사료화시설의 악취가 매립이나 퇴비시설에서 발생하는 부패취기가 아니라 음식물 자체에서 발생하는 향기성분과 숙성과정의 혼합취기임을 알 수 있었다.

또한 규제물질별로 살펴보면 한국의 8개 항목 중에서 6개 물질이 검출되었으며 이중 methyl mercaptan의 악취기여도가 가장 높게 나타났으며 hydrogen sulfide, acetaldehyde, dimethyl sulfide, dimethyl disulfide 의 순으로 나타났다. 일본의 22개 항목 중에서는 14개 물질이 검출되었으며 isovaleraldehyde의 악취기여도가

Table 7. Components and concentration of sample gas (after biofiltration)

Compounds	R.T	Conc. (ppm)	Threshold (ppm)	Expected odor conc.	Attr.(%)
1 Hydrogen sulfide	1.7	0.005	0.00041	10.97561	0.021
2 Acetaldehyde	2.1	1.437	0.0015	958.3067	1.809
3 Methyl mercaptan	2.3	0.573	0.00007	8184.286	15.449
4 Ethanol	2.7	38.3921	0.52	73.8305	0.139
5 Dimethyl sulfide	3.6	0.355	0.003	118.28	0.223
6 Isobutyl aldehyde	4.4	1.009	0.00035	2881.714	5.440
7 1-Propanol	4.6	0.065	0.038	1.714211	0.003
8 Propyl mercaptan	6.3	0.152	0.000013	11692.31	22.071
9 Isobutyl alcohol	7.5	0.309	0.22	1.404545	0.003
10 3-Methyl butanal	8.6	1.721	0.0001	17206	32.479
11 2-Methyl butanal	9.3	1.097	0.0001	10968	20.704
12 n-Pentanal	11.7	0.057	0.00041	140	0.264
13 Allyl methyl sulfide	12.1	0.025	0.00014	175.7143	0.332
14 Dimethyl disulfide	15.0	0.037	0.0022	16.76364	0.032
15 n-Hexanal	18.1	0.048	0.00028	170.7143	0.322
16 Allyl sulfide	21.3	0.011	0.00022	51.81818	0.098
17 n-Hexanol	21.8	0.029	0.006	4.833333	0.009
18 $\alpha$ -pinene	25.3	0.275	0.018	15.29	0.029
19 $\beta$ -pinene	26.7	0.105	0.033	3.187273	0.006
20 Limonene	28.1	4.476	0.038	117.7947	0.222
21 Diallyl disulfide	28.7	0.033	0.00022	150.9091	0.285
22 Decanal	30.6	0.012	0.0004	30	0.057

가장 높으며 isobutyraldehyde의 비중도 상당히 높았다.

다. 최종 배출구의 악취성분

나. Biofilter 후단(1차처리후)의 악취성분  
A구 음식물쓰레기 사료화시설은 발생원 - Biofilter - 스크러버의 순으로 구성되어 있으며 Biofilter를 통과한 후의 가스를 저온흡착-GC/MSD를 이용하여 분석한 결과 60개의 휘발성물질이 검출되었으며 검출된 물질은 건조기의 경우와 유사하였고 최소감지값 이하의 물질은 악취에 대한 기여도가 낮은 것으로 판단하여 제외한 22개 물질의 성분과 농도, 예 상악취농도, 악취 기여도를 Table 7에

A구 음식물쓰레기 사료화시설의 1, 2차 방지시설 통과 후의 가스의 분석 결과를 Table 8에 나타내었다.  
휘발성 성분은 acetaldehyde를 포함한 59종의 물질이며 검출되었으며 최소감지값 이상의 물질은 21개 물질로 나타났으며 전체적으로 건조기, 바이오필터 후단의 결과와 유사한 양상으로 나타났다.

(2) B구 처리장 악취시료분석  
가. 처리공정에서의 악취성분

Table 8. Components and concentration of sample gas (final exhaust)

