

# 퇴비화 시설용 천연 약취저감제로의 잣송이 부산물의 활용 가능성에 관한 연구

천현식 · 광정훈 · 가천홍\* · 박재인\* · 김창혁\* · 라창식\*

농진청 축산과학원 축산환경과

## Study on the Feasibility of Utilization of Pine Cone Byproduct as a Natural Deodorizing Agent for Composting Process

Chun, H. S., Kwag, J. H., Ga, C. H.,\* Pak, J. I.,\* Kim, C. H.\* and Ra, C. S.\*

National Institute of Animal Science, RDA

### Summary

A natural deodorizing agent (NDA) was made using pine cone byproduct, and its effects on malodor emission and composting were analyzed in this study. NDA was manufactured by mixing pine cone byproduct with three species of microorganisms and water containing mineral nutrients and molasses, and then by incubating for 48 hours at 30°C. Lab scale experiments were done with three treatment groups, T1 (control, sawdust treatment), T2 (microorganisms and sawdust treatment group), and T3 (NDA and sawdust treatment group). During composting, temperatures reached over 55°C, a minimum temperature for the inactivation of pathogenic microorganisms. No differences were found in physicochemical composition of compost among treatments. However, it was observed that over usage of NDA could obstruct temperature increase, since the biodegradation rate of organic matter of NDA was relatively low. Nitrogen loss due to ammonia gas emission, which normally happens during composting, was reduced by using NDA, and hence the nitrogen level of final compost was higher in T3 than in others. During experiment, it was found that ammonia gas emission was entirely lasted through composting duration, but the CH<sub>3</sub>SH and H<sub>2</sub>S gases were produced only at early stage of composting. The ammonia concentration trapped in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution during 31 days of composting in T1, T2 and T3 was 12,660mg/L, 11,598mg/L and 7,367mg/L, respectively, showing distinguishable reduction of ammonia gas emission in T3. The emissions of CH<sub>3</sub>SH and H<sub>2</sub>S gases were also remarkably reduced in T3. Based on these obtained results, usage of the deodorizing agent made with pine cone byproduct could reduce the emission of malodor during composting, without any deterioration of compost quality.

**(Key words :** Pine cone byproduct, Composting, Pig manure, Deodorizing agent, Malodor)

---

\* College of Animal Life Science, Kangwon National University

Corresponding author : C. S. Ra, Division of Animal Life Science, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea.

Tel : 033-250-8618, E-mail : changsix@kangwon.ac.kr

## 서 론

현재 국내에서 발생한 가축분뇨는 퇴비, 액비로 자원화 되고, 일부는 정화를 통해 처리되고 있으며, 해양배출 등의 위탁처리를 하고 있다. 가축분뇨의 해양배출은 대부분이 양돈농가이며 전체 양돈분뇨 처리의 약 10%를 차지하고 있다. 최근에는 해양오염 방지 및 국제협약 등을 고려하여 해양수산부는 해양배출량을 감축하고 최대한 자원화 하여 농경지에 환원하기 위하여 방안을 강구하고 있다(환경부 06년). 사회적으로는 국민의 식생활이 고급화되면서 친환경 농산물에 대한 관심이 높아지고 이에 따라 축분비료에 대한 관심도 높아지고 있다.

축산분뇨의 자원화 방법으로는 퇴비화 방법이 가장 경제적이면서도 어려운 기술을 요구하지 않으므로 많은 농가에서 널리 이용되고 있다(김 등, 2006). 퇴비화는 생분해성 폐기물의 리사이클링 뿐 아니라 작물 생육에 필요한 N, P, K 및 다양한 미량원소들을 함유하고 있어 토양 개량에 유용한 방법이다(홍, 2001). 그러나 퇴비화 과정에서 돈분뇨 내 단백질과 탄수화물이 분해되면서 암모니아, 황화수소, 메르캅탄, 휘발성 유기화합물(VOCs) 등의 악취 물질이 발생한다(이와 정, 2003). 이러한 악취는 인근주민들의 민원을 유발하여 축산업 관련 환경오염 발생원으로 지목받고 있을 뿐 아니라, 퇴비공장에 종사하는 작업자에게 노출되어 눈과 목의 자극 등의 고통을 야기하고 있다(김 등, 2006). 최근에는 악취방지법이 개정·시행되어 악취발생을 규제(환경부, 2006)하고 있어 양돈농가에서는 퇴비화과정 중 발생하는 악취를 저감시킬 수 있는 방안이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

현재 국내에서 생산되는 잣은 알갱이를 수확한 후 그 잔류물은 상당량 자연에 방치되고 있는 실정이다. 지금까지 알려진 잣나무

의 가치는 영양물질 이외에 terpenoid계, phenol계 성분, 타닌 및 알칼로이드 성분이 들어 있으며 이러한 성분들은 피부자극제, 완화제 및 보향제 역할을 하는 것으로 알려지고 있다. 이 중 terpenoids는 휘발성향기물질이며 불포화 탄화수소로서, 향균 및 살충효과를 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 잣 알갱이를 수확하고 남은 잣송이 부산물의 효과적인 재활용 방법과 이용방법에 대한 연구가 많지 않은 실정이며 더욱이 잣송이 부산물을 동물산업 분야에서 악취저감제로의 이용에 관한 연구는 미흡한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 병원성 미생물에 대한 항균 효과를 지니고 있으며 다양한 휘발성 지방산 및 여러 기능성 물질을 함유하고 있는 잣송이부산물을 이용하여 인체와 가축에는 무해한 천연 잣부산물 악취저감제를 제조하고 돈분뇨 퇴비화과정에 적용하여 악취저감효과와 퇴비화에 미치는 영향을 분석·검토하고자 하였다.

