

톱밥 절감형 돈분 슬러리 연속 퇴비화 공정 연구

류 종 원

상지대학교

Study on the Continuous Composting Process to Reduce the Use of Bulking Agent in Pig Slurry

Ryoo, J. W.

College of Life Science and Natural Resources, Sangji University

Summary

To develop the composting system to reduce the use of bulking agent, continuous composting was performed with farmer scale facility, The plant comprises a horizontal pit reactor closed inside a greenhouse and equipped with a turning machine moving on rails. The pit was 9m wide and 50m long and the maximum height of loaded materials was 1.8m². The materials remained in the reactor for 5 months. During the composting process, temperature and water content measured and water balance was evaluated.

The reaction temperature of composting was changed 30~50℃ and high in the middle and low in under composting piles. The moisture contents of the compost were approximately 70% during the experiment. The amount of effluent was 10.6% and 3.16m³ of pig slurry per 1m³ of bulking agent was treated during continuous composting process. BOD and SS reduction of the effluent in continuous composting was 86.5% and 92.2%, respectively. Indoor relative humidity in night time was changed between 80 and 100%.

(Key words : Pig slurry, Bulking agent, Continuous composting, Temperature, Water balance)

서 론

양돈장의 인력난 해결과 자동화를 위해서 슬러리 돈사 설치율은 증가하고 있으나 배출되는 돈 분뇨 슬러리의 적절한 처리방법이 없어서 양돈농가가 어려움을 겪고 있다. 또한 함수율이 90% 이상인 슬러리를 톱밥과 혼합하여 퇴비화 할 경우, 톱밥을 다량으로

첨가해야하는 문제점을 안고 있다. 퇴비화 시설의 경우 부자재 사용량이 많은 것이 단점으로 지적되고 있다. 최근 톱밥가격이 상승하여 수분함량이 높은 돈분뇨 슬러리의 퇴비화를 위한 톱밥 구입이 경영비를 가중시키고 있다^{1,7)}. 또한 함수율이 높은 슬러리 축사의 분뇨 혼합액을 수분조절재로서 톱밥의 첨가량을 절감 할 수 있는 퇴비화 처리기술 개

Corresponding author : Jong Won Ryoo, College of Life Science and Natural Resources, Sangji University, Wonju, 220-702, Korea.

Tel : 033-730-0516, E-mail : jwryoo@sangji.ac.kr

발이 필요한 실정이다^{2,3,4}).

본 연구는 부자재의 사용량을 줄일 수 있는 퇴비발효 시스템을 개발하기 위하여 퇴비화 과정 중에 미기상의 변화 및 유기물 분해 특성을 규명하여 톱밥 소요가 적은 효율적인 퇴비화 시스템을 개발 하는데 목적이 있다. 분뇨분리농가의 경우 분의 처리문제는 별 문제가 없으나 뇨의 처리는 활성슬러지법 등 정화 처리를 하여야 하므로 방류수 수질기준에 적합한 정도의 수질을 유지하기 어렵고 계절적으로 처리효율의 변이가 크다⁶). 분뇨혼합형태인 슬러리를 퇴비화로 처리하는 경우 많은 양의 톱밥이 소요되며 최종 생산물인 퇴비의 품질도 우수하지 않는 문제점이 있다^{5,8}). 따라서 본 연구에서는 퇴비발효상에 톱밥을 미리 깔고 가축분뇨를 주기적으로 투입하는 연속퇴비화시스템의 공정에서 수분수지, 온도변화, 톱밥소요량, 퇴비의 성분을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험수행 농장의 개황

본 연구는 실제 축산농가의 실증 플랜트 처리시설에서 연구를 실시하였다. 본 연구가 수행된 축산 농가의 가축사육 개황을 보면 평균 돼지 2,000~3,000두를 사육하고 있었다. 자돈 생산 농장이며 세척수를 다량 사용하고 있어서 슬러리의 수분함량이 높으며 1일 분뇨 배출량은 약 15m³이었다. 시험은 충북 진천군 소재 축산농가에서 2000년 12월부터 2001년 4월말까지 5개월간 수행되었다.

