

음식물쓰레기 처리설비에서 발생하는 악취성분 분석 및 걱정 처리방안 연구(Ⅱ)

산업환경과

정재은 · 송복주 · 정승렬

Removal of Malodorous Compounds from Foodwaste Treatment Processing (Ⅱ)

Industrial Environment Division

Jae-Eun Jung · Bok-Joo Song · Seong-Ryul Jung

Abstract

In order to reduce the odor at the foodwaste recycling facilities the offensive odorous compounds of a foodwaste and that emitted during the process of foodwaste recycle was examined. And the expected odor concentration was used in order to estimate the odorous intensity.

The odorous compounds from the meat foodwaste were mainly allyl sulfides during the initial store period of the foodwaste, but it changed to propyl mercaptan and methyl mercaptan at the 4th and 5th day and trimethylamine from the 6th store day. The odorous compounds from the fish foodwaste were mainly methyl mercaptan during the initial store period of the foodwaste, but it changed to methyl mercaptan and trimethylamine during the 5th~11th store day and trimethylamine from the 12th store day. The odorous compounds from the vegetable foodwaste were mainly propyl mercaptan during the initial store period of the foodwaste, but it changed to methyl mercaptan from the 4th store day and trimethylamine from the 14th store day.

The expected odor concentration during the store period and the recycling(steamed) procedure increased according to the store days. At the steam procedure it has rapidly increased after the 4th store day and at the storage after 5th store day.

The most odorous compounds was emitted from the steam procedure of all recycling process, the input procedure to a hopper, steam procedure and cooling procedure. And it was founded that isovaleraldehyde, methyl mercaptan, diacetyl and isobutyraldehyde in order of expected odor concentration were the main odorous compounds during the steam procedure.

The efficiency of the odorous compounds reduction process of the foodwaste recycling facilities was 58.9% at the first reduction stage(the biofilter process) and 49.1% at the seconds reduction stage(wet scrubber). The result showed that a high reductive efficiency appear to sulfurs that a low reductive efficiency to aldehydes.

Key word : foodwaste, methyl mercaptan, trimethylamine, biofilter

I. 서론

악취는 「황화수소, 메르캡탄류, 아민류, 기타 자극성 있는 기체성 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새」라고 정의한다¹⁾. 냄새의 원인이 되는 물질은 약 40만가지로 알려져 있으며, 에스테르류, 테르펜류, 알데히드류 등은 향기를 나타내는 물질로서 향수와 방향제의 성분으로 사용되고 있고, 황화합물, 아민류, 메르캡탄류 등은 대표적 악취물질로서 작용한다. 그러나 어떤 물질이 좋은 냄새로 혹은 악취로 작용하는가는 대체로 그 물질의 고유한 냄새에 의해 정해지기도 하지만 경우에 따라서는 농도에 따라 좌우될 수 있다. 예로서 배설물 중의 대표

적인 악취로 알려져 있는 인돌을 극저농도로 묽히면 자스민과 같은 좋은 냄새로 느껴지고, 보통의 농도로는 방향을 주는 향수도 높은 농도에서는 불쾌감을 주며, 진한 농도의 부틸알코올은 악취를 나타내지만 묽혀서 사이다의 방향제로 사용되고 있다²⁾. 또한 일반적으로 습관화되지 않은 냄새나 계속적으로 발생하는 냄새는 악취로 느껴지는 경우가 많아 악취와 향기를 단정적으로 구별하기란 애매하며, 악취를 느끼는 정도는 악취물질의 종류와 농도뿐만 아니라 정신적, 육체적 상태 및 환경조건에 따라서도 피해의 정도가 다르게 나타나므로 악취에 대한 불쾌감을 일정한 기준이나 측정방법에 따라 평가하기란 매우 곤란하다. 즉, 생활환경과 사람의 심리

적 판단에 따라 악취를 느끼는 양상이 다르게 나타나므로 악취물질의 종류와 농도만을 가지고 악취오염 상태를 나타내기는 매우 어렵다³⁾. 이러한 악취로 인한 피해는 주로 감각적인 것으로 불쾌감, 혐오감을 들 수 있으며, 그 외 식욕감퇴, 구토, 불면 등의 생리적인 영향 또는 정서생활의 방해 등 심리적 영향이라 볼 수 있는데 경제발전과 더불어 생활수준이 향상됨에 따라 악취에 대한 관심도는 점차 높아지고 있다. 부산시의 연도별 악취민원 발생현황에서와 같이 1997년 3건, 1998년 112건, 1999년 242건으로 매년 급격히 증가하고 있는 추세이다⁴⁾.

특히 음식물쓰레기 자원화시설은 국가정책인 폐기물 자원의 재활용 측면에서 그 중요성이 부각되고, 2005년도부터 실시될 음식물쓰레기의 직매립 금지로 인해 더욱 늘어날 것으로 전망됨에 따라 빈번한 민원발생이 예상되고 있어 음식물쓰레기 자원화시설의 악취관리에 대한 대책이 시급하다.

하지만 지금까지의 악취저감방법에 관한 연구는 개별적인 악취물질에 대한 물리·화학적 또는 생물학적 처리방법을 위주로 진행되어졌고, 여러 가지 악취물질에 대한 포괄적인 저감방안에 관한 연구는 아직 미미한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 음식물쓰레기 처리시설에서 발생하는 악취성분을 규명하고 그 저감방안을 수립하는 것이다.

2000년부터 2002년에 걸쳐 수행된 1차 보고서에서는 기초자치단체에서 운영관리하고 있는 음식물쓰레기 사료화시설에서 발생하는 악취성분의 정확한 분석을 통해 악취 원인물질을 규명하였고, 저온흡착-GC/MSD를 이용한 다성분 동시분석법의 검증을 통하여 새로운 악취분석법을 제시하였으며, 악취의 최소감지값(Threshold)을 이용하여 악취성분의 기여도를 비교검토하여 음식물쓰레기 처리시설의 적정 관리 운영 및 방지시설 설계 등의 필요한 기초 자료를 제시하였다.

이에 2차 본 연구는 기존 음식물쓰레기 처리시설에 설치되어 있는 처리공정별 악취성분과 악취방지시설의 악취에 대한 제거 효율을 규명하고, 음식물쓰레기의 방치일수에 따른 악취성분 및 처리공정에서 발생하는 악취성분을 분석하여 음식물쓰레기로 인한 주변 생활환경 및 음식물쓰레기 처리시설의 악취를 저감하기 위한 최선의 방안을 마련하고자 실시하였다.

(정의)

방치기간 : 음식물쓰레기의 발생으로부터 음식물쓰레기처리시설로 유입되기 전까지의 기간

II. 실험 방법 및 재료

1. 실험대상

① 대상시설 : 부산광역시 해운대 남은 음식물 사료화시설

기존 음식물쓰레기 처리시설의 처리공정별 악취성분과 악취 방지시설의 효율을 분석하기 위하여 「부산광역시 해운대 남은 음식물 사료화시설」을 선택하였으며, 개략적인 처리공정도를 Fig. 1에 나타내었다.

② 본 연구를 수행하기 위하여 종류별 및 혼합 음식물쓰레기를 실험대상으로 하였으며,

③ 방치일수별 및 처리과정에서 발생하

는 악취성분의 분석을 위한 음식물쓰레기의 조성, 방치 일수 및 실험기간을 Table 1에 나타내었다.

④ 방치장소의 평균온도는 $26\pm 2^{\circ}\text{C}$ 를 유지하였다.

2. 분석방법

음식물쓰레기 처리시설에서 발생하는 악취성분의 분석방법은 미국 환경보호청(EPA)의 TO-15 방법을 이용하였으며,

① 시료의 포집 및 농축

시료포집은 악취시료를 성분의 변화 없이 실험실로 운반할 수 있는 시료포집용기인 캐니스터를 사용하였고, 시료의 농축은



Fig. 1. Processing diagram of Haeundae Foodwaste facility.

Table 1. Component of experimental foodwaste

		material	store period	experimental date
kinds	Meat	beef with spicy	1st, 3~14th, 24th, 34th, 44th	2003.8.27 ~10.9
	Fish	roast yellow corvina		
	Vegetable	radish, onion, cucumber celery cabbage, crown daisy		
Mixed		rice, onion, leek, anchovy, fish egg, mushroom, boil celery cabbage, boil bean sprouts (same ratio)	1st, 3rd, 4th, 5th, 6th	2003.12.3 ~12.8

포집된 시료 중 미량의 악취성분을 농축하기 위하여 저온농축장치를 사용하였다.

② 분석

농축된 시료의 분석은 GC/MSD로 분석하였고, 분석조건은 Table 2와 같으며, 각 성분과 표준품의 GC/MSD 질량스펙트럼과 머무름시간을 비교하여 악취성분을 정성 및 정량하였고, 표준품이 없는 검출 물질은 검량선과 끓는점, 분자구조상 유사할 것으로 예상되는 표준품으로부터 해당 악취성분의 농도를 추정하였다.