## 실험재료 및 방법

### 1. 실험장치

퇴비화 반응기는 퇴비화 기간 중 온도 유지를 위하여 10cm 두께의 스티로폼을 이용 내부용적 8L의 사각용기형태로 제작되었으며 내부에 플라스틱 반응기를 넣어 완전 밀폐시키는 구조로 제작되었다(Fig. 1). 스티로폼 용기와 플라스틱 반응기 사이에는 톱밥을 채워 퇴비화시 발생하는 열이 최대한 손실되지 않도록 하였고, 정확한 악취농도를 측정하기 위해 공기가 새어나가지 않도록 퇴비화 반응기를 완전 밀폐시켰다. 반응기내에 개폐튜브를 연결하여 악취측정( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_3\text{SH}$ ) 시에만 튜브를 열어 측정하였고, 공기공급은 퇴비화 반응기에 연결된 튜브를 통해 2l/min aeration rate 으로 이루어졌으며 퇴비화 과정

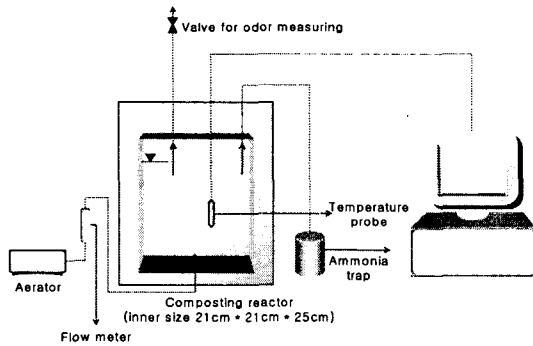


Fig. 1. Experimental apparatus.

중 발생하는  $\text{NH}_3$  가스를 포집·분석하기 위하여 반응기 외부에 1N  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 가 채워진 Trap을 설치하고 반응기로부터 발생하는 모든 가스는 설치된 Trap을 통과하여 배출되도록 하였다.

## 2. 잣송이 부산물을 이용한 악취저감제 제조

사료분쇄기(Retsch SM2000, Switch)를 이용하여 잣송이부산물(잣 알갱이를 빼어낸 잣솔방울)을 3~4mm 크기로 분쇄하여 시험에 사용하였다. 분쇄된 잣송이부산물 kg당 무기영양소가 첨가된 5% 당밀수를 190ml 비율로 혼합하고 실험실에서 자체 분리·배양한 *Alcaligenes spp.*, *Pasturella spp.*, *Lactobacillus spp.* 미생물을 각각  $4.94 \times 10^6$ ,  $1.23 \times 10^7$ ,  $1.14 \times 10^7$  접종하여 수분 함량을 55%로 조정 한 후 30℃의 배양기에 넣어 48시간동안 배양하

여 잣송이 부산물 악취저감제를 제조하였다. 당밀수에 첨가된 무기영양소는  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCl}_2$ 로서 당밀수 L당 각각 8.5mg, 21.75mg, 33.3mg, 1.7mg, 22.5mg, 0.25mg, 27.5mg씩 첨가되었으며 무기영양소가 첨가된 당밀수를 잣송이 부산물과 혼합하기전 121℃에서 15분간 멸균하여 사용하였다.

## 3. 실험설계

실험은 3개의 퇴비화 반응조를 두고 동일한 운전 조건하에서 실험을 진행하였다 (Table 1). 대조구인 T1에서는 돈분뇨 3kg을 기준(W:W)으로 톱밥만을 첨가하여 수분을 60% 수준으로 조절하였으며 T2에서는 3종의 미생물 *Alcaligenes spp.*( $1.69 \times 10^6$  CFU), *Pasturella spp.*( $4.28 \times 10^6$  CFU), *Lactobacillus spp.*( $3.9 \times 10^6$  CFU)을 접종한 후 톱밥을 이용하여 수분을 조절하였다. T3에서는 위의 잣송이 부산물 악취저감제 제조방법에 따라 만들어진 악취저감제(24.5%)와 톱밥(75.5%)을 혼합하여 수분을 60% 수준으로 조절하였다. T2에서의 미생물 접종은 선발되어 사용된 미생물 균주에 의한 악취저감 효과와 제조된 잣송이부산물 악취저감제 사용에 의한 악취저감 효과를 서로 비교분석하기 위함이었다. Table 2는 실험에 사용된 돈분뇨, 톱밥, 분쇄된 잣송이 부

Table 1. Experimental design

Parameter	T1	T2	T3
Sawdust (%)	100	100	75.5
Microbes	-	$9.87 \times 10^6$ CFU	-
*NDA (%)	-	-	24.5
Water contents	59.2	60.1	61.1
C/N Ratios	41.9	42.5	37.5

\* NDA : natural deodorizing agent made with pine cone byproduct.

