

교반식 축분 퇴비화 및 톱밥 탈취처리 시스템의 퇴비화 암모니아 제거 성능

홍지형 · 박금주

순천대학교 산업기계공학과

Performance Characteristics of Agitated Bed Manure Composting and Ammonia Removal from Composting Using Sawdust Biofiltration System

Hong, J. H. and Park, K. J.

Dept. of Industrial Machinery Engineering, Sunchon National University

Summary

Sawdust biofiltration is an emerging bio-technology for control of ammonia emissions including compost odors from composting of biological wastes. Although sawdust is widely used as a medium for bulking agent in composting system and for microbial attachment in biofiltration systems, the performance of agitated bed composting and sawdust biofiltration are not well established. A pilot-scale composting of hog manure amended with sawdust and sawdust biofiltration systems for practical operation were investigated using aerated and agitated rectangular reactor with compost turner and sawdust biofilter operated under controlled conditions, each with a working capacity of approximately 40 m³ and 4.5 m³ respectively. These were used to investigate the effect of compost temperature, seed germination rate and the C/N ratio of the compost on ammonia emissions, compost maturity and sawdust biofiltration performance. Temperature profiles showed that the material in three runs had been reached to temperature of 55 to 65°C and above. The ammonia concentration in the exhaust gas of the sawdust biofilter media was below the maximum average value as 45 ppm. Seed germination rate levels of final compost was maintained from 70 to 93% and EC values of the finished compost varied between 2.8 and 4.8 ds/m, providing adequate conditions for plant growth.

(Key words : Manure composting, Open bed sawdust biofilter media, Ammonia emissions)

서 론

최근, 가축사양의 다두화 및 농촌의 도시화 경향으로 가축배설물 및 음식쓰레기 등의 유기성폐기물 퇴비화시설은 차가용 퇴비화 규모에서, 배출된 가축배설물을 슬러리를 고액 분

리하여 고형분의 상업용 퇴비화 규모 상태로 점차 증가하는 경향으로, 보다 실용적인 유기성폐기물 퇴비화 및 악취물질의 생물학적 탈취처리시스템 기술개발이 필요한 실정이다. 가축배설물의 고액분리 고형분 퇴비화처리에 사용되는 톱밥 부자재 고가 구입은 축산

Corresponding author : Hong, J. H., Dept. of Industrial Machinery Engineering, Sunchon National University, Sunchon 540-742 Korea.
Tel. 82-61-750-3263, E-mail : davis46@sunchon.ac.kr

경영수지에 문제가 되어 톱밥과 완성퇴비의 혼합사용이 늘고 있는 추세이다. 한편, 퇴비화 암모니아 가스 탈취처리용 바이오필터 및 축분의 수분, 탄질비 등의 통기성 조절 등에 톱밥 및 완성퇴비 등의 대체 사용이 필요 불가결한 형편이다.

우리나라 농촌에서는 자원 순환형 친환경 농업단지의 확대추진으로 유기농산물 생산에 반드시 필요한 완숙 유기질 퇴비 수요가 급격히 늘어나 가고 있으나, 가축분뇨의 교반통기 퇴적식 퇴비화 시설에서 양질퇴비 생산에 관한 기초지식이 부족하여 미숙퇴비 생산 및 퇴비화 과정에서 발생되는 악취물질을 대량 발생하여 작물 피해, 대기와 토양 오염 등이 문제가 되고 있다.

이러한 제반문제를 개선하기위해서는 상업용 개방형 교반통기 퇴비화 및 생물학적 톱밥 탈취처리의 실제적인 응용기술로서 파일로트 규모 교반통기 퇴적식 퇴비화 발효조 및 생물학적 톱밥 탈취시설에서 양질퇴비 생산, 톱밥 바이오필터의 악취물질 탈취 및 완성퇴비의 부자재 활용 기술개발이 필요하다.

퇴비화처리 및 퇴비화 악취물질인 암모니아의 생물학적 탈취처리는 가축배설물 처리와 자원순환이용 및 축산환경 보전에 중요한 기술이다. 퇴비재료의 퇴비화온도, 수분, 탄질비, 산도, 통기량 및 통기성 등을 퇴비화처리 작업에 큰 영향을 미치고(Hong et al., 1983), 퇴비탈취 재료의 온도, 수분, 산도, 악취가스 부하량 등은 암모니아 등의 악취물질 제거율에 영향을 크게 미친다(Hong and Park, 2004).