III. 결과 및 고찰

악취를 발생하는 성분은 단순하게 그 성분의 농도만으로 악취의 강도에 기여하는 바가 크다고 단정할 수는 없다. 왜냐하면 악취성분에 따라서는 높은 농도라고 할지라도 악취기(惡臭氣)를 나타내지 못하고, 아주 미량의 농도라고 할지라도 악취기에 지대한 영향을 미치는 성분이 있기 때문이다. 이러한 점이 악취 성분에 대해 정량적

Table 2. Analytical conditions of preconcentration and GC/MSD

Step		Conditions
7100 Preconcentrator	Trap 1 (Empty)	<ul style="list-style-type: none"> • Sample Vol. : 50~500ml • Flow rate : 60ml/min • Trapping : -10°C • Desorb : 20°C (Preheat 20°C)
	Trap 2 (Tenax)	<ul style="list-style-type: none"> • Trapping : -70°C • Desorb : 180°C
	Cryofocusing Trap	<ul style="list-style-type: none"> • Cool down temp. : -150°C • Injection temp : 80~90°C • Desorb : 180°C • Injection time : 3min
6890N GC	Injector	• Volatile Interface, 100°C
	Column	<ul style="list-style-type: none"> • HP-1MS(30m x 0.2mm x 1.0μm) • Carrier gas : He 1.0ml /min
	Oven Temp.	<ul style="list-style-type: none"> • Initial Temp. : 30°C (10min) • 1st Ramp : 5°C/min • 1st Hold Temp. : 100°C (1min) • 2nd Ramp : 15°C/min • Final Temp. : 230°C (3min)
5973MSD	Detector	<ul style="list-style-type: none"> • MSD temp : 230°C • EM Volts : 1618 • Scan mode (range 30-400)

으로 논의하기 어렵게 하는 요인이 되고 있다. 일반적으로 악취성분에 따라 악취를 감지할 수 있는 최소농도인 최소감지값(Odor Threshold, Table 3)이 있기 때문에 측정된 농도를 최소감지값으로 나누어 예상악취강도(Expected Odor Concentration)⁴⁾를 산정할 수 있다.

따라서 분석된 악취성분의 예상악취강도를 검토하기 위하여 수식(1)과 같이 각 악취성분의 농도를 성분별로 알려진 최소감지값으로 나누어 예상악취강도를 산정하였다. 그리고 측정된 모든 악취성분의 예상악취강도를 모두 합하여 전체 예상악취강도를 구하고, 구해진 전체 예상악취강도에 대한 각 악취성분의 예상악취강도의 백분율을 수식(2)와 같이 악취기여율로 정의하여 악취에 주로 기여하는 원인물질을 규명하고자 하였다.

$$O_{bf} = C_m / C_T \quad (1)$$

O_{bf} ; 측정된 악취성분의 예상악취강도
 C_m ; 측정된 악취성분의 농도
 C_T ; 측정된 악취성분의 최소감지값

$$A_o = O_{bf} / \sum O_{bf} \times 100 \quad (2)$$

A_o ; 악취기여율(%)
 O_{bf} ; 측정된 악취성분의 예상악취강도
 $\sum O_{bf}$; 측정된 모든 악취성분의 예상악취강도 합

악취는 악취성분의 농도보다 악취의 세기를 표현하는 악취강도에 의존하므로 악취성분의 전체 악취강도에 대한 기여율을 계산함으로써 악취의 주요 성분이 어느 물질인가를 판단할 수 있다. 즉 악취는 농

도가 높은 악취물질을 대상으로 제어가 계획되기보다는 악취기여율이 높은 악취물질을 중심으로 제어가 계획되어야 악취 저감의 효율성이 있으므로, 기여율의 계산은 악취저감 대책 마련을 위한 중요한 과정이라고 할 수 있다.

1. 음식물쓰레기의 방치일수에 따른 악취성분

음식물쓰레기의 악취 분석을 위해서 육류는 39개의 악취성분, 생선류는 22개의 악취성분, 채소류는 14개의 악취성분에 대해서 분석이 이루어졌고, 상기 악취 성분 가운데 음식물쓰레기 종류별로 성분별 악취기여율의 총합이 95% 이상이 되는 범위의 악취성분을 선정하여 검토하였으며, 종류별 음식물쓰레기의 총예상악취강도는 본 실험의 분석대상 악취성분 육류 39개 성분, 생선류 22개 성분, 채소류 14개 성분의 예상악취강도를 방치일자별로 모두 합하여 계산하였다.

그리고 검출된 총 41개 물질을 규제물질별로 살펴보면 한국의 8개 항목 중에서 7개 물질, 메틸메르캅탄, 황화수소, 황화메틸, 이황화메틸, 트리메틸아민, 아세트알데히드, 스티렌이 검출되었으며 일본의 22개 항목 중에서는 12개 물질, 메틸메르캅탄, 황화수소, 황화메틸, 이황화메틸, 트리메틸아민, 아세트알데히드, 스티렌, 이소부티르알데히드, 이소발레르알데히드, 이소부티르알코올, 아세트산에틸, 톨루엔이 검출되었다. 현행 한국과 일본의 악취규제물질을

Table 3. Odor Threshold (ppm)⁴⁾

No.	Compounds	Threshold	No.	Compounds	Threshold
1	2-Butanol	0.22	28	Isoamyl alcohol	0.0017
2	2-Butanone	0.44	29	Isobutyl acetate	0.008
3	2-Butenal	0.023	30	Isobutyl alcohol	26
4	2-Methyl pentane	7	31	Isobutyl isovalerate	0.0052
5	2-Pentanone	0.028	32	Isobutyraldehyde	0.00035
6	Acetaldehyde	0.0015	33	Isopropanol	0.01
7	Acetone	42	34	Isovaleraldehyde	0.0001
8	Acrolein	0.0036	35	Limonene	0.038
9	Butanal	0.00067	36	Methanol	33
10	Butane	1200	37	Methyl acetate	1.7
11	Carbon disulfide	0.21	38	Methyl allyl sulfide	0.00014
12	Carbonyl sulfide	0.055	39	Methyl cyclohexane	0.15
13	Decane	0.87	40	Methyl isobutyrate	0.0019
14	Diacetyl	0.00005	41	Methyl isovalerate	0.0022
15	Diallyl disulfide	0.00022	42	Methyl mercaptan	0.00007
16	Diallyl sulfide	0.00022	43	Nonane	2.2
17	Dimethyl disulfide	0.0022	44	Octane	1.7
18	Dimethyl sulfide	0.003	45	Pentanal	0.00041
19	Dodecane	0.11	46	Pentane	1.4
20	Ethanol	0.52	47	Propanal	0.001
21	Ethyl acetate	0.87	48	Propanol	0.038
22	Ethyl isovalerate	0.000013	49	Propyl mercaptan	0.000013
23	Heptanal	0.00018	50	Styrene	0.035
24	Heptane	0.67	51	Toluene	0.33
25	Hexanal	0.00028	52	Trimethyl amine	0.000032
26	Hexane	1.5	53	α-Pinene	0.018
27	Hydrogen sulfide	0.00041	54	β-Pinene	0.033

Table 4에 나타내었고, Table 5는 종류별 음식물쓰레기의 분석대상 약취성분을 나타내었다.

1-1. 육류 음식물쓰레기의 방치 일수에 따른 약취 성분

육류 음식물쓰레기의 방치 일수에 따른 약취 성분분석을 위한 시료는 육류 고기가 날것인 상태로 쓰레기로 분류되는 경우는 거의 없기 때문에 일반적으로 불고기 양념으로 알려진 양념으로 조리되고 익힌 소고기를 선정하였다.

Table 4. Regulatory odorous material in Japan and Korea(◎ : Korea)

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

Table 5. Odor compounds of foodwaste

	Compounds	Meat(39Comp.)	Fish(22Comp.)	Vegetable(14Comp.)
	Sulfurs			
1	Carbonyl sulfide	○		○
2	Hydrogen sulfide	○	○	○
3	Dimethyl sulfide	○	○	○
4	Methyl allyl sulfide	○	○	○
5	Diallyl sulfide	○	○	
6	Carbon disulfide	○		○
7	Dimethyl disulfide	○	○	○
8	Diallyl disulfide	○	○	
9	Methyl mercaptan	○	○	○
10	Propyl mercaptan	○	○	○
	Alcohols			
11	Methanol	○		
12	Ethanol	○	○	
13	Isobutanol	○	○	
14	Isopropanol	○	○	
15	2-Butanol	○	○	
	Aldehydes			
16	Acetaldehyde	○	○	○
17	Isobutyraldehyde	○	○	
18	Isovaleraldehyde	○	○	
19	Hexanal	○	○	
	Ketones			
20	Acetone	○	○	○
21	2-Butanone	○		○
22	2-Pentanone	○	○	
	Esters			
23	Methyl acetate	○		○
24	Ethyl acetate		○	
25	Methyl isobutyrate	○		
26	Methyl isovalerate	○	○	
27	Ethyl isovalerate	○		
28	Isobutyl isovalerate	○		
	Amines			
29	Trimethyl amine	○	○	○
	Hydrocarbons			
30	Pentane	○	○	
31	2-Methyl pentane	○		
32	Hexane	○		
33	Heptane	○		
34	Octane	○		
35	Nonane	○		
36	Decane	○		
37	Dodecane	○		
38	Toluene	○		
39	Styrene	○		
40	Methyl cyclohexane	○		
	Morterpene			
41	Limonene			○

음식물쓰레기의 악취분석 대상 성분은 악취기여율의 총합이 95%가 되는 8개 물질, 프로필메르캡탄, 메틸메르캡탄, 트리메틸아민, 메틸아릴설파이드, 황화아릴, 이황화아릴, 황화메틸, 이황화메틸로 선정하였으며, 분석결과 악취성분의 농도는 Table 6에, 예상악취강도는 Table 7에 나타내었다. 그리고, 육류 음식물쓰레기의 악취를 나타내는 대표적인 성분을 고찰하기 위한 악취기여율은 Table 8과 Fig. 2에 나타내었다.

