

연구논문

음식물류폐기물 처리시설에서의 악취발생 특성 및 관리방안

유승성* · 김영두* · 이준연* · 차영섭* · 김은숙* · 전재식* · 선우 영** · 엄석원* · 채영주*

서울시보건환경연구원*, 건국대학교 신기술융합학과**

(2012년 2월 23일 접수, 2012년 4월 6일 승인)

The Characteristic and Management of Odor Emitted from Foodwaste Treatment Facility

Seung-Sung Yoo* · Young-Doo Kim* · Jun-Yeon Lee* · Young-Seop Cha* · Eun-Sook Kim* · Jae-Sik Jeon* · Young Sunwoo** · Seok-Won Eom* · Young-Zoo Chae*

Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment*

Department of Advanced Technology Fusion, Konkuk University**

(Manuscript received 23 February 2012; accepted 6 April 2012)

Abstract

This study is understanding characteristics and analyzing contributions of the odor causing compounds of complex-odor & major specified odor materials, and contribution analysis, caused pre-treatment facilities(input and storage) and post-treatment facilities(heating and drying). The target of this study is feeds-production-facilities, located in Seoul.

The averaged complex-odor compounds on the boundary line is 21 times higher, and it is 15 times higher than emission standards. In cracking&collection(pre-treatment facilities), the concentration of compounds is 4,881 times, 2,080 times in drying, and 1,442 times in putting&storing facilities.

Ammonia occupies the largest portion of the results of monitoring specified odor compounds in input&storage facilities, followed Acetaldehyde > Hydrogen sulfide > Methyl mercaptan. In cracking&collection, Ammonia also occupies most of odor compounds, followed Methyl mercaptan > Acetaldehyde > Dimethyl disulfide > Dimethyl sulfide > Hydrogen sulfide. Acetaldehyde > Methyl mercaptan in drying facilities. On the boundary line, however, the concentration of specified odor compounds stays below emission standards.

The result of contribution analysis is that methyl mercaptan has the highest contribution in input & storage, as well as cracking&collection facilities, followed Acetaldehyde > Hydrogen

sulfide > Dimethyl sulfide > Dimethyl disulfide. In the drying facilities, the contribution shows Methyl mercaptan > Acetaldehyde > i-Valeraldehyde and Butyraldehyde.

Therefore, to decrease odor in foodwaste treatment facilities, proper prevention facilities need to be installed and operated, according to characteristics of individual odor compounds, based on monitored data.

Keywords : Complex odor, Major odor compounds, Contribution, Foodwaste treatment facilities

1. 서 론

최근 소득 수준과 삶의 질이 향상됨에 따라 환경 문제에 대한 인식이 확대되고 있으며, 쾌적한 환경에 대한 욕구가 증대되면서 감각공해중의 하나인 악취문제가 새로운 환경문제로 대두되고 있는 실정이다. 백광수 등(2009)은 악취는 생활수준의 향상과 쾌적한 도시환경을 바라는 시민들의 요구가 높아짐에 따라 대표적인 환경 민원으로 등장하고 있으며, 지극히 낮은 농도에서도 불쾌감과 혐오감 등의 정신적·심리적 피해를 유발하여 대기질 전반에 불신을 초래할 뿐만 아니라 사람마다 개인적인 특성과 지역특성, 생활수준 등 사회·문화적 특성에 따라 동일한 냄새를 악취 또는 좋은 냄새로 인식되어진다고 하였다.

박귀환 등(2005)은 매년 악취관련 민원 건수도 증가하고 있는데, 그 중에서도 악취 규제대상 관리지역외의 민원이 급증하고 있다. 악취는 황화수소·메르캡탄류·아민류 등 그밖에 자극성이 있는 기체상의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 사람들의 정서생활에 많은 영향을 주고 있다. 또한, 대부분의 악취물질들은 대기오염물질과 다르게 저농도에서 쉽게 감지되며, 발생원에 대한 개선이 쉽지 않는 것이 특징이라고 하였다.

또한 김종률(2007)은 악취를 유발하는 원인물질이 매우 다양하고 복잡적이므로 기상에 따라 국지적, 순간적으로 발생·소멸하며, 대기배출시설의 배출구 이외의 공정에서도 다양하게 발생하는 특징을 가지고 있다. 악취의 세기는 독립적, 부가적, 상승적, 상쇄적작용 등 복합적으로 작용하여 다른 물

질의 영향으로 소멸되거나 커진다고 하였다.

정구회 등(2004)은 우리나라의 특성상 주거지와 산업단지가 근접 또는 혼재하여 국지적으로 영향을 미치는 악취에 취약한 주거지의 특성과 위에 서술한 악취의 특성으로 인해 민원도 매년 점점 더 증가하여 악취가 최근 환경민원의 20% 이상을 차지한다고 제시하였다.

국민 삶의 질과 직결된 악취로 인한 환경문제를 규제 및 악취의 체계적인 관리를 위해 환경부(2008)에 의하면 2005년 2월 악취방지법이 시행되었고, 악취를 정확히 규명하기 위한 악취공정시험방법도 제정·고시 되어 악취저감에 노력하고 있으며, 지방자치단체에서는 악취관리구역을 지정하여 악취 배출사업장관리에 중점을 두고 있다. 또한 악취와 관련된 많은 연구들 새로운 악취물질의 분석방법의 개발, 저농도 악취물질 분석방법의 고안뿐만 아니라 악취저감을 위한 제어방법 등 다양한 방법으로 활발히 진행되고 있다. 전의찬 등(2006)은 근래에 악취발생원 개별시설에 대해서도 시설군집별, 공정별 조사연구가 많은 진전을 보이고 있으나 향후 배출시설별 악취발생원, 유발물질 및 배출특성에 대한 많은 자료 구축이 필요하다고 밝혔다.(6)

과거 악취문제는 주로 대규모 산업단지와 중·소규모의 사업장을 중심으로 발생하였으나, 최근의 발표 자료에 의하면 관리지역 외의 도심지역이나 외곽지역의 주거지역에서 악취 민원발생이 증가함에 따라 악취에 대한 관리의 필요성이 대두되고 있다. 생활환경에서 감지할 수 있는 악취로는 음식물류 폐기물처리 시설, 하수관거나 빗물받이, 쓰레기적환장, 물재생센터 등에서 발생하는 악취도 생활주변에서 가장 쉽게 접할 수 있는 생활악취

라 할 수 있다.

특히 음식물 폐기물 처리시설에서 발생하는 악취는 인근 주민들 삶의 건강상 · 심미상 피해를 야기하며, 발생하는 악취를 저감시켜야 하는 처리시설 운영자에게는 큰 고민거리가 된다.