T1 : Pig manure + Sawdust, T2: Pig manure + Sawdust + Microbes, T3: Pig manure +Sawdust + NDA.

Table 2. Characteristics of material used for experiments

Parameter	Pig manure	Sawdust	Pine cone byproduct	Natural deodorizing agent(NDA)
pH (1:10 (W/V))	6.83	6.81	6.79	6.89
EC (mS/cm)	12.60	8.62	8.27	8.34
Moisture content (%)	76.3	20.4	10.2	50.0
Total nitrogen (g/kg)	12.64	2.54	6.76	2.75
Total phosphorus (g/kg)	1.02	0.02	0.36	0.15
Total organic material (g/kg)	140.0	781.8	705.8	387.6
C/N ratio	11.1	307.8	104.4	140.9

산물 및 제조된 악취저감제(NDA)의 성상을 나타낸 것이다.

Lachat)를 이용하여 분석하였다. 모든 시료의 악취측정과 분석은 3반복 시행하였다.

#### 4. 분석항목 및 방법

#### 결과 및 고찰

미생물 배양과 균수 조사는 nutrient broth (Difco)와 nutrient agar (Difco)를 가지고 이루어졌으며 균수측정은 standard pour plate법에 준하여 수행하였다. EC와 pH는 1:10법 (Jackson, 1958)을 이용하여 각각 Model 1230 (Orion), Model 71P(Istek)로 측정하였다. 수분 함량은 105℃에서 건조하여 측정하였고, 총 유기물은 600℃ 회화법으로 3시간동안 회화시킨 후 측정하였다. 퇴비화 기간 중 온도측정은 자동온도기록계(카보랩)를 이용하여 측정·기록하였다. NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>x</sub>-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P은 퇴비시료에 증류수를 10배 첨가하여 2시간동안 진탕한 후 여과하여 자동수질 분석기 (Quikchem 8000, Lachat)을 이용하여 측정하였다. 총질소는 Rapid NIII(elementar)를 이용하였고, 총인은 Kjeldahl법으로 digestion 시킨 후 자동수질 분석기 (Quikchem 8000, Lachat)을 이용하여 분석하였으며 색도는 Munsell 색도표를 사용하여 분석하였다. 퇴비화 기간 중 발생하는 H<sub>2</sub>S, CH<sub>3</sub>SH gas 농도 측정은 반응조 개폐 튜브에 가스검지관 (GASTEC)을 직접 연결하여 측정하였으며 반응조로부터 배출되는 NH<sub>3</sub> 가스 농도는 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액을 이용하여 포집한 후 자동수질 분석기 (Quikchem 8000,

#### 1. 접종된 미생물의 잣송이 부산물에 대한 적응성 평가

잣나무에는 terpenoid계 성분, phenol계 성분, 탄닌 및 알칼로이드 성분들이 다량 함유되어 있으며 이러한 성분들 중 terpenoid는 이소프렌으로 구성되어있는 성분으로 향균, 살충 등의 약리작용을 하는 것으로 알려져있기 때문에 악취저감제 제조를 위해 잣송이 부산물에 접종된 미생물들이 잣부산물이 갖는 향균 특성에 사멸하지 않고 잣송이 부산물내의 환경에 적응하는지를 파악하기 위하여 잣송이 부산물에 미생물을 접종한 직후의 총 균수와 30℃에서 48시간 배양한 후의 총 균수를 분석하였다(Table 3). 그 결과 배양 전 6.42×10<sup>6</sup>(CFU/g), 배양 후 3.08×10<sup>7</sup>(CFU/g)로 접종된 미생물이 잣송이 부산물 성분에 의해 사멸하지 않고 잣송이 부산물 환경에 적응할 능력이 있음을 알 수 있었다.

잣송이 부산물을 이용한 악취저감제 제조에 사용된 3종의 미생물(*Alcaligenes spp.*, *Pasteurella spp.*, *Lactobacillus spp.*)은 유기물을 분해하며 증식하는 발효적미생물(zymogenous)으로써 퇴비의 부숙을 촉진시키는 유용

Table 3. Adaptability tests of the microbes

Microbial Number (*CFU/g)	
0h incubation	48h incubation
5.42×10 <sup>6</sup>	3.08×10 <sup>7</sup>

\* CFU = Colony Forming Unit.

한 미생물인 것으로 보고되고 있다. 관련 문헌을 살펴보면 *Alcaligenes spp.* 는 단백질의 분해에 관여하여, 단백질 분해를 촉진하고 (Sherman & shaw, 1923), *Pasteurella spp.* 는 탄수화물의 분해에 관여하여 탄수화물의 분해를 촉진시키고(Rifkind & Pickett, 1953), *Lactobacillus spp.*는 탄수화물의 분해를 촉진하여 유기산을 생성하고 탄수화물을 유기산 특히 젖산으로 전환시켜 악취유발물질인 휘발성지방산의 생성을 원천적으로 봉쇄하는 것으로 알려지고 있다.