시료의 방치 초기(1~3일째)의 냄새는 아릴계 및 메틸계 황화합물에 의한 것으로 이는 주로 양념류로부터 기인되었다고 할 수 있으며⁵⁾, 방치 당일에는 이황화아릴이 0.692ppm으로 최대 예상악취강도 3146을, 방치 3일째에는 메틸아릴설파이드가 0.213ppm으로 최대 예상악취강도 1525를 나타내어 이 두 성분이 방치 초기의 주요 냄새성분임을 알 수 있었다. 방치 4일과 5일째의 부패 초기단계에서는 메틸메르캡탄이 각각 12.598ppm과 21.235ppm으로 다량 생성되어 예상악취강도가 각각 179971과 303357로 최대값을 나타내면서 악취 원인물질로 작용하였으나, 이후 거의 소멸되었다. 메틸메르캡탄이 소멸되기 시작한 방치 6일째에 대표적 부패취로 알려진 트리메틸아민이 2.374ppm으로 검출되어 최대 예상악취강도 74188를 나타내기 시작하면서 점차 증가하여 방치 10일과 11일째 각각 8.649ppm와 10.950ppm으로 각각 최대 예상악취강도인 270281과

342188를 나타낸 이후 감소하였으나 34일째 17.837ppm(예상악취강도 557406)으로 최대 농도값이 검출되었으며, 방치 6일째 이후 최대 예상악취강도를 나타내면서 주요 악취원인으로 작용하였다. 이외 메틸아릴설파이드와 이황화메틸의 악취기여율이 다소 높게 나타났으며, 메틸아릴설파이드와 이황화메틸은 방치 초기에는 저농도로써 식품의 고유한 냄새성분으로, 방치일수가 경과함에 따라 다량 발생되어 고농도로써 악취의 상당부분을 차지하는 것으로 나타나 동일한 성분일지라도 농도에 의한 냄새의 질적 차이가 크다²⁾는 것을 알 수 있었다.

악취의 세기를 가늠할 수 있는 총예상악취강도는 방치 당일 8074에서 3일째 2480으로 다소 감소하였고, 이는 양념의 휘발성 향기성분이 일부 휘발되어 소멸된 것으로 추정된다. 방치 4일과 5일째는 메르캡탄류의 다량 생성으로 각각 279884와 381759로 급증하였고, 6일째 메르캡탄류의 소멸과 동시에 급감하여 이후 점증적으로 증가한 후 13일째부터 감소하기 시작하였으나 34일째 트리메틸아민의 급증으로 최대값인 585960으로 실험기간 중 최대 예상악취강도를 나타내었다. 이러한 결과로써 악취강도는 부패의 진전에 따라 순차적으로 생성되어 악취에 기여하는 성분에 따라 증가와 감소를 반복하였으나, 감각적인 냄새로서의 부패는 방치 4일째부터 시작된 것으로 나타났다.

Table 6. Concentration of odor compounds (meat foodwaste)

Days	Conc.(ppm)							
	Propyl mercaptan	Methyl mercaptan	Trimethyl amine	Methyl allyl sulfide	Diallyl sulfide	Diallyl disulfide	Dimethyl sulfide	Dimethyl disulfide
1	0.000	0.000	0.000	0.392	0.256	0.692	0.329	1.424
3	0.000	0.000	0.000	0.213	0.143	0.021	0.171	0.168
4	1.082	12.598	0.000	1.513	0.196	0.057	1.714	8.214
5	0.573	21.235	0.000	2.278	0.155	0.038	2.610	34.530
6	0.000	0.000	2.374	3.138	0.107	0.000	1.723	51.801
7	0.000	0.000	4.582	6.674	0.162	0.000	2.414	77.070
8	0.000	4.491	6.643	11.197	0.201	0.000	1.541	99.949
9	0.000	0.044	8.018	12.815	0.200	0.000	0.810	100.921
10	0.000	0.000	8.649	11.898	0.080	0.000	0.280	91.902
11	0.000	0.000	10.950	13.108	0.059	0.000	0.490	91.491
13	0.000	0.000	1.234	9.812	0.000	0.000	0.270	72.492
14	0.000	0.000	2.603	3.781	0.000	0.000	0.082	46.119
24	0.000	0.000	3.046	0.989	0.000	0.000	0.028	20.504
34	0.000	0.000	17.837	2.334	0.000	0.000	0.055	25.991
44	0.000	0.000	0.365	1.167	0.000	0.000	0.023	13.489

Table 7. Expected odor concentration of odor compounds (meat foodwaste)

Days	Expected odor concentration								Total
	Propyl mercaptan	Methyl mercaptan	Trimethyl amine	Methyl allyl sulfide	Diallyl sulfide	Diallyl disulfide	Dimethyl sulfide	Dimethyl disulfide	
1	0	0	0	2797	1163	3146	647	110	8074
3	0	0	0	1525	652	97	76	57	2480
4	83214	179971	0	10805	891	257	3734	571	279884
5	44052	303357	0	16273	706	175	15695	870	381759
6	0	0	74188	22412	488	0	23546	574	121362
7	0	0	143188	47675	736	0	35032	805	228176
8	0	64157	207594	79977	914	0	45431	514	413297
9	0	629	250563	91534	911	0	45873	270	406574
10	0	0	270281	84984	363	0	41774	93	408587
11	0	0	342188	93630	267	0	41587	163	413582
13	0	0	38563	70084	0	0	32951	90	142320
14	0	0	81346	27004	0	0	20963	27	129618
24	0	0	95188	7066	0	0	9320	9	111645
34	0	0	557406	16673	0	0	11814	18	585960
44	0	0	11406	8334	0	0	6131	8	25909

Table 8. Attribution ratio of odor compounds (meat foodwaste)

Days	Attribution ratio(%)							
	Propyl mercaptan	Methyl mercaptan	Trimethyl amine	Methyl allyl sulfide	Diallyl sulfide	Diallyl disulfide	Dimethyl sulfide	Dimethyl disulfide
1	0.0	0.0	0.0	34.4	14.3	38.7	1.4	8.0
3	0.0	0.0	0.0	61.5	26.3	3.9	2.3	3.1
4	29.7	64.3	0.0	3.9	0.3	0.1	0.2	1.3
5	11.5	79.5	0.0	4.3	0.2	0.0	0.2	4.1
6	0.0	0.0	61.1	18.5	0.4	0.0	0.5	19.4
7	0.0	0.0	62.8	20.9	0.3	0.0	0.4	15.4
8	0.0	15.5	50.2	19.4	0.2	0.0	0.1	11.0
9	0.0	0.0	61.7	22.5	0.2	0.0	0.1	11.3
10	0.0	0.0	66.2	20.8	0.1	0.0	0.0	10.2
11	0.0	0.0	65.4	22.6	0.1	0.0	0.0	10.1
13	0.0	0.0	27.1	49.2	0.0	0.0	0.1	23.2
14	0.0	0.0	62.8	20.8	0.0	0.0	0.0	16.2
24	0.0	0.0	85.3	6.3	0.0	0.0	0.0	8.3
34	0.0	0.0	95.1	2.8	0.0	0.0	0.0	2.0
44	0.0	0.0	44.0	32.2	0.0	0.0	0.0	23.7

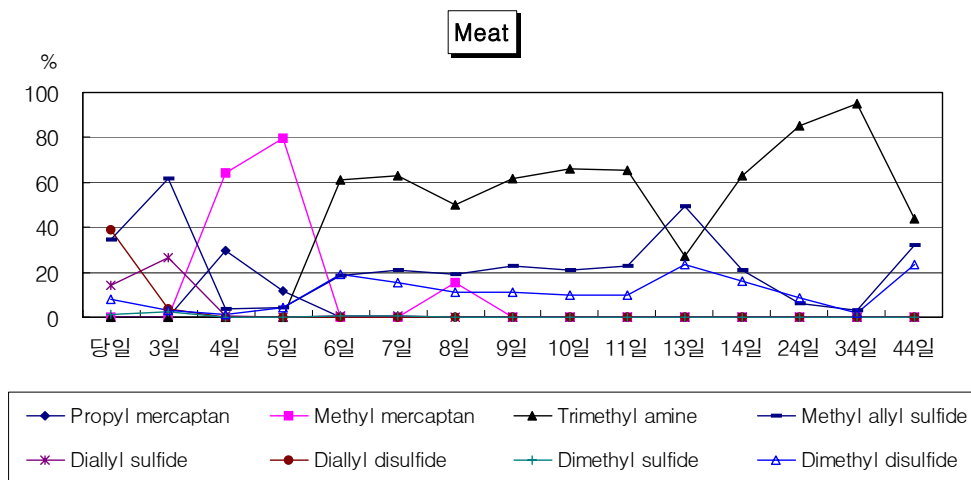


Fig. 2. Attribution ratio of odor compounds of meat foodwaste.

1-2. 생선류 음식물쓰레기의 방치 일수에 따른 악취성분

생선류 음식물쓰레기의 악취성분 분석을 위한 시료로 구운 조기를 선정하였다. 조기는 다른 생선과 비교하여 우리나라에서 생선의 머리부분을 제거하지 않고 요리될 확률이 높은 생선으로서 머리, 뼈 등 비가식부분이 많아 조리된 상태에서 음식물쓰레기로 배출되는 부분이 많은 생선이라고 볼 수 있다.

생선류 음식물쓰레기의 악취분석 대상 성분은 악취기여율의 총합이 95%이상 되는 8개 물질, 메틸메르캅탄, 프로필메르캅탄, 이소발레르알데히드, 메틸아릴설파이드, 트리메틸아민, 이황화메틸, 황화수소, 이황화아릴로 선정하였다. 악취성분의 농도와 예상악취강도를 각각 Table 9과 Table 10에 나타내었다. 그리고, 악취를 나타내는 대표적인 성분을 고찰하기 위한 악취기여율은 Table 11과 Fig. 3에 나타내었다.

방치 당일 검출된 생선류 고유의 또는 조리과정에서의 냄새성분은 메틸메르캅탄, 프로필메르캅탄, 이소발레르알데히드, 메틸아릴설파이드, 이황화메틸, 이황화아릴으로 이 중 메틸메르캅탄이 0.258ppm으로 최대 예상악취강도 3686을 나타내어 냄새의 주요원인물질로 나타났고, 방치 3일과 4일째 메틸메르캅탄이 각각 1.760ppm으로 최대 예상악취강도 25143을, 1.399ppm으로

최대 예상악취강도 19986을 나타내어 이때의 냄새성분의 90%정도가 메틸메르캅탄에 의한 것으로 나타나 방치 초기 냄새의 주성분은 저농도의 메틸메르캅탄임을 알 수 있었다. 그리고, 생선류의 부패취로 널리 알려진 트리메틸아민은 방치 5일째 4.028ppm, 최대 예상악취강도 125875로 생성되기 시작하여, 이후의 악취에 메틸메르캅탄과 함께 상당한 영향을 미친 것으로 나타났다. 하지만 이 때의 메틸메르캅탄은 방치 초기인 3일과 4일째의 농도에 비해 다소 증감은 있으나, 비교적 높지 않은 농도로써 악취에 기여하는 것으로 나타나는 동일한 농도로 존재할지라도 트리메틸아민, 이황화메틸 등 다른 악취성분과의 상가작용 등에 의해 악취에 미치는 영향이 상이해진다는 것을 알 수 있었다.

