

# 초고온 호기성 퇴비화 공정의 복합 악취 및 악취 물질 평가

## Evaluation of Complex Odor and Odorous Compounds in a Pilot-Scale Ultra Thermophilic Aerobic Composting Process

박 세 용<sup>1)</sup> · 정 대 혁<sup>2)</sup> · 유 의 상<sup>3)</sup> · 김 문 일<sup>†</sup>

Park, Seyong · Jung, Dai-Hyuck · Yoo, Eui-Sang · Kim, Moonil

**ABSTRACT :** This study was conducted to evaluate production of complex odor and 12 specific odorous compounds in a pilot-scale (capacity : 100 m<sup>3</sup>) ultra thermophilic aerobic composting. There were three types input: municipal wasted sludge, livestock manure and slurry, and food waste produced in Jung-Eb city. Each raw material was mixed with seed material and operated for two periods (1st : 50 days, 2nd : 60days). During composting, the temperature hit 90~95°C after every mixing in both periods. Therefore, it was concluded that increasing temperature also saves the time which required for composting and high reduction of organics and water contents. The primary odorous compounds were ammonia, methyl mercaptan, dimethyl disulfide and trimethylamine. The concentration of the primary compounds and complex odor during the operation were higher than those on final day and most compounds did not exceed the allowable exhaust standard for odor. Also, it was found that optimal mixing time and control of high temperature are the most important parameters for odor control in ultra thermophilic aerobic composting.

**Keywords :** Aerobic composting, Complex odor, Ultra themophilic, Pilot plant

**요 지 :** 본 연구는 정읍시에서 배출되는 하수 슬러지, 축산 분뇨, 음식물 쓰레기를 대상으로 Pilot Scale(100m<sup>3</sup>) 초고온 호기성 퇴비화 공정에서의 복합 악취 및 12개 지정 악취물질을 평가하였다. 각각의 대상 물질은 종균과 혼합하였고 1차 50일, 2차 60일 기간동안 운전하였다. 호기성 퇴비화가 진행됨에 따라 1차, 2차 퇴비화공정에서 온도가 상승하여 약 90~95°C가 되었다. 악취 분석을 위한 시료는 1차의 경우 퇴비상부에서, 2차의 경우 Pilot Plant 경제지점에서 채취하였다. 지정 악취 물질 12개 항목의 기기 분석에서 악취의 주요 원인으로는 암모니아, 메틸머캅탄, 디메틸다이설파이드, 트리메틸아민이었다. 초기 복합악취의 농도는 퇴비화 공정이 끝난 후의 농도보다 높았지만 규제기준을 넘지 않았다. 초고온 호기성 퇴비화 공정에서는 적절한 교반시점과 발효 온도가 악취 발생의 중요한 인자라고 판단된다.

**주요어 :** 호기성 퇴비화, 복합 악취, 초고온 미생물, Pilot Plant

## 1. 서 론

우리나라에서 발생하는 퇴비 가능한 유기성 폐기물은 음식물쓰레기, 하·폐수 슬러지, 축산 및 분뇨폐기물로 크게 분류할 수 있다. 음식물 쓰레기는 염분 농도가 높고 수분 함량이 높다는 특징을 가지고 있다(김기주 등, 2002). 높은 수분 함량은 퇴비화 과정에서 발생하는 악취의 원인이 되며, 이를 위한 별도의 탈취 시설과 시설부지 증가가 요구된다(안상선, 2005; 정준오 등, 2001). 하·폐수 슬러지의 재활용은 기술의 신뢰성, 안정성이 미흡하여 재활용 제품 판로 및 시장 확보의 불안정성으로 대량 처리가 곤란한 실정이며, 도시 하수 오니의 경우, 중금속 등의 유해 물질의 농축으로 농립부에서는 퇴비로의 사용을 제한하고 있으며, 읍·면 단위 하수 오니만이 시험 분석 후 퇴비 원료로 사용할 수 있도록

하고 있다(환경부 2006). 이와 같은 유기성 폐기물은 해양 투기 방법으로 대부분을 처리하였으나, 런던 협약으로 해양 투기가 단계적으로 금지되어 2012년에는 전면 금지됨에 따라 안정적이고 지속적인 육상 처리 시설이 요구된다(환경부 2006). 하지만 소각, 건조, 매립과 같은 육상 처리에서 침출수 발생에 따른 지하수 오염과 같은 2차 오염, 악취와 같은 문제점들이 제시되었다(황의영 등 1995).