## 2. 퇴비화 진행에 따른 변화

### 가. 온도변화

퇴비화 1일부터 2시간 간격으로 1시간씩 2 l/min 공기를 공급하였다. 퇴비화 1일부터 T1, T2, T3 모두 온도가 점점 상승하기 시작하여. 퇴비화 5일이 지난 후에는 T1, T2, T3 각각 64, 62, 55℃ 까지 온도가 상승하였고 이후로 점점 온도가 하락하여 11~12일경에는 T1, T2, T3 각각 30, 31, 40℃의 온도를 유지하였다. 이후 15일경 퇴비의 뒤집기를 실시한 결과 퇴비의 온도는 T1, T2, T3 모두 다시 상승하기 시작하여 T1은 다시 55℃까지 상승하였고, T2는 59℃까지 상승하였으며, T3는 55℃까지 온도가 상승하였다. 30일 이후 모든 퇴비는 38~42℃까지 온도가 하락하여 낮은 온도를 유지하였다. 퇴비화 기간 동안 모든 실험구는 최고온도 55℃ 이상까지 상승하며 병원성·유해미생물들이 사멸되는 퇴비화 적정 온도 조건에 부합하였다(Raymond, 1975, 김 등, 2004).

### 나. 퇴비화에 따른 이화학적 변화

퇴비화 전, 후의 이화학적 성상 변화를 Table 4에 나타내었다. T1, T2, T3 모두 퇴비화 과정 중 수분 함량이 각각 4.5%, 1.7%, 1.1% 증가한 것으로 나타났다. 퇴비화 과정 중 유기물의 활발한 분해로 인해 고온의 열이 발생하였음에도 불구하고 이와 같이 수분 함량이 증가한 이유는 퇴비화 과정 중 발생하는 악취를 측정하기 위하여 완전 밀폐된 반응기내에서 퇴비화가 이루어졌고 그에 따라 퇴비화과정 중 생성된 수분이 외부로 증발하지 못하고 퇴비 내에 그대로 남아있었기 때문으로 판단된다.

퇴비화 전과 후의 T1, T2, T3에서의 용적 밀도 증가율은 각각 7.1%, 5.1%, 2.1% 수준으로 모든 처리구에서 증가하였다. 퇴비화 과정에서의 용적 밀도 증가는 유기물 분해에 따른 부피 감소에 의한 것으로 판단된다.

전기전도도(Electrical conductivity)는 각 처리구 모두 퇴비화 과정에서 감소하였으며 최종 퇴비의 전기전도도는 T1, T2, T3 각각 8.3, 8.02, 8.18ds/m 수준으로 일반적인 돈분 퇴비의 전기전도도 10ds/m 이하를 충족시켜 각 처리구에서 생산된 퇴비를 작물에 이용 시 생육장애 및 토양의 염류집적 등의 문제가 없을 것으로 판단되었다. 전기전도도는 퇴비화 진행을 판단하는 간접지표로서 퇴비 중의 염류농도와 비례하며 EC 변화에 기여하는 물질은 저급지방산과 암모니아 등이 있으며 특히 암모니아의 기여가 큰 것으로 알려지고 있다. 따라서 암모니아는 퇴비화 반응이 왕성할 때 생기기 때문에 EC의 변화를 보면 퇴비화 반응의 진행상황을 알 수 있다.

### 다. 유기물, 질소, 인 함량변화와 퇴비품질

최종 퇴비물질의 유기물 함량은 T1, T2, T3 각각 25%, 24.5%, 25.2%로 거의 비슷한 수준을 나타내었다. 그러나 퇴비화 전과 후

Table 4. Composition changes by composting

Item		T1	T2	T3
pH (value)	Before	6.78	6.81	6.85
	After	7.00	6.94	6.98
EC (ds/m)	Before	9.09	8.93	9.00
	After	8.30	8.02	8.18
Density (kg/m <sup>3</sup> )	Before	465	467	468
	After	498	492	478
Moisture (%)	Before	59.2	60.1	61.1
	After	63.7	62.8	62.2
TC (g/kg)	Before	305.6	289.2	269.4
	After	249.6	244.8	251.5
TN (g/kg)	Before	7.29	6.81	7.17
	After	7.44	6.42	8.05
TC/TN (ratio)	Before	41.92	42.47	37.57
	After	33.55	38.13	31.24
OP (g/kg)	Before	0.58	0.52	0.60
	After	0.50	0.50	0.67
TP (g/kg)	Before	1.01	2.16	2.09
	After	2.30	4.12	2.27
NH <sub>4</sub> -N (g/kg)	Before	0.49	0.59	0.5
	After	0.14	0.21	0.15
NO <sub>x</sub> -N (g/kg)	Before	0.0008	0.0005	0.0006
	After	0.0019	0.0011	0.0017
OUR (mg O <sub>2</sub> /kg/h)	After	31.9	24.4	36.90