생선류 음식물쓰레기의 방치일수별 악취강도의 변화는 총예상악취강도로 판단할 수 있으며, 당일 6348에서 점차 증가하여 5일째 트리메틸아민의 생성으로 204939로 급격히 증가한 이후 증감을 반복하다가 12일째 이후는 트리메틸아민의 급증으로 인해 3가지 음식물쓰레기 종류 가운데 가장 심한 악취강도를 보였으며, 34일째 측정일 가운데 가장 강한 악취강도인 654641을 나타내었다. 감각적인 냄새로서의 부패는 트리메틸아민의 생성된 방치 5일째부터 시작된 것으로 나타났다.

Table 9. Concentration of odor compounds (fish foodwaste)

Days	Conc.(ppm)							
	Methyl mercaptan	Propyl mercaptan	Isovaler aldehyde	Methyl allyl sulfide	Trimethylamine	Dimethyl disulfide	Hydrogen sulfide	Diallyl disulfide
1	0.258	0.017	0.055	0.046	0.000	0.061	0.000	0.042
3	1.760	0.000	0.000	0.088	0.000	3.242	0.000	0.010
4	1.399	0.000	0.000	0.000	0.000	6.358	0.000	0.000
5	4.999	0.000	0.000	0.196	4.028	13.299	0.000	0.000
6	1.511	0.000	0.000	0.000	1.025	25.754	0.000	0.000
7	5.923	0.000	0.000	0.324	2.140	37.514	1.764	0.000
8	4.499	0.000	0.000	0.241	5.405	39.179	5.177	0.000
9	16.722	0.000	0.000	0.817	9.537	97.601	11.272	0.000
10	3.235	0.000	0.000	0.525	1.870	43.322	2.323	0.000
11	4.290	0.000	0.000	0.530	0.867	42.221	1.942	0.000
12	3.467	0.000	0.000	0.498	9.517	81.178	1.469	0.000
14	0.000	0.000	0.000	1.152	14.880	112.231	0.000	0.000
24	11.353	0.000	0.000	1.093	10.654	117.552	0.000	0.000
34	1.557	0.000	0.000	0.724	19.705	24.608	0.000	0.000

Table 10. Expected odor concentration of odor compounds (fish foodwaste)

Days	Expected odor concentration								Total
	Methyl mercaptan	Propyl mercaptan	Isovaler aldehyde	Methyl allyl sulfide	Trimethylamine	Dimethyl disulfide	Hydrogen sulfide	Diallyl disulfide	
1	3686	1323	546	329	0	28	0	189	6348
3	25143	0	0	627	0	1474	0	46	27358
4	19986	0	0	0	0	2890	0	0	22920
5	71414	0	0	1403	125875	6045	0	0	204939
6	21586	0	0	0	32031	11706	0	0	65771
7	84614	0	0	2316	66875	17052	4302	0	175569
8	64271	0	0	1721	168906	17809	12627	0	265802
9	238886	0	0	5833	298031	44364	27493	0	618757
10	46214	0	0	3750	58438	19692	5666	0	134290
11	61286	0	0	3789	27094	19191	4737	0	116638
12	49529	0	0	3556	297406	36899	3583	0	403374
14	0	0	0	8229	465000	51014	0	0	528459
24	162186	0	0	7806	332938	53433	0	0	556705
34	22243	0	0	5170	615781	11185	0	0	654641

Table 11. Attribution ratio of odor compounds (fish foodwaste)

Comp. Days	Attribution ratio(%)							
	Methyl mercaptan	Propyl mercaptan	Isovaler aldehyde	Methyl allyl sulfide	Trimethylamine	Dimethyl disulfide	Hydrogen sulfide	Diallyl disulfide
1	58.1	20.8	8.6	5.2	0.0	0.4	0.0	3.0
3	91.9	0.0	0.0	2.3	0.0	5.4	0.0	0.2
4	87.2	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0
5	34.8	0.0	0.0	0.7	61.4	2.9	0.0	0.0
6	32.8	0.0	0.0	0.0	48.7	17.8	0.0	0.0
7	48.2	0.0	0.0	1.3	38.1	9.7	2.5	0.0
8	24.2	0.0	0.0	0.6	63.5	6.7	4.8	0.0
9	38.6	0.0	0.0	0.9	48.2	7.2	4.4	0.0
10	34.4	0.0	0.0	2.8	43.5	14.7	4.2	0.0
11	52.5	0.0	0.0	3.2	23.2	16.5	4.1	0.0
12	12.3	0.0	0.0	0.9	73.7	9.1	0.9	0.0
14	0.0	0.0	0.0	1.6	88.0	9.7	0.0	0.0
24	29.1	0.0	0.0	1.4	59.8	9.6	0.0	0.0
34	3.4	0.0	0.0	0.8	94.1	1.7	0.0	0.0

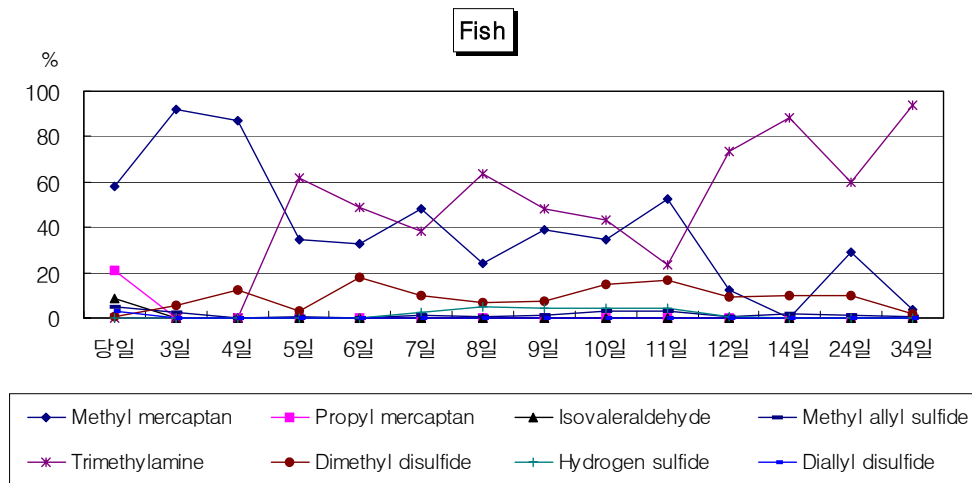


Fig. 3. Attribution ratio of odor compounds of fish foodwaste.

1-3. 채소류 음식물쓰레기의 방치 일수에 따른 악취성분

채소류 음식물쓰레기의 악취성분 분석을 위한 대상 시료는 단체급식소로부터 배출된 무, 파, 오이, 배추, 썩갠 비가식 부분을 조리되지 않은 날것으로 하였다. 그리고 악취분석 대상 성분은 악취기여울의 총합이 99%이상 되는 7개 물질, 황화수소, 메틸메르캡탄, 트리메틸아민, 황화메틸, 프로필메르캡탄, 메틸아릴설파이드, 이황화메틸로 선정하였다. 각 악취성분의 농도와 예상악취강도를 각각 Table 12과 Table 13에 나타내었다. 그리고, 악취를 나타내는 대표적인 성분을 고찰하기 위한 악취기여울은 Table 14과 Fig. 4에 나타내었다.

방치 당일 검출된 채소류의 고유한 냄새성분은 무 등의 근채류에서 기인하는 메틸메르캡탄, 배추류에서 기인하는 황화메틸, 양파류에서 기인하는 프로필메르캡탄, 이황화메틸로서⁵⁾, 이 성분들 가운데 프로필메르캡탄이 0.045ppm로 최대예상악취강도 3432를 나타내어 악취기여울 92.7%를 차지하였으나 이후 점차 감소하면서 메틸메르캡탄의 악취기여울이 점차 증가하는 경향을 보였다. 방치 8일째 메틸메르캡탄이 0.214ppm과 예상악취강도가 3057로서 프로필메르캡탄의 0.036ppm과 예상악취강도 2779보다 다소 높게 나타나기 시작하여 이들 메르캡탄류가 동시에 소멸하기 직전인 방치 13일째까지 이 두 성분이 악취의 대부분을 구성하는 것으로

나타났으나, 방치일수가 경과하여 부패가 진행됨에 따라 메틸메르캡탄에 의한 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 하지만, 메틸메르캡탄의 농도는 다소 증감이 있으나 대체로 일정하였고, 프로필메르캡탄은 대체로 감소하는 것으로 나타나 메틸메르캡탄의 증감보다 프로필메르캡탄의 감소로 인한 냄새의 질적 변화가 발생한 것으로 보인다. 그리고, 생선류의 대표적 부패취로 알려진 트리메틸아민이 채소류의 경우에도 마찬가지로 생성되었는데, 육류의 방치 6일째, 생선류의 방치 5일째보다 훨씬 지연된 방치 12일째 0.337ppm(예상악취강도 10531)로 생성되어 악취기여울 18.2%를 차지하였으나, 방치 14일째부터는 악취기여울 90%이상을 나타내면서 악취의 원인물질로 작용하였다. 트리메틸아민 등의 아민류는 식품 중 단백질의 부패로 인해 형성되므로, 채소류가 육류나 생선류보다 단백질의 함량이 적어 아민류의 생성시기가 지연된 것으로 사료된다.