본 연구는 상기에 언급된 기존에 연구 성과와 함께 호기성 퇴비화처리(홍지형과 최병민, 1998) 과정의 이분해성유기물 분해 작용, 톱밥을 사용한 암모니아 가스의 생물학적 탈취처리과정(홍지형과 박금주, 2005) 및 취기 물질의 흡착/분해 작용 등에 관여하는 생물물리학적 미생물의 최적환경 조건(Hong and Park, 2005) 등을 활용하였다. 밀폐형 통기 교반식 퇴적퇴비화 발효조 및 암모니아 등의 퇴비화 악취물질을 톱밥바이오필터 탈취조에서 퇴비화 반응온도, 악취물질 제거율, 퇴비

부숙도 등을 종합 분석하여 가축배설물 고형분퇴비화 및 퇴비화 악취물질 생물학적 탈취처리기술을 실용화 보급하는데 의의가 있다.

축사에서 배출되어 저류조(피트:pit) 내에 들어있는 양돈 배설물을 고액 분리한 고형분과 톱밥(부자재) 혼합물을 밀폐형 교반 통기식 퇴비화처리 및 퇴비화 암모니아를 톱밥 바이오필터로 탈취처리 하였다. 본 연구의 목적은 퇴비화 및 악취물질의 탈취처리에서 퇴비화 온도, 퇴비재료의 화학적 성분변화, 종자 발아율 등에 따른 퇴비 부숙 판정 및 퇴비 탈취전 후에 암모니아 농도 변동 등의 특성을 비교분석하여 보다 과학적이고 합리적인 밀폐형 통기 교반식 퇴적퇴비화 및 생물학적 탈취처리 기술개발에 있다.

재료 및 방법

파일럿 규모의 고액분리 돈분, 고액분리 차즙액 정화처리 잉여오니, 톱밥 등의 혼합물 퇴비화 및 퇴비화 악취물질인 암모니아가스의 톱밥 생물학적 탈취실험은 2006년 9월 6일부터 11월 15일까지 수행되었다. 주발효 및 후숙 9주간의 기간 동안에 경기도 안성시 일죽면 K농장 양돈시설의 슬러리 저류조의 고액혼합물을 원심형 고액분리기로 고액 분리된 돈분, 잉여오니 및 톱밥 부자재를 퇴비화 재료로 사용 하였으며, 총 10주간에 걸쳐서 3반복 실험하였다.

밀폐형 통기교반식 퇴비화 혼합교반 작업은 1일 1회 로터리 교반기로 수행 하였다. 장방형 로터리 통기교반식 퇴비화 3주간에 발효조는 길이 10 m, 높이 1 m, 나비 4 m의 크기이며, 3주간에 후숙조는 길이 5 m, 높이 1 m, 나비 4 m이고, 저장조(길이 5 m 높이 1.5 m 나비 3 m)로서 구성되었다. 이들은 각각 Photo 1의 우측 부분과 같으며, 개방형 톱밥 바이오필터 탈취조 크기는 길이 5 m, 높이 0.6 m, 나비 1.5 m의 구조로서 Photo 1의 좌측 부분과 같다.

밀폐형 발효조 및 개방형 탈취조의 바닥 통기 및 취기 탈취 배관(PVC관 내경 8 cm) 형상은 토나먼트형으로서 배관은 50 cm 간격

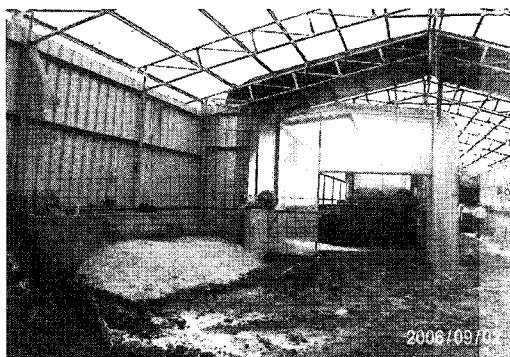


Photo 1. Experimental apparatus for composting manure and sawdust biofiltration.

이었다.