Compounds	R.T	Conc.(ppm)	Threshold (ppm)	Expected odor conc.	Attr.(%)
1 Acetaldehyde	2.05	1.605	0.0015	1069.653	1.881
2 Methyl mercaptan	2.32	0.400	0.00007	5718.571	10.059
3 Ethanol	2.67	3.398	0.52	6.5345	0.011
4 Dimethyl sulfide	3.6	0.302	0.003	100.7467	0.177
5 Isobutylaldehyde	4.35	1.265	0.00035	3613.143	6.355
6 1-Propanol	4.59	0.039	0.038	1.037368	0.002
7 Propyl mercaptan	6.33	0.054	0.000013	4153.846	7.306
8 Isobutyl alcohol	7.52	0.289	0.22	1.312727	0.002
9 3-Methyl butanal	8.6	2.545	0.0001	25452	44.769
10 2-Methyl butanal	9.34	1.536	0.0001	15360	27.017
11 n-Pentanal	11.67	0.068	0.00041	165.3659	0.291
12 Allyl methyl sulfide	12.05	0.023	0.00014	164.2857	0.289
13 Dimethyl disulfide	14.96	0.065	0.0022	29.41818	0.052
14 n-Hexanal	18.06	0.101	0.00028	359.2857	0.632
15 Allyl sulfide	21.29	0.007	0.00022	33.63636	0.059
16 n-Hexanol	21.79	0.035	0.006	5.8	0.010
17 α-pinene	25.28	0.127	0.018	7.058889	0.012
18 β-pinene	26.66	0.066	0.033	1.993333	0.004
19 Limonene	28.07	4.647	0.038	122.2789	0.215
20 Diallyl disulfide	28.68	0.069	0.00022	315.4545	0.555
21 Decanal	30.6	0.068	0.0004	169	0.297

B구 음식물쓰레기 사료화시설의 전체 처리공정에서 발생하는 취기가스를 저온 흡착-GC/MSD를 이용하여 분석한 total ion chromatogram을 Fig. 4에 나타내었고 각 Peak로 확인된 물질명과 농도, 예상약취농도, 약취 기여도를 Table 9에 나타내었다.

휘발성 성분은 acetaldehyde를 포함한 52종의 물질이 검출되었고 전체적으로는 A구의 결과보다는 예상 약취강도가 낮게 나타났으며 물질별로 isovaleraldehyde가 83.8%, isobutyraldehyde가 7.1%, methyl mercaptan 5.0%의 순으로 나타났다.

