

간헐통기 방법에 의한 순환퇴비화 시스템의 예비연구

Preliminary Study on the Recycled Composting System Using Intermittent Aeration

최 명 환* 홍 지 형** 박 금 주** 최 원 춘**

정회원 정회원

M.H.Choi J.H.Hong K.J.Park W.C.Choi

1. 서 론

왕겨는 유기성 폐기물의 퇴비화 처리에 톱밥 대체용 부자재로 널리 사용되고 있다. 또한 축산농가에서 일반적으로 축사의 깔짚재로 이용하는 부자재이다(박승제, 1999). 그러나 수급이 불안정하고 가격이 고가이므로 축산농가나 유기성폐기물 처리공장의 경영상의 문제점으로 작용하고 있다. 따라서 순환퇴비의 재활용은 부족한 부자재의 수급과 구입비용 절감에 기여하는 바 이에 대한 합리적인 기술도입이 필요하다.

유기성폐기물의 호기성 퇴비화는 탄수화물, 지방 및 단백질 등의 유기물을 미생물에 의하여 보다 안정된 부식물질(humus)과 난분해성 물질로 변화하는 과정이다. 탄수화물은 산소와 반응하여 최종적으로 물과 이산화탄소로 변화하고 단백질과 지방은 분자량이 적은 물질로 변화되면서 동시에 이산화탄소, 물 및 암모니아를 발생시킨다. 이때 유기물은 분해되면서 열을 발생한다(박 등, 1999). 따라서, 온도, 수분 및 탄질비는 퇴비화 과정의 공정 지표로 이용된다.

퇴비화의 과정은 미생물에 의한 유기물의 분해과정이라 할 수 있는데, 이상적인 수분함량은 초기 전처리 과정에서 40~65%를 유지하여야 한다. 그러나 왕겨와 같은 입경이 큰 부자재는 공극을 충분히 확보할 수 있어 86% 정도까지 유지하여도 미생물의 활성을 유지할 수 있다(Haug, 1993).

퇴비재료의 호기성 분해, 잡초종자 및 병원균 사멸을 위한 퇴비화 적정온도는 40~60℃이며, 특히 2~3일 동안의 55~60℃ 온도유지가 필요하고, 호기성 미생물의 유기물 분해활동으로 발생된 암모니아 가스는 탈취처리 하는 것이 중요하다(홍 등, 1999).

따라서, 본 실험의 연구목적은 부자재 비용저감을 위한 생물계 폐기물의 퇴비화 처리작업의 효율을 개선하기 위하여 홍 등의 연속통기 방법에 의한 호기성 발효실험과 비교·연구하여 보다 효율적인 퇴비화 시스템의 개발 및 퇴비화 시설의 기초 연구자료를 얻는데 있다.

* 순천대학교 농생대 동물자원과학과

** 순천대학교 농생대 농업기계공학과

2. 재료 및 방법

퇴비화 재료는 순천대학교 부설농장의 유우분과 왕겨를 부자재로 사용하였으며, 실험 방법은 이들 재료를 Table 1의 비율로 배합하여 1차는 유우분(16kg)과 왕겨(2.6kg) 혼합물(I), 2차는 유우분(18kg), 왕겨(2kg) 및 1차 순환퇴비(2kg)의 혼합물(II) 그리고 3차는 유우분(14kg)과 2차 순환퇴비(4.7kg)의 혼합물(III)을 이용하여 연속적으로 실험하였다. 실험재료인 유우분, 왕겨 및 순환퇴비 등의 배합은 혼합물의 적정 초기재료의 수분과 탄질비를 고려하여 실험실내 콘크리트 바닥에서 인력으로 배합하였으며, 반응조 투입전과 퇴비화 종료 후에 퇴비재료 임의의 6개소 위치에서 시료를 800gr씩 추출하여 이화학적인 성분을 분석하였다.