류지영(2004)은 음식물쓰레기란 농수산물 유통 과정에서 버려지는 쓰레기와 가정 및 음식점등에서 조리과정중 식품을 다듬고 버리는 식품쓰레기, 먹고 남긴 음식물찌꺼기, 보관했다가 그냥 버려지는 식품폐기물을 말한다.

이러한 음식물류 폐기물은 수분 및 유기물 함량이 높아 쉽게 부패되고, 악취를 유발하는 침출수가 다량 발생되며, 자체 악취 및 유기물 분해 과정에서 탄수화물, 지방, 단백질을 함유하고 있어 황화수소, 메틸머캅탄, 알데하이드류 등 서로 다른 종류의 악취가 발생되고 있어 효과적인 악취관리에 많은 어려움이 있다고 밝혔다.

또한, 음식물류 폐기물들은 주로 사료화 및 퇴비화로서의 이용가치가 있으나, 음식물류 폐기물 처리시 반입, 선별, 파쇄, 탈수, 건조 · 냉각 그리고 수분조절제인 톱밥과 혼합 및 발효과정에서 악취물질이 발생하는 것으로 인하여 주변지역 악취 민원의 주요 요인으로 작용하고 있다.

음식물류폐기물 사료화시설은 생활 활동에서 발생되고 남은 음식물류폐기물을 자원화 하는 시설로서 퇴비화시설과는 다르게 주로 건조공정을 이용하여 가축용 사료제품을 생산한다. 음식물류 사료화 시설은 반입 · 저장, 선별 · 파쇄, 탈수 과정까지 음식물류폐기물의 물리적 처리를 위한 전처리 공정과 건조, 냉각 · 포장과 같은 열처리공정인 후처리 공정으로 구성된다. 주요 악취발생 공정은 반입 및 저장시설, 침출수누출, 탈수된 음식물류폐기물 건조과정 등이며, 특히, 탄수화물류 등은 고온의 건조과정에서 탄화되어 악취 성분이 발생되고 있다.

따라서 본 연구는 서울시에 소재한 음식물쓰레기 사료화시설을 대상으로 부지경계선 및 전처리시설인 투입 저장공정, 파쇄 · 선별 및 탈수공정과 후처리시설인 가열 · 건조공정 등 공정별에서 발생하는

복합악취와 주요 지정악취물질을 조사 · 분석하였다. 이를 바탕으로 악취 원인물질 특성파악과 기여도 평가를 통하여 향후 음식물쓰레기 처리시설에 대한 악취저감방안 수립과 효율적인 악취관리에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 조사대상 가동조건과 시설 현황

본 연구에서 조사대상으로 선정된 서울시소재 음식물쓰레기 사료화시설의 가동조건을 Table 1에 나타내었다.

Fig. 1은 음식물류폐기물 처리시설의 공정도를 나타낸 것이다.

음식물류 폐기물은 수거차량에 의해 운반되어 반입장 1차 저장탱크에 투입하여 저장조 투입호퍼 하부의 더블스크류에 의해 일정량씩 이송컨베이어를 통해 자동파쇄선별기로 공급하여 음식물을 싸고 있는 비닐류나 금속류 등의 이물질 제거하여 탈수기로 이송되고, 선별 및 건조를 용이하게 하기 위해 수분을 제거(Screw press 방식)한 후 수평 컨베이어 벨트로 이송 인력에 의한 이물질을 제거 한 후 일정한 size로 분쇄하는 전처리 단계를 거치게 된다.

이 전처리가 끝나면 간접열 방식의 Disk Dryer를 이용하여 가열 건조 공정[내부온도 : 150℃이상, 체류시간 : 45min, 처리능력 : 7ton/H/S×5]을 한 후 건조된 사료 제품의 안정성 확보 및 취급을 용이하게 하기 위해 제품의 온도를 안정화시킨다.

Table 1. Operating conditions of fodder manufacturing plant for foodwaste

Parameter	Process			
	Input/storage*	Cracking/collection	Drying	Cooling**
Temp.(℃)	29 ± 2	30 ± 2	120 ± 3	29 ± 5
Capacity	Foodwaste input : 200ton/day Cracking : 20ton/hr Product : 26ton/day			

* Over 30cm from surface of foodwaste in tank

** Air cooling type

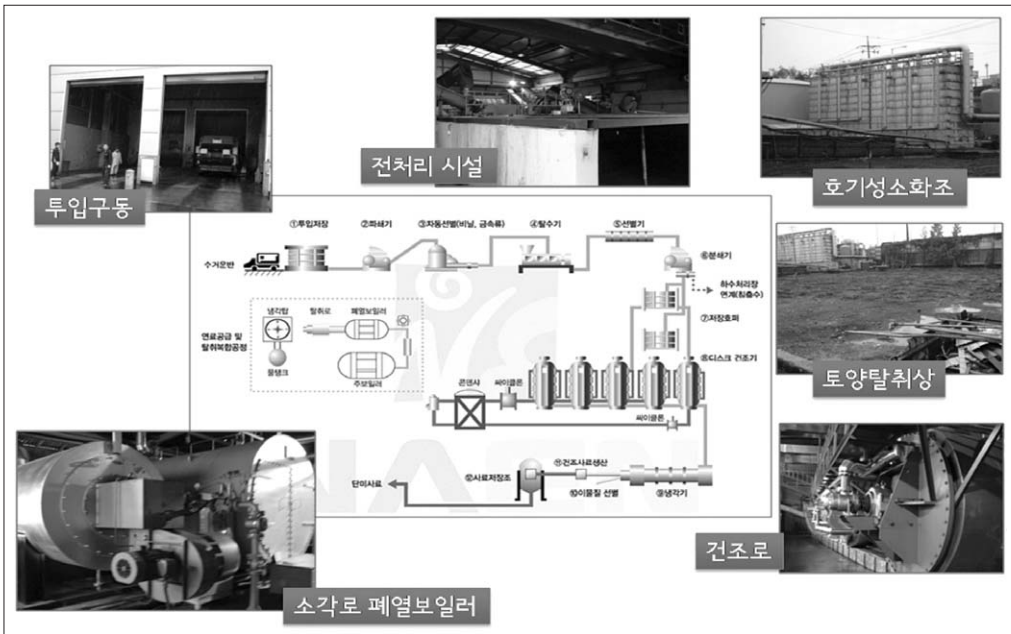


Fig. 1. The process of foodwaste treatment facility

2. 시료채취 및 분석방법

1) 시료채취

본 연구는 서울시에 소재한 음식물쓰레기의 사료화시설에서 발생하는 악취물질의 특성을 파악하고, 효과적인 관리를 하기 위해 시설을 선정하였으며, 악취시료는 악취 민원이 빈번하게 발생하는 하절기인 2011년 5월~10월에 걸쳐 주로 가동시간대(새벽~오전), 주풍향을 고려하여 기상조건이 저기압일 때 시료채취를 하였다.

