

부자재 종류가 친환경적 사축퇴비화에 미치는 영향

원승건¹ · 박지영¹ · 조원실¹ ·곽정훈² · 최동윤² · 안희권³ · 라창식^{1*}

¹강원대학교 동물생명과학대학, ²농촌진흥청 국립축산과학원, ³충남대학교 농업생명과학대학

Influences of Bulking Materials on Sustainable Livestock Mortality Composting

Seung Gun Won¹, Ji Young Park¹, Won Sil Cho¹, Jung Hoon Kwag², Dong Yoon Choi², Hee Kwon Ahn³ and Chang Six Ra^{1*}

¹College of Animal Life Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, South Korea, ²National Institute of Animal Science, RDA, Suwon, 441-350, South Korea, ³College of Agriculture & Life Sciences, Chungnam National University, Yuseong-gu, South Korea

ABSTRACT

To develop a sustainable composting method for livestock mortality, a natural aeration-composting process was designed and the influences of bulking materials on the mortality composting process were studied. Bulking materials (e.g., compost, swine manure, sawdust, and rice husks), easily supplied at the scene of an animal mortality outbreak, were tested in this research. A lab-scale composting system (W34 × L60 × H26 cm) was made using 100 mm styrofoam, and natural aeration was achieved through pipes installed on the bottom of the system. Four treatments were designed (compost, compost + swine feces, sawdust, and rice husks treatment groups) and all experiments were done in triplicates. During composting for 40 days, no leachate was observed in compost and sawdust treatment groups, whereas 18 and 8.2 ml leachate/kg-mortality was emitted from the compost + feces and rice husks treatment groups, respectively. Dimethyl disulfide (DMDS) emission during the composting was very low in all treatment groups, possibly due to the bio-filtering function of the compost cover layer on the pile. The mortality degradability in compost, compost + feces, sawdust, and rice husks groups was 25.3, 25.8, 13.5, and 14.5%, respectively, showing significantly higher levels in compost and compost + feces groups ($p < 0.05$). Also, only the compost + feces group produced enough heat (over 55°C) and lasted for 7 days, indicating that bio-security cannot be guaranteed without feces supplementation.

(Key words : Composting, Leachate, Mortality)

서 론

2011년 11월 경북 안동에서 처음 발생한 구제역이 경기 연천을 거쳐 강원도 등 9개 시·도, 76개 시·군으로 빠르게 확산되었고, 구제역으로 살처분 된 소와 돼지가 약 292만두, 매몰지가 4,054개에 육박하였다(환경부, 2011). 우리나라 가축전염병예방법 제 20조에 따르면 제 1종 가축전염병 확산 방지를 위해 필요에 따라 살처분을 명하고 있으며, 제 22조(사체의 처분제한) 2항에서도 각종 전염병 발생에 따라 가축사체를 긴급 소각 또는 매몰하게 되어 있어 우리 여건상 주로 매몰에 의존하고 있다(Kim and Kim, 2011). 그러나 매몰 시 전문 인력이 턱없이 부족하고, 폐사축 처리 방법 및 매몰지 선정 기준이 모호하며, 가축사체 부패 시 발생하는 침출수 및 악취 처리 문제 등 폐사축 처리 관련 규정이 기관마다 불일치하는 등 문제점이 대두되고 있어 사회적 우려가 매우 크다.

사축퇴비화와 관련된 연구사례를 살펴보면 연구의 대부분이 국외에서 수행된 것으로서 2002년 친환경적 사축퇴비화 기술을 개발하기 위해 송풍, 가수(加水) 및 초기 C/N비가 사축퇴비기간 등의 부속 과정에 미치는 영향을 파악 하였으며(Looper et al., 2002), 2005년에는 지하수오염 방지에 효율적이고 경제적인 처리 조건을 정립할 목적으로 2년간 3개 농장, 12두의 대가축을 대상으로 톱밥, 옥수수사일리지, 계분 등의 부자재의 특성이 사축퇴비화에 미치는 영향을 분석하였다(Clark, 2005). 또한 Genaille et al. (2005)은 중소가축(돼지, 조류)을 중심으로 이뤄지던 기존의 사축퇴비화방법을 보완하여 대가축(소)으로 확대 적용할 수 있는 방법을 연구하기 위해 볏짚, 톱밥, 나무칩, 해바라기 껍데기 등 다양한 부자재를 대상으로 사축퇴비화 과정을 모니터링을 하는 연구를 수행하였으며, Akdeniz et al. (2011)은 사축 더미 내 위치별 VOCs 발생을 측정하였다. 그러나 국내의 경우, 매몰방법 이외의 폐사축 퇴비화에 관