채소류 음식물쓰레기의 총예상악취강도는 당일 3703으로 3가지 음식물쓰레기 종류 가운데 가장 낮은 악취강도를 보였는데 이는 냄새가 약한 익히지 않은 날 것의 채소류의 시료 선택에 의한 것이며, 방치 3일째는 3가지 음식물쓰레기 종류 가운데 가장 큰 폭의 증가율을 보이면서 35925의 가장 강한 예상악취강도를 나타냈다. 하지만 채소류는 다른 음식물쓰레기의 방치일수에 따른 악취강도의 증가와 비교하여 증가율은 매우 미약한 편이었다.

채소류 음식물쓰레기의 실험기간 중 가장 강한 예상악취강도는 프로필메르캡탄이 최고농도를 보인 방치 4일째 80753로써 이때부터 감각적인 부패가 시작된 것으로 나타났다.

2. 음식물쓰레기의 방치일수에 따른 처리과정에서 발생하는 악취 성분

음식물쓰레기 처리시설의 처리과정(건조과정)에 투입되는 음식물쓰레기의 부패 정도에 따라 발생하는 악취성분의 변화를 고찰하기 위해 앞절에서 실험·분석한 종류별로 분류된 것이 아닌 혼합된 형태의 음식물쓰레기를 시료로 선택하였으며, 처리과정에서의 악취 성분 뿐 만 아니라 처리전의 악취성분을 함께 분석함으로써 상관관계를 검토하였다.

2-1. 혼합 음식물쓰레기의 방치 일수에 따른 악취 성분

혼합음식물쓰레기의 악취성분의 분석은 총 31개 물질을 검출하였으나, 악취의 95% 이상을 차지하는 12개 물질을 선정하였다. 각 성분의 농도를 Table 15에, 예상악취강도와 악취기여율을 각각 Table 16과 17에 나타내었다.

앞절에서 분석한 종류별 음식물쓰레기의 악취성분에는 나타나지 않았던 에탄올, 아세트알데히드, 디아세틸이 검출되었는데, 이는 통상적인 음식물쓰레기에서 3가지(육류, 생선류, 채소류)음식물쓰레기에서

검출되었던 악취 성분 외 다른 물질이 검출될 수 있는 개연성이 많기 때문이며, 에탄올은 곡류 등에 의한 발효에 의한 성분과 음식물쓰레기 중에 함유된 알콜성분으로 추정되고, 생선류의 신선도가 저하되면 아세트알데히드, 메틸메르캡탄, 황화수소 등에 의해 냄새가 나는 것으로 알려져 있어 이 성분의 검출은 타당하였다⁶⁾. 에탄올은 방치 당일과 3일째 각각 가장 높은 농도인 48.660 ppm과 223.250ppm을 보였으나 예상악취강도 94와 429를 나타내어 냄새성분으로서의 영향은 극히 미미하였다. 메틸메르캡탄은 방치 당일 0.286ppm으로 최대 예상악취강도인 4086을, 방치 3일째 0.483ppm으로 예상악취강도 6900을 나타내어 식품의 고유한 냄새성분에 상당한 영향을 미쳤으나, 방치 4일과 5일째 각각 2.140ppm과 15.482ppm으로, 최대예상악취강도 30571과 221171로 급증하여 불쾌감을 유발하는 악취의 원인물질로 작용하였으며, 방치 5일째에는 메틸메르캡탄의 급증과 함께 프로필메르캡탄이 비교적 높은 농도인 1.183ppm으로 예상악취강도 91029을 나타냄으로써 이 두 성분이 악취기여율 91%이상을 차지하였다. 그리고 앞절에서 분석한 음식물쓰레기의 종류별 악취성분에서 방치 5일에서 6일째 생성되어 악취에 상당한 영향을 나타내었던 트리메틸아민은 아직 생성되지 않았다.

혼합음식물쓰레기의 방치일수에 따른 악취성분 분석결과 앞절에서 검토한 음식물쓰레기의 종류별 방치일수에 따른 악취분

Table 12. Concentration of odor compounds (vegetable foodwaste)

Comp Days	Conc.(ppm)						
	Hydrogen sulfide	Methyl mercaptan	Trimethyl amine	Dimethyl sulfide	Propyl mercaptan	Methyl allyl sulfide	Dimethyl disulfide
1	0.000	0.017	0.000	0.023	0.045	0.000	0.030
3	0.000	0.204	0.000	7.914	0.379	0.079	1.289
4	0.000	1.102	0.000	6.702	0.801	0.049	1.741
5	0.000	1.384	0.000	5.456	0.672	0.035	1.779
6	0.000	1.365	0.000	6.093	0.394	0.054	2.016
7	0.000	2.057	0.000	6.366	0.435	0.053	1.243
8	0.000	0.214	0.000	1.809	0.036	0.000	0.270
9	0.621	1.401	0.000	5.151	0.126	0.036	0.778
10	0.903	0.669	0.000	2.182	0.048	0.000	1.005
11	1.138	2.124	0.000	4.524	0.089	0.034	2.730
12	0.757	2.006	0.337	4.661	0.164	0.053	4.946
13	1.297	2.118	0.203	4.870	0.156	0.046	2.299
14	0.000	0.000	0.111	0.300	0.000	0.000	0.384
24	0.000	0.000	0.803	0.020	0.000	0.000	0.039
34	0.000	0.000	0.460	0.044	0.000	0.000	0.023
44	0.000	0.000	0.324	0.041	0.000	0.000	0.025

Table 13. Expected odor concentration of odor compounds(vegetable foodwaste)

Comp. Days	Expected odor concentration							Total
	Hydrogen sulfide	Methyl mercaptan	Trimethyl amine	Dimethyl sulfide	Propyl mercaptan	Methyl allyl sulfide	Dimethyl disulfide	
1	0	243	0	8	3432	0	14	3703
3	0	2914	0	2638	29175	564	586	35925
4	0	15743	0	2234	61630	347	791	80753
5	0	19771	0	1819	51730	247	809	74377
6	0	19500	0	2031	30342	388	916	53207
7	0	29386	0	2122	33467	382	565	65930
8	0	3057	0	603	2779	0	123	6570
9	1515	20014	0	1717	9730	258	354	33615
10	2202	9557	0	727	3728	0	457	16684
11	2776	30343	0	1508	6832	241	1241	42961
12	1846	28657	10531	1554	12579	382	2248	57816
13	3163	30257	6344	1623	12031	326	1045	54794
14	0	0	3469	100	0	0	175	3744
24	0	0	25094	7	0	0	18	25118
34	0	0	14375	15	0	0	10	14400
44	0	0	10125	14	0	0	11	10150

Table 14. Attribution ratio of odor compounds (vegetable foodwaste)

Comp. Days	Attribution ratio (%)						
	Hydrogen sulfide	Methyl mercaptan	Trimethyl amine	Dimethyl sulfide	Propyl mercaptan	Methyl allyl sulfide	Dimethyl disulfide
1	0.0	6.6	0.0	0.2	92.7	0.0	0.4
3	0.0	8.1	0.0	7.3	81.2	1.6	1.6
4	0.0	19.5	0.0	2.8	76.3	0.4	1.0
5	0.0	26.6	0.0	2.4	69.6	0.3	1.1
6	0.0	36.6	0.0	3.8	57.0	0.7	1.7
7	0.0	44.6	0.0	3.2	50.8	0.6	0.9
8	0.0	46.5	0.0	9.2	42.3	0.0	1.9
9	4.5	59.5	0.0	5.1	28.9	0.8	1.1
10	13.2	57.3	0.0	4.4	22.3	0.0	2.7
11	6.5	70.6	0.0	3.5	15.9	0.6	2.9
12	3.2	49.6	18.2	2.7	21.8	0.7	3.9
13	5.8	55.2	11.6	3.0	22.0	0.6	1.9
14	0.0	0.0	92.7	2.7	0.0	0.0	4.7
24	0.0	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	0.1
34	0.0	0.0	99.8	0.1	0.0	0.0	0.1
44	0.0	0.0	99.8	0.1	0.0	0.0	0.1

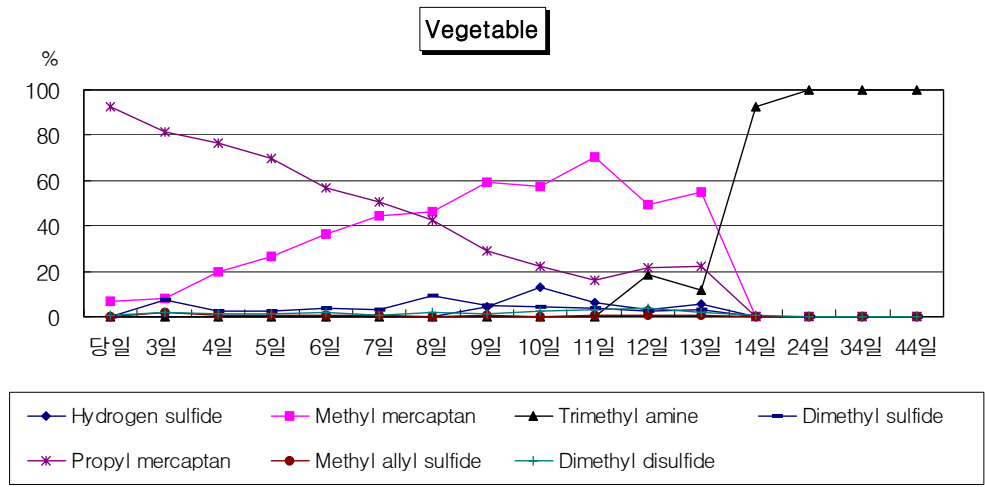


Fig. 4. Attribution ratio of odor compounds of vegetable foodwaste.

석에서 육류, 생선류는 5~6일째, 채소류는 12일째에 생성된 트리메틸아민이 악취에 상당부분 기여하기 전까지 메틸메르캡탄과 프로필메르캡탄이 주요 악취물질로 나타난 결과와 동일하게 메틸메르캡탄과 프로필메르캡탄이 주요 악취물질로 나타났다.