음식물류폐기물 사료화시설은 생활 활동에서 발생되고 남은 음식물류폐기물을 자원화하는 시설로서 퇴비화시설과는 다르게 주로 건조공정을 이용하여 가축용 사료제품을 생산한다. 음식물류 사료화 시설은 반입·저장, 선별·파쇄, 탈수 과정까지 음식물류폐기물의 물리적 처리를 위한 전처리 공정과 건조, 냉각·포장과 같은 열처리공정인 후처리 공정으로 구성된다. 주요 악취발생 공정은 반입 및 저장시설, 침출수누출, 탈수된 음식물류폐기물 건조과정 등이며, 특히, 탄수화물류 등은 고온의 건조과정에서 탄화되어 악취 성분이 발생된다.

Fig. 1과 같이 공정별로 투입시설, 파쇄·선별시설, 건조시설 및 부지경계 등에서 각각 시료 채취하여 국립환경과학원 고시(2005)에 의거 악취공정시험방법에 따라 복합악취와 주요 지정악취물질을 조사·분석하였다.

2) 분석방법

음식물류 폐기물 처리시설에서의 악취발생 특성 파악을 위해 복합악취 및 주요 지정악취물질중 암모니아, 황화합물류, 알데하이드류 등을 대상으로 조사·분석하였다. 이들 성분들의 분석에 활용한 분석기법들에 대한 일반적인 내용은 Fig. 2와 Table 2에 나타내었다.

복합악취의 시료채취는 시료채취 전 고순도 질소

Table 2. Concentrations of standard gas

Standard gas	Concentration
Hydrogen sulfide(H ₂ S)	9.7μmol/mol
Methyl mercaptan(CH ₃ SH)	9.9μmol/mol
Dimethyl sulfide((CH ₃) ₂ S)	9.8μmol/mol
Dimethyl disulfide((CH ₃) ₂ S ₂)	9.9μmol/mol
N ₂ balance	

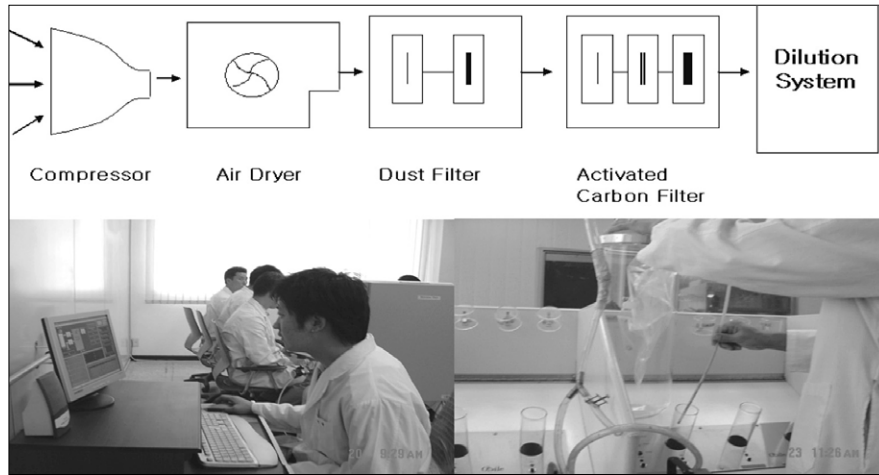


Fig. 2. Photographs of analyzing odor samples by offactometer

(99.999%)로 3회 이상 세척한 테들러 백을 이용 5L/min로 시료를 간접 흡입하였다. 복합악취 분석은 Fig. 2와 같이 3점식 공기회석관능법으로 하였다.

지정악취물질인 황화합물류는 감압식 장치가 장착된 채취장비(Supelco)를 이용하여 테들러 백(Tedlar bag, 10L, SKC, USA)에 채취한 후 보관용 케이스(냉암소)에 넣어서 실험실로 이동 신속히 분석하였다. 테들러 백에 채취한 시료는 Air sampler가 부착된 전자 냉각방식을 이용한 열탈착장치(ATD UNITY, MARKES)의 내부 Cold trap에서 시료를 -15℃로 일정시간(용량) 농축 후 수초 내에 280℃ 고온 탈착하여 자동으로 가스크로마토그래피로 주입시켜 분석하였다. 검출기는 PFPD 및 FID를 사용하였으며, 분석용 컬럼은 CP-SIL 5CB(30m×0.32mm×3μm)를 사용하였다.

메틸머캅탄(CH₃SH), 황화수소(H₂S), 다이메틸설파이드((CH₃)₂S), 다이메틸다이설파이드((CH₃)₂S₂)의 표준시료(μmol/mol 농도)는 인증 표준가스(Rigas, Korea)를 사용하여 분석하였고 표준가스 농도는 Table 2와 같다.

저농도 표준가스 제조는 테들러백(Tedlar bag; 10L, SKC, USA)을 사용하여 고순도 질소와 혼합하여 5, 10, 15, 20 ppb로 희석하여 사용하였다.

암모니아는 흡습트랩 케이스와 정량펌프(Shibata, KP-10, Japan)를 이용 0.5% 붕산용액(boric

acid) 20mL를 흡수병 2개에 각각 나누어 넣어 직렬로 연결하고 약 10L/min의 유량으로 5분간 50L 취기공기를 흡입시킨 후 채취한 2개의 흡수병을 합하여 메스플라스크에 옮겼다. 흡수병 내부를 0.5% 붕산용액(boric acid)으로 씻어 전량 50mL로 하였다. 이 용액 10mL를 취한 후 여기에 페놀 펜타시안노 니트로실 철(Ⅲ)산 나트륨 용액 5mL를 가하여 섞고, 차아염소산나트륨 용액 5mL를 가하고 혼합하여 25~30℃에서 1시간 방치한 후 UV-Visible Spectrophotometer(SHIMADZU UV -1650PC, Japan)를 이용 640nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 분석 대상 표준물질은 황산암모늄을 이용하여 공정시험방법에 준하여 준비하였다.

알데하이드류는 오존스크리버를 장착한 LpDNPH Catridge(S10, Supelco)를 이용하여 약 1.5L/min의 유량으로 5분간 시료공기를 흡입시킨 후 HPLC-grade acetonitrile 5mL로 용출하였다. 용출시킨 시료는 HPLC(WATERS 2695)-UV/VIS을 이용 분석하였다. 표준시료는 알데하이드 표준용액(All aldehydes = 0.1μg/μl, Acetonitrile solution, Wako)을 공정시험방법에 따라 단계별로 희석하여 사용하였다.