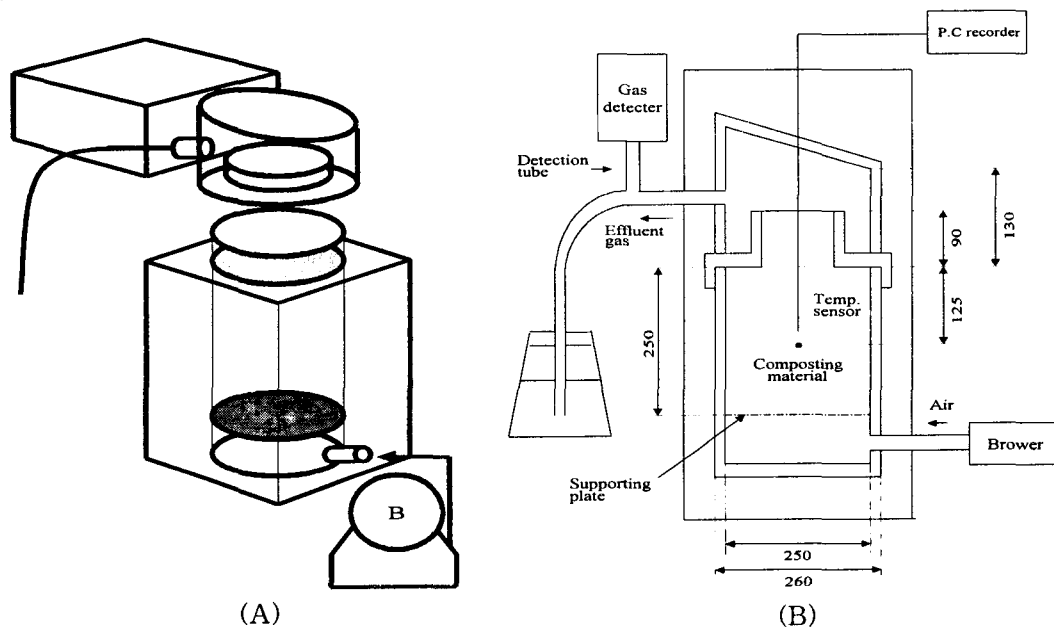


Fig. 1 Schematic representation of 12.3 l vessel(A) and a sectional diagram of the laboratory scale unit(B)

실험에 사용된 반응조는 Fig. 1과 같은 12.3 l의 회전식 원통형으로 외부는 단열재로 둘러싸아 열의 유출을 억제하였으며, 반응조 3개에 동일 수준에 같은 성질의 실험재료를 넣어 10일 동안에 적정 통기량 0.1~0.2 l/min.kg.dm 범위로 5분 통기 55분 정지하여 퇴비화 처리하였다. 한편, 1, 2 및 3차 퇴비화 처리 수준별로 3개의 반응조에서 동시에 퇴비화 제 특성(수분함량, pH, Ash, EC, 탄질비 등)을 측정하였다. 퇴비화 초기 및 종료시 재료의 이화학적 성질은 한국농촌진흥청(RDA, 1988)의 토양화학 표준분석법에 의하여 측정하였으며, 3반복 평균치를 이용하였다.

본 실험에 사용된 퇴비화 장치는 반응조 및 반응조 상부 뚜껑의 응축수 집수, 통기팬 및

공기유량계, 온도계측장치, 컴퓨터 데이터수집 및 저장장치 등으로 구성되었으며, 통기량을 동일한 수준으로 공급하기 위하여 공기유량계 출구에 3구 커플링을 이용하여 통기하였다.

간헐통기식 퇴비화처리 과정에서 호기성 분해반응 단계의 퇴비화 온도는 반응조별로 데이터수집 장치를 이용해서 컴퓨터로 1시간 간격으로 연속 측정하여 저장하였고, 각 용기내의 평균온도는 3반복 처리방법을 비교하기 위해서 ANOVA-test를 수행하여 그 평균치를 이용하였다. 암모니아 가스 농도는 가스탐지기(GASTEC 801)를 이용하여 1일 2회 측정한 평균치를 사용하였다. 한편 순환퇴비화 시스템의 전체 실험기간은 2000년 5월 3일부터 6월 7일까지 5주간 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