우리나라에서 쓰이고 있는 퇴비화는 비 연속식 처리로 퇴비 연료(유기성 폐기물)의 제한적 처리와 퇴비화 활성화에 요구되는 시간이 길어 부지요구도가 높은 문제, 불안정한 최종 생성물, 감량화 실패, 장시간 온도 조절 및 공기 주입으로 인한 에너지 소비증가로 상용화에 어려움이 있다(이현희 등 2003; 배재근 2001). 초고온 미생물을 이용한 호기성 퇴비화 공법은 90°C 이상의 초고온에서 활성화 하여 유기

1) 정희원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

2) 비희원, (주) 클럽스 대표이사

3) 비희원, 한국생산기술연구원 책임연구원

† 정희원, 한양대학교 건설환경시스템공학전공 교수(E-mail : moonilkim@hanyang.ac.kr)

성 폐기물을 호기성 조건에서 자연적으로 발효·분해하는 친환경적인 공법이다. 초고온에서 발효 및 분해되기 때문에 잡균, 잡종균등이 사멸되고 머리카락등의 이물질이 제거되며, 악취 발생이 극히 적고 공법이 용이하여 운영비 및 건설비를 절감할 수 있다. 초고온 미생물을 이용한 퇴비화 공법은 유기성 폐기물 처리에 대한 안정적이며 환경을 보호하는 해결 방안으로 제시될 것이다. 본 연구에서는 정읍시 하수종말처리장에 호기성 퇴비화 Pilot plant를 설치하여 정읍시에서 배출되는 하수 슬러지, 음식물쓰레기, 축산분뇨를 대상으로 초고온 미생물을 이용한 퇴비화 공정에서의 악취 발생 특성 등을 고찰하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 Pilot Plant 운전

그림 1은 Pilot plant의 전경과 교반을 나타낸 것으로 초고온 미생물을 이용한 호기성 퇴비화는 100톤/조의 용량을 가지고, 발효조 규격은 폭 5m × 길이 8m × 높이 3m, 유기물 혼합 및 작업공간은 폭 8m × 길이 20m의 규격을 가지는



그림 1. Pilot Plant의 전경과 교반

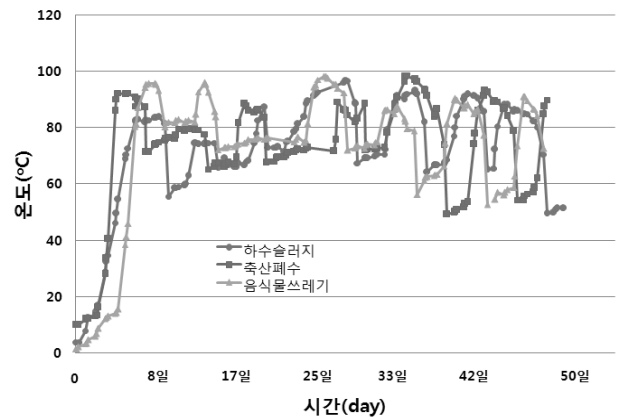
표 1. 1차 퇴비화 공정 악취 분석

	하수 슬러지	축산 분뇨 슬러지	음식물 쓰레기
혼합 전	지정 악취 물질 12개 항목 <sup>a</sup> 및 복합 악취 <sup>b</sup>		
혼합 후	복합 악취 <sup>b</sup>	복합 악취 <sup>b</sup>	복합 악취 <sup>b</sup>
1차			
2차			
3차			
4차			
5차			
안정화 교반(제품화)	지정 악취 물질 12개 항목 <sup>a</sup> 및 복합 악취 <sup>b</sup>		

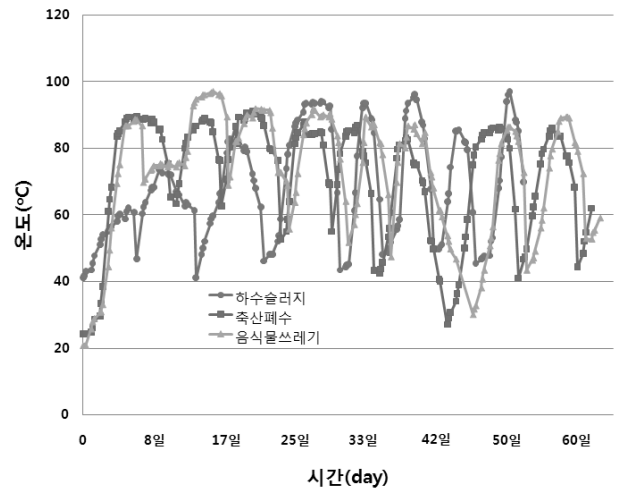
a. 생슬러지 일정량을 pack에 채워하여 실험실에서 일정량의 무게(g)를 잰 후 상온에서 시료 포집.

b. Pilot Plant 실내 현장에서 각 슬러지에 대한 시료를 테들러 백에 포집.