위의 주요 지정악취물질 분석에 따른 각각의 기기분석 조건은 Table 3과 같다.

Table 3. Summary of instrumental analytical conditions

Instrument	Analytical conditions
GC/PFPD (GC-3800, VARIAN) ATD (UNITY, MARKES)	Column : CP-SIL 5CB(30m×0.32mm×3μm) Oven : 40°C(6min) → 8°C/min → 150°C Detector : 200°C Trap : U-T8CUS cold trap Trap low : -15°C, Trap high : 250°C, Trap hold : 5min Carrier gas pre. : 28psi Outlet split flow : 5.0mL/min
HPLC (2695, WATERS)	Detector : UV/Vis. 360nm Column : YMC-pack-ODS-A Mobile phases : Acetonitrile : water(60 : 40 v/v) Analysis time : 15min Injection volume : 20μl Column temp. : 40°C Flow rate : 1.5mL/min
UV-Visible Spectrophotometer (UV-1650PC, SHIMADZU)	Absorbance 640nm

Table 4. Precision and detection limits of major odorants by instrumental analysis

Odor compounds	Detection limit		Precision(%RSD)
Ammonia	0.003ppm	1.2ng	1.0
Hydrogen sulfide	0.02ppb	0.3ng	1.1
Methyl mercaptan	0.03ppb	0.6ng	2.3
Dimethyl sulfide	0.03ppb	0.8ng	0.4
Dimethyl disulfide	0.03ppb	1.3ng	1.3
Acetaldehyde	0.10ppb	1.9ng	0.1
Propionaldehyde	0.09ppb	2.3ng	0.3
Butyraldehyde	0.12ppb	3.8ng	0.1
i-Valeraldehyde	0.21ppb	8.0ng	0.2
n-Valeraldehyde	0.26ppb	9.9ng	0.2

III. 연구결과

1. 검량선 작성과 분석 재현성

분석재현성과 직선성 평가는 표준가스를 희석제 조한 다음 각각 3회 이상 반복 수행하였다. 검량선 작성을 위한 표준시료 제조는 Tedlar bag(10L, SKC, USA)에 고순도 질소(99.999%)를 희석가스로 사용하여 제조하였으며, 제조 후 즉시 분석을 실시하였고, 대상 시료의 악취물질을 분석시 마다 검량선을 작성하여 결과를 Table 4에 나타내었다.

분석재현성은 모두 5.79%이하로 나타났고 각 표준시료의 검량선 결과에 대한 직선성은 R^2 이 0.985

이상으로 양호한 직선성을 나타내었다. 황화합물류 분석을 위한 표준시료의 검출한계는 황화수소 0.02ppb, 메틸머캅탄 0.03ppb, 다이메틸설파이드 0.03ppb, 그리고 다이메틸다이설파이드 0.03 ppb 이었고 암모니아는 0.003ppm이었다. 또한 알데하이드류 분석을 위한 표준시료의 검출한계는 아세트알데하이드 0.10ppb, 프로피온알데하이드 0.09ppb, 부티르알데하이드 0.12ppb, i-발레르알데하이드 0.21ppb, n-발레르알데하이드 0.26ppb 이었다.

2. 악취발생 원인물질 특성 및 기여도 평가

Table 5는 부지경계선 및 전처리시설인 투입 저장공정, 파쇄·선별 및 탈수공정과 후처리시설인 가열·건조공정 등에서 복합악취와 지정악취물질 시료 채취·분석한 결과이다.

1) 공정별 악취발생 특성분석

음식물류 쓰레기 사료화시설의 전처리 공정은 대부분 투입시설, 선별·파쇄시설 및 탈수시설 등으로 구성되어 있다. 이러한 공정은 일반적으로 암모니아, 황화합물류 및 알데하이드류 등이 발생하는 것으로 알려져 있다.

Table 5에서 알 수 있는 바와 같이 부지경계선을 포함하여 4곳에서 조사한 복합악취 측정결과는 부

Table 5. The mean concentration of complex odors and specific odors

Point	complex odor (dilution rate)	Specific odor elements(ppm)									
		Ammonia	Hydrogen sulfide	Methyl mercaptan	Dimethyl sulfide	Dimethyl disulfide	Acet aldehyde	Propion aldehyde	Butyr aldehyde	i-Valer aldehyde	n-Valer aldehyde
Input/storage	1442	0.87	0.018	0.010	ND	0.008	0.135	0.007	0.007	0.002	0.002
Cracking/ collection	4481	1.19	0.034	0.354	0.036	0.086	0.276	0.006	0.029	0.048	0.005
Drying	2080	0.36	0.006	0.070	ND	0.002	0.118	0.008	0.011	0.006	ND
Boundary layer	21	0.11	ND	ND	ND	ND	0.004	ND	0.001	ND	ND
Discharge regulation (boundary layer)	15	1	0.020	0.002	0.010	0.009	0.050	0.050	0.029	0.003	0.009
Discharge regulation (discharge point)	500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

지경계선에서 평균 21배로 악취방지법상 배출허용 기준중 기타지역에 해당하는 기준치인 15배를 초과 하였으며, 공정별로 보면 전처리시설인 파쇄·선별 시설에서 평균 4,881배로 가장 높았고, 건조시설에서 평균 2,080배, 투입·저장시설에서 평균 1,442 배로 나타났다. 투입구와 파쇄·선별 전처리시설, 건조시설 등 공정별에 대한 각각의 측정 평균값은 악취방지법상 배출허용기준이 없기 때문에 적용할 수는 없지만, 배출허용기준 기타지역 배출구 기준인 500배를 적용한 결과 모든 측정지점에서 약 3배 이상 초과한 것으로 조사되었다.

따라서 전처리 시설 및 건조시설에서 발생하는 악취는 생 쓰레기에서 발생하는 악취로 음식물 자체 악취와 유기물 분해과정 및 가열과정에 의한 악취로 구분되며, 또한 공정상의 밀폐 상태 및 청소 상태와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

지정악취물질 측정결과 투입·저장시설에서는 암모니아가 0.87ppm으로 가장 높았고, 아세트알데하이드 0.135ppm, 황화수소 0.018ppm, 메틸머캅탄 0.010ppm 등으로 나타났으며, 이중 메틸머캅탄과 아세트알데하이드 물질은 부지경계선의 배출허용기준치를 적용했을 때 기준치 이상으로 나타났다. 또한 전처리시설인 파쇄·선별시설에서는 암모

니아가 1.19ppm으로 가장 높았고, 메틸머캅탄 0.354ppm, 아세트알데하이드 0.276ppm, 다이메틸다이설파이드 0.086ppm, 다이메틸설파이드 0.036ppm, 황화수소 0.034ppm 등으로 나타났으며, n-발레르알데하이드를 제외한 모든 물질에서 부지경계선 기준치 이상으로 나타났다. 건조시설에서는 아세트알데하이드, 메틸머캅탄 등이 매우 높은 농도로 발생되고 있는 것으로 조사되었다. 부지경계선에서의 지정악취물질 농도는 모든 항목이 배출허용기준치 이내로 나타났다.