2. 배출분뇨의 성상

본 연구기간 동안 실험농장에서 발생된 퇴비원료인 가축분뇨의 수분함량은 Fig. 1과 같다. 축산농가의 분뇨혼합액은 슬러리 축사의

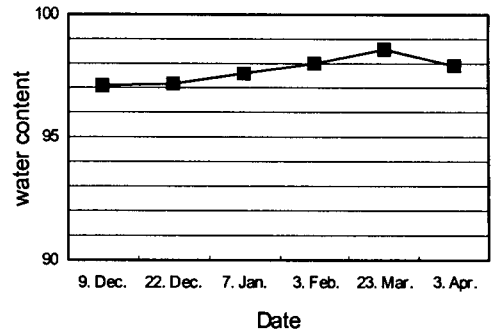


Fig. 1. Changes in water content of manure in experiment.

Table 1. Characteristics of manure used in this experiment

Components	Content
BOD (mg/l)	19,400 ~ 38,000
COD (mg/l)	25,000 ~ 45,000
T-N (mg/l)	2,100 ~ 2,800
T-P (mg/l)	320 ~ 510

분뇨이어서 수분 함량이 97~98.5%로 매우 높았다. 또한 투입 슬러리 수분함량의 변이의 폭이 매우 큰 경향이였다.

실험에 투입된 가축분뇨 시료의 이화학적 성상은 Table 1과 같다. 슬러리 축사의 투입 분뇨는 BOD 19,400~38,000mg/l 로서 농도가 높지 않았다.

3. 세부공정 설계 및 기능

가. 송풍시설

수분 함량이 높은 돈분 슬러리 처리시 퇴비화 과정 중 수분의 효율적인 증발을 유도 하는 것이 중요하다. 수분증발은 열도 중요 하지만 바람의 역할이 더 중요하다. 본 연구에서의 퇴비화시스템은 교반, 송풍 복합시스

템이다. 산기관은 별집 모양의 다공관으로 되어 있다. 산기관은 퇴비사 바닥에 3.6m 간격으로 분리하여 다수 설치하여 공기공급 면적을 넓고 균일하게 유지하도록 하였다. 송풍은 1kw 터보 브로와 송풍기를 Ø65pipe를 통하여 공급하였으며 송기량은 200ml/min.kg 이었다. 발효조 1개라인에 송풍기를 1대씩을 부착하여 발효장 내부에 강제로 산소를 공급함으로써 수분증발 및 발효를 촉진시키게 되어 있다. 산기관의 바닥은 너비 10cm, 깊이 10cm를 파서 산기관 유공파이프를 설치하고 산기관 파이프 상부 공간에 패화석 넣어 산기관의 막힘을 방지하였다. 송풍은 연속 송풍방법으로 공기를 24시간 지속적으로 공급하는 시스템으로 운영하였다.

나. 교반시설

본 연구에서의 교반기는 로타리발 밑에 분뇨를 살포하는 동시에 교반을 실시하게 되어 있다. 교반은 통상 3일 주기로 운전하며 1일째는 분뇨투입과 동시에 교반이 이루어지고 2일째는 분뇨투입 없이 교반만 하고, 3일째는 분뇨살포와 교반이 이루어지게 운전하였다. 본 시설의 경우 교반기 로타리발은 1.5m 높이로 높게하여 발효조의 상하혼합을 원활하게 하였다.

다. 분뇨 살포장치

슬러리축사의 분뇨는 저장조에 자연유하시 배관으로 퇴비사 저장조에 이송한다. 저장조의 분뇨는 펌프에 의하여 흡입되어 이송배관을 통하여 이송되어 퇴비 발효조에 살포하게 된다. 분뇨 살포장치는 혼합 교반기 전면에 부착하여 분뇨를 살포하면서 동시에 교반을 하여 분뇨와 수분조절재를 혼합시킨다. 분뇨살포 지점은 로타리발 위치에 뿌려주도록 설계하였으며 살포와 동시에 교반되도록 하였다.