저류조 내에 양돈 슬러리를 용적형 펌프(소요동력: 3kW)로 흡상하여 스크류형 고액 분리(MCL-200)에서 약 0.5 t/h로서 고액 분리된 고형분, 그리고 착즙액 정화처리 과정에서 발생된 침전조 내에 잉여오니의 고액분리 고

형물 및 톱밥 등을 중량비 8:2:3 비율로서 로우더로 혼합하여 퇴비화 원료로서 활용하였다(Fig. 1의 점선내부).

발효조는 1,100 mmAq의 터보팬(DB-230)에서 통기량을 100 L/min./m²으로 조정하여 산소를 공급하였으며, 탈취조에 유입되는 환기 팬의 배기 가스량도 발효조 통기량과 같게 조정하여 통기처리 하였다. 로터리교반기(소요동력: 15kW)의 주행속도는 3.5m/min. 이었다.

대기온도와 퇴비화 온도 및 탈취조 유입 전후에 암모니아 농도는 매일 발효조 로터리교반 직전에 각각 디지털온도계(YF-160A) 및 가스농도측정기(GASTEC 801)에 의해 측정하였다.

퇴비온도는 퇴비재료 투입 기점으로부터 퇴비화 진행방향에 따라 1 m 간격으로 발효조 10 m(20일째)까지 그리고 후숙조 15 m(30일째) 사이에 위치한 반응조 중간점 부근의 퇴비재료 상부로부터 30 cm 깊이에서 측정하

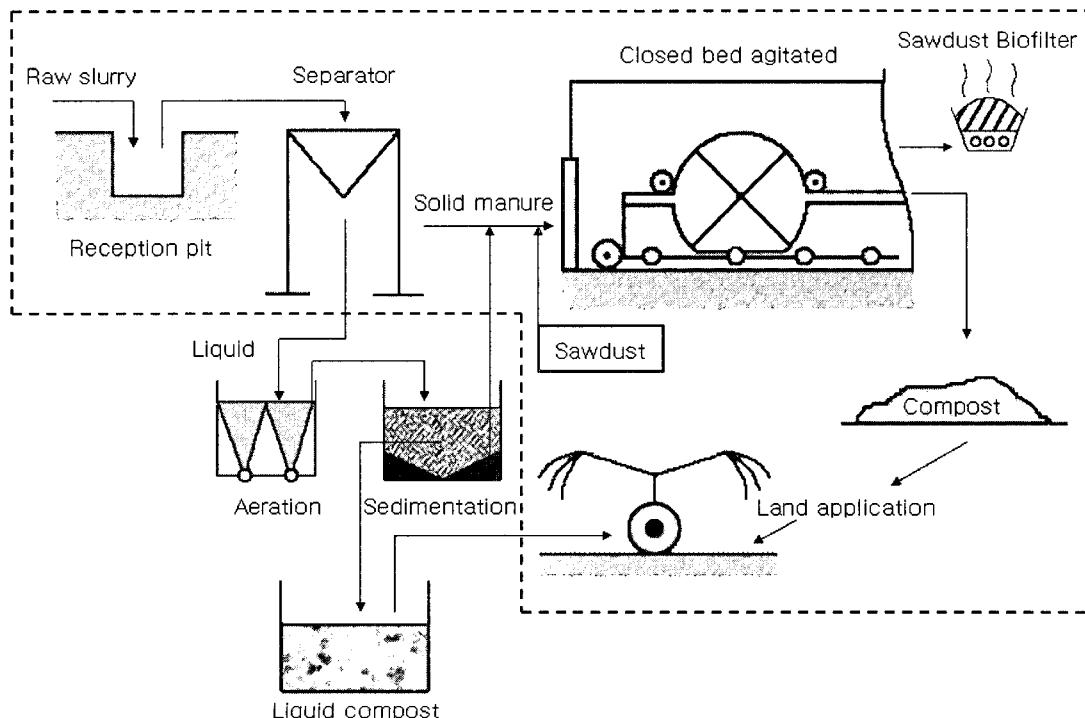


Fig. 1. Schematic diagram of process for composting manure and biofiltration.

였다. 톱밥 탈취조에 유입되는 암모나이 농도는 취기의 흡기팬 앞에 탈취조 입구 측에 직경 10 mm 구멍에 클램프 달린 고무비닐호스를 열어두고 계측하였고, 톱밥 탈취처리 후에 농도는 탈취재료 중심 상부 30 cm 위치에서 1일 1회 퇴비 교반혼합처리 직전에 퇴비화처리 및 탈취처리 기간 동안 연속측정 하였다.