2-2. 혼합 음식물쓰레기의 방치 일수별 처리과정에서 발생하는 악취성분

혼합음식물쓰레기의 방치 후 건조과정 (100℃, 20분간)에서 발생하는 악취는 37개 성분을 분석하여 악취 기여율의 총합이 95% 이상 되는 15개 성분을 선정하였다. 각 성분의 농도를 Table 18에, 예상악취강도와 악취기여율을 각각 Table 19와 20에 나타내었다.

이 성분들 가운데 앞절에서 검토한 건조과정을 거치지 않은 음식물쓰레기의 악취성분에서는 볼 수 없었던 이소발레르알데히드 등 알데히드류의 출현은 주로 식품의 가열에 의한 지방질의 산화에 기인한다⁵⁾. 이러한 알데히드류는 방치 당일부터 검출되어 방치 4일째 최대값을 나타낸 이후 점차 감소하는 추세를 보였으며, 이중 아세트알데히드가 방치 당일 4.504ppm과 예상악취강도 3003으로 최대값을, 이소발레르알데히드가 방치 3일째 2.504ppm과 예상악취강도 25040으로 최대값을 나타내어 각각 방치 당일과 3일째의 주요악취성분으로 나타났다. 하지만 방치 4일째 프로필메르캡탄이 12.646ppm, 예상악취강도

Table 15. Concentration of odor compounds (mixed foodwaste)

Compounds \ Days	Conc.(ppm)				
	1	3	4	5	6
Ethanol	48.660	223.250	1.600	13.000	15.060
Acetaldehyde	3.083	6.008	0.047	0.057	0.107
Methyl mercaptan	0.286	0.483	2.140	15.482	0.000
Dimethyl disulfide	0.136	0.424	0.247	0.649	14.594
Methyl allyl sulfide	0.074	1.304	0.000	0.000	0.000
Diacetyl	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000
Dimethyl sulfide	0.011	0.868	0.485	0.186	0.628
Diallyl disulfide	0.000	0.341	0.050	0.034	0.020
Diallyl sulfide	0.000	0.265	0.000	0.000	0.000
Methyl isobutyrate	0.000	0.000	0.595	0.812	1.399
Methyl isovalerate	0.000	0.739	2.646	4.273	8.113
Propyl mercaptan	0.000	0.000	0.000	1.183	0.000

Table 16. Expected odor concentration of odor compounds(mixed foodwaste)

Days Compounds	Expected odor concentration				
	1	3	4	5	6
Methyl mercaptan	4086	6900	30571	221171	0
Acetaldehyde	2055	4005	31	38	71
Methyl allyl sulfide	532	9315	0	0	0
Diacetyl	499	0	0	0	0
Ethanol	94	429	3	25	29
Dimethyl disulfide	62	193	112	295	6634
Dimethyl sulfide	4	289	162	62	209
Diallyl disulfide	0	1552	225	156	91
Diallyl sulfide	0	1206	0	0	0
Methyl isobutyrate	0	0	313	427	736
Methyl isovalerate	0	336	1203	1942	3688
Propyl mercaptan	0	0	0	91029	0

Table 17. Attribution ratio of odor compounds (mixed foodwaste)

Days Compounds	Attribution ratio(%)				
	1	3	4	5	6
Methyl mercaptan	55.7	27.8	93.3	70.2	0.0
Acetaldehyde	28.0	16.1	0.1	0.0	0.6
Methyl allyl sulfide	7.2	37.5	0.0	0.0	0.0
Diacetyl	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Ethanol	1.3	1.7	0.0	0.0	0.3
Dimethyl disulfide	0.8	0.8	0.3	0.1	57.3
Dimethyl sulfide	0.0	1.2	0.5	0.0	1.8
Diallyl disulfide	0.0	6.2	0.7	0.0	0.8
Diallyl sulfide	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0
Isobutyl acetate	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0
Methyl isobutyrate	0.0	0.0	1.0	0.1	6.4
Methyl isovalerate	0.0	1.4	3.7	0.6	31.9
Propyl mercaptan	0.0	0.0	0.0	28.9	0.0

Table 18. Concentration of odor compounds from steam procedure of mixed foodwaste

Compounds	Days				
	Conc.(ppm)				
	1	3	4	5	6
Acetaldehyde	4.504	25.292	40.945	37.519	33.756
Diallyl disulfide	0.653	1.096	2.820	0.962	0.257
Isovaleraldehyde	0.185	2.504	6.889	6.204	5.258
Hexanal	0.184	0.730	1.915	1.312	0.862
Dimethyl disulfide	1.304	17.189	3.431	2.021	0.545
Heptanal	0.067	0.290	0.689	0.526	0.366
Dimethyl sulfide	1.103	12.315	29.262	19.000	14.962
Isobutyraldehyde	0.098	0.940	3.145	2.775	2.078
Diacetyl	0.000	0.136	0.261	0.373	0.304
Diallyl sulfide	0.000	0.741	1.459	0.810	0.319
Ethyl isovalerate	0.000	0.000	0.000	0.000	0.680
Hydrogen sulfide	0.000	0.000	10.129	2.729	3.438
Methyl allyl sulfide	0.000	1.266	2.578	1.421	0.514
Methyl mercaptan	0.000	0.000	37.789	29.400	20.814
Propyl mercaptan	0.000	0.000	12.646	6.596	3.770

Table 19. Expected odor concentration of odor compounds from steam procedure of mixed foodwaste

Compounds	Days				
	Expected odor concentration				
	1	3	4	5	6
Acetaldehyde	3003	16861	27297	25013	22504
Diallyl disulfide	2969	4982	12819	4373	1166
Isovaleraldehyde	1847	25040	68890	62040	52580
Hexanal	658	2606	6841	4686	3080
Dimethyl disulfide	593	7813	1560	919	248
Heptanal	375	1613	3829	2921	2032
Dimethyl sulfide	368	4105	9754	6333	4987
Isobutyraldehyde	281	2686	8986	7929	5937
Diacetyl	0	2714	5217	7457	6080
Diallyl sulfide	0	3368	6633	3680	1448
Ethyl isovalerate	0	0	0	0	52281
Hydrogen sulfide	0	0	24705	6656	8385
Methyl allyl sulfide	0	9046	18417	10147	3672
Methyl mercaptan	0	0	539843	420000	297343
Propyl mercaptan	0	0	972740	507411	290021

Table 20. Attribution ratio of odor compounds from steam procedure of mixed foodwaste

Days Compounds	Attribution ratio(%)				
	1	3	4	5	6
Acetaldehyde	28.7	19.9	1.6	2.2	3.0
Diallyl disulide	28.4	5.9	0.7	0.4	0.2
Isovaleraldehyde	17.7	29.6	4.0	5.5	7.0
Hexanal	6.3	3.1	0.4	0.4	0.4
Dimethyl disulfide	5.7	9.2	0.1	0.1	0.0
Heptanal	3.6	1.9	0.2	0.3	0.3
Dimethyl sulfide	3.5	4.9	0.6	0.6	0.7
Isobutyraldehyde	2.7	3.2	0.5	0.7	0.8
Diacetyl	0.0	3.2	0.3	0.7	0.8
Diallyl sulide	0.0	4.0	0.4	0.3	0.2
Ethyl isovalerate	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9
Hydrogen sulfide	0.0	0.0	1.4	0.6	1.1
Methyl allyl sulfide	0.0	10.7	1.1	0.9	0.5
Methyl mercaptan	0.0	0.0	31.5	37.6	39.3
Propyl mercaptan	0.0	0.0	56.7	45.4	38.4

972740으로 최대값을, 메틸메르캡탄이 37.789ppm, 예상악취강도 539843을 나타내어 이 두 성분이 악취의 원인물질로 작용하였으며, 이후 다소 감소하였으나, 여전히 높은 예상악취강도와 악취기여율을 유지하면서 실험기간 동안 계속적으로 악취의 원인물질로 나타났다.

혼합된 음식물쓰레기를 방치했을 때와 방치 후의 건조(증자)과정으로 나누어 분석한 모든 악취 성분의 예상악취강도를 방치일수에 따라 합한 총예상악취강도를 계산하여 Table 21에 나타내었다. 혼합 음식물쓰레기를 방치해 두는 것보다 방치 후 건조하는 과정에서 총예상악취강도가 현저하게 높은 것으로 나타났는데, 방치실

험은 5일째, 방치후 건조과정 실험에서 4일째에 최대값을 나타내었다. 그리고 방치일수가 증가함에 따라 방치시 대비 건조과정에서의 총예상악취강도의 증가폭도 현저하게 증가하는 것을 알 수 있었으며, 방치 6일째는 최대 증가폭을 나타내었다.

혼합 음식물쓰레기의 예상악취강도는 전체적으로 방치 4일째부터 급증하므로 방치 4일 이전에는 처리되는 것이 바람직한 것으로 보인다.

따라서 음식물쓰레기 사료화시설로 수거 이전까지 방치기간을 짧게 하는 것은 주거 생활환경 및 처리시설에서의 악취를 저감하는 근원적인 방안이 될 수 있는 것으로 보인다.