Fig. 3은 음식물류 폐기물 처리시설 공정별 악취 발생 특성 파악을 위해 측정 결과를 나타낸 것이다.

전처리 공정은 음식물의 상태에 따라 취기 강도가 다르게 나타나며, 주로 투입·저장시설에서의 취기강도는 낮으나, 파쇄시설 및 탈수공정 등에서 발생하는 악취는 상대적으로 높게 측정되었다.

주요 악취 원인물질은 지정악취물질중에서 유기물의 부패 시 발생하는 마늘냄새와 썩은 양배추 냄새를 유발하는 메틸머캅탄 등 황화합물류가 높게 발생되었으며, 유기물이 분해되면서 발생된 에탄올이 산화되는 과정에서 생성되는 아세트알데하이드, 불쾌한 냄새와 썩은 냄새를 주로 유발하는 n-발레르산, i-발레르산이 주로 발생되는 것으로 조사되었다.

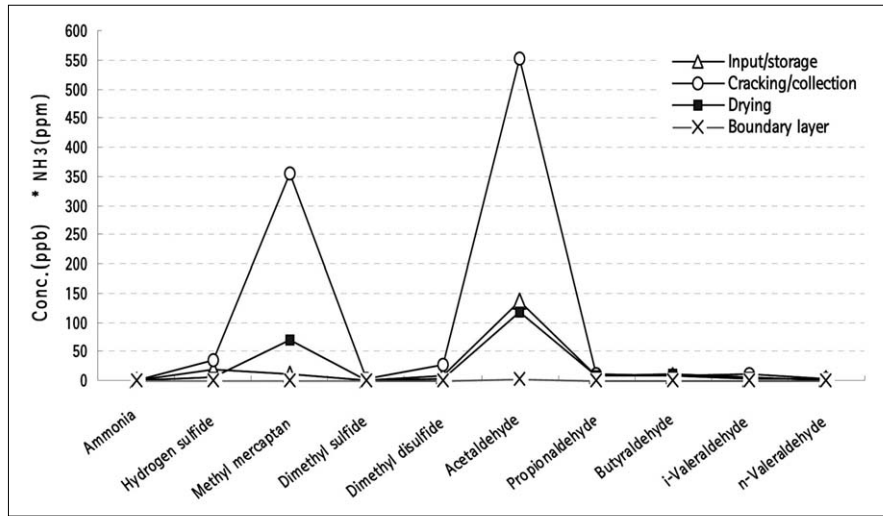


Fig. 3. Analysis result of odorous compounds

저장시설의 경우 다양한 악취 물질이 발생 될 것으로 예상되지만, 지정악취물질에 의한 악취보다는 음식물 부패과정에서 발생하는 유기산에 의해 악취 물질이 다량 발생하는 것으로 판단된다.

또한 음식물 쓰레기의 가열·건조 공정에서 발생하는 악취는 음식물에 포함되어 있는 수분이 증발 하면서 발생하는 것으로 지정악취물질중 알데하이드류에 의한 것으로 나타났다. 이는 김성림 등 (2002)의 부산시 보건환경연구원 연구결과에 의하면 음식물 쓰레기 증자공정에서 발생하는 악취 중 약 70% 이상이 알데하이드류에 의한 것과 매우 유사한 결과를 보였다.

악취 분포특성 조사결과 최소감지농도가 낮은 황화합물류와 알데하이드류가 주요 악취 원인물질로 나타났다.

2) 악취농도지수에 의한 악취원인물질 분석

정의석(2004)에 의하면 악취는 감각공해이기 때문에 각 물질별 절대적인 농도의 비교보다는 인간이 후각으로 느끼기 시작되는 최소의 농도를 후각 최소감지농도(Threshold)라 하며, 최소 감지값이 작을수록 낮은 농도에서 냄새를 강하게 유발하므로 강한 냄새를 낸다고 할 수 있다. 이에 악취농도를 산출한 후 예상되는 악취강도(계산된 희석배수;

Odor Quotient)를 비교하는 것이 더 합리적이고 이해가 용이하다 할 수 있다. 따라서 각 물질 농도 측정만으로 악취의 높고 낮음을 판단하기에는 어려움이 예상됨으로 각 악취물질 감지 한계농도를 활용하여 악취 유발물질의 농도를 악취강도와 연계시켜 각 공정에서 발생하는 악취물질별 악취강도를 사용하고 있다.

악취강도 지수는 대상시설 부지내의 공정내 상황으로 부지경계선 또는 인접한 주민들이 느끼는 실제 악취 강도와 차이가 있을 수 있다. 여기에서는 크게 두 가지 변수로 하나는 개별 악취 성분의 특성으로 인한 것이고, 다른 하나는 악취물질 배출 후 대기중 물리화학적 또는 감각적 물성변화를 포함하는 물질 상호간의 상승·저감효과 등으로 작용한다.

본 연구에서도 계산된 희석배수(악취농도 지수 ; Odor Quotient)는 기기분석의 개별 악취물질의 측정 농도(Odor material conc.)를 악취물질의 후각 최소감지농도(Threshold)로 나누어 산정하였으며, 최소감지농도는 환경부(2005)에서 제시한 자료를 이용하였다.

$$\text{악취농도 지수(Odor Quotient)} = \frac{\text{조사악취물질의 농도}}{\text{물질의 최소감지농도}}$$

Table 6과 Table 7은 각 물질의 후각최소감지농도와 개별악취물질의 평균 농도값을 지수화하여 나

Table 6. Analysis result of odorous compounds on fodder plant for reusing foodwaste