퇴비화 실험의 주원료인 유우분, 왕겨 및 순환퇴비의 수분, 탄질비 및 산도는 Table 2에 나타낸 바와 같다. 왕겨는 낮은 수분과 높은 탄질비를 나타내어 퇴비화 처리를 위한 적정범위(25~30)의 탄질비를 유지하는데 좋으나, 입경이 균일하여 혼합재료 내부의 공극률과 표면적이 적어 수분흡수율이 낮아 Table 3에서 보는 바와 같이 혼합물 수분이 67~70%를 나타냈다. 순환퇴비는 탄질비가 각각 21.97, 16.48로 낮아 Fig. 3의 처리 II 및 III에서 알 수 있는 바와 같이 암모니아가스 휘산 농도가 실험 I의 결과보다 높게 나타내고 있었다. 이는 홍 등(1999)의 연속통기식 퇴비화처리에서 얻은 결과와 일치한다고 할 수 있다.

Table 1. Ratios of feedstock materials used in compost mixes

Test Series	Wet weight, kg		
	Dairy Manure	Rice Hulls	Recycled Compost
I	16.0	2.6	-
II	18.0	2.0	2.0
III	14.0	-	4.7

Table 2. Properties of feedstock materials used in compost mixes

Property	Dairy Manure	Rice Hulls	Recycled Compost	
			Run #II	Run #III
pH(-)	6.52	6.79	8.41	8.58
MC(% , wb)	79.90	10.04	12.57	33.71
Ash(% , db)	1.98	14.73	12.62	11.63
T-C(% , db)	44.47	41.41	40.43	38.08
T-N(% , db)	2.65	0.72	1.84	2.31
C/N(-)	16.78	57.51	21.97	16.48

Table 3. Initial chemical and physical properties of compost mixtures

Test Series	MC (% wb)	T-C (% db)	T-N (% db)	C/N (-)	pH (-)	Ash (% db)	Density (kg/m ³)
I	70.15	41.26	1.83	22.55	6.71	3.76	465
II	67.42	42.48	2.03	20.93	7.04	3.95	465
III	70.70	40.16	2.38	16.87	8.28	4.20	469

유우분과 왕겨 혼합물(처리 I)의 초기재료의 수분은 70.15%, 탄질비는 22.55, 산도는 6.71이고, 유우분, 왕겨 및 순환퇴비 혼합물(처리 II)의 초기재료의 수분은 67.42%, 탄질비는 20.93, 산도는 7.04이며, 유우분과 처리 II에서 얻은 순환퇴비 혼합물(처리 III)은 초기재료의 수분이 70.70%, 탄질비는 16.87, 산도는 8.28을 나타내었다(Table 3).

퇴비화 분해과정의 미생물의 활동으로 발생하는 열이 퇴비재료의 온도를 상승하게 하였으며, 이것은 퇴비재료 내부의 잡초 종자 및 병원균 사멸과 퇴비 안정성 등의 퇴비화 성능 지표가 된다(홍 등, 1999).