* Corresponding author : ChangSix Ra, Dept. of Animal Life System, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea. Tel: +82-33-250-8618, Fax: +82-33-251-7719, E-mail: changsix@kangwon.ac.kr

한 연구는 극히 제한적으로 수행되었으며 심지어 폐사축 퇴비화 관련 규정조차 없는 실정이다.

친환경적 사축퇴비화를 위해서는 무엇보다도 사축을 효율적으로 부숙시키기 위한 운용변수 확립이 반드시 필요하며 그 변수로는 부자재의 종류, 송풍방법, 부숙 시스템의 구조, 초기 C/N비 등이 있다. 일반적으로 전염성 질병 발생 등과 같은 응급상황으로 인한 대량의 사축 발생시를 전제로 할 때 사축퇴비화를 위해 필수적으로 사용되어야 하는 부자재는 우선 사축이 발생하는 농가에서 쉽게 구할 수 있어야 하며, 또한 송풍라인을 설비하여 사축을 퇴비화하는 강제송풍형 시스템은 그 효율이 아무리 높다할지라도 시설설비에 많은 시간과 경비가 소요되기 때문에 바람직하지 않으며 오히려 매립방법보다도 시간과 경비가 적게드는 자연통기형 시스템이 적합할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 환경친화적 사축퇴비화기술 개발을 위한 기초 자료를 확보할 목적으로 자연통기형 사축퇴비화 방법을 고안하고 농가주변에서 쉽게 조달할 수 있는 부자재를 대상으로 부자재 종류별 사축퇴비화 특성을 파악하였다.

재료 및 방법

1. 자연 통기형 퇴비화 시스템

시험에 사용된 퇴비화 시스템은 Fig. 1과 같이 고안되었으며 실험실 규모의 실험을 위해 100배로 축소하여 제작하였다. 100 mm 두께의 스티로폼을 이용하여 내경기준 W36×L60×H26 cm로 제작하였으며 자연송풍을 위해 바닥에 PVC 재질의 관(Ø20 mm)을 설치하였다. 퇴비화시스템 바닥면과 맞닿는 관은 다공성 관으로서 하부 5시와 7시 방향에 5 cm 간격의(지그재그형태) 구멍(Ø 5 mm)내어 자연적인 통풍이 가능하도록 하였다. 바닥에는 경사를 두어 퇴비화 과정에서 발생한 침출수가 손쉽게 배출되도록 하였으며 침출수 포집을 위해 밸브가 달린 유출관을 삽입하였다. 바닥 송풍관 위에 3 cm 높이의 부자재를 깔고 그 위에 사체를 대신할 돼지고기(내장 및 혈액 포함)와 부자재를 3층으로 쌓은 후 최종 퇴비(10 cm)로 덮어 퇴비화가 이루어지도록 하였다. 사축분해율을 정확히 측정하기 위해 고기와 내장(이하 사축)은 나일론 망에 담아 투입하였으며 각층에 2개의 사축 덩어리-혈액-부자재를 순서대로 투입

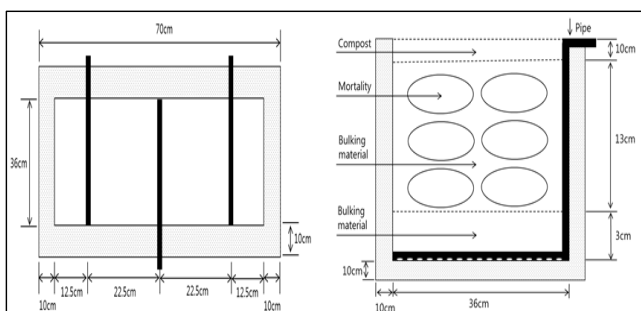


Fig. 1. Schematics of the designed composting process.

