

양돈농가에서 퇴비화시설별 수분변화량 분석에 관한 연구

곽정훈 · 최동윤 · 박치호 · 정광화 · 김재환 · 유용희 · 전병수 · 라창식*

농촌진흥청 축산과학원

Investigation on the Amount of Water Evaporation from Composting Facilities Operated in Swine Farms

Kwag, J. H., Choi, D. Y., Park, Ch. H., Jeong, K. H., Kim, J. H., Yoo, Y. H., Jeon, B. S. and Ra, C. S.*

Natnol Institute of Animal Science, R.D.A.

Summary

The results of the research on the amount of water evaporation from composting facilities operated in swine farms are below.

The number of swine per a farm was 1433 head/farm for a Simple Composting Facility (SCF) and 3500 head/farm for a Escalator composting facility(ECF) system. The capacities of the SCF and the ECF were 0.33 m³/head and 0.25 m³/head, respectively. The ECF had 24.2% less capacity than the SCF. The average water contents in the swine manure for the CP and the ECF of the surveyed farms were 86.8% and 85.7%, respectively, which revealed the ECF had 1.3% less average water content than the SCF. Daily water inputs into the SCF and the ECF were 4.1 kg/m³/day and 6.5 kg/m³/day, respectively. The ECF had approximately 36.9% higher water input than the SCF. Fermentation temperatures during the composting period for the SCF and the ECF were up to 45°C and 70°C, respectively.

The decreases in water contents per each square meter for the SCF and the ECF were 3.7 kg and 5.2 kg, respectively. The ECF lost approximately 28.8% more water content than the ECF, which would be caused by the difference of fermentation temperature between two systems.

Fertilizer components after composting were examined. Nitrogen contents of the SCF and the ECF were similar (0.84% and 0.86%, respectively) and P₂O₅ contents were 0.78% and 0.74%, respectively, showing the SCF had slightly higher content than the ECF. However, OM and OM/N did not show the difference between two systems.

Hence, efforts to increase composting efficiency with considerations of the water content of swine manure, fermentation temperature, and water evaporation potential should be done when the SCF and the ECF were used in swine farms.

(Key words : Swine, Manure, Composting)

* 강원대학교 (Kangwon Nat. Univ.)

Corresponding author : Kwag, J. H., National Institute of animal Science, RDA, Suwon, Korea 441-350

E-mail : kwagjh@rda.go.kr

서 론

재료 및 방법

국내 양돈농가의 대부분은 가축분뇨를 퇴비화 방법을 기본적으로 활용하고 있으며, 그 종류는 기계교반 퇴비화 및 단순 퇴비사인 것으로 조사보고 되고 있다. 그러나 양돈에 기 설치되어 운영되어지고 있는 퇴비화시설의 운영 효율에 대해서는 조사 분석 보고된 연구 자료가 전무한 상태에 있다. 현재 양돈업의 현실은 2012년 해양배출 전면 금지(해양수산부, 2006) 및 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률(농림부, 2007)의 새로운 제정 등으로 인하여 가축분뇨 처리에 대한 관심이 그 어느 시기보다도 높은 시기라고 할 수 있으나, 사료 값의 급등 등으로 인해 돼지분뇨의 적정처리에 어려움을 겪고 있는 것으로 알려져 있다.

그러나 기존에 양돈장이 설치되어 있는 퇴비화시설의 운영 효율 향상을 위하여 양돈농가들은 다양한 방법으로 노력을 하고 있는 것이 현실이다. 현재 국내 양돈 농가들의 분뇨처리 방식을 살펴보면 대부분 퇴비화시설을 설치하여 분뇨를 처리하고 있다. 그러나 농장에 설치된 퇴비화 시설에서의 단위시간당 또는 단위면적당 수분 증발량에 대한 정확한 파악이 되어 있지 못하고 있는 상황이다.

따라서 양돈농가에서 설치되어 운영되고 있는 퇴비화시설에 대한 운영실태를 계절별로 분석하고 이에 대한 정확한 자료를 제공하여 양돈농가들이 퇴비화 효율을 최대화 할 수 있도록 하기 위하여 본시험을 실시하였다

본 논문은 양돈농가들이 퇴비화 효율을 최대화 할 수 있도록 설치된 퇴비화시설의 수분증발량을 분석하는데 목적이 있다

본시험은 전업규모 양돈농가에 설치된 퇴비화시설에 대한 조사를 실시하였으며 조사농가는 총 6호(기계교반 퇴비화시설 설치농가 3호, 단순퇴비사 설치농가 3호)이며, 계절별로 퇴비화시설에 투입되는 돈분과 톱밥의 투입량과 특성에 대하여 조사 분석을 실시하였다. 그리고 양돈농가에 설치된 퇴비화시설의 계절별 퇴비화시설에서의 수분 증발량을 조사 분석하였다.