Pilot plant를 정읍시 하수처리장에 설치하여 수행하였다. 표 1에 1차 퇴비화 공정 악취 분석을 위한 시료 채취 시기와 항목을 나타내었다. 1차 Pilot plant는 유기성 폐기물과 종균을 혼합하여 약 50일 동안 운전하였으며 유기성 폐기물과 종균 혼합량은 표 2와 같다. 퇴비화 과정이 진행됨에 따라 온도가 상승하여 초고온에 도달한 시점(그림 2a)에서 슬러지의 교반을 행하였으며, 총 6회의 복합 악취 분석과 2회의



(a) 1차 퇴비화 공정의 온도 변화



(b) 2차 퇴비화 공정의 온도 변화

그림 2. 1차, 2차 퇴비화 과정의 온도 변화

표 2. 1차 원료 유기폐기물과 종균 혼합량

유기성폐기물	원료(ton)	종균	혼합(ton)
하수슬러지	25	35	60
분뇨축산슬러지	18	28	46
음식물쓰레기	15	29	44

표 3. 2차 원료 유기폐기물, 반송퇴비와 종균 혼합량

유기성폐기물	원료(ton)	반송퇴비(ton)	종균	혼합(ton)
하수슬러지	25	42.4	3	70.3
분뇨축산슬러지	15	33.5	1	49.4
음식물쓰레기	16	31.5	1	48.4

기기 분석을 실시하였다. 2차 Pilot plant는 유기성 폐기물, 중균 그리고 1차 Pilot Plant에서 생산된 발효종료 퇴비를 반송퇴비로 혼합하였고, 그 혼합량은 표 3과 같고 운전시간은 약 60일이었다. 1차 퇴비화 공정과 동일하게 초고온에 도달 시 교반 후(그림 2b) 시료를 채취하였다. 초고온 미생물 중균은 일본 'S' 회사에서 운영하는 초고온 호기성 퇴비화 공법으로 생산된 비료를 발효균으로 이용하였다.

총 3회의 복합 악취와 1회 기기 분석을 실시하였다. 시료 채취 지점은 1차의 경우 Pilot Plant 실내 현장에서 각 슬러지 상부에서 테들러 백에 포집하여 채취하였으며, 중균과 혼합 전의 생 슬러지는 일정량을 Pack에 채취하고 실험실에서 일정량의 슬러지로부터 발생하는 악취를 포집하여 채취하였다. 2차 시료 채취는 1차와는 달리 Pilot plant 경계 입구상단, 실내 중앙, 지붕, 좌측상단을 중심으로 건물에서 악취가 배출되는 곳을 지정하여 채취하였다. 1차와 2차 퇴비화 공정 모두 온도가 상승함에 따라 악취도도 올라갈 것이라고 판단하여 교반 직후 시료를 채취하여 시료에서 직접 복합 악취를 측정하였다. 또한 초기 일본에서 들어온 초고온 미생물 중균과 하수 슬러지, 축산 분뇨, 음식물 쓰레기 혼합 전의 각각의 생 슬러지에 대한 시료를 채취하여 지정 악취 물질 12개 항목과 복합 악취를 측정하였고(악취방지법 2005), 혼합 직후 복합 악취를 측정하였으며, 퇴비화가 완료된 시점인 안정화 교반 후 기기 분석 및 복합 악취를 측정하였다. 2005년 악취방지법에서는 지정 악취 물질이 12개 항목이었지만, 2008년 악취방지법이 개정 됨에 따라 톨루엔과 자일렌, 뷰틸아세테이트등의 지정 악취 물질의 항목이 추가되어 22개(악취방지법 2008)로 증가하여 향후 추가된 항목에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다. 복합악취의 희석배수 결정은 부지경계에서의 복합악취 규제 기준을 따르지 않고 배출구 복합악취 기준인 500배를 설정하였다. Pilot Plant 건물은 정읍하수처리장내에 처리장 전체 면적에 비해 매우 작은 면적을 차지하고 위치해 있다. 따라서 Pilot Plant에서 발생하는 악취는 처리장내 하나의 배출구로 간주할 수 있으므로 배출구 복합악취 기준인 희석배수 500배를 설정하였다.