하여 사체를 포함한 한 층의 높이를 5 cm로 맞추었다. 투입된 사축, 내장 및 혈액의 비율은 돼지의 도축량을 기준으로 하였다. 퇴비화 과정중의 온도 변화를 모니터링하기 위한 probe는 사축 사이에 삽입하였다.

2. 실험설계

가축을 사육하는 농가에서 쉽게 구할 수 있으면서도 사축퇴비화에 적합한 부자재를 선정하기 위해 퇴비, 돈분, 톱밥, 왕겨를 대상으로 실험하였다. 처리구로는 퇴비, 돈분+돈분 퇴비(1:1), 톱밥, 왕겨, 4개의 처리구를 두었으며 퇴비화 기간은 40일 이었다. 본 실험에서 40일 동안의 비교적 짧은 사축퇴비화를 진행한 것은 효율적 사축퇴비화에 적합한 부자재를 탐색하기 위한 것으로서 만약 사축퇴비화 기간이 충분히 제공될 경우 부자재별 퇴비화 진행속도의 차이를 파악하기 어려울 수 있기 때문이었다. 모든 실험은 3반복으로 수행되었으며 사체와 혈액의 투입량은 네 처리구 모두 5.4 kg(사체 5 kg, 혈액 0.4 kg)으로 동일하였다.

3. 조사항목 및 분석방법

부자재, 퇴비 및 침출수의 NH₄-N, NO_x-N은 자동수질 분석기(LACHAT, QuikChem 8000, USA)를 이용하여 분석하였으며 Total Kjeldahl Nitrogen(TKN)은 block digester(BD46, LACHAT, USA)을 이용하여 소화시킨 다음 자동수질 분석기를 이용하여 분석하였다. 침출수의 Total Organic Carbon(TOC)은 탄소물질 자동분석기(TOC-5000A, Shimadzu, Japan)를 이용하여 분석하였다.

온도는 자동 온도 기록계(Thermocouple Temperature Recorder, MADGE TECH, USA) 이용하여 20분 간격으로 모니터링 하였으며, Water Holding Capacity(WHC)는 Ahn et al. (2008)의 방법을 이용하여 계산하였다.

모든 시료의 수분함량은 105°C에서 24시간 건조한 후 측정하였으며 용적중, Volatile Solid(VS) 함량은 Standard Method(APHA: American Public Health Association, 1998)에 준하여 분석하였다. 사축퇴비화 중에 발생하는 Dimethyl disulfide(DMDS)는 GC/MSD를 사용하여 분석하였으며 가스분석을 위한 시료채취는 단면적 0.09 m²(W0.3 m×L0.3 m×H0.4 m) 크기의 플릭스 챔버를 이용하여 유입가스와 배출가스가 혼합되어 충분히 안정되는 체류시간(약 20분) 이후 배출라인에 테들러백을 연결하여 이루어졌다.

4. 통계분석 방법

본 시험에서 얻어진 결과의 통계분석은 일원배치 분산분석을 이용하여 실시하였으며 5% 수준(p<0.05)에서 유의성을 검정하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 부자재 특성

시험에 사용된 부자재의 성상을 보면 (Table 1) 수분함량은 퇴비, 돈분+퇴비의 경우 51~58%인 반면 톱밥과 왕겨는 각각 7, 9% 수준으로 매우 낮았다. 퇴비, 돈분+퇴비, 톱밥 및 왕겨의 VS 함량은 각각 77.5, 76.4, 99.3, 86.5%이었으며 C/N비는 각각 23, 18, 512, 75 수준이었다. 사축퇴비화를 위해 각 처리구별로 투입된 실제 부자재의 양을 측정된 결과 퇴비 및 돈분+퇴비 처리구의 경우 각각 23.4 및 20.0 kg이었고 톱밥 및 왕겨 처리구는 4.7 및 3.6 kg으로 큰 차이를 보였는데 이는 퇴비와 돈분+퇴비의 경우 공극률이 작고 질량이 큰 반면 톱밥과 왕겨는 공극률이 크고 질량이 작기 때문이다.