시료 채취방법은 계절별 1회 간격으로 발효조 구간별 6m씩으로 하여 채취하여 수분함량 및 특성 등을 분석하였다. 그리고 발효조내 온도 조사는 3m 간격으로 조사하였으며, 온도 측정은 철봉온도계를 이용하였다.

조사항목으로 월별 돈분뇨, 수분조절재 투입량, 퇴비생산량 등을 조사하였으며, 퇴비화시설 구간별 및 발효기간별 수분 함량 변화와 발효온도 등을 조사 분석 하였고, 비료성분 등 이화학적 특성을 조사하였다. 조사방법은 수분 함량의 경우 증발접시를 이용하여 105~110℃의 건조기 안에서 4시간 건조시킨 다음 황산데시케이터안에 넣어 방냉하고 무게를 측정하여 산출하였다. 그리고, 총질소(Total Nitrogen)는 시료 중 질소화합물을 알칼리성 과황산칼륨의 존재 하에 120℃에서 유기물과 함께 분해하여 질산이온으로 산화시킨 다음 산성에서 자외부 흡광도를 측정하여 질소를 정량하는 흡광광도법을 이용하여 분석하였다. 총인(Total Phosphorus)은 시료중의 유기물을 산화 분해하여 모든 인 화합물을 인산염(PO_4) 형태로 변화시킨 다음 인산염을 아스코르빈산환원 흡광광도법(880 nm)으로 정량하여 분석하였다. 그리고 시험조사 자료의 통계처리는 SAS(1988)의 GLM procedure를 이용하여 분산분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 조사농가의 일반현황

조사된 양돈농가의 돼지사육 두수는 단순 퇴비사 설치농가의 경우 평균사육두수는 1,433두/호 였고, 기계교반 퇴비화 시설 설치 농가는 3,500두를 사육하고 있는 것으로 조사되었다(Table 1).

퇴비화시설의 용적은 농가의 여건에 따라 다르게 조사되었으며, 단순 퇴비사를 설치한 농가는 평균 474 m³의 용적을 보유하고 있었으며, 기계교반 설치농가는 870 m³인 것으로 조사되었다. 두당 퇴비화시설 확보면적은 단순 퇴비사 농가의 경우 0.33 m³, 기계교반 퇴비화시설 설치농가는 0.25 m³로 퇴비화시설 용적이 약 24.2% 정도 적은 것으로 조사되었다.

2. 퇴비화시설내 수분 투입량

조사농가의 단순퇴비사 농가의 돈분의 평균 수분함량은 Table 2와 같으며, 86.8%로 조사되었으며, 기계교반 퇴비화 시설 설치농가는 85.7%로 수거되는 돈분의 수분 함량이 약

1.1% 정도 낮은 것으로 조사되었다. 퇴비화 시설에 1일 투입되는 돈분 및 톱밥에 함유되어 있는 수분량은 퇴비화시설 확보면적을 기준으로 하여 분석해보면 단순 퇴비사 농가의 경우 4.1 kg/m³/일이었다. 반면에 기계교반 퇴비화시설 설치농가는 6.5 kg/m³/일로 기계교반 퇴비화시설 설치농가에서 단순 퇴비사 설치농가보다 약 36.9% 정도 단위면적당 수분량이 높게 투입되는 것으로 조사되었다.

3. 조사농가별 퇴비화기간 동안의 발효온도 변화

퇴비화 과정중의 단순퇴비사와 기계교반 퇴비화시설의 발효조내 발효온도를 조사해 본 결과(Fig. 1) 퇴비사의 경우에는 평균 발효온도가 40~50℃의 범위로 계속적인 변동이 일어나는 것으로 조사되었다.

이의 원인은 퇴비사의 경우 수분 함량을 정상적으로 조절하지 않고 투입함에 따른 것이 원인으로 작용되고 있는 것으로 조사되었다. 이때 조사농가 A, B 농가와 C농가의 발효온도 차이가 나는 원인은 조사농가에서의 관리방법에 의한 것으로 조사되었다. 그리고 기계교반 퇴비화 시설의 경우에는 발효조 투