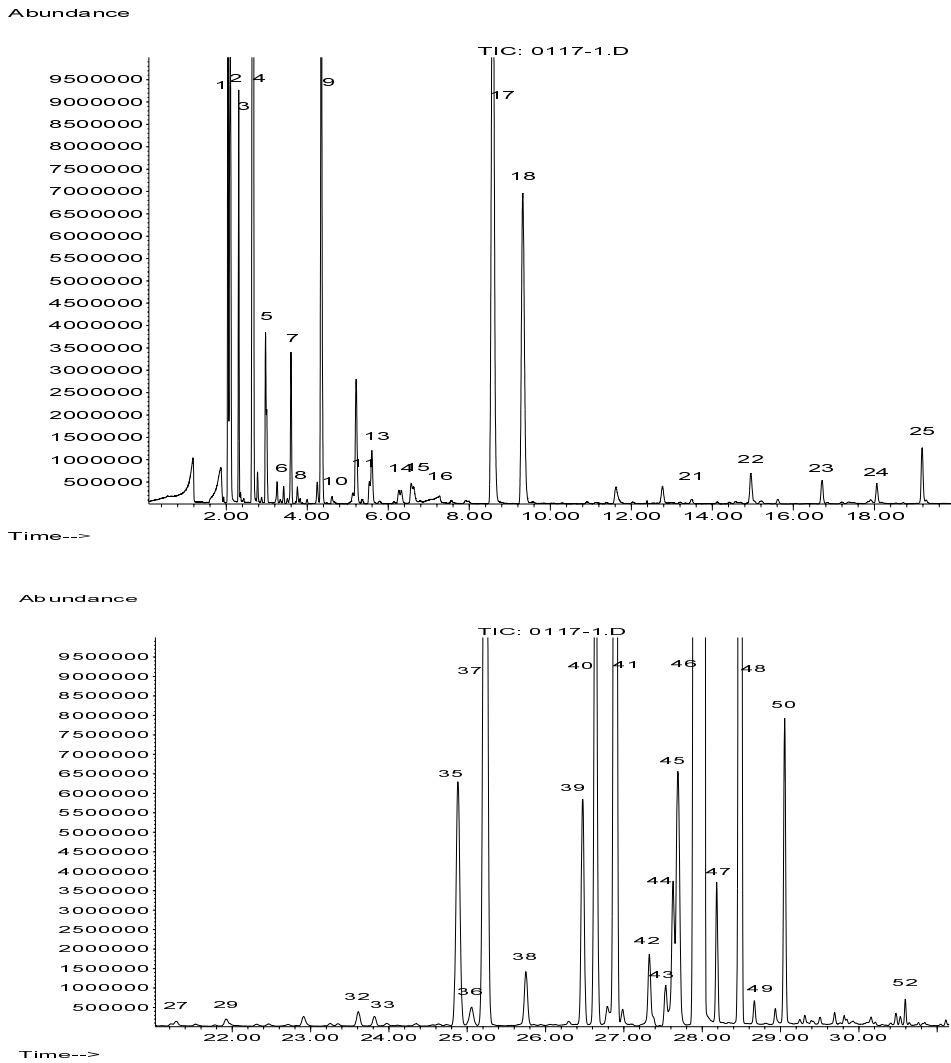


Fig. 4. Gas chromatogram of sample gas which was collected before biofiltration process in B gu.

Table 9. Components and concentration of sample gas (before biofiltration)

	Compounds	R.T	Conc.(ppm)	Threshold(ppm)	Expected Odor conc.	Attr.(%)
1	Acetaldehyde	2.05	2.874	0.0015	1915.747	0.841
2	Methanol	2.1	3.029	33	0.091776	0.000
3	Methyl mercaptan	2.32	0.799	0.00007	11408.86	5.009
4	Ethanol	2.67	45.978	0.52	90.68654	0.040
5	Acetone	2.98	0.401	42	0.01098	0.000
6	n-Pentane	3.42	0.024	1.4	0.017457	0.000
7	Dimethyl sulfide	3.6	0.255	0.003	84.96667	0.037
8	Methyl acetate	3.76	0.004	1.7	0.002588	0.000
9	Isobutyraldehyde	4.35	5.684	0.00035	16240	7.130
10	1-Propanol	4.59	0.023	0.038	0.604211	0.000
11	Butanal	5.35	0.059	0.094	0.631915	0.000
12	2-Butanone	5.52	0.046	0.44	0.104364	0.000
13	Propylene sulfide	5.6	0.142	-	-	-
14	Propyl mercaptan	6.33	0.067	0.000013	5138.462	2.256
15	Ethyl acetate	6.63	0.007	0.87	0.013077	0.000
16	Isobutyl alcohol	7.52	0.027	0.22	0.120909	0.000
17	3-Methyl butanal	8.6	12.806	0.0001	128062	56.228
18	2-Methyl butanal	9.34	6.291	0.0001	62910	27.622
19	Benzene	9.58	0.004	2.7	0.001326	0.000
20	Allyl methyl sulfide	12.05	0.006	0.00014	42.85714	0.019
21	n-Heptane	13.49	0.007	0.67	0.010806	0.000
22	Dimethyl disulfide	14.96	0.038	0.0022	17.09091	0.008
23	Toluene	16.72	0.019	0.33	0.056606	0.000
24	n-Hexanal(Caproaldehyde)	18.06	0.266	0.00028	950	0.417
25	2-Furancarboxaldehyde(Furfural)	19.19	0.736	-	-	-
26	n-Octane	19.28	0.004	1.7	0.002494	0.000
27	Allyl sulfide(Diallyl sulfide)	21.29	0.016	0.00022	89.75206	0.039
28	Ethyl benzene	21.54	0.002	0.17	0.012471	0.000
29	m,p-Xylene	21.93	0.008	0.058	0.132759	0.000
30	Styrene	22.71	0.002	0.035	0.057143	0.000
31	o-Xylene	22.92	0.002	0.38	0.005421	0.000
32	Methyl allyl disulfide	23.61	0.023	-	-	-
33	n-Nonane	23.83	0.009	2.2	0.004155	0.000
34	Methyl propyl disulfide	24.35	0.005	-	-	-
35	$\alpha$ -Thujene	24.9	0.167	-	-	-
36	Benzaldehyde	25.07	0.342	-	-	-
37	$\alpha$ -pinene	25.28	0.349	0.018	19.36667	0.009
38	Dimethyl trisulfide	25.75	0.086	-	-	-
39	Sabinene	26.48	0.121	-	-	-
40	$\beta$ -pinene	26.66	0.217	0.033	6.570909	0.003
41	Myrcene	26.91	0.700	-	-	-
42	$\ell$ -phellandrene	27.34	0.040	-	-	-
43	$\delta$ -3-carene	27.54	0.020	-	-	-
44	$\alpha$ -Terpinene	27.63	0.073	-	-	-
45	p-Cymene	27.7	0.155	-	-	-
46	Limonene	28.07	6.838	0.038	179.9342	0.079
47	Trans- $\beta$ -ocimene	28.2	0.056	-	-	-
48	$\gamma$ -Terpinene	28.5	1.096	-	-	-
49	Diallyl disulfide	28.68	0.028	0.00022	126.3636	0.055
50	$\alpha$ -terpinolene	29.06	0.114	-	-	-
51	Dipropyl disulfide	29.25	0.012	-	-	-
52	n-Decanal	30.6	0.189	0.0004	471.5	0.207