2. 침출수 발생

사축퇴비화 과정중의 침출수 발생 여부를 관찰한 결과 (Table 2) 퇴비와 톱밥을 부자재로 사용한 경우에는 침출수가 전혀 발생하지 않았던 반면 돈분+퇴비 및 왕겨를 부자재로 이용한 경우에는 침출수가 발생하였다. 40일 동안의 퇴비화과정 중 발생한 침출수의

양은 돈분+퇴비의 경우 99 ml로 사체 kg 당 18 ml의 침출수가 발생하였으며, 왕겨의 경우에는 44 ml로서 사체 kg당 8.2 ml의 침출수가 발생하였다. 침출수 발생은 퇴비화 초기에 집중되었으며 돈분+퇴비 부자재는 15일까지, 왕겨의 경우에는 8일까지 침출수가 발생하였다. Kim et al. (2011)에 따르면 침출수는 가축이 죽은 첫 주에 부피의 약 50%가 유출되는 것으로 알려지고 있다. 퇴비와 톱밥구에서 침출수 발생이 없었던 이유는 침출수가 최하층에 깔려 있는 부자재에 흡수되었기 때문인 것으로 판단된다. 가축 매몰지로부터 나오는 침출수는 대부분이 유기물 및 질소·인·인의 무기물질로 구성되어 있으며 오염물질의 농도는 매물 경과기간에 따라 달라진다. 침출수내에는 다당류 및 단당류 이외에도 상당량의 단백질, 염, 산, 미네랄 등의 가용성 고형분이 포함되어 있으며, 이러한 고형분의 분해는 화학적 분해보다는 생물학적 분해에 기인하는 것으로 추측된다 (Kang et al., 2012).

고안된 방법을 이용하여 사축을 퇴비화 할 경우의 침출수로 배출되는 오염물질의 양 (혹은 침출수내 오염물질 농도)을 비교할 때 퇴비와 톱밥을 부자재로 사용 시에는 오염물질의 발생이 전혀 없었던 반면 왕겨를 부자재로 사용 시에는 사체 kg당 1.91 mg의 NH₄-N와 2.22 mg의 TOCs가 발생함을 알 수 있었고, 돈분과 퇴비를 혼합하여 부자재로 사용할 때에는 사체 kg 당 38.65 mg의 NH₄-N와 0.70 mg의 TOCs가 발생함을 알 수 있었다. 이와 같이 NH₄-N의

Table 1. Changing of composting parameters

Material		Moisture (%)	Volatile solid* (%)	pH	NH ₄ -N			TN	C/N	Degradation (%)	Bulking density (kg/m ³)	WHC* (g.water/g.dry)
					mg/kg							
Compost	Before	51.4±0.9	77.5±0.9	8.5±0.0	643.8± 1.7	9,797.6±178.7	22.8	25.3±2.0 ^{a***}	821.0± 13.6	7.1±0.4		
	After	64.2±0.0	79.6±1.0	8.6±0.1	2,353.7± 5.5	12,186.1± 48.4	13.6					
Swine feces + compost	Before	58.1±0.6	76.4±0.8	8.0±0.0	1,527.3± 5.8	10,237.4±171.5	18.1	25.8±1.2 ^a	657.6± 10.8	5.4±0.3		
	After	65.2±0.4	76.9±0.4	8.8±0.5	3,544.0±60.8	13,067.1±494.6	11.9					
Sawdust	Before	7.2±0.1	99.3±0.0	5.0±0.0	8.0± 0.3	1,349.2± 0.1	511.9	13.5±3.5 ^b	1,081.8± 1.5	4.4±0.1		
	After	60.0±0.5	99.0±0.2	8.7±0.5	1,501.8± 4.6	4,597.2±123.6	46.2					
Ricehucks	Before	9.0±0.1	86.5±0.1	7.0±0.0	15.9± 0.5	3,795.6± 0.1	75.4	14.5±4.8 ^b	1,295.1± 4.5	3.3±0.5		
	After	49.8±0.9	86.0±0.2	8.9±0.0	1,899.3±17.9	3,538.0± 60.5	65.1					