Table 1. Seasonal experimental conditions to composting facility

Items		Raising heads (head/house hold)	Composting facility Volume (m ³ /house hold)
Simple Composting Facility	Farm A	1,810	600 m ³ (10m×30m×2m)
	Farm B	859	400 m ³ (10m×20m×2m)
	Farm C	1,460	400 m ³ (10m×20m×2m)
	Average	1,376.3	474m ³
Escalator composting facility	Farm D	4,500	840 m ³ (8m×70m×1.5m)
	Farm E	3,500	720 m ³ (6m×80m×1.5m)
	Farm F	2,500	1,050 m ³ (10m×30m×3.5m)
	Average	3,500.0	870 m ³

Table 2. Input moisture volume according to swine feces and sawdust

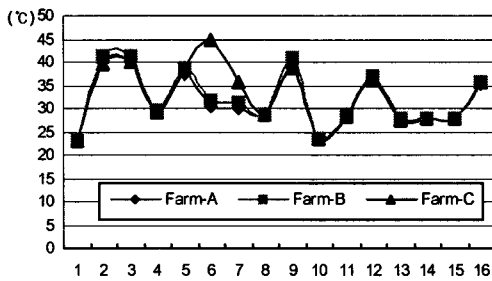
Items		Swine Feces			Sawdust		TMV ⁴⁾ (kg/day)
		FV ¹⁾ (kg/day)	M.C ²⁾ (%)	M.V ³⁾ (kg/day)	MC (%)	M.V (kg/day)	
Simple Composting Facility	Farm A	1,178	85.0	1,007	33.0	200	1,207
	Farm B	2,010	85.5	1,718	33.0	185	1,903
	Farm C	2,546	90.0	2,291	33.0	400	2,691
	Average	1,911.3	86.8	1,672.0	33.0	261.7	1,933.7
Escalator Composting Facility	Farm D	5,645	85.5	4,827	33.0	1,900	6,727
	Farm E	4,638	87.5	4,058	33.0	1,900	5,958
	Farm F	3,398	84.0	2,855	33.0	1,500	4,355
	Average	4,560.3	85.7	3,913.3	33.0	1,766.7	5,680.0

1) FV : Feces Volume

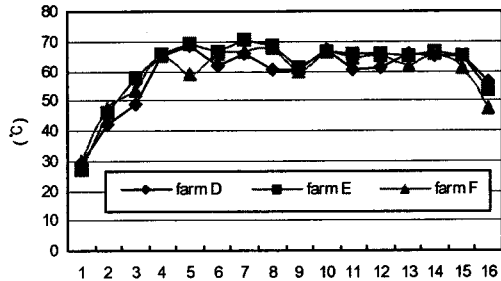
2) MC : Moisture Content

3) MV : Moisture Volume

4) TMV : Total Moisture Volume



Simple Composting Facility



Escalator Composting Facility

Fig. 1. Profile of temperature during composting.

입 후 3일 내외에서 4개월 평균발효온도가 50℃ 이상으로 상승하는 것으로 조사 되었으며, 5일이 경과 후 발효조내 평균 온도가 65℃ 내외를 유지하는 것으로 조사되었다. 이는 대체로 퇴비화의 경우 발효조 온도가 계절적인 영향을 받을 수 있으며, 퇴비더미내 수분 증발이 높게 유지하기 위해서는 최고온도 도달시간이 짧아야 하고, 높은 발효온도가 유지(Zucconi 등 1987, 홍지형 등, 1998) 하여야 한다는 보고와 같은 경향으로 조사되

었다.

즉, 발효온도는 퇴비화과정 중에서 가장 중요한 indicator로서 최적의 퇴비화는 낮은 고온범위 (50~55℃)에서 일어나고 (Lo and Liao, 1993), 퇴비화온도가 70℃ 이상 상승하는 것은 영양분 손실이나 유효미생물의 감소로 퇴비화가 억제된다는 보고도 있으나 (Falcon 등, 1987) 반대로 발효는 퇴적 후 24시간에서 48시간이 지날 무렵부터 시작하여 이상적인 발효조건에서 60℃ 이상으로 온도

가 올라가야 퇴비화가 성공적이라는 보고 (홍지형, 1998)와 비슷한 경향을 보였다. 따라서 기계교반 퇴비화 시설에는 정상적인 퇴비화 과정이 진행되고 있는 것으로 조사되었다.

4. 조사농가별 퇴비화기간 동안의 수분량 변화

양돈농가에 설치된 단수퇴비사 및 기계교반 퇴비화시설에서의 퇴비화과정 중의 일일 수분감소율을 계절별로 보면 Table 3과 같으며, 단수퇴비사를 설치하여 운영하고 있는 농가의 돈분의 수분 함량은 평균 81.5%로 조사되었으며 1차 퇴비화 후 수분 함량이 64.6%로 조사되어 수분 감소량이 약 16.9%로 조사되었다. 이때 각각의 농가별로는 A농가가 85%, B농가가 78.8% 및 C농가 80.6%로 조사되어 수분 함량이 적정 추천치인 65% 보다 높게 투입되는 것이 원인이 되어 수분 감소

량이 낮은 것으로 추정되었다.