## 2.2 분석방법

발효가스 측정은 연속 가스 측정기(Landfill Gas Monitoring System LM Sxi Infra-Red)을 이용하여 CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, O<sub>2</sub>, 온도를 매 시간 2회 측정하였고, 휴대용 가스측정기(Tube Pump for Gas Detect)인 검지관용 가스검지기를 사용하여 CO<sub>2</sub> 및 암모니아(NH<sub>3</sub>) 발생량을 발효단 상층부에 고정된 측정 지점에서 하루 3회 측정하였다. 악취의 분석방법은 국립환경

과학원고시 악취공정시험방법에 정하고 있는 방법을 이용하여 분석하였다(국립환경과학원, 2005). 악취측정은 냄새역치시험(Threshold Odor Test)에 따라 마개가 있는 200mL 플라스크에 일련의 희석용액을 준비하여 60℃까지 가열하고 시험자에게 플라스크를 흔든 뒤 마개를 열고 연속적으로 가장 낮은 농도부터 냄새를 맡도록 하여 냄새가 검출되는 최초의 희석용액을 측정하였다. 이는 냄새역치수(Threshold Odor Number, TON)를 찾는 것으로 냄새가 없는 물에 시료를 혼합 희석하여 악취를 인지할 수 있는 최대 희석배수를 나타낸다. 악취 판정도는 대기 환경 보전법 생활악취 관련 법규에 따라서 판별 하였다(대기환경 보전법, 2006). 복합 악취 항목 분석은 황화합물은 TD/GC/FDS(National research council, CANADA, spectromerter system), 알데히드 화합물은 HPLC(Jasco, JAPAN, High Performance Liquid chromatography), 스타이렌은 TD/GC/MS(SCAS, JAPAN, Thermal desorption gas chromatography mass spectrometer), 암모니아는 UV(Jasco, JAPAN, UV-Vis-NIR 3101PC), TMA(Trimethylamine)은 GC/FID(Varian, JAPAN, 3400-GC)를 사용하여 분석하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 1차 퇴비화 공정에서의 지정악취물질 분석

표 4는 1차 퇴비화 공정에서의 중균과 혼합전의 각각의 생 슬러지와 발효 완료된 퇴비의 지정 악취 물질 12개 항목을 분석한 결과이다. 생 슬러지의 지정 악취 물질 분석 결과 하수 슬러지는 암모니아, 메틸머캅탄, 다이메틸다이설파이드, 트리메틸아민이 규제 기준에 비하여 높은 농도가 검출되었으며, 음식물 쓰레기의 경우 암모니아, 황 계열(4개 항목), 트리메틸아민, 아세트 알데하이드가 규제 기준에 비하여 높은 농도가 검출되었다. 하지만, 축산 분뇨는 암모니아와 트리메틸아민만 규제 기준에 비하여 초과 항목이 적었으며, 낮은 농도가 검출되었다. 이는 정읍시 축산 분뇨 처리장에서 응집제를 첨가하여 수분을 제거한 후 탈수처리를 거친 슬러지이기 때문에 악취 물질의 농도가 낮게 검출되었다고 판단된다.

발효종과 발효종료시 지정악취 물질 분석을 비교한 결과 축산분뇨 슬러지는 dimethyl disulfide와 acetaldehyde 만이 증가를 보였지만 다른 악취 물질의 경우는 모두 감소하는 결과를 보여주었다. 암모니아의 경우 약 66%의 감소를 보여 가장 많은 감소율을 나타내었다. 하수 슬러지에서는 축산분뇨에서 가장 많은 감소율을 보여준 암모니아가 반대로 약 83% 증가하였고, 축산분뇨와 같이 demethyl sulfide와 acetaldehyde가

표 4. 발효종과 발효종료시 지정 악취 물질 12개 항목 분석

시험항목	슬러지 종류	단위	발효중 <sup>b</sup>			발효종료시 <sup>c</sup>			규제 기준 <sup>a</sup>
			축산분뇨 슬러지	하수 슬러지	음식물 쓰레기	축산분뇨 슬러지	하수 슬러지	음식물 쓰레기	
ammonia	ppb	ppm	3.53	5.73	8.17	1.2	35.4	9.8	1.0
hydrogen sulfide		0.49	8.22	22.5	0.4	5.8	0.6	20.0	
methyl mercaptan		0.29	19.44	295.0	N.D.	N.D.	1.0	2.0	
dimethyl sulfide		0.98	2.74	10.0	1.0	138	1.0	10.0	
dimethyl disulfide		1.70	36.99	15.0	3.0	7.0	5.0	9.0	
trimethylamine		30.43	20.83	49.59	16.0	18.0	3.0	5.0	
styrene		N.D. <sup>d</sup>	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	400.0	
acetaldehyde		11.11	13.70	146.22	27.0	35.0	36.0	50.0	
propionaldehyde		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	50.0	
n-butyraldehyde		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	29.0	
i-valeraldehyde		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.0	
n-valeraldehyde		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.0	