Table 10. Components and concentration of sample gas (after biofiltration)

	Compounds	R.T	Conc.(ppm)	Threshold(ppm)	Expected odor conc.	Attr.(%)
1	Acetaldehyde	2.05	0.391	0.0015	260.4933	0.847
2	Methyl mercaptan	2.32	0.036	0.00007	511.4286	1.663
3	Ethanol	2.67	12.340	0.52	23.7303	0.077
4	Dimethyl sulfide	3.60	0.040	0.003	13.36667	0.043
5	Isobutylaldehyde	4.35	0.377	0.00035	1077.143	3.503
6	Propyl mercaptan	6.33	0.033	0.000013	2553.846	8.305
7	3-Methyl butanal	8.60	1.780	0.0001	17802	57.894
8	2-Methyl butanal	9.34	0.779	0.0001	7790	25.334
9	Allyl methyl sulfide	12.05	0.001	0.00014	7.458051	0.024
10	Dimethyl disulfide	14.96	0.015	0.0022	6.992245	0.023
11	n-Hexanal	18.06	0.100	0.00028	355.7143	1.157
12	Allyl sulfide	21.29	0.016	0.00022	74.54545	0.242
13	$\alpha$ -pinene	25.28	0.271	0.018	15.04333	0.049
14	$\beta$ -pinene	26.66	0.167	0.033	5.063636	0.016
15	Limonene	28.07	5.569	0.038	146.5553	0.477
16	Diallyl disulfide	28.68	0.020	0.00022	90.90909	0.296

또한 규제물질별로 살펴보면 한국의 8개 항목 중에서 5개 물질이 검출되었으며 methyl mercaptan의 악취기여도가 가장 높게 나타났으며 acetaldehyde, Dimethyl sulfide, Dimethyl disulfide 순으로 나타났다. 일본의 22개 항목 중에서는 12개 물질이 검출되었으며 isovaleraldehyde의 악취기여도가 가장 높으며 isobutyraldehyde의 비중도 상당히 높았으며 이는 A구의 경우와 비슷한 양상을 나타내고 있다.

나. 최종 배출구의 악취성분

B구 음식물쓰레기 사료화시설은 배출

원-바이오필터로 구성되어 있으며 최종 배출구 취기가스를 저온흡착-GC/MSD를 이용하여 분석한 결과 51개 물질이 검출되었으며 취기검출한계 미만의 물질을 제외한 16개의 물질의 농도, 예상악취농도, 악취 기여도를 Table 10에 나타내었다.

3. 제거효율 및 취기의 평가

(1) 제거효율의 평가

음식물 쓰레기 처리설비에서 발생하는 악취유발물질은 식품의 부패과정에서 발생하는 아민류, 황화합물, 메르캡탄, 지방산등으로 예상하였으나 음식물 자체에서

발생되는 고유의 향기성분과 증자 및 건조과정에서의 혼합취기임을 알 수 있었다.

전체 61종의 검출물질 중 후각 최소감지값 이하의 물질들을 제외한 27개 물질들에 대한 농도 및 제거율을 Table 11로 나타내었다.

A구의 경우 건조기와 최종배출구에서

의 취기농도를 기준으로 산출한 총 제거율은 84.1%로 상당히 높은 제거율을 보이는데 이는 건조기의 발생가스가 타 처리공정의 발생가스와 혼합으로 인한 희석의 효과가 제거율에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