의 유기물 함량 변화를 비교할 때 톱밥만을 첨가한 T1에서 유기물 함량의 감소율(18.4%)이 가장 높았으며 그 다음이 T2(15.4%), T3(6.6%) 순으로 나타났다. 퇴비화 과정 중 T3에서의 낮은 유기물 함량의 변화는 톱밥에 비해 생분해도가 낮은 잣송이 부산물을 이용하여 제조된 악취저감제(NDA)를 약 25% 정도 혼합하여준 결과에 의한 것으로 판단된다. 이러한 결과로 판단할 때 제조된 악취저감제를 적량이상 사용 시 유기물 분해율이 적어져 퇴비화 과정에서 충분한 온도 상승이 이루어지지 않을 우려가 있을 것으로 판단되었으며 실제 T1, T2, T3에서의 온도변화를 분석한 결과 각각 64, 62, 55℃로 NDA를 약 25% 수준으로 첨가하여준 처리구에서 온도 상승이 낮음을 알 수 있었다. 따라서 퇴비화 과정에 영향을 미치지 않는 NDA의 적정 첨가수준의 파악이 필요한 것으로 여겨진다.

최종 퇴비물질의 질소 함량은 T1-0.744%, T2-0.642%, T3-0.805%로 악취저감제를 첨가한 T3에서 가장 높은 질소 함량을 나타내었

다. 퇴비화 과정 중 질소함량 변화를 분석해 보면 T1과 T3에서는 각각 2.1%와 12.3% 증가한 반면 미생물만을 접종한 T2에서는 5.7% 감소한 것으로 나타났다. T3의 질소함량이 다른 처리구에 비해 높았던 것은 퇴비화 과정 중 암모니아 가스 발생에 따른 질소 손실이 T3에서 상대적으로 적었기 때문인 것으로 판단된다. C/N비는 퇴비화 과정 중 유기물의 분해율이 질소원의 손실률에 비해 상대적으로 높아 모든 처리구에서 감소하는 일반적인 경향을 보였다.

최종 퇴비물질의 용해성 인의 함량은 T1, T2, T3 각각 0.05%, 0.05%, 0.07%로 나타났으며 퇴비화 과정에서 T1과 T2의 경우에는 약간 감소하였으나 T3에서는 용해성 인의 함량이 증가하는 것으로 나타나 T3의 경우 작물의 이용성을 높이는 것으로 나타났다.

퇴비화 전후의 색도를 비교한 결과(Table 5), 퇴비화 초기의 색도는 T1, T2, T3 모든 처리구가 Brownish gray의 색을 나타내었고, 퇴비 후의 색도는 모든 처리구가 Dark brown

Table 5. Comparison of compost

Treatment	Before composting	After composting
T1	Brownish gray	Dark brown 3/4
T2	Brownish gray	Dark brown 3/4
T3	Brownish gray	Dark brown 3/4

Table 6. Quality criteria of manure compost

Standard item	Green compost	General compost	T1	T2	T3
T-C (%)	above 40	above 25	25	25	25
T/N (%)	above 1	above 0.5	0.74	0.64	0.81
C/N ratio	below 40	below 50	34	38	31
Moisture (%)	below 45	below 50	64	63	62

3/4의 색으로 차이를 보이지 않았다. 따라서 모든 처리구가 퇴비화 후 Dark brown 3/4(질은 흑갈색)의 색을 나타낸 것으로 보아 퇴비화가 원활히 진행되었다고 판단된다. 퇴비의 색도는 퇴비화가 원활하게 진행될 경우 보통 10일 이내에 암갈색(Dark brown 3/4)으로 변화하는 것으로 보고되고 있다 (장 등, 2002).

부산물퇴비의 비료공정규격의 그린퇴비와 일반퇴비의 품질 기준항목과 T1, T2, T3에서 생산된 퇴비 품질을 비교한 결과(Table 6), 총유기물함량은 T1, T2, T3 모두 25%로 그린퇴비 품질기준에는 미치지 못하지만 일반퇴비의 품질기준에 합당하였다. 질소의 함량의 경우에도 각각 0.744%, 0.642%, 0.805%로 유기물과 마찬가지로 그린퇴비 품질기준보다는 낮고 일반퇴비의 기준보다는 높게 나타났다. C/N비는 각각 34, 38, 31로 모두 그린퇴비 품질기준을 충족시켰다. 그러나 수분함량은 T1, T2, T3 각각 64, 63, 62%의 비율로 모든 퇴비가 일반퇴비의 기준을 크게 벗어났다. 이는 퇴비화진행 중 발생하는 악취를 측정하기 위하여 밀폐된 반응기내에서 강제통기에 의한 퇴비화가 이루어졌고, 이로 인해 퇴비화과정 중 생성된 수분(H<sub>2</sub>O)이 외부로 증발하지 못하고 퇴비더미 내에 그대로 남아 있었기 때문으로 판단된다.