퇴비품질 기준이 되는 퇴비재료의 수분, 산도, 탄질비 등의 이화학적 성분은 퇴비 특성(Brinton, 2000)을 나타내며, 퇴비화 온도변화, 종자 발아시험 및 EC농도(전기전도도; 염류농도) 등은 퇴비 부숙도 판정(Epstein, 1997; Haug, 1993)에 기준 요인이 된다.

퇴비재료의 초기 및 최종 이화학적 성분 요소인 수분(MC), 산도(pH), 전탄소(T-C), 전질소(T-N), 탄질비(C/N) 등은 농촌진흥청 토양화학성질 표준분석법(농촌진흥청, 1988)에 따라 측정하였으며, 퇴비재료의 이화학적 성분 및 부숙도 분석용 시료는 퇴비재료 표면에서 30 cm 아래의 임의 5곳에서 200 gr을 채취하여 얻어진 3개소 측정치의 평균치로 나타내었다.

퇴비재료의 종자발아(GR : Germination Rate) 시험 및 EC농도 등은 시료를 채취하여 3반복 평균치를 활용하고, 실험방법은 다음과 같다.

퇴비재료의 종자 발아율 실험방법은 Pare et al(1997) 등의 무 종자(학명 : *Raphanus acanthiformis radish*) 실험방법에 따라 수행하였으며, 셀에 생 퇴비 10 gr과 물 20 ml을 넣어

두고 여과지에 통과된 뒤에 종자 30개를 파종하여 실온에서 3일 후에 발아율 및 생육상황을 퇴비를 넣지 않고 물만 넣은 대조구와 비교하였다.

EC 농도는 전물퇴비 5 gr에 중류수 50 ml을 가하여 30 분간 흔든 후에 EC 미터로 측정하였다.

결과 및 고찰

파일로트형 로터리 통기 교반식 밀폐형 발효퇴비화실험용 고액분리 돈분과 톱밥 부자재 및 퇴비화처리 전후의 이화학적인 성분변동은 각각 Table 1 및 2와 같다. 고액분리 돈분재료 수분은 75~84%, 산도는 8.2~8.6, 탄질비는 12~15 등 이였으며, 톱밥재료 수분은 13~46%, 산도는 7.1~7.3 및 탄질비는 358~1490 범위를 나타내었다.

퇴비화 초기 재료 수분은 56~58%, 산도는 8.1~8.3 탄질비는 16~18 등의 범위를 나타

Table 1. Properties of feed stock materials in compost mixes

Properties	Separated hog manure	Sawdust
MC (% , wb)	75.0 ~ 84.0	13.4 ~ 45.7
pH (-)	8.2 ~ 8.6	7.1 ~ 7.3
T-N (% , wb)	2.6 ~ 3.4	0.03 ~ 0.16
T-C (% , wb)	38.9 ~ 42.2	44.7 ~ 57.2
C/N (-)	12.4 ~ 15.0	358 ~ 1490

Each composition value is the average of three runs.

Table 2. Initial and final physicochemical properties of compost mixes before and after composting in experimental runs 1, 2 and 3

Test series	Time(day)	MC(% ,wb)	pH(-)	T-N(% ,wb)	T-C(% ,wb)	C/N
Run 1	0	56.7	8.1	8.5	4.1	17.6
	21	50.4	7.7	2.6	43.5	16.7
Run 2	0	57.5	8.3	2.5	45.2	18.1
	21	51.8	7.5	2.6	45.1	17.3
Run 3	0	58.2	8.3	2.8	45.4	16.2
	21	51.9	7.8	2.6	41.8	16.0

Each composition value is the average of three samples.

내었고, 퇴비화 종기 3주째에 재료 수분은 50~52%, 산도 7.5~7.8 및 탄질비 16~17 등으로 초기값보다 다소 떨어진 수치를 나타내고 있었다. 이것은 이분해성유기물 분해결과에서 기인된 것으로 판단되었다.

퇴비화실험을 3회 반복할 때에 매일 측정한 퇴비온도의 평균치 변동은 Fig. 2에 나타낸 바와 같다. Run 1, 2 및 3 등의 퇴비화 온도는 퇴비화 시작 기점 2m부터 7m (퇴비화 시작 후 5일째부터 13일째) 사이에 모두 55~65°C, 3일 이상을 연속적으로 유지하여 병원균 및 잡초종자 사멸조건을 만족하고 완숙퇴비를 생산할 수 있었다.