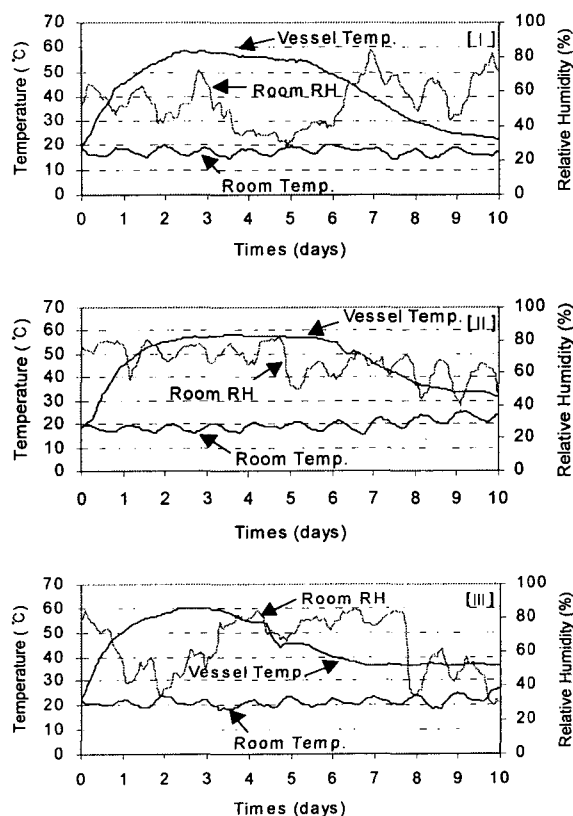


Fig. 2 Average temperature and relative humidity data from laboratory vessel with test series I, II, III

Fig. 2는 순환 퇴비화 시스템의 처리 I, II 및 III에서 동일한 초기재료의 수준의 3개 반응조에 대한 퇴비화 평균온도 및 실내온도와 습도 변화 등을 나타낸 것이다. Fig. 2에서 최고 온도에 도달하는 시기는 처리 I, II 및 III이 각각 2.5일(58°C), 3.5일(58°C), 2.5일(60°C)을 나타냈고, 종료시(10일) 온도는 22, 32, 37°C를 나타냈다. 이는 홍 등(1999)의 연속 통기식 퇴비화 처리시 1.5일째 최고온도(63~72°C), 종료시(10일) 온도가 29~30°C를 나타내는 것과 유사한 경향을 나타냈다.

또한, Fig. 2에서 잡초종자 및 병원균 사멸을 위한 55~60°C의 온도 유지기간은 I, II 및 III처리실험에서 2.7, 4.1, 2.5일 동안 지속되어 처리 II의 경우가 고온유지 기간이 가장 길어 안정된 퇴비화 방법이라 할 수 있다. 동일한 조건으로 연속통기시(홍 등, 1999)의 실험과 비교하면 처리 I, II, III에서 모두 병원균 사멸온도 유지 기간이 길게 나타났다.

퇴비화 분해 단계의 암모니아 가스 휘

산농도의 변화는 Fig. 3과 같으며, 실험 I 처리에서는 퇴비화 3일째에 최고 52ppm을 나타낸 후에 종료시 12 ppm에 도달하였으나, 실험 II 처리는 10일째에 최고 76 ppm, 실험 III 처리는 4일째에 420 ppm이며, 10일째는 106 ppm으로 높게 나타났다.

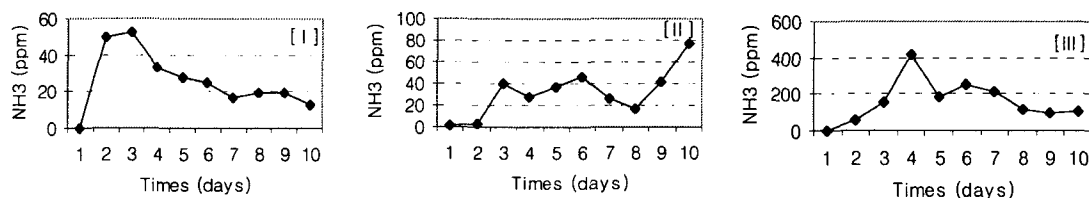


Fig. 3 Ammonia emission variations for laboratory vessel with treatment I, II and III

홍 등(1999)에 의하면 이러한 암모니아 가스 농도가 증가하는 원인은 순환퇴비의 산도가 8.41, 8.58로 높은 값을 나타내어 질소손실이 많고, 탄질비가 21.97, 16.48로 낮기 때문에 일어나는 현상이다. 따라서, 순환퇴비화 시스템에는 탈취처리가 필요하였다.