B구의 경우 방지시설 전후의 가스를

Table 11. Removal efficiency of the odor preventive equipment in A and B gu

물질명	A 구			제거율(%)	B 구		
	건조기 (ppm)	Biofilter 통과 (ppm)	최종 배출구 (ppm)		전단 (ppm)	후단 (ppm)	제거율(%)
1 Hydrogen sulfide	14.325	0.005	0	100.0	-	-	-
2 Acetaldehyde	14.282	1.437	1.605	88.8	2.874	0.391	86.4
3 Methyl mercaptan	8.914	0.573	0.400	95.5	0.799	0.036	95.5
4 Ethanol	276.712	38.392	3.398	98.8	47.157	12.340	73.8
5 Propanal	4.167	0	0	100.0	-	-	-
6 Dimethyl sulfide	8.251	0.355	0.302	96.3	0.255	0.040	84.3
7 Isobutyl aldehyde	27.081	1.009	1.265	95.3	5.684	0.377	93.4
8 1-Propanol	0.087	0.065	0.039	54.9	0.023	0.005	77.7
9 Propyl mercaptan	2.423	0.152	0.054	97.8	0.067	0.033	50.3
10 Isobutyl alcohol	0.214	0.309	0.289	-35.0	0.027	0.021	20.8
11 3-Methyl butanal	77.741	1.721	2.545	96.7	12.806	1.780	86.1
12 2-Methyl butanal	44.398	1.097	1.536	96.5	6.291	0.779	87.6
13 2-Pentanone	0.080	0.025	0.027	66.0	-	-	-
14 n-Pentanal	1.561	0.057	0.068	95.7	-	-	-
15 Allyl methyl sulfide	0.343	0.025	0.023	93.3	0.006	0.001	82.6
16 Dimethyl disulfide	0.829	0.037	0.065	92.2	0.038	0.015	59.1
17 n-Hexanal	4.509	0.048	0.101	97.8	0.266	0.100	62.6
18 Allyl sulfide	0.595	0.011	0.007	98.8	0.020	0.016	16.9
19 n-Hexanol	0.053	0.029	0.035	34.3	-	-	-
20 m,p-Xylene	0.133	0.008	0.007	94.9	0.008	0.004	44.7
21 $\alpha$ -pinene	3.816	0.275	0.127	96.7	0.349	0.271	22.3
22 n-Propyl benzene	0.035	0	0	100.0	-	-	-
23 m-Ethyltoluene	0.058	0.002	0.003	96.0	-	-	-
24 $\beta$ -pinene	2.479	0.105	0.066	97.3	0.217	0.167	22.9
25 Limonene	48.320	4.476	4.647	90.4	6.838	5.569	18.6
26 Diallyl disulfide	0.180	0.033	0.069	46.5	0.028	0.020	28.1
27 Decanal	0.227	0.012	0.068	70.2	0.189	0.006	96.9



시료채취구를 통하여 채취할 수 있었으며 후각 검출농도 이상 물질의 산술적 제거 효율은 62.8% 였으며 악취 기여도가 높은 물질 중 Methyl mercaptan이 95.5%, Isobutyl aldehyde가 93.4%, Isovaleraldehyde가 86.9%, Propyl mercaptan이 50.3%로 나타났다.

또한 물질 분류별 제거효율은 알데히드류 85.5%, 황화합물류 59.5%, 알코올류 57.4%, 고리화합물류가 27.1%의 제거 효율을 나타내고 있다.

이상의 결과는 기존 악취방지시설 검토의 기준이 되던 대기환경보전법에서 규정하고 있는 8개 항목과 상이함을 보여주고 있으며 방지시설 설계 및 관리·운영에 있어서 기존 악취물질의 획일적 관리에서 벗어나 기여도가 낮은 항목의 삭제와 더불어 기여도가 높은 항목을 추가검토 함으로써 처리시설 관리의 효율을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

(2) 취기의 평가

가. A구 처리장

취기의 강도를 평가하고자 후각최소감지농도를 이용하여 예상악취강도를 산출하였고 그 산출결과를 토대로 악취기여도를 나타낼 수 있었다.

A구 처리장 건조기의 휘발성 성분은 61종이었고 후각 최소감지농도 이상의 물질은 27종이었으며 주 악취원인물질은 isovaleraldehyde가 72.2%, propyl mercaptan 11.0%, methyl mercaptan 7.5%,

isobutyraldehyde 4.6%, hydrogen sulfide 2.1%의 순으로 나타났으며 타 성분들은 모두 1%이하의 미미한 악취 기여율을 나타내었다.

규제물질별로 살펴보면 한국의 규제물질 8개 항목 중에서 6개 물질이 검출되었고 methyl mercaptan, hydrogen sulfide의 순으로 악취기여도를 나타내었으며, 일본의 22개 항목 중에서는 14개 물질이 검출되었고 isovaleraldehyde의 악취기여도가 가장 높았다.

최종 배출구에서는 물질의 농도 및 예상악취농도는 전반적으로는 매우 감소하였으나 악취의 주원인물질은 건조기의 경우와 마찬가지로 isovaleraldehyde, methyl mercaptan의 순이었다.