- a. 규제 기준은 배출허용기준 중 부지경계선, 기타지역안의 사업장 기준
- b. 발효 운전 경과 25일에 분석
- c. 발효종료시(운전경과 50일) 분석
- d. N.D. = Not Detected

각각 98%, 60% 증가하였다. 하지만, 다른 지정 악취 물질의 경우에는 모두 감소하는 결과를 나타내었다. 음식물 쓰레기의 경우, 발효중에는 세 가지 슬러지중 대부분의 악취 물질의 농도가 가장 높았으나 발효 종료시에는 가장 낮은 농도를 보여 본 공법에 의해 악취물질 감소가 가장 활발히 이루어졌다. 이러한 이유는 음식물쓰레기는 일반적으로 분해가 쉬운 유기성분을 많이 함유하고 있어 발효중 분해가 활발히 일어나 다양한 악취물질의 발생과 농도가 높아졌으나 최종발효가 완료될 시점에서는 대부분의 악취물질이 완전 분해가 이루어졌기 때문에 판단된다. 축산분뇨 슬러지와 하수슬러지에서 증가하는 결과를 보여준 demethyl sulfide와 acetaldehyde의 경우 반대로 90%와 75% 감소하는 결과를 보여주었다. 지정악취 물질 분석 결과, 슬러지의 종류에 따라 제품화된 슬러지의 악취 발생 물질이 다르다는 것을 알 수 있고, 각각의 슬러지 종류에 따라 지정 악취물질 감소율에서도 많은 차이를 보임을 알 수 있었다.

발효 종료시 지정 악취 물질 분석 결과 하수 슬러지는 암모니아, 디메틸설파이드, 트리메틸아민이 규제 농도에 비하여 높은 농도가 검출되었으며, 축산 분뇨 슬러지는 암모니아, 트리메틸아민이 규제 농도에 비하여 높은 농도가 검출되었다. 음식물 쓰레기는 암모니아를 제외한 모든 항목이 규제 농도에 비하여 낮은 농도가 검출되었다. 하지만, 선행 연구자들의 암모니아 농도에 비해 현저히 낮은 농도이다. 김기현 등(2006) 연구결과에 의하면 미생물을 이용한 음식물 쓰레기 악취저감에서 암모니아의 경우 미생물 처리 후 32시간 후에 농도가 약 60ppm 정도로 나타나고 있는 것으로

보고되었다. 본 공법의 발효 종료시 음식물 쓰레기 농도 9.8ppm 보다 현저히 높았다. 제시된 규제 기준은 악취 측정법중 부지 경계법(실제 환경에서 제시되는 부지 경계선에서 측정된 악취에 대한 기준으로 부지 경계선은 사업장의 지역 환경에 따라 다름)에서 제시하고 있는 기준(악취방지법 2005)으로서 본 실험에서 측정된 시료로부터 직접 채취한 방법의 결과와는 직접적인 비교는 할 수 없다. 다만 시료로부터 직접 악취를 채취했음에도 초기 유기폐기물에서 나는 악취성분의 농도가 발효 후에는 부지경계법상의 기준에도 거의 대부분 만족하고 있음을 보여 주고 있다.