Table 21. Rate of expected odor concentration

Days	1	3	4	5	6
expected odor concentration from foodwaste	7341	24854	32777	315219	11578
expected odor concentration from steam procedure of foodwaste	10461	84558	1715604	1117915	755848
rate of expected odor concentration from steam procedure of foodwaste compared with those from foodwaste	43%	240%	5134%	255%	6428%

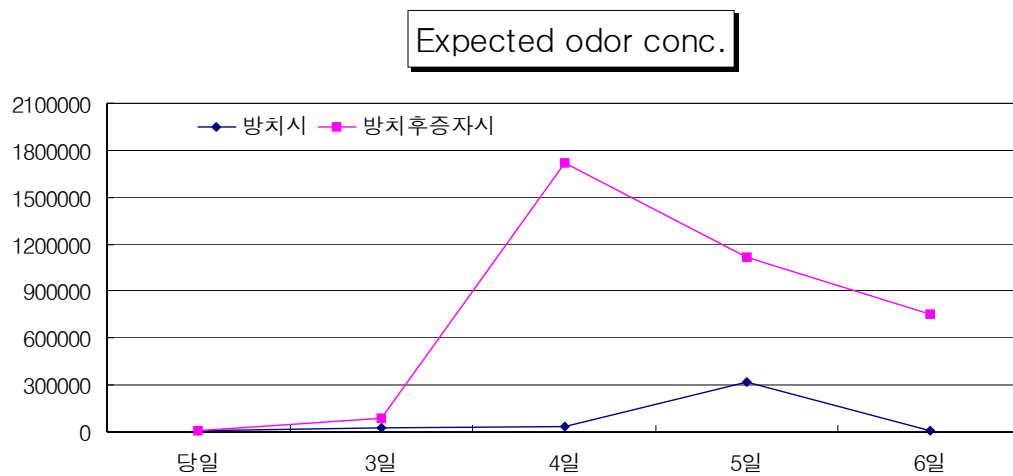


Fig. 5. Expected odor concentration of odor compounds from foodwaste and steam procedure of foodwaste.

3. 기존 음식물쓰레기 사료화 시설에서 발생하는 악취 성분

「부산광역시 해운대 남은음식물 사료화시설」에서 악취를 발생시키는 공정은 크게 3가지로 구분된다. 첫번째 공정은 주로 공동주택에서 수거해온 음식물쓰레기

를 처리시설에 투입하는 투입호퍼, 두 번째 공정은 병원성 미생물의 멸균 및 제품의 보관을 위한 건조기(증자기), 마지막으로 건조기를 거친 고온의 음식물쓰레기를 분쇄하여 상온으로 냉각시키는 냉각기이다. 그리고 음식물쓰레기의 처리공정에서

발생되는 악취를 저감하기 위하여 2단계의 악취방지시설을 갖추고 있는데, 제1단계 방지시설로 생물학적 처리방법인 바이오필터를, 제2단계 방지시설로 수돗물로 악취가스를 세정하는 흡수시설을 사용하고 있다.

3-1. 처리공정에 발생하는 악취성분

각 공정에서 발생하는 악취 분석에서 총 33가지 악취 성분이 검출되었으며, 이 중 악취기여율의 총합이 99% 이상 되는 12개 물질 이소발레르알데히드, 메틸메르캅탄, 디아세틸, 이소부티르알데히드, 프로필메르캅탄, 아세트알데히드, 황화수소, 헥실알데히드, 이황화아릴, 리모넨, 황화아릴, 황화메틸을 선정하였고, 농도 및 악취기여율을 산정하여 Table 22에 나타내었다.

각 공정에서의 주요 악취성분은 모두 이소발레르알데히드로서 건조기에서 54.684ppm(악취기여율 42.9%), 냉각기에서 0.218ppm(50.2%), 투입호퍼에서 0.073ppm(50.8%)으로 나타났으며, 앞절에서 실험한 음식물쓰레기의 악취성분과 유사할 것으로 판단되는 투입호퍼의 악취원인물질을 규명하기 위하여 유사공정인 음식물쓰레기병합처리장의 적환장에서의 악취성분을 분석하였다(Table 23). 음식물쓰레기 병합처리장에서의 주요악취성분은 메틸메르캅탄(악취기여율 43.6%), 황화수소(36.0%), 아세트알데히드(18%), 이황화메틸(2.3%)로서 투입호퍼의 악취성분과 서로

다르게 나타나 투입호퍼에서의 이소발레르알데히드의 검출은 음식물쓰레기 처리장 내부에 확산되어 있는 건조기에서의 발생 악취가 투입호퍼의 공기 흡입구(후드)를 통해 흡입되어 검출된 것으로 추정된다. 냉각기에서의 악취성분은 건조과정을 거친 사료(음식물쓰레기)에서 발생하는 것으로 이소발레르알데히드의 악취기여율이 가장 높았고, 냉각과정을 거치는 동안 메틸메르캅탄의 기여율(5.6%)은 감소하였고 아세트알데히드의 기여율(18.1%)이 높아진 것으로 나타났다.

그리고 음식물쓰레기 사료화시설의 처리공정별 발생하는 악취의 정도(세기)를 검토하기 위해 예상악취강도(Table 24)를 비교 분석하였다. 건조기의 예상악취강도는 1274585로서 투입호퍼의 1444 보다 약 880배, 냉각기의 4341에 비해 약 290배를 나타내었고, 냉각기는 투입호퍼의 약 3배의 예상악취강도를 나타내었다. 이러한 결과로써 음식물쓰레기 사료화시설에서 발생하는 악취의 대부분은 건조기에서 발생됨을 알 수 있었다.

3-2. 악취 방지시설에서의 악취성분, 기여율 및 악취제거 효율

악취방지시설의 효율을 검토하기 위하여 제1단계 및 제2단계 방지시설의 전단 및 후단에서의 악취성분 가운데 처리공정상의 주요 악취성분인 이소발레르알데히드 외 11개 성분을 선정하여 분석하였고,

Table 22. Concentration and attribution ratio of odor compounds from foodwaste treatment processing facility

Compounds	Hopper		Steamer		Cooler	
	Conc. (ppm)	Attr. (%)	Conc. (ppm)	Attr. (%)	Conc. (ppm)	Attr. (%)
Isovaleraldehyde	0.073	50.8	54.684	42.9	0.218	50.2
Methyl mercaptan	0.020	19.8	20.546	23.0	0.017	5.6
Diacetyl	0.000	0.0	8.323	13.1	0.035	15.9
Isobutyraldehyde	0.032	6.3	33.680	7.5	0.055	3.6
Propyl mercaptan	0.000	0.0	1.037	6.3	0.000	0.0
Acetaldehyde	0.416	19.2	90.502	4.7	1.178	18.1
Hydrogen sulfide	0.000	0.0	4.247	0.8	0.000	0.0
Hexanal	0.000	0.0	2.470	0.7	0.040	3.3
Diallyl disulfide	0.000	0.0	0.870	0.3	0.000	0.0
Limonene	1.789	3.3	89.798	0.2	1.943	1.2
Diallyl sulfide	0.000	0.0	0.484	0.2	0.018	1.8
Dimethyl sulfide	0.000	0.0	4.508	0.1	0.000	0.0

Table 23. Concentration and attribution ratio from foodwaste merging treatment facility

Compounds	Conc.(ppm)	Attr.(%)
Methyl mercaptan	0.006	43.6
Hydrogen sulfide	0.029	36.0
Acetaldehyde	0.053	18.0
Dimethyl disulfide	0.010	2.3
Ethyl acetate	0.085	0.0
2-Butanone	0.007	0.0
Hexanal	0.000	0.0

Table 24. Expected odor concentration from foodwaste treatment processing facility

	Hopper	Steamer	Cooler
Expected odor concentration	1444	1274585	4341

Table 25. Removal efficiency of preventive equipment in the foodwaste treatment processing facility

Compounds	Before		1st stage		2nd stage		Removal eff. (%)
	Conc. (ppm)	Attr. (%)	Conc. (ppm)	Attr. (%)	Conc. (ppm)	Attr. (%)	
Isovaleraldehyde	6.808	26.4	2.708	25.1	2.308	46.9	66.1
Methyl mercaptan	4.450	24.7	1.690	22.4	0.000	0.0	100.0
Propyl mercaptan	0.721	21.5	0.353	25.1	0.000	0.0	100.0
Diacetyl	1.811	14.0	0.629	11.7	0.452	18.4	75.0
Isobutyraldehyde	4.073	4.5	1.595	4.2	1.468	8.5	64.0
Acetaldehyde	16.955	4.4	12.375	7.6	16.515	22.4	2.6
Hydrogen sulfide	1.530	1.4	0.615	1.4	0.000	0.0	100.0
Hexanal	0.611	0.8	0.144	0.5	0.074	0.5	87.9
Diallyl disulfide	0.183	0.3	0.028	0.1	0.000	0.0	100.0
Diallyl sulfide	0.173	0.3	0.052	0.2	0.020	0.2	88.6
Dimethyl sulfide	1.345	0.2	0.585	0.2	0.553	0.4	58.9
Limonene	12.168	0.1	8.105	0.2	3.645	0.2	70.0

Table 26. Removal efficiency of 1st and 2nd preventive equipment in the foodwaste treatment processing facility

Compounds	1st (Biofilter) Removal eff.(%)	2nd (Scrubber) Removal eff.(%)
Isovaleraldehyde	60.2	14.8
Methyl mercaptan	62.0	100.0
Propyl mercaptan	51.1	100.0
Diacetyl	65.3	28.1
Isobutyraldehyde	60.8	8.0
Acetaldehyde	27.0	-33.5
Hydrogen sulfide	59.8	100.0
Hexanal	76.4	48.6
Diallyl disulfide	84.5	100.0
Diallyl sulfide	69.8	62.3
Dimethyl sulfide	56.5	5.5
Limonene	33.4	55.0
Average	58.9	49.1

Table 27. Expected odor concentration from odor preventive equipment

	Before	1st stage	2nd stage
Expected odor concentration	257871	107955	49211

각 성분의 농도와 악취기여율 및 제거효율을 Table 25에, 각 단계별 제거효율을 Table 26에 나타내었다.

제1단계 방지시설에 의해서 방지시설 유입전의 주요악취성분인 이소발레르알데히드는 6.808ppm에서 2.708ppm으로 60.2%의 제거효율을 보였고, 메틸메르캅탄은 4.450ppm에서 1.690ppm으로 62.0%의 제거효율을 나타내었다. 최대 제거효율을 보인 성분은 이황화아릴로 84.5%를, 최소제거효율은 아세트알데히드 27.0%로 나타났으며, 평균제거효율 58.9%를 보였다. 그리고 제2단계 방지시설에서는 이소발레르알데히드 14.8%, 메틸메르캅탄 100.0%의 제거효율을 보였고, 평균제거효율은 49.1%를 나타내었으나, 메틸메르캅탄 등 메르캅탄류가 최대제거효율 100.0%, 아세트알데히드는 오히려 음의 값을 나타내어 그 편차가 심하게 나타났으며, 비교적 황화합물에 대하여는 높은 제거효율을, 물에 잘 녹지 않는 특성을 지닌 알데히드류는 대체로 낮은 제거효율을 보였다.