Odor Compounds	Odor Threshold (ppb)	Input/storage facility		Cracking/collection facility	
		Avg.	Odor Quotient	Avg.	Odor Quotient
Complex odor	**D/T ^d	1442	-	4481	-
*Ammonia	0.1	0.87	8.7	1.19	11.9
Hydrogen sulfide	0.5	17.99	35.9	34.13	68.2
Methyl mercaptan	0.1	10.55	105.5	354.20	3542.0
Dimethyl sulfide	0.1	0.00	0.0	3.61	36.1
Dimethyl disulfide	0.3	8.43	28.1	26.01	86.7
Acetaldehyde	2.0	135.01	67.5	552.06	276.0
Propionaldehyde	2.0	6.86	3.4	11.82	5.9
Butyraldehyde	0.3	6.97	23.2	8.92	29.6
i-Valeraldehyde	0.2	2.29	11.4	9.57	47.8
n-Valeraldehyde	0.7	2.63	3.7	3.92	5.6

* NH₃ unit : ppm

** D/T^d=Dilution-to-threshold ratio

Table 7. Analysis result of odorous compounds on fodder plant for reusing foodwaste

Odor Compounds	Odor Threshold(ppb)	Drying facility		Boundary layer	
		Avg.	Odor Quotient	Avg.	Odor Quotient
Complex odor	*D/T ^d	2080	-	21	-
*Ammonia	0.1	0.36	3.6	0.11	1.1
Hydrogen sulfide	0.5	6.31	12.6	0.41	0.8
Methyl mercaptan	0.1	69.99	699.9	0.00	0.0
Dimethyl sulfide	0.1	0.44	4.4	0.00	0.0
Dimethyl disulfide	0.3	2.05	6.8	0.00	0.0
Acetaldehyde	2.0	118.24	59.1	3.84	1.9
Propionaldehyde	2.0	7.88	3.9	0.08	0.0
Butyraldehyde	0.3	10.91	36.3	0.90	3.0
i-Valeraldehyde	0.2	6.26	31.3	0.24	1.2
n-Valeraldehyde	0.7	0.00	0.0	0.05	0.1

* NH₃ unit : ppm

** D/T^d=Dilution-to-threshold ratio

타낸 결과이다.

투입 · 저장시설 공정에서는 메틸머캅탄(105.5) > 아세트알데하이드(67.5) > 황화수소(35.9) > 다이메틸설파이드(28.1) 등 순으로 나타났으며, 파쇄 · 선별시설 공정에서는 메틸머캅탄(3542.0) > 아세트알데하이드(276.0) > 다이메틸다이설파이드(86.7) > 황화수소(68.2) 등 순으로 나타났다. 건조시설 공정에서는 메틸머캅탄(699.9) > 아세트알데하이드(59.1) > 뷰티르알데하이드(36.3) > i-발레르알데하이드(31.3) 등 순으로 나타났다.

투입 · 저장시설 등 모든 공정에서 농도분석 자료와 비교해 보면 공정별 패턴은 비슷하게 나타났다. 그러나 농도가 높았던 아세트알데하이드보다 저농도인 메틸머캅탄이 계산된 희석배수에 대한 기여도가 훨씬 크게 나타났다. 이는 악취감지한계농도의 차이 때문으로 악취저감대책 수립시 개별성분의 단순농도가 아닌 악취지수를 반드시 고려해야 한다는 것을 의미한다.

3) 악취 원인물질별 기여도(Contribution) 평가

Fig. 4~6은 악취기여도를 조사하여 각 악취성분들

이 냄새발생에 어느 정도 기여하고 있는지 평가하였다.

기여도평가 방법은 김선화 등(2007)의 냄새 최소 감지값과 측정된 항목별 자료를 이용하여 예상 악취농도를 구해 다음 식에 의해 악취기여도를 산출하여 나타내었다.

각 악취물질의 기여도는 전체 악취물질에서 차지하는 악취의 세기를 의미한다.

각 악취물질별 기여율(Contribution ; %)

$$= \frac{\text{[측정한 악취의 농도 지수(Odor Quotient)]}}{\text{계산된 악취농도지수의 합 (Summation of Odor Quotient : SOQ)}} \times 100$$

악취물질 기여도평가 결과 투입·저장시설 공정에서 메틸머캅탄이 38%로 기여율이 가장 높았고, 다음으로 아세트알데하이드가 23%, 황화수소는 12%, 다이메틸설파이드가 10% 등 순으로 나타났으며, 파쇄·선별시설 공정에서는 메틸머캅탄이 86%

로 가장 기여율이 높았고 다음으로 아세트알데하이드가 7%, 황화수소는 2%, 다이메틸다이설파이드가 2% 순으로 나타났다. 건조시설 공정에서의 악취물질별 기여율은 메틸머캅탄이 82%, 아세트알데하이드가 7%, i-발레르알데하이드 및 뷰티르알데하이드가 각각 4% 등의 순으로 나타났다.

모든 공정에 대한 악취저감 목표물질은 황화합물류와 알데하이드류가 되어야 할 것으로 판단된다.

전체적으로 조사대상 음식물류폐기물 처리시설에 대한 악취물질의 기여도를 조사한 결과 박주영(2007)이 연구한 「환경기초시설 악취저감방안 연구」의 음식물류 폐기물 자원화시설의 악취배출 특성에서 밝힌 결과와 같이 황화합물(메틸머캅탄)과 아세트알데하이드가 높은 기여를 한 것으로 나타나 유사한 경향을 보였다.

정재은 등(2003)에 의하면 악취는 개별 악취성분

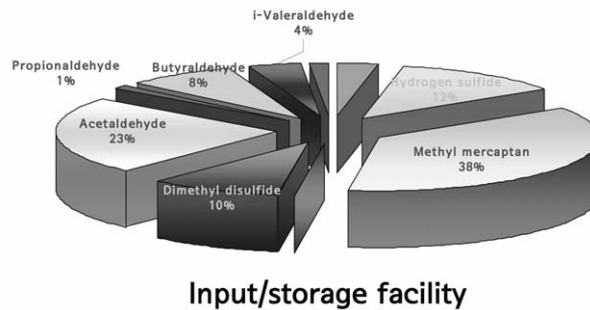


Fig. 4. Contribution ratio of major odor compounds at the input/storage facility

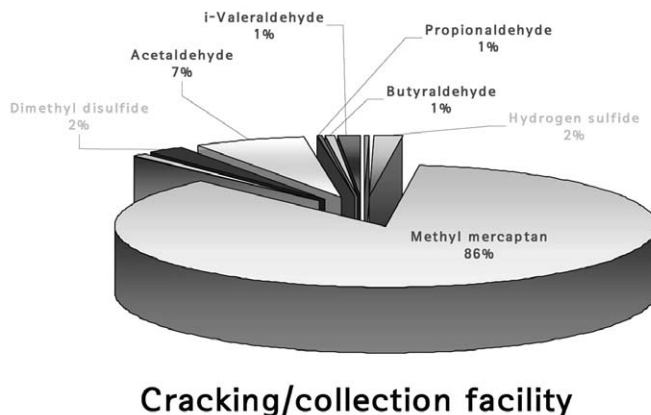


Fig. 5. Contribution ratio of major odor compounds at the cracking/collection facility