Table 4. Final chemical and physical properties of composted mixtures

Test Series	Description	MC (% , wb)	T-C (% , db)	T-N (% , db)	C/N (-)	pH (-)	Ash (% , db)	EC (mS/cm)	Density (kg/m ³)
I	Vessel #1	68.67	40.38	1.76	22.94	8.40	4.73	3.00	437
	Vessel #2	70.14	40.74	1.76	23.15	8.53	4.31	2.60	452
	Vessel #3	69.99	40.37	1.78	22.68	8.49	4.48	2.80	434
II	Vessel #1	68.78	39.48	1.97	20.04	8.65	4.78	2.50	424
	Vessel #2	68.81	39.20	2.27	17.27	8.50	4.95	2.60	426
	Vessel #3	67.25	39.11	2.11	18.54	8.69	5.20	2.60	439
III	Vessel #1	69.68	38.15	2.36	16.16	8.51	5.28	3.90	416
	Vessel #2	69.71	37.90	2.84	13.35	8.72	5.71	4.00	422
	Vessel #3	69.68	37.59	2.93	12.83	8.71	5.54	4.00	437

Table 5. Loss in mass and condensed water generated

Test Series	Description	Mass (kg)			Percent loss (%)	Condensed water (gr)
		Initial	Final	Loss		
I	Vessel #1	5.72	5.38	0.34	5.94	20
	Vessel #2	5.72	5.56	0.16	2.80	20
	Vessel #3	5.72	5.34	0.38	6.64	40
II	Vessel #1	5.72	5.22	0.50	8.74	40
	Vessel #2	5.72	5.24	0.48	8.39	20
	Vessel #3	5.72	5.40	0.32	5.59	20
III	Vessel #1	5.72	5.12	0.60	10.49	20
	Vessel #2	5.76	5.20	0.56	9.72	40
	Vessel #3	5.84	5.38	0.46	7.88	40

Table 4는 실험 종료 후 처리 I, II, III의 주요성분을 나타내고 있다. 여기서, 수분함량은 퇴비 품질 판정 기준의 최적 수분 30~40%를 초과한 67~70%로서 건조가 필요하였으며, 탄질비는 처리 I은 23로서 적정수준인 20보다 높게 나타나 순환퇴비로 다시 이용할 수 있음을 나타내며, 처리 II와 III은 20이하를 유지하고 있다. 산도는 처리 I, II, III이 8.4~8.7로서 적정치인 6~8보다 약간 높게 나타났다. 또한 전기전도도(EC)는 모든 처리에서 퇴비 품질 판정 기준(4.0이하)인 2.5~4.0을 나타내고 있었다.

퇴비화 분해 단계 전후의 질량감소 및 응축수 발생은 Table 5와 같으며 질량 감소율은 침출수(340~520gr)를 포함한 값으로 3~10% 범위에 있었으며, 응축수 발생은 20~40gr 정도였다.

결론적으로, 부자재 비용절감을 위한 유우분과 왕겨 혼합물의 간헐 통기식(5분작동, 55분정지) 순환퇴비화 처리시스템은 홍 등(1999)의 연속통기식 시스템과 비교하여 볼 때, 퇴비화 초기에는 연속통기식이 바람직하며, 후기 안정화 단계에서는 간헐 통기식으로 처리하여 충분한 후숙 과정이 필요하다. 특히, 처리 II와 III을 통해서 유우분과 왕겨 혼합물의 순환퇴비의 이용은 순환퇴비와 왕겨를 1:1의 비율로 혼합하여 퇴비화에 이용하는 것이 더 효과적임을 알 수 있다. 또한 분해 단계의 배기가스의 생물학적 탈취처리 및 분해단계 이후의 안정화 퇴비의 수분 저하를 위해서 자연 건조가 필요하였다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 가축분뇨 고품 퇴비화처리에 사용되는 부자재의 구입 비용 절감과 퇴비화처리 작업 성능 개선을 위해서 안정화 퇴비를 부자재로 일부 순환 이용하는 순환 퇴비화 시스템 개발을 목적으로 홍 등(1999)의 연속통기식 순환 퇴비화 시스템과 비교·분석하기 위하여 수행되었다. 유우분에 왕겨를 혼합하여 최적 수준의 통기량 범위에서 초기재료의 수분, 탄질비, 산도, 전기전도도 등이 같은 재료로서 3개의 실험수준으로 3개의 반응조에서 퇴비화 처리하는 동안에 분해 단계의 퇴비온도, 암모니아 가스 농도, 퇴비 품질 등을 측정하여 퇴비화 성능과 안정화 정도를 비교하였다.