따라서 음식물쓰레기 사료화시설의 방지시설 측면에서의 악취저감을 위하여는 이소발레르알데히드, 이소부티르알데히드, 아세트알데히드 등 알데히드류를 더욱 저감시킬 수 있는 방지시설의 보강이 필요

하다고 하겠다.

총 2단계의 전체 악취제거효율은 평균 76.1%, 최대제거효율은 메틸메르캅탄, 프로필메르캅탄, 황화수소, 이황화아릴이 100.0%을 나타내었고, 최소제거효율은 아세트알데히드 2.6%로 나타났다. 그리고 각 성분의 예상악취강도로는 제1단계 처리로 58.1%, 제2단계 처리로 54.4% 저감되어 전체적으로는 80.9%의 저감효과를 나타내었다(Table 27).

4. 환경기초시설의 악취 성분

음식물쓰레기 처리시설과 기타 환경기초시설과의 악취성분을 비교하기 위하여 부산광역시청소시설관리사업소 생곡쓰레기매립장의 매립가스, 부산광역시환경시설공단 위생사업소(분뇨처리장)의 분뇨저류조, 남부사업소(하수처리장)의 최종배출가스를 포집하여 분석하였다.

분뇨처리장 내의 악취가 가장 심한 곳은 수거해 온 분뇨를 전처리(협잡물 제거)하여 해양투기하기까지 저장하는 분뇨저류조로서, 악취의 주원인물질은 메틸메르캅탄(악취기여율 55.9%)이며, 그 외 메틸아릴설파이드(27.9%), 황화메틸(8.1%), 에탄올(2.6%), 이황화메틸(2.4%)의 순으로 나타났다(Table 28).

Table 28. Odor compounds from sanitary treatment facility

Compounds	Conc.(ppm)	Attr.(%)
Methyl mercaptan	0.091	55.9
Methyl allyl sulfide	0.091	27.9
Dimethyl sulfide	0.419	8.1
Ethanol	31.620	2.6
Dimethyl disulfide	0.122	2.4

Table 29. Odor compounds from sewage treatment facility

Compounds	Conc.(ppm)	Attr.(%)
Hydrogen sulfide	0.309	92.9
Methyl mercaptan	0.004	7.0

Table 30. Odor compounds of landfill gas

Compounds	Conc. (ppm)	Attr. (%)	Compounds	Conc. (ppm)	Attr. (%)
Hydrogen sulfide	30.176	92.3	2-Methylheptane	1.168	0.0
n-Butane	3.657	0.0	Tetrachloroethylene	0.011	0.0
Methyl mercaptan	0.378	6.8	n-Octane	2.317	0.0
Isopentane	4.141	0.0	Ethylbenzene	4.218	0.0
n-Pentane	1.619	0.0	m,p-Xylene	7.047	0.2
2,2-Dimethylbutane	0.315	0.0	o-Xylene	3.468	0.0
2,3-Dimethylbutane	0.389	0.0	n-Nonane	2.876	0.0
2-Methylpentane	1.366	0.0	Isopropylbenzene	0.437	0.1
3-Methylpentane	1.530	0.0	α-Pinene	1.529	0.1
n-Hexane	2.971	0.0	m-Ethyltoluene	0.514	0.0
Methylcyclopentane	3.739	0.0	p-Ethyltoluene	0.227	0.0
2,4-Dimethylpentane	0.253	0.0	1,3,5-Trimethylbenzene	0.315	0.0
Benzene	1.207	0.0	o-Ethyltoluene	0.265	0.0
Cyclohexane	8.406	0.0	β-Pinene	0.462	0.0
2-Methylhexane	0.747	0.0	1,2,4-Trimethylbenzene	0.649	0.0
3-Methylhexane	1.282	0.0	Limonene	10.799	0.4
n-Heptane	2.239	0.0	n-Undecane	1.040	0.0
Methylcyclohexane	3.381	0.0	n-Dodecane	3.325	0.0
Toluene	9.555	0.0	-	-	-

하수처리장에서 가장 악취가 심한 곳은 처리대상 하수의 유입구와 최초침전지에서 발생하는 악취로서 악취방지시설인 활성탄흡착탑을 거쳐 대기 중으로 최종 배출되고 있다. 악취의 주원인물질은 황화수소로서 전체 악취의 92.9%를 차지하는 것으로 나타났으며, 그 외 메틸메르캡탄이 7%의 기여율을 나타내었다(Table 29).

쓰레기매립장에서의 악취원인물질을 검토하기 위하여 매립가스 배출구에서 직접 시료를 채취하여 분석하였다. 총 39가지의 악취성분을 검출하였으며, 황화수소가 30.176ppm으로 악취의 92.3%를 차지하여 악취의 주원인물질로 나타났으며, 메틸메르캡탄이 0.378ppm, 악취기여율 6.8%를 나타내어, 하수처리장의 악취성분과 매우 흡사하였다. 그 외 성분은 악취기여율이 매우 미미하거나 없는 것으로 나타났다 (Table 30).

그리고, 음식물쓰레기처리시설 및 다른 환경기초시설의 주요 악취성분을 Table 31에 나타내었다.

IV. 결 론

본 보고서는 음식물쓰레기 처리시설의 처리공정에서 발생하는 악취를 저감하기 위하여 음식물쓰레기 처리시설로 유입되는 음식물쓰레기의 악취성분 및 처리 과정에서 발생하는 악취성분을 분석하였고, 기존 음식물쓰레기처리시설에 설치되어 있는 음식물 쓰레기의 처리공정별 악취성분과 악취방지시설의 악취에 대한 제거 효율을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 음식물쓰레기의 종류별 악취성분 분석 결과, 육류 음식물쓰레기의 경우 방치 초기에는 아릴계 황화합물이, 4~5일째의 악취는 프로필메르캡탄과 메틸메르캡탄이, 6일째부터는 트리메틸아민이 주요 악취성분으로 나타났으며, 생선류 음식물쓰레기의 경우 방치 초기에는 저농도의 메틸메르캡탄이 고유 냄새성분으로, 5일~11일까지는 메틸메르캡탄과 트리메틸아민이, 12일 이후로는 트리메틸아민이 주요 악취성분으로 나타났으며, 채소류 음식물쓰레기의 경우

Table 31. Main odor compounds from environmental facilities

	sanitary treatment facility	sewage treatment facility	landfill facility	foodwaste treatment processing facility
Odor compound	Methyl mercaptan, Methyl allyl sulfide	Hydrogen sulfide, Methyl mercaptan	Hydrogen sulfide, Methyl mercaptan	Isovaleraldehyde, Methyl mercaptan

방치 초기에는 저농도의 프로필메르캡탄이 고유의 냄새성분을 구성하였고, 방치 4일째 이후는 고농도의 메틸메르캡탄이, 14일째 이후는 트리메틸아민이 주요 악취성분으로 나타났다.

2. 혼합 음식물쓰레기의 악취를 분석한 결과, 방치일수가 경과함에 따라 방치시와 방치후 건조과정(사료화)과정에서의 예상악취강도가 높아졌으며, 방치할 경우 방치 5일째 그리고 방치 후 건조과정에서는 4일째의 예상악취강도가 가장 높게 나타났다. 그리고 방치시 대비 방치 후 건조과정의 예상악취강도의 비율은 방치 4일째 급등하여 이후 지속적으로 높은 경향을 나타나 방치 4일 이전에는 음식물쓰레기의 사료화가 이루어져야 할 것으로 보인다.
3. 음식물쓰레기 사료화시설의 처리공정인 투입호퍼, 건조기, 냉각기에서 발생하는 악취성분을 분석한 결과, 건조기의 예상악취강도가 다른 공정에 비해 약 290~880배 높게 나타났으며, 주 악취배출원인 건조기에서의 악취성분은 이소발레르알데히드, 메틸메르캡탄, 디아세틸, 이소부티르알데히드 등으로 나타났다.
4. 기존 방지시설의 평균제거효율을 검토한 결과, 1단계 방지시설은 58.9%, 제2단계 방지시설은 49.1%로 전체 방지시설의 제거효율은 76.1%로 나타났으며, 황화합물에 대해서는 고효율을 보인다.

반면 알데히드류에 대해서 낮은 제거효율을 보여 이에 대한 방지시설의 보강이 필요한 것으로 보인다.

5. 환경기초시설의 주요 악취성분은 분뇨처리장은 메틸메르캡탄, 메틸아릴설파이드, 하수처리장과 쓰레기매립장은 황화수소, 메틸메르캡탄, 음식물쓰레기처리장은 이소발레르알데히드, 메틸메르캡탄으로 나타났다.

따라서 음식물쓰레기를 발생 즉시 신속하게 처리하는 것이 음식물쓰레기를 배출하는 주거환경의 악취를 저감시킬 수 있을 뿐만 아니라, 음식물쓰레기 처리시설 유입단계에서의 악취 및 직접적인 사료화과정에서의 악취를 저감시킬 수 있는 최선의 근원적 방안이라고 할 수 있다. 그리고 이러한 근원적 방안을 바탕으로 음식물쓰레기처리시설의 처리공정 및 악취방지시설의 측면에서의 악취 저감방안에 대한 연구가 필요하다고 하겠다.

참 고 문 헌

1. 대기환경보전법 제2조(정의) 7.
2. 악취의 성분분석, 양성봉,이성화 공저, 동화기술, (1994).
3. 대기오염개론, 김희강 외, 동화기술, (1993)
4. 환경부, 악취물질 발생원 관리방안 개선을 위한 조사연구, (2001)