Data are presented as mean±SD, *Dry matter basis, ** Water holding capacity, ** Different superscripts within same column means significantly differ at p<0.05 level.

Table 2. The amount of leachate produced during composting

Materials	Days	Amount		NH ₄ -N	TOCs	PO ₄ ³⁻	NO _x -N
		ml	ml/kg*				
Compost	-	0	0	-	-	-	-
Feces + compost	15	99	18	2,107.7± 111.9 (38.65)	38.2± 11.7 (0.70)	346.7± 237.6 (6.35)	N.D.
Sawdust	-	0	0	-	-	-	-
Ricehucks	8	44	8.2	233.1 ± 51.2 (1.91)	273.4 ± 27.3 (2.22)	986.2 ± 306.3 (8.04)	N.D.

* Mortality kg.

발생은 돈분 + 퇴비에서 높았는데 이는 부자재 자체에 함유된 성분이 부숙 과정에서 분해되어 배출되었기 때문으로 판단된다. 침출수 내 TOCs의 경우에는 NH₄-N과는 반대로 돈분 + 퇴비보다 왕겨에서 약 7배 정도 높았는데 이는 왕겨 사용 시 사축이 분해되면서 발생한 침출수에 다량의 혈액성분이 그대로 섞여 배출되었기 때문이다(왕겨를 부자재로 사용한 처리구의 침출수에서 육안으로 혈액이 관찰 됨). 매물치 침출수 중의 TOCs와 같은 난분해성 유기물질의 변화는 기온의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있지만(Kang, 2011) 본 실험에서는 부자재의 입자 크기와 공극률 및 수분흡수율 등에 영향을 받은 것으로 생각되며, 침출수내 용해성 인의 경우에도 돈분 + 퇴비보다 왕겨를 부자재로 사용할 때 높았는데 이 또한 TOCs의 경우와 같은 이유 때문인 것으로 판단된다.

3. 온도변화

Fig. 2는 퇴비화 과정 중의 온도 변화를 나타낸 것이다. 각 처리구를 비교할 때 퇴비 및 돈분 + 퇴비구의 경우에만 50℃ 이상의 고온으로 온도가 상승하였으며 톱밥, 왕겨구에서는 충분한 온도상승을 관찰할 수 없었다. 이러한 퇴비구나 돈분 + 퇴비구에서 고온으로의 온도상승은 퇴비에 포함되어있던 미분해된 분뇨나 혹은 추가적인 분뇨첨가로 인해 초기 C/N비가 퇴비화에 적합한 20/1 수준에 가까웠기 때문으로 판단된다. 톱밥 및 왕겨구에서 온도가 충분히 상승하지 않은 이유는 초기 C/N비가 각각 511.9 및 75.4로 미생물에 의한 유기물 분해 소요시간이 다른 부자재에 비해서 상대적으로 길게 되어(Hong and Choi, 1999) 사축이 제대로 분해되지 않았기 때문으로 판단된다. 일반적으로 C/N비가 낮아 탄소 함량이 적고 질소 함량이 상대적으로 높으면 질소가 암모니아로 전환되어 퇴비에서 악취가 발생하며 반대로 탄소 함량이 높고 질소 함량이 적으면 미생물 활동을 저하 시키고 사축분해가 매우 느리게 진행되어 온도가 상승하지 않는 결과가 나타난다(Morse, 2001).