### 3. 퇴비화 과정 중 악취가스 발생 양상

#### 가. 황화수소(H<sub>2</sub>S)와 머캅탄(CH<sub>3</sub>SH) 악취가스의 발생 양상

황화수소나 머캅탄 등의 황 화합물과 암모니아 등은 가축분의 퇴비화시 악취발생의 주요 요소이기 때문에 퇴비화 과정 중 발생하는 머캅탄(CH<sub>3</sub>SH)과 황화수소(H<sub>2</sub>S)의 일일발생량과 축적량을 측정하였다(Fig. 2 and 3). 그 결과 축분 퇴비화 과정 중 황화합물 가스는 주로 퇴비화 초기에 발생하고 온도가 점차 상승하면서 9일째부터 발생하지 않았다는 정과 강(2001)의 연구 결과와 비슷하게 제조된 악취저감제를 첨가한 퇴비 반응조(T3)를 제외하곤 모두(T1, T2) 머캅탄과 황화수소가 초기 6일 동안 발생하다가 7일 이후부터 발생하지 않음을 알 수 있었다. 초기 6일 동안 측정된 머캅탄과 황화수소 가스의 발생양상을 보면 톱밥만을 첨가한 T1과 미생물을 톱밥과 함께 첨가한 T2의 경우 퇴비화 개시 후 3일부터 발생하기 시작하여 4-5일에 최고 발생량을 보이는 것으로 나타났다. 그러나 톱밥과 함께 제조된 악취저감제를 첨가한 T3에서는 황화수소 가스는 발생하지 않았으며 머캅탄 가스만이 소량 발생한 것으로 나타났

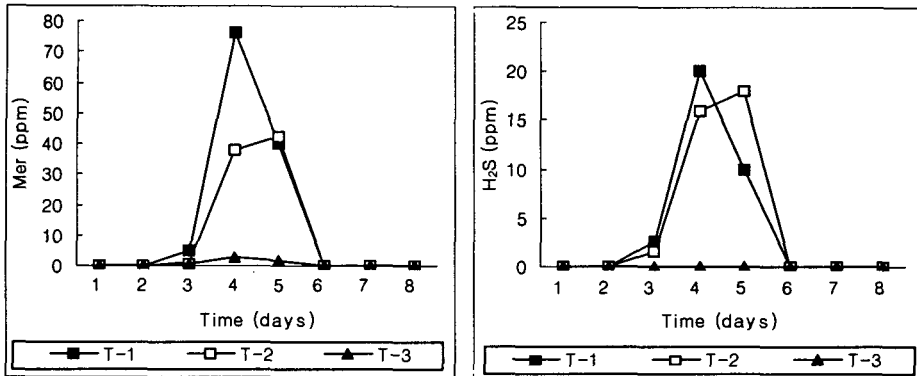


Fig. 2. Tracks of  $\text{H}_2\text{S}$  and  $\text{CH}_3\text{SH}$  during composting periods.

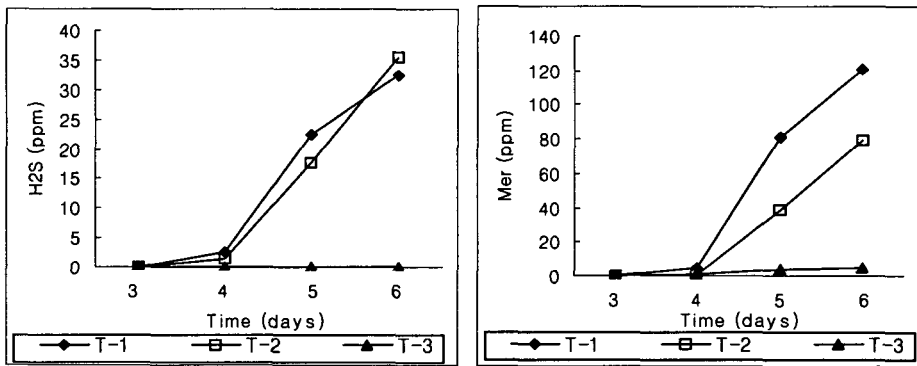


Fig. 3. Accumulated  $\text{H}_2\text{S}$  and  $\text{CH}_3\text{SH}$  during composting periods.

다. 3일 동안 발생한 황화합물 가스의 축적량을 살펴보면 황화수소의 경우 T1이 32 ppm, T2가 36ppm인 반면 T3에서는 전혀 검출되지 않았으며 머캅탄 가스의 경우에는 T1이 121ppm, T2가 79ppm, T3가 4ppm으로 T3에서 매우 낮게 발생함을 알 수 있었다. 이러한 결과로 미뤄 자송이 부산물과 미생물을 혼합하여 제조된 악취저감제가 퇴비화 과정 중의 악취발생을 저감시킬 수 있음을 알 수 있었다.