본 연구에서는 유우분에 왕겨와 순환퇴비 혼합 정도가 퇴비 품질과 암모니아 휘산에 미치는 영향을 파악하기 위하여 퇴비의 이화학적 성질, 퇴비온도 및 암모니아 가스 농도 등을 비교 분석한 것으로서 주요 결과는 다음과 같다.

1. 퇴비화 분해단계의 온도변화는 순환퇴비의 비율이 높을 수록 후숙 기간이 길어졌으며 퇴비품질 기준의 적온 영역인 40~60℃를 유지하였고, 병원균과 잡초종자 등의 사멸온도(55~60℃)를 2~3일 이상 유지하였다.
2. 퇴비화 기간의 암모니아 휘산은 순환퇴비의 혼합량이 많을수록 크게 나타났으며, 이것은 산도가 8.7~8.5, 탄질비가 20이하로 낮기 때문이다.

3. 퇴비화 품질은 수분이 퇴비 품질 판정 기준의 최적 수분 30~40%를 초과한 67~70%로 건조가 필요하였고, 산도는 적정 값(8이하)보다 약간 높은 8.4~8.7을 나타냈다.
4. 탄질비는 유우분과 순환퇴비 혼합물은 20이하로서 적정수준을 나타냈으며, 왕겨 혼합물에서는 20이상으로 약간의 안정화 기간이 필요하였다.
5. 전기전도도(EC)는 모든 처리에서 퇴비화 품질 기준(4.0이하)에 적합한 2.5~4.0을 나타냈다.

5. 참고문헌

1. 농촌진흥청 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법
2. 박금주, 홍지형. 1999. 회분식 퇴비화 시스템에서 제어변수가 호기성 분해성능에 미치는 영향. 한국농업기계학회지. 24(4): 359-364
3. 박금주, 홍지형. 1999. 회분식 퇴비화 시스템에서 제어변수의 시뮬레이션. 한국농업기계학회 1999년 동계 학술대회 논문집. 4(1): 302-307
4. 박승제. 1999. 우리나라 왕겨 및 왕겨재의 화학적 조성 성분. 한국농업기계학회 1999년 하계 학술대회 논문집. 4(2): 307-312.
5. 홍지형. 1998. 상업용 퇴비화를 위한 간헐통기식 파이로트 규모 반응조의 성능. 한국유기성폐기물자원학회지. 6(2): 31-44
6. 홍지형, 박금주, 손보균. 1999. 우분과 왕겨 혼합물의 송풍식 통기 퇴비화 과정 중 암모니아 휘산 실험. 한국농업기계학회지. 41(2): 55-60
7. 홍지형, 최명환, 박금주. 1999. 부자재 비용 저감을 위한 순환퇴비화 시스템의 예비 연구. 1999년도 한국농공학회 학술발표회 발표논문집 pp:405-410.
8. J. H. Hong, K. J. Park, B. K. Sohn. Effect of composting heat from intermittent aerated static pile on the elevation of underground temperature. Applied engineering in agriculture american society of agricultural engineers. Vol. 13(5): 679-683
9. J. H. Hong, J. Matsuda, Y. Ikeuchi. High rapid composting of dairy cattle manure with crop and forest residues. Transactions of the ASAE. Vol. 26(2): (533-545)
10. K. V. Lo, A. K. LAU, P. H. LIAO. 1993. Composting of Separated Solid Swine Wastes. J. agric. Engng Res. 54: 307-317.
11. M. Brouillette et al. 1996. Composting paper mill deinking sludge with forced aeration. Canadian Agricultural Engineering. Vol. 38. No. 2: 115-122.
12. M. Sartaj, L. Fernandes, N. K. Patni. 1997. Performance of Forced, Passive, and Natural aeration methods for Composting Manure Slurries. Transactions of the ASAE 1997 American Society of Agricultural Engineers. Vol. 40(2): 457-463.