고온으로 온도가 상승한 두 처리구의 온도변화 패턴을 보면 퇴비구의 경우 9일 후 부터 약 1주일간, 돈분 + 퇴비구에서는 퇴비화 후 4일 부터 약 2주일간 50℃ 이상의 고온이 유지되어 최소한의 사축퇴비 더미 내 유해 병원성 미생물 사멸 조건이 형성되었다. 그러나 생물학적 안전성 측면에서 판단할 때 돈분 + 퇴비구에서만 5 5℃ 이상으로 온도가 충분히 발생하여 1주일 정도 유지된 것으로 미뤄 분뇨를 다른 부자재와 혼합하여 함께 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다. Ahn et al. (2009)은 50℃ 이상 조건에서 3일 이상 유지되면 사축퇴비 더미 내 유해 병원성 미생물이 사멸하는

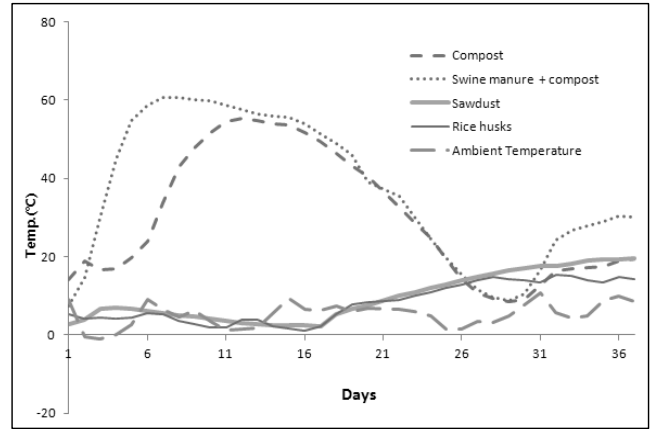


Fig. 2. Temperature changes during composting.

것으로 보고하고 있다.

4. 악취발생

부자재별 사축퇴비화 과정중의 악취발생 정도를 알기 위해 최소 감지 농도가 매우 낮으며 자극을 유발할 수 있어 사축퇴비화 현장에서 각별한 주의가 요구되는 DMDS의 농도를 측정할 결과 원활한 사축 분해로 온도발생이 왕성하였던 퇴비구와 돈분 + 퇴비구에서는 주로 초기에 발생하고 점차 시간이 경과함에 따라 감소하였으나 왕겨 및 톱밥구에서는 꾸준히 발생하는 것으로 나타났다. DMDS의 발생은 사축분해와 밀접한 관계가 있어 퇴비화가 왕성하게 진행될 때 고농도의 DMDS가 발생하나 본 연구에서는 모든 처리구에서 사축분해 정도와 관계없이 평균적으로 매우 낮은 발생을 보였는데 이는 사축퇴비더미를 최종적으로 완숙된 퇴비로 덮었기 때문에 상층에 위치한 완숙퇴비가 바이오필터의 역할을 담당한 것으로 판단된다. 한국환경공단에서 제시하는 악취지정 물질 22종 중 하나인 DMDS는 사람의 후각으로 감지할 수 있는 최소 농도는 3 ppb이며 환경부가 제시한 배출허용기준은 공업지역은 30 ppb, 기타지역은 9 ppb이다(국립환경연구원, 2011).

5. 부숙특성

40일간 부숙 후 시스템을 해체하여 미분해된 사체를 분리한 후 사축분해율과 잔여물의 용적중 및 부자재의 성상변화를 조사하였다(Table 1). 사축분해율은 퇴비, 돈분 + 퇴비, 톱밥, 왕겨구에서 각각

Table 3. Emission of dimethyl trisulfide during composting (Unit: ppb)

Materials	5 day	12 day	19 day	26 day	33 day	AVG
Compost	0.281	N.D	N.D	1.069	N.D	0.675
Feces + compost	14.926	N.D	2.229	N.D	0.358	5.837
Sawdust	1.329	0.242	8.097	2.746	11.782	4.839
Ricehucks	0.663	0.689	10.458	2.615	3.029	3.491