#### 나. 암모니아( $\text{NH}_3$ )가스 발생 양상

암모니아는 퇴비화 과정 중 발생하는 대표적 악취가스 물질이기도하다. Fig. 4는 퇴비화 기간 중 발생하여 외부 황산 trap에 포집된 암모니아 농도변화를 나타낸 것으로 황화

수소( $\text{H}_2\text{S}$ )와 머캅탄( $\text{CH}_3\text{SH}$ ) 등의 황화합물 가스와는 달리 퇴비화 전 과정에 걸쳐 지속적으로 암모니아 가스가 발생함을 알 수 있었다. 퇴비화 과정에서의 암모니아 가스의 지속적인 발생은 유기물의 분해와 관련된 것으로 퇴비화 과정에서 유기물이 미생물에 의해 분해되면서 암모니아( $\text{NH}_3$ ), 수분( $\text{H}_2\text{O}$ ), 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )가 최종 산물로 배출되기 때문이다. 따라서 암모니아 발생량에 따라 퇴비의 진행도와 부숙도를 평가할 수도 있는 것으로 알려지고 있다. 또한 퇴비화 과정에서의 암모니아 가스 발생은 돈분뇨 중에 고농도로 존재하는 암모니아성 질소가 퇴비화 과정에서 발생하는 높은 열에 의해 암모니아 가스로 탈기되기 때문이기도 하다. 각 퇴비화 반응조에서 발생한 암모니아 가스 농도를



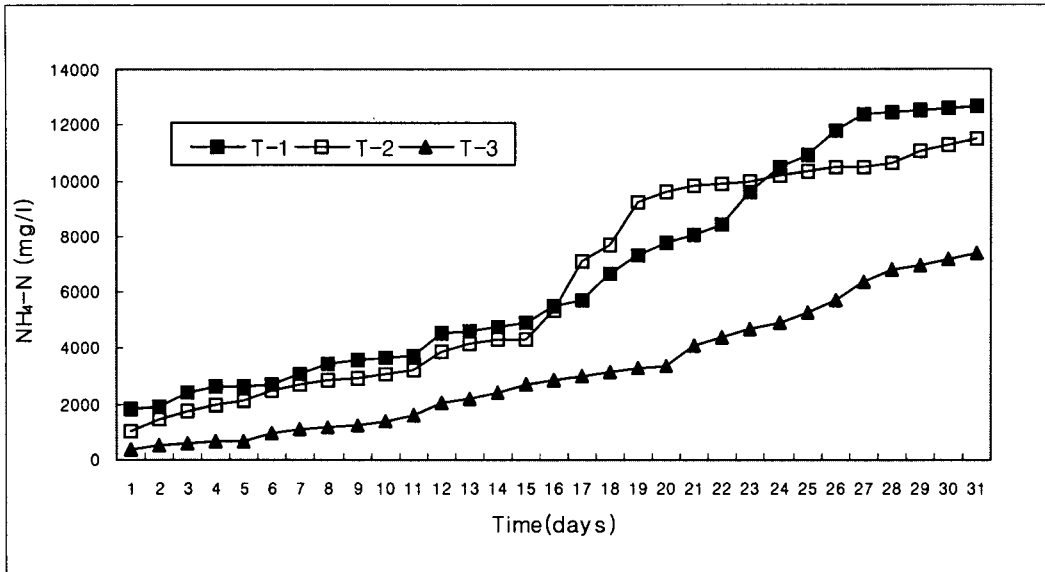


Fig. 4. Accumulated NH<sub>3</sub> emission during composting period.

비교할 때 31일 동안 포집된 암모니아의 농도는 T1, T2, T3 각각 12,660 mg/L, 11,598 mg/L, 7,367 mg/L로 잣송이 부산물을 이용하여 제조된 악취저감제를 첨가한 T3에서 암모니아가스의 발생이 확실하게 저감됨을 알 수 있었다. 미생물을 첨가한 T2의 경우 T1에 비해 암모니아 가스가 약간 감소하였으나 큰 차이를 나타내지는 않은 것으로 판단할 때 접종된 미생물 만에 의한 암모니아 가스물질 및 황화합물 저감 효과는 크지 않음을 알 수 있었다. 첨가된 미생물에 의한 악취물질 저감효과는 퇴비화 반응초기에만 나타날 수밖에 없을 것으로 판단되는데 이는 퇴비화반응이 진행됨에 따라 온도가 고온으로 상승하여 균종들의 활성이 상실되기 때문일 것으로 판단된다. 이러한 결과에 의거 미생물을 접종하여 악취저감제를 제조하지 않고 분쇄된 잣송이 부산물 자체를 그대로 사용할 시에도 악취물질의 저감효과가 있을 것으로 판단되었다. 그러나 퇴비화 과정에 영향을 미치지 않는 잣송이 부산물의 적정 첨가수준의 파악이 필요한데 이는 잣송이 부산물의 경우 톱밥에 비해 미생물에 의해 쉽게 분해될 수 있

는 유기물의 함량이 낮아 톱밥과 혼합하여 사용되는 잣송이 부산물의 첨가량 증가에 따른 부숙화 과정 둔화 현상이 발생하기 때문이다. 톱밥과 혼합하여 사용되는 잣송이 부산물의 비를 1, 0.4, 0.2 수준으로 하여 퇴비화 과정중의 온도 변화를 모니터링한 결과 잣송이 부산물만을 수분조절재로 사용할 경우 퇴비화가 전혀 진행되지 않는 것으로 나타났으며 0.4 수준에서도 온도 상승이 제대로 이루어지지 않는 퇴비화 반응의 둔화현상이 나타났다. 그러나 0.2 수준에서는 톱밥을 100% 사용할 때와 비교하여 아무런 퇴비화 반응 둔화현상이 나타나지 않아 퇴비화 과정에 영향을 미치지 않는 잣송이 부산물의 첨가수준은 약 20% 수준일 것으로 판단되었다.