주 발효(1차 발효)과정은 이분해성물질 및 악취물질 분해단계로서 최대로 약 3주간이 소요된다. Fig. 2의 퇴비화온도는 주 발효 시작 후 3주간(발효 시작 후 10m 구간)온도변화로서, 발효초 시작점(0m 위치)에서 0.5m/일 이동되는 동안에 퇴비화 중심부의 온도변동을 나타낸 것이다. 퇴비화 2~4일째(1~2m 위치)에 고온영역 온도 40°C에 도달되어 10~12일째(5~6m 위치)에서 고온발효(55~65°C)로서 7일 이상 고온 60°C를 연속 유지하여 이분해성 유기물의 호기성 분해, 잡초종자와 병원균 사멸 및 악취물질을 분해하는 현상을 나타내 보였다.

10 m 지점(3주째 : 55~65°C) 이후에 15 m

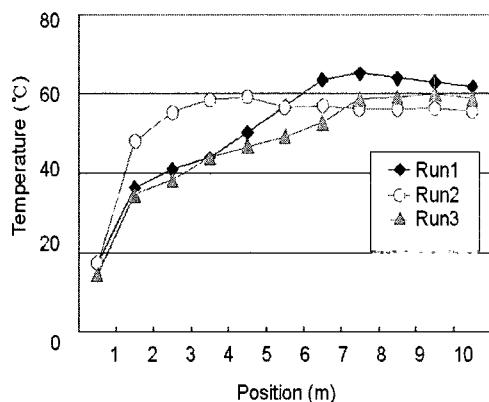


Fig. 2. Composting temperature along the agitated bed position for run 1, 2 and 3.

지점(6주째 : 후숙 10일째)까지 온도변화는 Fig. 2에 나타나지 않았으나, 이분해성유기물이 거의 소진된 3주 이후부터 5~6주째는 상온이 되어 작물에 안전과 취급을 쉽게 하는 목질성분 분해단계인 2차 발효온도(45~30°C)를 유지하고 있었다.

1차 발효로서 병원균과 잡초종자가 사멸되고 2차 발효(후숙)로서 목질성분인 탄소성분이 분해되어 식물에 유해물질이 제거되고 안정된 퇴비가 되었음을 예측 가능하였다. 이러한 결과는 3반복 실험결과 거의 비슷한 경향을 나타내 보였으며, 특이한 징후 없이 동일한 성과를 얻을 수 있었다.

일반적으로 병원균 사멸시간은 퇴비온도 55~60°C로서 1주간 정도이며 잡초종자 사멸시간은 60°C 이상으로 최소 2일간만 유지하면 되며(Epstein, 1997 ; Haug, 1993), 퇴비화 발효처리로서 고온(55~65°C)이 2일 이상 되면, 병원균, 잡초가 사멸되고 악취가 없는 저수분의 양질퇴비 생산이 가능하다(NRAES, 1992; Hong, 1983). 이러한 연구 결과보고 들은 본 연구 성과와 일치하는 것을 알 수 있었다.

Table 3에서 퇴비화 처리 주발효 3주일 이후에 3주간 후숙 처리된 완성퇴비의 무 종자발아율 및 EC 농도 등의 부속도 관련 지표를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 종자발아율(GR)은 60% 이상 및 EC 농도는 5 ds/m 이하를 유지하여 완숙 퇴비를 나타내어 보였다.

Run 1, 2 및 3에서 퇴비화 배기ガ스 암모니아 농도 및 톱밥바이오플터 탈취처리 후에

Table 3. Evaluation of compost maturities for experimental test series

Test series	Seed germination rate (GR : %)	EC (sd/m)
Run 1	86 ~ 90	3.5 ~ 3.6
Run 2	70 ~ 80	4.5 ~ 4.8
Run 3	88 ~ 93	2.8 ~ 2.9

Each composition value is the average of three samples.

배출가스 암모니아 농도는 Fig. 3, 4 및 5에 나타낸 바와 같으며, 일반적으로 각각 평균 44~58 ppm 및 26~44 ppm 범위를 유지하고 있었다. 퇴비화 암모니아 농도가 비교적 작게 배출된 것은 퇴비화 온도가 적정 범위인 고온영역 55~65 °C 내외를 7일 이상 적절하게 유지하여 발효 후 2주 동안에 이분해성 유기 물질이 거의 소진되어 악취물질이 작게 배출된 것으로 판단되었다.