### 3.2 1차 퇴비화 공정에서의 복합 악취 분석

그림 3에 1차 퇴비화 공정에서의 각 슬러지별 복합 악취

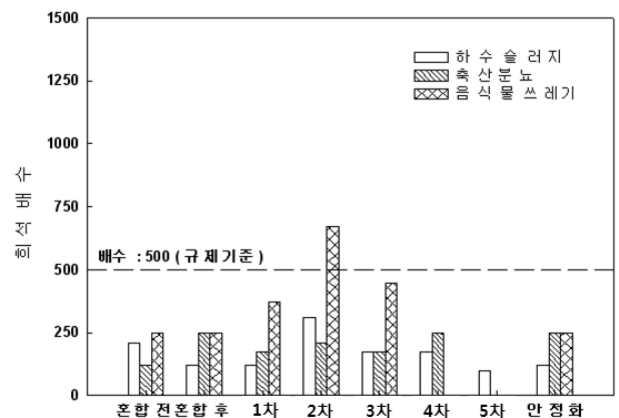


그림 3. 1차 Pilot Plant 운전기간 중 각 슬러지별 복합악취

를 나타내었다. 12개 악취항목분석은 발효 전후의 악취의 주요성분의 변화를 보기위한 것이었으나, 실제 퇴비화 공정 중에 사람이 느끼는 악취 분석을 위하여 시료의 표면에서 악취를 채취 분석하는 배출구 복합악취 분석을 행하였다. 종균과 혼합전의 각 슬러지에 대한 복합 악취는 최초 희석 배수인 300배 이하로 악취가 거의 나지 않는 배수를 보여주었다. 축산 분뇨의 경우 전술한 바와 같이 수분을 제거한 후의 슬러지이므로 낮은 수치를 보여주었다고 판단된다. 종균 혼합 후 퇴비화가 진행됨에 따라 복합 악취는 하수 슬러지의 경우 운전 기간 동안 최고 온도에 도달한 2차 교반 때 311배로 가장 높은 희석 배수를 보였으며, 축산 분뇨는 퇴비화 진행기간 동안 300이하의 희석 배수를 보여 배출구에서의 배출 허용 기준인 500배보다 낮은 배수를 보여주었다. 음식물 쓰레기의 경우, 퇴비화 진행에 따라 2차 교반 시 가장 높은 669배를 보였고, 그 이후로 감소하여 최종 제품에서는 250배수를 보였다. 퇴비 원료에 따라 악취 발생도의 차이를 보였는데, 하수 슬러지, 축산 분뇨의 경우 퇴비화가 진행됨에도 거의 악취가 발생되지 않음을 볼 수 있었다. 하지만 음식물 쓰레기의 경우, 퇴비화가 진행됨에 따라 복합 악취의 희석 배수가 높아졌지만, 최종 제품에서는 다시 감소하는 경향을 보였다. 김기주 등(2002) 호기성과 혐기성 퇴비 시설을 이용한 음식물 쓰레기의 숙성퇴비의 연구에서 모두 강한 취기(악취도 3)와 극심한 취기(악취도 4)가 감지되어 민원의 소지가 심하게 발생할 수 있을 것으로 판단하였다. 따라서 다른 공법과 비교하여 본 공법은 악취발생을 저감시켜 주변에 사는 주민들의 악취 영향을 최소화 시킬 수 있는 매우 획기적인 퇴비화 시스템임을 확인할 수 있다. 최고 온도에 도달한 2차 교반 때까지 축산 분뇨 슬러지를 제외한 모든 슬러지에서 복합악취가 증가하는 결과를 보였으며, 온도가 서서히 떨어지는 3, 4, 5차 교반 때 복합악취가 감소하는 경향을 보여 주었다. 이는 운전 초·중반 발효가 활발히 일어나며 유기물의 분해가 빠르게 이뤄지면서 각종 복합악취의 물질들이 발생했으므로 판단되며, 운전 후반에 들어서며 유기물 분해가 거의 이루어져 슬러지가 안정화 되고 복합악취 발생이 감소한 것으로 판단된다.

### 3.3 2차 Pilot Plant 경계에서의 복합 악취 분석

2차 Pilot plant 운전 기간 동안의 복합 악취 및 12개 항목은 1차 운전 기간과는 달리 Pilot plant 4지점(실내 중앙과 실외로 입구 상단, 좌측 상단, 지붕)을 대상으로 시료를 채취하여 퇴비화 진행에 따른 악취 발생의 정도를 알아보았다. 본 Pilot plant는 정읍 하수종말처리장 내에 위치하여 본 퇴비화 시설의 부지 경계를 확실하게 정할 수 없었다. 따라

서 Pilot plant 경계를 중심으로 시료를 채취하여 간접적으로 악취 발생 정도를 평가하였다.

복합 악취는 2차 Pilot plant 운전 기간 동안 초고온 도달 시 시료를 채취하여 측정하였다. 그림 4는 2차 Pilot Plant 경계의 복합 악취 분석을 나타낸 것이다. 운전 시작(2007년 2월 9일) 후 8일 후인 2월 16일은 음식물 쓰레기와 축산 분뇨가 94℃로 초고온에 도달하여 교반이 이루어졌다. 이때의 복합 악취는 Pilot plant 경계의 좌측 상단을 제외한 3 지점은 초기 희석 배수보다 낮은 희석 배수가 나왔으며, 좌측 상단은 311배가 나왔으나, 규제 기준에 못 미치는 희석 배수를 보여주었다. 운전 29일 제인 3월 9일의 경우는 음식물 쓰레기가 94℃, 축산 분뇨 91℃를 보였다. 하지만 교반은 하지 않았다. 이 때 복합 악취는 4 지점 모두 초기 희석 배수보다 낮은 배수를 보여주었다. 90℃가 넘는 동일한 온도 조건에서 약간의 악취 차이를 보인 것은 교반에 의한 것이며, 퇴비화 과정에서 온도가 높다하더라도 교반을 하지 않으면, 악취는 저감된다고 판단된다. 운전 53일 제인 4월 2일의 경우, 축산 분뇨 74℃, 음식물 쓰레기 84℃에서 교반을 해주었다. 이 때 복합 악취는 좌측 상단에서 1442배의 상당히 높은 희석 배수가 측정되었으며, 규제 기준 500배를 넘는 배수를 보여주었다. 좌측 상단에서 높은 희석 배수가 측정된 것은 호기성 퇴비화가 진행되는 동안 수행된 교반이 균등하게 이루어지지 않은 결과로 불안정한 퇴비화 결과로 판단된다. 퇴비터미의 교반은 전체적으로 균등하게 이루어져야 하며 교반이 부적절한 경우, 초고온 미생물에 의한 발효 및 분해가 완전하게 이루어지지 않은 지역이 퇴비터미 내에 형성되어 악취가 발생할 수 있다. 따라서 초고온 미생물을 이용한 호기성 퇴비화 공법에서는 발효 온도를 고려한 퇴비터미 교반 회수 및 교반 최적화가 악취발생에 직접적으로 영향을 주는 인자로 사료된다. 본 공법의 악취 제어 및 발효 과정의 중요 운전 인자는 퇴비화가 진행됨에 따라 상