## 적 요

본 연구에서는 잣송이 부산물을 이용하여 인체와 가축에는 무해한 천연 잣송이 부산물 악취저감제를 제조하고 돈분뇨 퇴비화과정에 적용하여 악취 저감효과와 퇴비화에 미치는 영향을 분석하였다. 잣송이 부산물 악취저감제는 분쇄된 잣송이 부산물, 3종의 미생물

(*Lactobacillus spp.*, *Alcaligenes spp.*, *Pasteurella spp.*) 그리고 무기영양소가 첨가된 당밀수를 혼합하여 수분함량을 55%로 조정한 후 30℃에서 48시간 배양하여 제조하였다. 실험 처리구는 대조구인 톱밥처리구(T1), 톱밥과 3종의 미생물을 혼합한 처리구(T2), 톱밥과 제조된 악취저감제(NDA) 처리구(T3)로 하여 실험실 규모의 반응기 내에서 퇴비화를 진행하면서 실험한 결과 퇴비화 기간 동안 모든 실험구는 최고온도 55℃ 이상까지 상승하며 병원성·유해미생물들이 사멸되는 퇴비화 적정 온도 조건에 부합하였다. 또한 퇴비화 전, 후의 이화학적 성상 변화를 분석한 결과 처리구간 큰 차이가 발견되지 않았으나 제조된 악취저감제를 20%이상 사용시 유기물 분해율이 적어져 퇴비화 과정에서 충분한 온도 상승이 이루어지지 않을 우려가 있을 것으로 판단되었다. 또한 악취저감제 사용 시 퇴비화 과정 중 암모니아 가스 발생에 따른 질소소실이 상대적으로 적어 최종 퇴비물질의 질소함량이 상대적으로 높아짐을 알 수 있었다. 퇴비화 기간 중 암모니아(NH<sub>3</sub>)가스 발생양상을 분석한 결과 황화수소(H<sub>2</sub>S)와 머캅탄(CH<sub>3</sub>SH) 등의 황화합물 가스와의 달리 퇴비화 전 과정을 거쳐 지속적으로 발생함을 알 수 있었다. 퇴비화 반응조에서 발생한 암모니아 가스 농도를 비교할 때 31일 동안 포집된 암모니아의 농도는 T1, T2, T3 각각 12,660 mg/L, 11,598 mg/L, 7,367 mg/L로 잣송이 부산물을 이용하여 제조된 악취저감제를 첨가한 T3에서 암모니아가스의 발생이 확실하게 저감됨을 알 수 있었다. 퇴비화 과정 중 발생하는 머캅탄(CH<sub>3</sub>SH)과 황화수소(H<sub>2</sub>S)의 일일발생량과 축적량을 측정된 시험에서 제조된 악취저감제를 첨가한 T3에서는 황화수소 가스과 머캅탄 가스가 크게 감소함을 알 수 있었다. 이러한 결과로 미뤄 잣송이 부산물과 미생물을 혼합하여 제조된 악취저감제의 적량 이용은 퇴비화 과정과 퇴비 품질에 영향을 미치지 않으며 퇴비화 과정 중 발생하는 악취물질을 저감시킬 수 있음을 알 수 있었다.

## 사 사

본 연구는 2004년 ARPC 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 인 용 문 헌

1. Jackson M. L. 1958. Soil chemical analysis. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs. N. J. 498 p.
2. Raymond P. Poincelot. 1975. The biochemistry and methodology of composting. The Connecticut Agricultural Experiment Station. 9p.
3. Rifkind D. and Pickett M. J. 1953. Bacteriophage studies on the hemorrhagic septicemia pasteurellae, Department of Bacteriology, University of California, Los Angeles, California, 67, 243-246.
4. Sherman, J. M. and Shaw, R. H. 1923. The propionic acid fermentation of lactose, The Research Laboratories, Dairy Division, United States Department of Agriculture, Washington. 695-700.
5. 김기연, 최홍림, 고한중, 김치년. 2006. 축분 퇴비화 과정 중 퇴비 부숙도를 고려한 암모니아 발생량 산정, 한국동물자원과학회지, 48(1):123-130.
6. 김태일, 송준익, 양창범, 김민균. 2004. 돈분 퇴비화 중 부숙도에 미치는 영향 인자 구명, 한국동물자원과학회지, 46(2):261-272.
7. 이성현, 정희원. 2003. 축산자동화 및 축사의 악취저감 기술개발 현황, 한국농업기계학회지 28(5):469-482.
8. 장기운, 유영석, 민경훈. 2002. 고품질의 돈분 퇴비를 위한 합리적인 퇴비화 조건 개발, 폐기물자원화, 10(4):112-117.
9. 정광화, 강호. 2001. 축분 퇴비화 과정 중 특성변화와 축분퇴비 이용효과, 폐기물자원화, 9(1):56-64.
10. 홍지영. 2001. 축산환경과 악취방제 기술, 농어촌과 환경, 71(6):71-78.
11. 환경부. 2006. 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률.