25.3, 25.8, 13.5, 14.5% 수준으로 퇴비 및 돈분+퇴비구의 사축 분해율이 톱밥이나 왕겨구에 비해 유의적으로 높음을 알 수 있었다 ($p<0.05$). 용적중은 퇴비+분뇨구가 657.6 kg/m^3 로 가장 낮았으며 퇴비구 821 kg/m^3 , 톱밥구 $1,081.8 \text{ kg/m}^3$, 왕겨구 $1,295 \text{ kg/m}^3$ 순으로 나타났다. 톱밥이나 왕겨구에서의 높은 용적중은 부자재의 분해율은 낮은 반면 사체 분해과정에서 발생한 물이 부자재에 흡수되었기 때문으로 판단되며, 퇴비나 퇴비+분뇨구에서의 낮은 용적중은 유기물의 분해가 상대적으로 높았기 때문으로 생각된다. pH는 4처리 모두 초기와 비교하여 상승하면서 8.6~8.9 수준이었으며 유기물의 % 함량은 큰 변화가 없음을 알 수 있었다. TN은 초기에 비해 대체로 상승하였는데 이는 사축이 미생물에 의해 분해됨에 따라 단백질이 아미노산으로 분해된 후 ammonification 반응에 의해 암모니아가 생성되었기 때문으로 판단된다. 미분해된 사축을 제거한 부자재중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 함량을 보면 초기에 비해 모두 처리구에서 크게 상승하였음을 알 수 있다. 보수력의 경우에는 퇴비, 돈분+퇴비, 톱밥, 왕겨구 각각 7.1, 5.4, 4.4, 3.3 g water/g로 부숙 후 수분함량이 퇴비 및 돈분+퇴비구에서 높았음에도 불구하고 오히려 높음을 알 수 있었다. 이와 같이 온도발생이나 시스템 해체 후 성상에 대한 결과를 비교해 보았을 때, 톱밥 및 왕겨 부자재를 단독으로 사용하는 것 보다는 퇴비나 돈분을 부자재와 혼합하여 사용하는 것이 사축퇴비화를 촉진시키며 생물학적 안전성을 확보할 수 있는 방법이 될 수 있음을 알 수 있었다.

요 약

본 연구에서는 환경친화적 사축퇴비화 기술을 개발할 목적으로 부자재의 종류별 사축퇴비화 특성을 파악하였다. 부자재로는 사축 발생 현장에서 쉽게 구할 수 있는 퇴비, 돈분, 톱밥, 왕겨를 대상으로 실험하였으며 다공성관을 이용한 자연통기형 방법을 고안하여 사용하였다. 실험실 규모의 사축퇴비화 시스템은 100 mm 스티로폼을 이용하여 제작($W36 \times L60 \times H26 \text{ cm}$) 하였으며 자연송풍은 바닥을 통해 이루어지도록 고안하였다. 모든 실험은 4처리(퇴비, 돈분+퇴비, 톱밥, 왕겨) 3반복으로 수행하였으며 퇴비화기간은 40 일이었다. 사축퇴비화 과정중의 침출수 발생패턴과 양을 보면 퇴비와 톱밥을 부자재로 사용한 경우에는 침출수가 전혀 발생하지 않았던 반면 돈분+퇴비 및 왕겨를 부자재로 이용한 경우에는 침출수가 발생하였다. 침출수 발생은 퇴비화 초기에 집중되었으며 배출된 침출수의 양은 돈분+퇴비의 경우 $18 \text{ ml/kg-mortality}$, 왕겨의 경우에는 $8.2 \text{ ml/kg-mortality}$ 이었다. 침출수로 배출되는 오염물질의 양은 왕겨를 부자재로 사용 시 사체 kg당 1.91 mg 의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 2.22 mg 의 TOCs가 발생하였고, 퇴비와 분뇨를 혼합하여 부자재로 사용할 때에는 사체 kg 당 38.65 mg 의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 0.70 mg 의 TOCs가 발생하였다. 고안된 퇴비화 시스템에서의 악취발생 정도를 알기 위해 사축퇴비화 과정 중의 DMDS 발생을 조사한 결과 사축 분해 정도와 관계없이 평균적으로 매우 낮은 발생을 보였는데 이는 상층에 위치한 완속퇴비가 바이오필터의 역할을 담당했기 때문으로