규제 물질별로 살펴보면 한국의 규제물질 8개 항목 중에서 5개 물질이 검출되었고 methyl mercaptan, hydrogen sulfide의 순으로 악취기여도를 나타내었으며 일본의 22개 항목 중에서는 11개 물질이 검출되었고 isovaleraldehyde의 악취기여도가 가장 높았으며 isobutyraldehyde의 비중도 상당히 높았다.

악취 기여도가 있는 성분들의 악취에 대한 기여율을 방지시설 처리전과 후로 나누어 Fig. 5에 나타내었다.

나. B구 처리장

B구 처리장 모든 공정이 밀폐식으로 설계되어 각 공정별 시료채취가 여의치 않았으며 방지시설(biofilter)전·후의 시료 채취

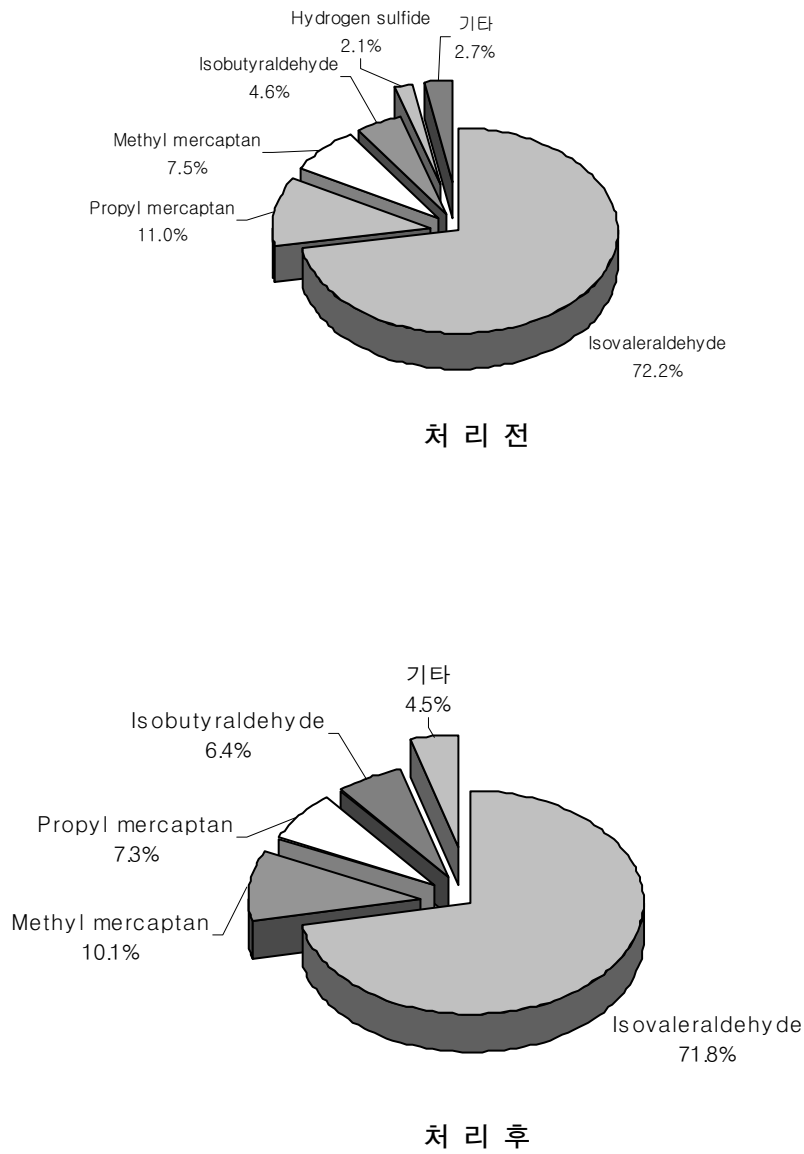


Fig. 5. The rate of attribution to the odor of components in A gu.

구를 통하여 악취가스를 채취할 수 있었다. 방지시설 통과하기 전의 휘발성 성분은 52종이 검출되었으며 주 악취원인물질은 isovaleraldehyde가 83.9%, isobuty-

raldehyde 7.1%, methyl mercaptan 5.0%, propyl mercaptan 2.3%의 순으로 나타났으며 타 성분들은 모두 1% 이하의 미미한 악취 기여율을 나타내었다.