라. 침출수 배출

본 처리시스템의 침출수 배출은 산기관 요홈에 고여 있는 침출수를 강제 송풍에 의한 부로아 공기압이 있는 상태에서 침출수 강제 배출 레버를 열면 침출수를 침출수 저장조로 유도 배출되도록 설계하였다.

마. 발효조

본 연속 퇴비 발효시스템은 발효조 높이는 2.0m로 설계하여 1.8~1.9m 정도의 튼밥층을 퇴적할 수 있게 설계하였다. 퇴비사 체적은 발효조 길이는 50m, 발효조 폭은 9m, 발효조 높이는 2m로 900m³ 체적을 갖고 있으며 실제 퇴비화가 되는 발효조 면적은 40m×9m×2m로 720m³이다. 그러나 실제 수분 조절제인 튼밥을 투입할 수 있는 양은 650~680m³이었다.

4. 조사 및 분석방법

퇴비상 내부시설물의 온도와 상대습도는 1시간 간격으로 자동온습도 측정기를 설치하여 계측하였다. 퇴비화 과정 중 pH, 수분, 유기물, 탄질비 등은 발효 개시 후 경시적으로 6개 위치에서 약 500g의 시료를 채취하여 분석하였다. 퇴비공정이 진행됨에 따라 퇴비시료의 분석을 위하여 시료를 채취하여 -20℃에서 냉동 보관하였다. 화학분석 시료는 60℃로 건조기에서 48시간 건조시켰으며 질소 함량은 켈달 방법으로 분석 하였다.

결과 및 고찰

1. 퇴비층 온도의 변화

퇴비 발효상 층위별 퇴비온도를 측정한 결과는 Fig. 2와 같다. 층위별 퇴비온도는 퇴비

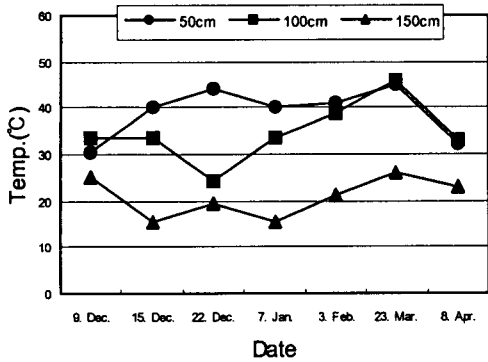


Fig. 2. Changes of temperature in different depth of compost pile.

상부 50cm 깊이의 퇴비온도가 가장 높았으며 하부 150cm 깊이의 퇴비온도가 가장 낮았다. 퇴비 발효층 50cm 부위의 온도는 30~50°C 범위에 있었고 퇴비 발효층 150cm 부위의 온도는 12~25°C를 나타내었다. 퇴비 발효층 최하층 150cm 부위의 퇴비온도는 퇴비 발효층 50cm, 100cm 깊이의 온도보다 10~20°C 낮았다. 겨울동안 퇴비사 시설물 내부의 온도가 영하권으로 내려가고 밤의 온도는 -10°C이하 조건에서 여상층의 온도가 30~40°C를 유지하여 겨울에도 퇴비화가 가능하였으나 퇴비화에 따른 활발한 온도 상승은

이루어지지 않았다. 퇴비속에 들어 있는 병원균의 사멸을 위해서는 55~60°C 이상의 온도를 최소한 3일간(72시간) 유지하여야 한다고 보고하였다(Leton and Stentiford). 퇴비화의 최적분해율은 50°C 후반이 가장 적합하다고 MacGreger 등(1991)이 해석하였다.