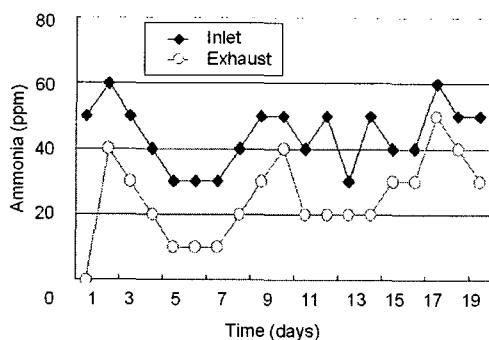


Fig. 3. Time - ammonia emission plot with observed composting and biofiltration for experimental run 1.

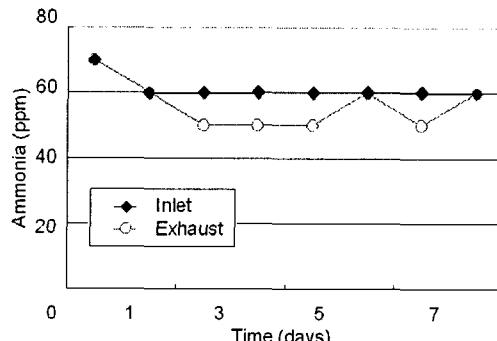


Fig. 4. Time - ammonia emission plot with observed composting and biofiltration for experimental run 2.

Fig. 2의 퇴비화 온도가 10~12일째(발효 시점에서 5~6 m 위치)부터 55~65 °C 이상으로 10일 이상정도 지속 되었고, Table 2에서 수분이 57~58 %, 산도가 8.1~8.3 및 탄질비가 16~18을 유지하고, Table 3에서 종자발아

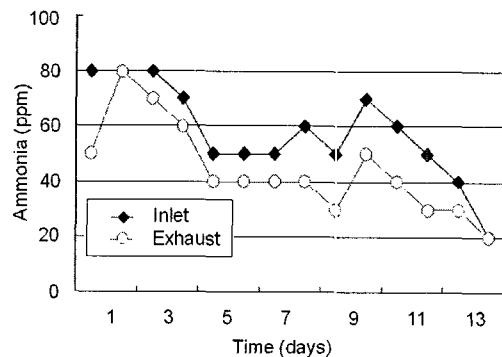


Fig. 5. Time - ammonia emission plot with observed composting and biofiltration for experimental run 3.

을 70~93% 및 EC 농도 5 ds/m 이하 등으로 완숙 퇴비 조건을 만족하였다.

Fig. 3, 4 및 5 등의 3반복(run 1, 2 및 3) 실험결과에서 퇴비화 암모니아가스 및 톱밥 탈취처리 가스농도 실험결과로부터 퇴비화 배기ガ스 암모니아 농도가 각각 평균 44, 54 및 58 ppm이며, 탈취처리 후에 암모니아 농도가 각각 평균 26, 42 및 44 ppm으로서 최대허용농도 범위 50 ppm 이하를 유지하여, 대기오염을 방지할 수 있었다.

일반적으로 현장에서 사용되는 완숙퇴비 판정은 퇴비화 온도 변화, 발아율 측정, 지렁이 활동 및 퇴비 색도와 냄새, 형상 등이다. 퇴비화 온도는 고온영역 55~60 °C 이상 2일 이상이고, 발아율은 60% 이상이며, 퇴비재료 내부에서 지렁이 활동이 활발해야 하고, 퇴비 색도는 흑갈색이며, 암모니아 농도는 50 ppm 이하로서 퇴비냄새가 나며, 퇴비수분은 40~50% 등이 기준이다(Haug 1993; Wiles et al., 2000). 본 연구 결과는 이들 연구자의 연구 성과와 거의 동일한 연구결과를 나타내고 있었다.

적 요

퇴비화 목적은 축분을 오물감과 악취 없이 살균처리하고, 토양과 작물에 무해한 유기성 자원의 순환이용이다. 퇴비화 호기성 미생물

의 이분해성 유기물 (영양원: 탄질비) 분해 적정조건은 수분, 공기, 온도, 퇴비화 기간 등이며, 퇴비화 부속 목적은 이분해성 유기물분해 및 생육저해 물질분해 등에 있다. 부숙도 판정법은 퇴적물의 온도변화(이분해성유기물분해 검사) 및 발아시험(생육저해물질 검사)등이 바람직하다.