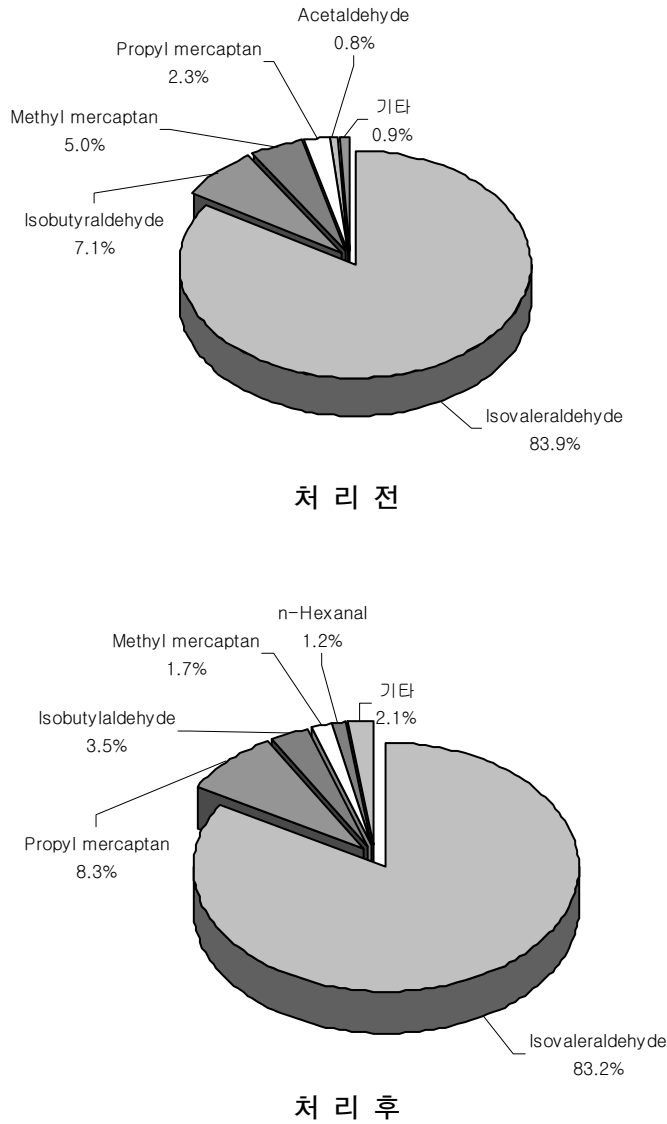


Fig. 6. The rate of attribution to the odor of components in B gu.

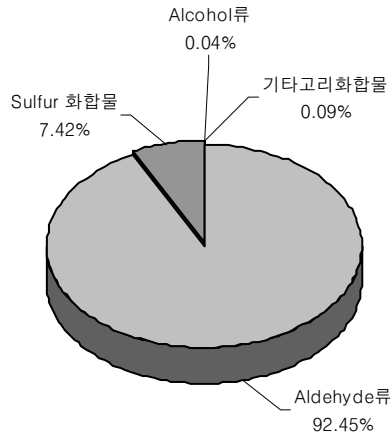


Fig. 7. The rate of attribution to the odor of classified components in B gu.

규제물질별로 살펴보면 한국의 규제물질 8개 항목 중에서 5개 물질이 검출되었으며 A구의 경우와는 다르게 acetaldehyde의 기여도가 높게 나타났으며 methyl mercaptan의 악취기여도가 가장 높았다.

일본의 22개 항목 중에서는 12개 물질이 검출되었고 isovaleraldehyde, isobutyraldehyde의 순으로 악취강도에 기여한 것으로 판단되었다.

최종 배출구에서는 악취물질의 농도 및 예상악취농도는 매우 감소하였으나 propyl mercaptan의 제거효율이 낮은 관계로 주 원인물질은 isovaleraldehyde, propyl mercaptan의 순으로 나타났다.

규제 물질별로 살펴보면 한국의 규제물질 8개 항목 중에서 4개 물질이 검출되었

고 methyl mercaptan의 악취기여도가 가장 높게 나타났으며 일본의 22개 항목 중에서는 12개 물질이 검출되었고 iso-valeraldehyde, isobutyraldehyde의 순으로 A구와 비슷한 양상을 나타내고 있다.

악취 기여도가 있는 성분들의 악취에 대한 기여율을 방지시설 처리전과 후로 나누어 Fig. 6에 나타내었다.

또한 방지시설 전단에서 후각 최소감지 농도 이상으로 검출된 물질들의 종류별 악취기여도를 Fig. 7에 나타내었다. 알데히드류가 5개, 황화합물이 7개, 알코올류가 3개, 기타고리화합물이 4개이었으며, 각 악취기여도는 알데히드류가 92.45%, 황화합물이 7.42%, 알코올류가 0.04%, 기타고리화합물이 0.09%로 나타났다.