퇴비 발효상 층위별 최고 및 최저온도의 변화는 Table 2와 같다. 퇴비 발효층의 퇴비 온도는 위치별, 시기별 변이가 매우 심하였다. 특히 최고 및 최저온도의 차이가 매우 큰 경향이였다.

2. 퇴비화 시설물 내부 미기상 변화

퇴비화 발효조 시설물 내부 온도의 변화상태는 Fig. 3와 같다. 퇴비화 시설물 내부의 온도는 일자별로 심한 변이를 나타내었다. 이러한 원인은 퇴비시설물의 위치가 남향이 아니어서 겨울동안 퇴비사 온도 저하가 외부 환경의 영향을 많이 받기 때문인 것으로 사료된다. 퇴비화 시설물 내부의 상대습도의 변화는 Fig. 4와 같다. 겨울기간동안 퇴비화 과정 중 상대습도는 40% 내외의 값을 나타내었다.

Table 2. Temperature in different depth of compost pile

(unit : °C)

Date	50cm depth			100cm depth			150cm depth		
	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean
9. Dec	45	14	30.5	50	11	33.5	34	16	25.3
17. Dec	52	12	44.3	49	14	30.2	47	17	19.5
3. Feb	65	16	40.0	46	18	24.3	41	14	19.3
3. Mar	68	24	41.0	69	26	39.0	48	14	21.0
23. Mar	60	26	45.0	58	31	46.0	54	21	26.0
2. Apr	52	12	32.0	48	13	33.0	48	18	23.0

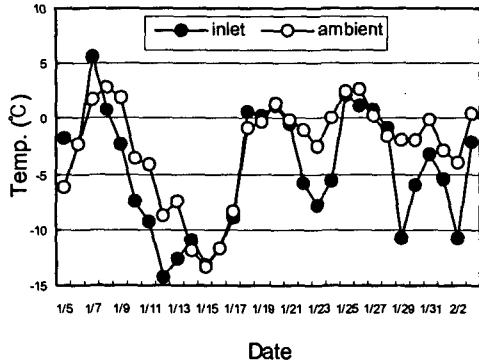


Fig. 3. Changes of ambient and inlet temperature of composteater.

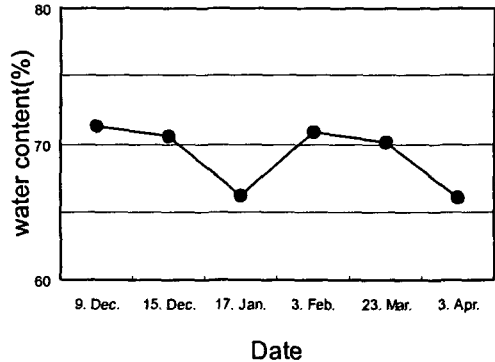


Fig. 5. Changes in water content of compost during the swine manure composting.

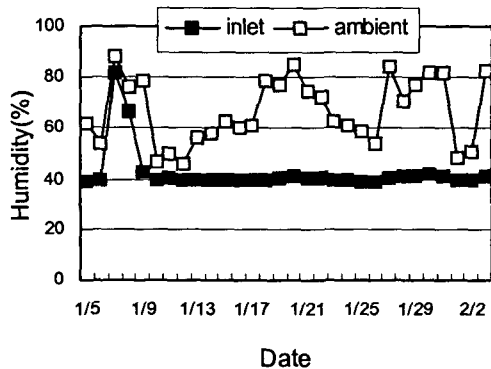


Fig. 4. Changes of relative humidity in ambient and of composteater.

3. 수분 함량

퇴비화 과정 중 퇴비 발효상의 수분 함량 변화는 Fig. 5와 같다. 퇴비 발효상의 수분함량은 70% 내외를 유지하였다. 일반적으로 퇴비 발효상의 수분함량 70%는 퇴비발효를 위하여 다소 높은 수분 함량이었으나 본 퇴비화 시스템의 수분증발 효율이 높고 지속적인 공기공급에 의하여 수분 함량이 다소 높더라도 발효는 정상적으로 되었다.