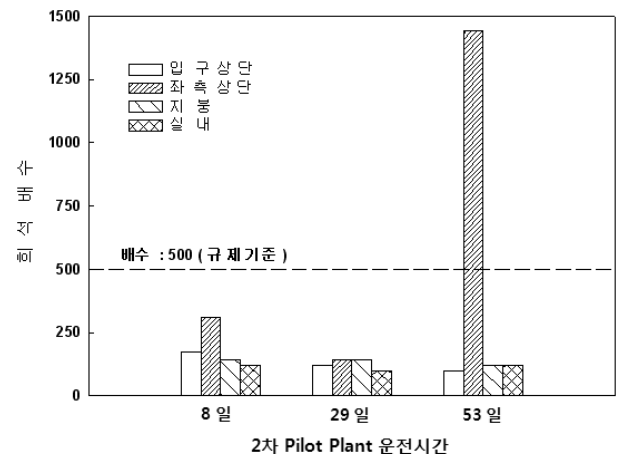


그림 4. 2차 Pilot Plant 경계의 복합 악취 분석

표 5. 초고온 미 도달시 지정악취물질 12개 항목 기기분석

시험항목 \ 측정 장소	단위	입구 상단	최측 상단	지붕	실내	규제 기준 <sup>a</sup>
ammonia	ppm	5.9	55.9	8.1	9.9	1.0
hydrogen sulfide	ppb	1.0	1.0	4.0	3.0	20.0
methyl mercaptan		5.0	67.0	10.0	7.0	2.0
dimethyl sulfide		6.0	81.0	12.0	10.0	10.0
dimethyl disulfide		7.0	101.0	10.0	11.0	9.0
trimethylamine		5.0	52.0	3.0	2.0	5.0
styrene		N.D. <sup>b</sup>	N.D.	N.D.	N.D.	400.0
acetaldehyde		5.0	N.D.	50.0	33.0	50.0
propionaldehyde		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	50.0
n-butyraldehyde		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	29.0
i-valeraldehyde		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.0
n-valeraldehyde		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.0

a. 규제 기준은 배출허용기준 중 부지경계선, 기타지역안의 사업장 기준

b. N.D. = Not Detected

승하는 온도 측정, 초고온에 도달 시의 교반, 공기 공급량이라고 판단되는데, 이는 초고온 미생물이 활성화되기까지 온도가 적절하게 유지됨이 중요하며, 초고온에 도달하지 않아 발효가 완전하지 않은 상태로 교반되어 악취의 발생이 일어날 수 있다고 판단된다.

### 3.4 2차 Pilot Plant 경계에서의 지정악취물질 12개 항목 기기분석

3회 복합 악취 중 가장 악취가 심한 4월 2일(run days 53)의 시료에 대하여 악취 발생 물질을 알아보고자 기기분석을 하였다. 표 5와 같이 복합 악취가 가장 심한 좌측 상단 지점의 시료에서 규제 기준에 비하여 황 계열 물질과 암모니아, TMA(Trimethylamine)가 10~30배 정도의 높은 농도가 검출되어 퇴비화 과정에서 발생하는 주요 악취 물질이라고 판단되나, 규제 기준은 기타 지역의 사업 부지경계선의 기준으로 부지 경계까지 대기 중의 희석 효과를 고려한다면 규제 기준을 초과했다고 할 수는 없다고 판단된다. 본 공법의 2차 퇴비화 과정에서 발생하는 악취 물질은 암모니아, 메틸머captan, 디메틸설파이드, 디메틸다이설파이드, 트리메틸아민이며 그 중 암모니아와 메틸머captan이 주요 발생 물질이라고 판단된다.