판단되었다. 사축분해율은 퇴비, 돈분+퇴비, 톱밥, 왕겨구에서 각각 25.3, 25.8, 13.5, 14.5% 수준으로 퇴비 및 돈분+퇴비구의 사축분해율이 톱밥이나 왕겨구에 비해 유의적으로 높았다 ($p<0.05$). 또한 퇴비나 돈분을 혼합하여 부자재로 이용한 처리구에서만 55°C 이상으로 충분한 열이 발생하여 1주일 정도 유지된 것으로 나타나 부자재를 단독으로 사용하는 것은 생물학적 안정성측면에서 바람직하지 않은 것으로 판단되었다.

(주제어: 부숙, 침출수, 사축)

사 사

본 연구는 농림축산식품부 연구개발사업(과제번호 311060-02-HD110)으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- Ahn, H. K., Richard, T. L. and Glanville, T. D. 2008. Optimum moisture levels for biodegradation of mortality composting envelope materials. *Waste Manage.* 28:1411-1416.
- Ahn, H. K., Sauer, T. J., Richard, T. L. and Glanville, T. D. 2009. Determination of thermal properties of composting bulking materials. *Bioresour. Technol.* 100:3974-3981.
- Akdeniz, N., Koziel, J. A., Glanville, T. D., Ahn, H. K. and Crawford, B. P. 2011. Air sampling methods for VOCs related to field-scale biosecure swine mortality composting. *Bioresour. Technol.* 102:3599-3602.
- American Public Health Association (A.P.H.A). 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed. Washington. D.C.
- Clark, R. A. 2005. Composting as a large animal mortality disposal option in shenandoah county. Extension is a joint program of virginia tech, virginia state university, the U.S department of agriculture, and state and local governments, p. 6.
- Genaille, D., Chen, Y. and Doan, V. 2005. Effect of carbon amendment on the temperature during composting of cattle mortalities. *CSAE/SCGR 2005 meeting*, Winnipeg, Manitoba, pp. 1-18.
- Hong, J. H. and Choi, B. M. 1999. The effects of amendments on composting of swine carcass. *Journal of livestock housing and environment.* 5:45-52.
- Kang, M. A. 2011. 구체역 침출수의 난분해성유기물질 거동특성. *Proceedings of KSEG 2011 Fall Conference* November 10-11, pp. 234.
- Kang, M. A., Kim, M. S., Choi, B. W. and Sohn, H.- Y. 2012. Organic matter analysis and physicochemical properties of leachate from a foot-and-mouth disease landfill site. *Korean J.*

- Microbiol. Biotechnol. 40:128-134.
- Kim, K. H. and Kim, H. S. 2011. 가축 사체 매물 사후관리 대책 평가 및 제안. Proceedings of 2011 Workshop of KJEA, pp. 27-57.
- Kim, S. J., Kim, H. W., Yoon, S. H., Shin, J. S. and Yu, S. J. 2011. Effective treatment of animal carcass leachate into the livestock manure facilities and sewage treatment plants. Water environmental engineering research division water environment research department national institute of environmental research.
- Looper, M. L., Fitzgerald, A. C. and Rogers, C. A. 2002. Composting of bovine mortalities on new mexico dairies. American society of animal science. 53:1-3.
- Morse, D. E. 2001. Composting animal mortalities. 100-1999. Miscellaneous publication. Agricultural development division minnesota department of agriculture, pp. 6.
- 국립환경연구원. 2011. 악취방지법 제 5조 및 동법시행령 제 9조 1항에 따른 악취공정시행방법.
- 환경부. 2011. 정부, 전국 매물지 일제 조사 후 보완·정비 착수. 상하수도 정책관실 토양지하수와 보도자료.

(Received Apr. 1, 2013; Accepted Sep. 17, 2013)