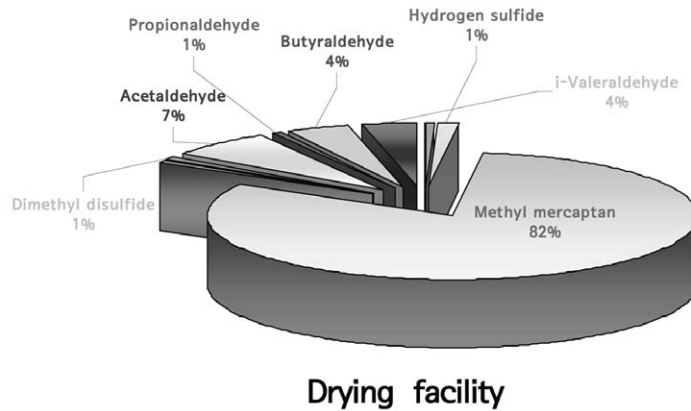


Fig. 6. Contribution ratio of major odor compounds at the drying facility

의 농도보다 악취의 세기를 표현하는 악취강도에 대한 기여율을 평가함으로써 악취의 주요 성분이 어느 물질인가를 판단할 수 있다고 하였다. 따라서 악취는 농도가 높은 악취물질을 대상으로 계획되기 보다는 악취기여율이 높은 악취물질을 중심으로 제어 계획되어야 악취저감의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

3. 공정별 악취발생 관리방안

악취배출 사업장의 악취관련 민원은 공정 중 발생하는 악취가 부지경계선으로 확산되는 것과 악취 포집 장치에서 포집된 악취가 방지시설에 의해 미처리되어 배출되어지는 것 및 시설공정 중 발생하는 음식물류폐수 배출에 의한 것으로 나누어볼 수 있다.

본 연구 음식물류 쓰레기 처리시설로부터 부지경계선으로의 확산은 주로 전처리공정인 투입·저장공정, 파쇄·선별 및 탈수공정과 후처리시설인 가열·건조 공정에서 완전히 밀폐되지 않아 시료채취 당시 부지경계선에서도 상당히 심한 악취가 발생되었다. 또한 음식물류폐수의 경우 대부분 위탁 처리하고 있으므로 음식물류폐수 배출에 의해서 생기는 악취는 다소 적은 것으로 조사되었으나 폐수처리장도 완전 밀폐되지 않아 처리장주변에서 악취가 발생되었다.

악취물질을 효율적으로 차단하기 위한 관리방안으로는 우선적으로 공정별에서 발생하는 악취가 외

부로 확산 및 배출되지 않도록 밀폐 또는 국소포집, 후드 등 장치를 통한 악취 포집시설과 에어커튼을 설치하고, 내부를 음압으로 재정비하여 유지할 필요가 있다고 판단된다. 특히 음식물류 폐기물 처리 시설의 효과적인 악취저감을 위하여 조사된 측정 자료를 바탕으로 주요 발생 공정별로 악취원인물질 특성을 파악하여 적합한 방지시설 즉, 아세트알데하이드와 메틸머캅탄 등 황화합물류가 주된 악취발생물질인 경우 저감효율이 높은 생물여과법과 습식세정법 등 방지시설을 혼합하여 운용하고, 가열·건조 공정에서 발생하는 악취는 고온, 다습, 고농도로 배출되므로 효율적인 악취저감을 위해서는 고효율 처리시설인 생물학적 탈취법, 연소법 등과 같은 방지시설을 설치·운영되도록 유도해 나아가야 할 것으로 판단된다.

1) 전처리공정 악취관리방안

음식물 쓰레기의 반입과정 및 저장 호퍼에서 발생하는 악취 확산을 방지하기 위해서는 반입장 밀폐가 절대적으로 필요하다. 대부분의 사업장이 음식물 쓰레기 수집 차량의 이동시 불편함으로 인해 밀폐되지 않은 상태에서 운전함으로 철저한 관리가 필요하며 차량의 출입 후 자동으로 반입장을 밀폐하는 것이 악취 확산을 예방할 수 있다고 판단된다. 유기성 폐기물의 이송과정에서 발생하는 악취는 외부 확산시 민원 발생이 야기될 수 있으므로 이송로

의 밀폐가 필요로 한다. 또한 탈수, 선별 과정의 경우 밀폐하거나 국소 포집장치 등 후드를 통해 악취를 포집 처리하여야 할 것으로 사료된다.

현재 대부분 사업장의 전처리 공정에서 발생하는 악취발생물질을 습식세정법으로 처리하고 있으나 처리 효율은 낮은 것으로 조사되었다. 본 연구시설에서는 아세트알데하이드와 메틸머캅탄 등 황화합물류가 주된 악취발생물질로 조사되었기 때문에 처리효율이 낮은 습식세정법보다는 저감효율이 높은 생물여과법과 습식세정법 등 방지시설을 혼합하여 운용하는 것이 향후 악취물질 저감에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 가열·건조공정 악취관리방안

일반적으로 악취배출 사업장의 연소로의 경우 발생하는 폐열을 수집하여 재이용하기 어려우나, 음식물 쓰레기 사료화시설의 경우 가열·건조 공정과 같이 폐열을 재이용할 수 있는 공정이 존재하므로 연소로 운영의 장점 및 운전에 따른 운전경비의 절감효과를 볼 수 있으므로 이를 적극적으로 활용할 필요가 있다고 판단된다.

반면, 음식물 쓰레기 가열·건조 공정에서 발생하는 악취물질의 경우 고농도로 배출되기 때문에 사업장 인근뿐 만 아니라 수 km 떨어진 주거지역에서도 악취 민원이 야기, 발생하는 사례가 증가하고 있다.

이러한 가열·건조 공정에서 발생하는 악취는 고온, 다습, 고농도로 배출되므로 효율적인 악취저감을 위해서는 일반적으로 저농도 악취발생 공정에 설치하여 사용하는 습식 세정법, 흡착법 등과 같은 방지시설로 처리하는 것보다 고효율 처리시설인 생물학적 탈취법, 연소법 등과 같은 방지시설을 설치하는 적극적인 대책이 필요하다고 사료된다.

IV. 결론

본 연구는 서울시에 소재한 음식물쓰레기 사료화 시설을 대상으로 부지경계선 및 전처리시설인 투입 저장공정, 파쇄·선별 및 탈수공정과 후처리시설인 가열·건조공정 등 공정별에서 발생하는 복합악취

와 주요 지정악취물질을 조사·분석한후 악취 원인 물질 특성파악과 기여도 평가를 통하여 효과적이고 종합적인 악취관리방안 수립 및 저감대책에 필요한 기초자료 제공을 목적으로 실시하였다.