## 4. 결 론

정읍시 하수종말처리장에 초고온 호기성 퇴비화 Pilot plant를 설치하여 정읍시에서 배출되는 하수 슬러지, 음식물쓰레기, 축산분뇨를 퇴비화 하는 과정에서의 복합 악취 및 악취

물질을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있었다.

- (1) 초고온 미생물을 이용한 퇴비화 공법으로 하수 슬러지, 음식물 쓰레기, 축산분뇨를 처리한 결과 지정 악취 물질 12개 항목의 기기 분석에서 악취의 주요 원인으로는 암모니아, 메틸머captan, 디메틸다이설파이드, 트리메틸아민이었다. 하지만, 음식물 쓰레기 악취의 주요 원인인 암모니아의 경우 미생물을 이용한 공정과 비교 하였을 때, 현저히 낮은 농도를 보였다.
- (2) 복합악취 분석 결과 1차의 경우 퇴비 원료에 따라 악취 발생도의 차이를 보였지만, 최종 제품에서는 배출 허용 기준 보다 낮은 배수를 보여 주었다. 2차의 경우는 운전 53일째 좌측상단에서 배출 허용 기준을 넘는 배수를 보였지만, 다른 지점에서는 모두 배출 허용 기준 보다 낮은 배수를 보여 주었다.
- (3) 본 공법의 악취 제어는 초고온 미생물이 활성화되기까지 온도를 적절하게 유지함이 중요하며, 초고온에 도달하지 않은 상태에서 교반이 이루어진다면, 초고온 미생물이 활성화가 이뤄지지 않아 발효가 완전하지 않은 상태로 교반되어 악취의 발생이 일어날 수 있다고 판단된다.
- (4) 초고온 미생물을 이용한 분뇨축산 슬러지, 하수 슬러지, 음식물 쓰레기의 퇴비화 과정을 분석한 결과 음식물 퇴비화 시설인 호기성 공정, 혐기성 공정과 비교 하였을 때, 최종 퇴비제품의 악취가 거의 없을 뿐 아니라 퇴비화 공정중의 악취발생도 저감시킬 수 있는 매우 획기적인 퇴비화 시스템을 확인할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 (주) 클립스의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고 문헌

1. 김기주, 공성호, 강혜련 (2002), 호기성 퇴비화 공정을 중심으로 음식물쓰레기에 대한 숙성퇴비의 적정성 연구, *Bulletin Environmental Sciences*, Vol. 23, pp. 39~46.
2. 김기현, 김용휘, 임문순, 박신영, 홍윤정, 최병선 (2006), 음식물의 부패에 의한 악취발생 특성 및 미생물을 이용한 부패악취저감 연구, *J. of the Korean Society for Environmental Analysis*, 제9권 제2호, pp. 74~83
3. 국립환경과학원 (2005), 국립환경과학원고시 제2005-4호 악취 공정시험법, pp. 55~59.
4. 대기환경 보전법 (2006), 생활악취 관련 법규. 한국유기성폐

자원학회.

5. 배재근 (2001), 유기성폐기물의 자원화 기술의 현황과 전망, *대한위생학회 정기총회 및 학술발표회*, pp. 3~20.
6. 안상선 (2005), 음식물류 폐기물의 사료화 및 퇴비화 등 자원화 지원정책에 관한 연구, *한국지하수토양학회지*, 제10권 제3호, pp. 52~63.
7. 악취방지법 (2005), 지정악취물질 관련 법규.
8. 악취방지법 (2008), 지정악취물질 관련 법규.
9. 이현희, 배재근 (2003), 생활폐기물의 호기성처리를 통한 유기물 분해안정화에 관한연구, *유기성자원학회*, 제11권 제4호, pp. 79~89.
10. 정준오, 안정희 (2001), 공기공급량이 음식물폐기물의 퇴비화 반응에 미치는 영향, *대한환경공학회지*, 제23권 제6호, pp. 1013~1021.
11. 환경부 자원순환국 생활폐기물과 (2006), 유기성오니 처리 종합 대책, 한국개발연구원 경제정보 센터, pp. 9.
12. 황의영, 황선숙, 남궁환 (1995), 공정조절인자가 분뇨슬러지 퇴비화에 미치는 영향, *J.Korean Solid Wastes Engineering Society*, Vol. 12, No. 5, pp. 588~594.

(접수일: 2009. 2. 25 심사일: 2009. 3. 5 심사완료일: 2009. 5. 14)