4. 퇴비화 과정중의 수분수지

퇴비화 과정 중 발효상의 분뇨투입량(Input)

과 침출여과액 배출량(Output)을 산출하여 퇴비화 과정 중 수분의 수지를 조사하였다. 퇴비화 초기시점 톱밥을 432m³ 투입하였으며 퇴비화 1개월 후 130m³의 톱밥을 보충하여 총 562m³의 톱밥을 충전하였다. 한편 퇴비화 1일부터 14일까지는 수분조절을 위하여 매일 40m³의 슬러리 분뇨를 투입하였다. 퇴비화 3주부터는 3일 간격으로 분뇨를 투입하여 퇴비화 1개월 동안 총 520m³의 돈분 슬러리가 투입되었다. 또한 퇴비화 기간인 5개월 동안 1,775m³의 분뇨가 투입되어 처리되었다.

퇴비화 과정 중 톱밥 1m³당 3.16m³의 축산 분뇨 처리가 가능하였다. 또한 분뇨투입량 1,775m³에서 처리기간 동안 194.3m³의 침출여과액이 발생하여 투입분뇨 대비 10.9%의 분뇨가 침출여과액으로 배출되었다.

5. 퇴비화 침출수의 수질

Table 4는 연속 교반식 퇴비화시스템을 운영한 결과 돈분 슬러리 원수 28,900mg/l에서 퇴비발효조를 거쳐 침출된 여과액의 BOD₅가 3,900mg/l이었다.

또한 부유물질(SS)은 투입원수에서 12,500 mg/l 이었으나 침출수에서 475mg/l 이었다. 따라서 본 처리 시스템은 중대규모 농장의

Table 3. Water balance during the composting

After Compost	Input of saw dust (m ³)	Slurry Input (m ³)	Amount of water in slurry (m ³)	Effluent (m ³)	Water balance* (m ³)	Water evaporation** (m ³)
1 Month	432	520	499	24.4	151	323.6
2 Month	130	360	345	35.3	45.5	264.2
3 Month	-	340	326	41.5	0	284.5
4 Month	-	290	278	45.5	0	232.5
5 Month	-	265	254	47.6	0	206.4
Total	562	1,775(3.16***)	1,702	194.3(10.9%)	196.5	1,311.2

* : Water balance(m³) = amount of water in compost at beginning - amount of water in compost at final stage.

** : Water evaporation(m³) = (amount of water in slurry-effluent) - (water balance).

*** : Slurry treatment per saw dust(m³/m³) =slurry input ÷ Input of saw dust.

Table 4. Chemical properties of influent and effluent

	Influent	Storage tank	Effluent	Removal efficiency
BOD (mg/l)	28,900	25,900	3,900	86.5
CODmn (mg/l)	38,000	31,500	7,900	79.2
SS (mg/l)	12,500	12,800	475	96.2
T-N (mg/l)	2,500	1,850	1,050	58
T-P (mg/l)	461	396	106	77

Table 5. Chemical properties of final compost

T-N (%)	NH ₄ -N (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	T-C (%)	C/N	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	pH	EC (dS/m)
1.49	790	980	38.7	25.9	3.24	2.92	8.8	2.82

축산분뇨 정화시설이나 축산분뇨 공공 처리장의 전처리 고액분리조로 적용 가능성이 있다. 또한 침출수의 T-N, T-P 함량은 각각 58, 77% 감소되었다.