## 결 론

저온흡착-GC/MSD를 이용한 음식물쓰레기 사료화시설에서 발생하는 악취의 원인물질을 규명하고 미량 물질의 다성분 동시분석방법을 확립하고자 실시한 이 연구를 통하여 61개 물질을 분리 검출할 수 있었으며 다음과 같은 유용한 결론을 도출하였다.

1. 저온흡착-GC/MSD는 저농도 다성분 동시분석기법으로 매우 우수하고 유용한 장비이며 악취원인 물질의 규명에는 가장 탁월한 분석기기로 사료된다.
2. 악취 기여도가 가장 높은 물질류는 알데히드류로서 악취 기여도가 92.5%이며, 그 다음으로 황화합물류 7.4%로, 두 화합물류의 기여도가 99% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났고,
3. 기존 운영되고 있는 Biofilter의 악취 성분 제거효율은 알데히드 85.5%, 황화합물류 59.5%, 알코올류 57.4% 등으로 나타났으며, 이 결과를 방지시설의 설계 및 운영 관리에 응용함으로써 악취저감방안에 대한 접근이 용이하리라 사료된다.
4. 음식물쓰레기 사료화 시설에서 발생하는 대표적 악취물질은 iso valera-

ldehyde, propyl mercaptan, methyl mercaptan, isobutyraldehyde 등으로 나타났으며, trimethylamine등의 기여도가 높은 매립장 및 하수처리장의 악취와는 성질이 다름을 알 수 있었다.

5. 대략적인 악취의 강도를 평가하는 방법으로 악취 기여도 수치를 인용하는 것은 매우 유용한 방법으로, 추후 근거식의 보완 등을 통해 악취 평가방법으로서의 확립이 가능하리라 사료된다.

최초로 시도된 음식물쓰레기 사료화 시설의 악취분석에 관한 연구를 통하여 관능법 및 기기분석법으로 도출할 수 없었던 악취원인물질을 규명할 수 있었고 차후 계속되는 연구를 통하여 원인물질의 평가방법을 더욱 보완하여 원인물질의 특성에 맞는 방지시설을 개발하여 음식물쓰레기 처리시설의 효율적인 운영 관리의 기초자료로 제공하고자한다.

※ 이 연구의 수행을 가능하게 한 부산광역시 폐기물시설설치지원기금을 유치할 수 있도록 도와주신 시청관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Duffee R.A., "Appraisal of odor-measurement technique", *J. of the*

- air pollution control association*, 18, 472~474, 1968.
2. Van Lith C., G. Leson and R. Michelsen, "Evaluating design options biofilters", *J. of the air & waste manage. Assoc.*, 47, 37~38, 1997.
  3. 농촌진흥청 축산기술연구소, 남은음식의 사료화이용기술, 1999.
  4. 대기환경보전법, 제2조(정의) 제7호 "악취"
  5. 부산광역시, 악취 배출원 관리계획, 2000.
  6. 박상진, "악취 및 VOC 제거를 위한 생물탈취기술개발", *첨단환경기술*, 9~17, 1999.
  7. 백성욱, "환경 대기중 휘발성 유기화합물의 포집과 분석방법", *한국대기보전학회지*, 12, 1~13, 1996.
  8. 양성봉, "악취관리방안에 관한 연구", *환경부*, 5, 1998.
  9. 양성봉, 이성화 공저, 악취의 성분분석, 동화기술, 1994.
  10. 이동훈, 이명섭, 정경진, *환경공학개론*, 61~63, 1995.
  11. 유영석, "생물학적 악취처리시스템의 설계 및 운전", *건설기술정보*, 176, 16~19, 1998.
  12. 이동훈, 이명섭, 정경진, *환경공학개론*, 61~63, 1995.
  13. 이혜경, 백승훈, "바이오필터의 기본이론 및 이용전망", *첨단환경기술*, 68~73, 1999.
  14. 전선주, 허귀석, "캐니스터와 Tedlerbag 시료채집법을 이용한 대기 중의 휘발성 유기황화합물의 측정", *한국대기환경학회지*, 15, 417~428, 1999.
  15. 환경부, 악취물질 발생원 관리방안 개선을 위한 조사연구, 2001.
  16. 환경부, 악취배출시설 관리업무편람, 3~88, 1999.