본 연구는 퇴비화 온도, 퇴비화 암모니아가 스 농도와 악취물질의 탈취처리, 종자 발아율, 퇴비재료 성분 및 EC 농도 등의 퇴비화 부숙도 주요 요인에 대한 3회 반복 실험성과는 다음과 같다.

본 연구결과로서 퇴비화 주발효 및 후숙 6 주간 전반기에서 이분해성 유기물 분해와 쥐기물질 제거에 관련된 퇴비화 온도, 암모니아 농도, 탄질비 및 염류농도, 후반기 후숙 기간에 작물생육저해물질 제거에 연관된 발아율과 탄산가스 발생량 등을 실측조사 분석한 결과는 다음과 같으며, 안정된 숙성 퇴비의 적정 범위를 유지하여 양질 퇴비 생산이 가능하였다.

1. 축사저류조의 돼지배설물의 고액분리 고형분과 착즙액 정화처리 잉여오니 및 톱밥혼합물의 퇴비화 온도가 55~65°C를 2일 이상 유지하여 병원균과 잡초 종자를 사멸하고, 악취가 미미한 44 ppm 이하수준의 비교적 낮은 암모니아농도 및 50% 내외의 저수분의 양질 퇴비 생산이 가능하였다.

2. 퇴비화 실험결과는 퇴비화 온도가 55~65 °C로서 1주간 이상, 퇴비재료 수분 50%, 종자 발아율 70% 이상 및 EC 농도 5 ds/m 이하 등의 수준을 유지하고 있어 완숙퇴비 조건을 구비하고 있었다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 대한민국 환경부환경기술진흥원의 차세대 핵심환경 기술개발사업 연구비 지원으로 수행되었으며, 저자들은 본 연구사업에 적극 지원한 안성시 일죽면 풍산농장 홍명희 사장님, 신강하이텍 조성주 사장님을 비롯한 김태곤 이사님, 최일병 부장님,

김형근 씨 및 본 대학 연구원 안병주 군, 박경찬 군, 김진욱 군, 차유광 군 등의 뜨거운 성원과 협조, 그리고 관련 교직원의 친절한 배려에 중심으로 감사드립니다.

인용 문헌

1. Brinton, W. F. 2000. Compost quality standards and guidelines. Woods End Research Laboratory, Inc. USA. pp. 32-35.
2. Epstein, E. 1997. The Science of Composting. Technomic Publishing Co. Inc. Basel, Switzerland. pp.36-39.
3. Haug, R. T. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers.
4. Hong, J. H. and K. J. Park. 2005. Compost biofiltration of ammonia gas from bin composting. Bioresource Technology 96(6) : 741-745.
5. Hong, J. H. and K. J. Park. 2004. Wood chip biofilter performance of ammonia gas from composting manure. Compost Science and Utilization 12(1):25-30.
6. Hong, J. H., J. Matsuda and Y. Ikeuchi. 1983. High rapid composting of dairy cattle manure with crop and forest residues. Transactions of the ASAE 26(2):533-541 & 545.
7. NRAES. 1992. On-Farm Composting Handbook. Ed. R. Rynk. Northeast Regional Agricultural Engineering Service Cooperative Extension. Ithaca, N. Y.
8. Wiles, M. C., D. L. Elwell, H. M. Keener, J. C. Amburgey, D. C. Borger and L. B. Willett. 2000. Volatile fatty acid emission during composting of swine waste amended with sawdust as a measure of odor potential. Compost Science and Utilization 9(1):27-37.
9. Pare, T., Gregorich, E. G. and Dinel, H. 1997. Effects of stockpiled and composted manures on germination and initial growth

- of cress(*Lepidium sativum*). Biol. Agric. Hortic. 17:3-11.
10. 한국농촌진흥청. 1988. 토양화학시험 표준 시험분석법, 수원, 한국.
11. 홍지형, 박금주. 2005. 퇴비화 암모니아 휘산의 축분퇴비 생물학적 탈취처리. 한 국도시환경학회지 5(1):13-21.
12. 홍지형, 최병민. 1998. 상업용퇴비화를 위한 연속통기식 파이로트 규모 반응조의 퇴비화 특성. 한국축산시설환경학회지 4 (2):149-160.