6. 퇴비와 침출수의 성분 함량

Table 5는 종료 시점 퇴비의 이화학적 성

분을 분석한 결과이다. 퇴비 발효 종료 1주일 시점의 수분 함량은 59~64%를 유지하였다. 최종 퇴비의 pH는 8.8 이었다. 전 탄소는 38%로서 거의 일정한 수준을 유지하였고 전 질소는 1.49%를 유지하였다. 탄질비는 25수준으로 유지되었다. 일반적으로 가축분뇨의 강제 통기식 퇴비화의 소요기간은 주말효 4주 내외, 후숙 1~2개월이 소요되는데 비하여

본 퇴비화 처리시스템은 분뇨의 연속투입에 의하여 주발효와 후숙의 구분 없이 분뇨를 연속 투입하여 5개월간 퇴비를 처리하므로 최종 퇴비의 비료 성분함량이 높고 안정화율이 높았다.

침출수의 비료성분을 분석한 결과는 Table 6과 같다. 침출수의 비료성분은 높지 않아 관수용 액비로서 살포가 가능하며 악취가 나지 않아 축사 세척수로도 사용이 가능할 것으로 생각된다.

Table 6. Chemical properties of effluent

Component	Content
T-N (%)	0.14
T-P (%)	0.04
K (%)	0.55
CaO (%)	0.02
MgO (%)	0.003
Na ₂ O (%)	0.11
pH	8.9
EC (dS/m)	20.2

적 요

축산분뇨와 톱밥을 혼합하여 수분조절을 한 후 발효조에 투입하는 방식이 아닌 발효상에 미리 투입된 톱밥위에 축산분뇨를 살포하면서 교반처리하여 발효증발 처리하는 시스템을 이용하여 퇴비 발효층의 온도, 수분함량, 수분수지, 퇴비의 비료성분을 연구하였다.

1. 본 처리공정은 과도한 수분을 신속하게 침출수 강제배출 방식으로 배출하여 슬러리 투입분뇨의 함수율이 높더라도 수분증발이 이루어지고 발효상 함수율은 65~73% 전후로

유지되었다.

2. 연속퇴비화 과정에서 시험기간 중에 10.6% 정도의 침출수가 발생되었다. 또한 5개월 가동 기간 동안 톱밥 1m³ 투입 당 3.16m³의 돈분슬러리 처리가 가능하였다.

3. 침출여과액은 오염물질농도가 낮아져 투입분뇨 대비 BOD는 86.5%, SS은 96.2% 저감되었다.

4. 퇴비사의 미기상 분석결과 상대습도는 낮 시간을 제외한 야간시간에는 80~100%로 높았다. 퇴비사의 습도가 높아지면 퇴비화 과정 중 수분증발 효율이 저하의 원인이 될 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 한국축산환경협회 주관으로 농협중앙회의 연구비 지원으로 수행된 연구결과에의 일부로서 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

1. Leton, T. G. and Stentifood, E. I. 1990. Control of aeration in static pile composting. Waste Management & Research 8: 299-306.
2. MacGreger, S. T., Miller, F. C., Psarianos, K. M. and Finstein, M. S. 1981. Applied and Environmental Microbiology, 41, 1321.
3. 김은경·이택순·서정윤. 1996. 로터리 교반식 퇴비화 시설의 운전조건 개선. 한국환경농학회지 15(3):355-361.
4. 농촌진흥청. 2000. 가축분뇨의 처리 체계별 경제성 연구. 1999년도 연구사업보고서.
5. 류철호·허 덕·이석호. 1990. 가축분뇨 및 축산폐수 처리대책에 관한 연구. 한국농촌경제연구원.

6. 박치호. 1995. Slurry 돈사이용농가 분뇨 처리 방법 조사. 94 축산분뇨처리에 관한 연구, 건국대학교 동물자원연구센터, 축산기술연구소. 113-145.
7. 신항식 외 4인. 1990. 상수원 보호를 위한 축산분뇨의 적정 관리방안. 한국폐기물학회지. 7(1):45-52.
8. 축협중앙회. 1999. 12. 가축분뇨 처리비용 조사 보고서. 10.
9. 한국농촌경제연구원. 2000. 가축분뇨처리 시설의 시설비 및 운영비 조사연구.