부지경계선을 포함하여 4곳에서 조사한 결과 복합악취는 부지경계선에서 평균 21배로 배출허용기준 기타지역 기준인 15배를 초과하였으며, 공정별로 보면 전처리시설인 파쇄·선별시설에서 평균 4,881배로 가장 높았다. 건조시설에서 평균 2,080배, 투입·저장시설에서 평균 1,442배로 나타났다. 투입구와 파쇄·선별 전처리시설, 건조시설 등 공정별에 대한 각각의 측정 평균값은 모든 측정지점에서 배출허용기준 기타지역 배출구 기준인 500배를 적용한 결과 약 3배 이상 초과한 것으로 조사되었다. 전처리 시설 및 건조시설에서 발생하는 악취는 생 쓰레기에서 발생하는 악취로 음식물 자체 악취와 유기물 분해과정 및 가열과정에 의한 악취로 구분되며, 또한 공정상의 밀폐 상태 및 청소 상태와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

지정악취물질 측정결과 투입·저장시설에서는 암모니아가 0.87ppm으로 가장 높았고, 아세트알데하이드 0.135ppm, 황화수소 0.018ppm, 메틸머캅탄 0.010ppm 등으로 나타났으며, 이중 메틸머캅탄과 아세트알데하이드 물질은 부지경계선의 배출허용기준치를 적용했을 때 기준치 이상으로 나타났다. 또한 전처리시설인 파쇄·선별시설에서는 암모니아가 1.19ppm으로 가장 높았고, 메틸머캅탄 0.354ppm, 아세트알데하이드 0.276ppm, 다이메틸다이설파이드 0.086ppm, 다이메틸설파이드 0.036ppm, 황화수소 0.034ppm 등으로 나타났으며, n-발레르알데하이드를 제외한 모든 물질에서 부지경계선 기준치 이상으로 나타났다. 건조시설에서는 아세트알데하이드, 메틸머캅탄 등이 매우 높은 농도로 발생되고 있는 것으로 조사되었다. 부지경계선에서의 지정악취물질 농도는 모든 항목이 배출허용기준치 이내로 나타났다.

개별악취물질의 평균 농도값을 농도 지수화한 결과는 투입·저장시설 공정에서는 메틸머캅탄(105.5)

〉 아세트알데하이드(67.5) 〉 황화수소(35.9) 〉 다이메틸설파이드(28.1) 등 순으로 나타났으며, 파쇄·선별시설 공정에서는 메틸머캅탄(3542.0) 〉 아세트알데하이드(276.0) 〉 다이메틸다이설파이드(86.7) 〉 황화수소(68.2) 등 순으로 나타났다. 건조시설 공정에서는 메틸머캅탄(699.9) 〉 아세트알데하이드(59.1) 〉 뷰티르알데하이드(36.3) 〉 i-발레르알데하이드(31.3) 등 순으로 나타났다.

악취물질 기여도평가 결과 투입·저장시설 공정에서 메틸머캅탄이 38%로 기여율이 가장 높았고, 다음으로 아세트알데하이드가 23%, 황화수소는 12%, 다이메틸설파이드가 10% 등 순으로 나타났으며, 파쇄·선별시설 공정에서는 메틸머캅탄이 86%로 가장 기여율이 높았고 다음으로 아세트알데하이드가 7%, 황화수소는 2%, 다이메틸다이설파이드가 2% 순으로 나타났다.

건조시설 공정에서의 악취물질별 기여율은 메틸머캅탄이 82%, 아세트알데하이드가 7%, i-발레르알데하이드 및 뷰티르알데하이드가 각각 4% 등의 순으로 나타났다.

따라서 악취물질을 효율적으로 처리하기 위한 관리방안으로는 우선적으로 공정별에서 발생하는 악취가 외부로 확산 및 배출되지 않도록 밀폐 또는 국소포집장치, 에어커튼 등을 설치하며, 내부를 음압으로 유지할 필요가 있다고 판단된다. 또한 음식물류폐기물 처리시설의 효과적인 악취저감을 위해서는 조사된 측정 자료를 바탕으로 주요 발생 공정별 악취원인물질 특성을 파악하여 적합한 방지시설을 설치, 운영되도록 유도해 나아가야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

백광수, 박정구, 이종국, 서병량, 박중현, 오대식, 2009, 가축분뇨처리시설의 처리공정별 악취발생 특성, 한국대기환경학회 추계학술대회 논문집, 504-505.

박귀환, 오길영, 이지현, 정경훈, 정선용, 2005, 하수처리장에서 발생하는 악취물질의 비교, 한국냄새환경학회지, 4, 196-206.

김종률, 2007, 악취방지기술 및 악취관리정책방향, 한국냄새환경학회 추계학술대회 논문집.

정구회, 김선태, 박민수, 정재호, 2004, 하수처리장에서의 악취 배출 정상 조사, 한국냄새환경학회지, 3, 225-233.

환경부, 2008, 악취방지법
전의찬, 사재환, 김선태, 홍지형, 김기현, 2006, 생활악취 배출원의 악취배출 특성 연구, 한국대기환경학회지, 22, 337-351.

류지영, 2004, 음식물자원화시설의 설치·운영에 대한 일반현황의 평가 및 개선방안, 유기성자원학회지, 12(3), 67-68.

국립환경과학원, 2005, 국립환경과학원고시 제 2005-4호, 악취공정시험방법.

정의석, 2004, 직간접관능법을 응용한 악취평가 방법 및 해석에 관한 연구, 대전대학교 학위논문.

김성림, 김주인, 김영태, 2004, 음식물쓰레기 처리설비로부터 발생하는 악취저감방안 연구, 부산시보건환경 연구원보, 41-59.

환경부, 2005, 주요 화학물질의 최소감지농도
김선화, 장미옥, 정영림, 김협, 김만구, 2007, 음식물 퇴비화시설에서 발생하는 냄새유발물질 분석과 기여도평가, 한국냄새환경학회지, 6(3), 194-201.

박주영, 2007, 환경기초시설 악취 저감방안 연구, 전라북도보건환경연구원, 162-190.

정재은, 송복주, 정승렬, 2003, 음식물쓰레기 처리설비에서 발생하는 악취 성분분석 및 적정처리방안 연구, 부산시보건환경연구원보, 162-190.

Nagata. Y., 2003, Odor intensity and threshold value, Bulletin of Japan, Environmental Sanitation Center, 17-25.