기계교반 퇴비화시설을 설치하여 운영하고 있는 농가에서는 수거된 돈분에 톱밥을 혼합하여 수분 함량을 77.4%로 조절하여 투입하고 있는 것으로 조사되었으며 이때 수분 감소량은 평균 21.7%로 단수퇴비사에 비하여 수분 감소량이 약 22.1% 높게 조사되었다.

또한 단위면적당 1일 평균 수분증발량을 분석한 결과 단수퇴비사의 경우 1일 1m²당 3.7ℓ로 조사되었으며, 기계교반 퇴비화시설에서는 5.2ℓ/m²/일으로써 기계교반 퇴비화시설에서 평균 수분증발량이 약 28.8% 높게 조사되었다. 그러나 기계교반 퇴비화시설을 설치하여 운영하고 있는 농가중에서도 1일 수분증발량이 퇴비화시설 1m²당 4.4kg/일로 낮은 농가가 있는 것으로 조사되어 기계교반 효과가 낮은 농가도 조사되었다. 따라서 이는 곽 등 (2004)이 보고한 기계교반 퇴비화 시설에서의 수분증발량이 평균 14.7ℓ/

Table 3. Decrease of moisture content during composting

Items		Moisture Content(%)			Moisture decrement	
		Input	Output	DR ¹⁾	m ² (kg/month)	m ² (kg/day)
Simple Composting Facility	Farm A	85.0	67.0	18.0	69.8	3.1 ^b
	Farm B	78.8	63.0	15.8	125.8	4.2 ^a
	Farm C	80.6	63.8	16.8	110.4	3.7 ^{ab}
	Average	81.5	64.6	16.9	102.0	3.7
Escalator Composting Facility	Farm D	75.6	53.5	22.1	168.3	6.0 ^a
	Farm E	78.7	57.2	21.5	160.2	5.3 ^b
	Farm F	77.9	56.5	21.4	109.9	4.4 ^c
	Average	77.4	55.7	21.7	146.1	5.2

¹⁾ DR : Decrement rate

^{a, ab} : means significantly in the treatment (p<0.05)

Table 4. Calorie value of pig manure

Items	kcal/kg				
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Average
Dry matter	4,145.0 ^a	3,965.0 ^{ab}	4,125.0 ^a	4,065 ^a	4,075.0
Fresh matter	764.0 ^a	662.0 ^b	712.0 ^{ab}	706.6 ^{ab}	711.2

^{a, ab} : means significantly in the treatment (p<0.05)

Table 5. Changes of composition during composting

Items		N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	OM ¹⁾ (%)	OM/N
Simple Composting Facility	Input	0.63±0.08	0.68±0.17	0.25±0.03	13.5±3.96	21.4
	Output	0.84±0.01	0.78±0.11	0.35±0.01	45.4±4.15	54.0
Escalator Composting Facility	Input	0.84±0.03	0.64±0.15	0.20±0.07	15.7±3.41	18.6
	Output	0.86±0.01	0.74±0.12	0.35±±0.01	46.2±4.21	53.7

¹⁾ OM : Organic Matter

두/일보다 매우 낮은 수준인 것으로 조사되었다. 또한 김은경 등 (1996) 및 오인환 (1997) 이 보고한 성적보다도 낮은 것으로 조사되었다. 이렇게 수분증발량이 낮은 원인은 양돈 농가에서의 퇴비화 시설 운영에 있어서 관심도가 낮은 것이 원인으로 작용된 것으로 판단되어지며, 앞으로 퇴비화시설에서의 수분증발량에 대한 추가 조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

그리고 투입된 돈분의 열량가는 Table 4와 같이 건물기준으로 평균 4,075.0 kcal/kg으로 조사되었으며, 여름철에는 3,965.0 kcal/kg으로 다른 계절에 비하여 낮게 조사되어 유의적인 차이(p>0.05)가 나는 것으로 조사되었다. 이는 돈사에서 수거되는 돈분의 수분 함량의 차이에 의해 기인 된 것으로 분석되었다. 돈분이 함유하고 있는 열량가는 김형호 등 (1995)이 보고한 돈분의 총에너지 4,400 kcal/kg과 Nakaski 등 (1996)이 제시한 축분 1

kg 분해 시 발생하는 에너지 발생가능량 돈분 4,500 kcal, 톱밥 3,000 kcal/kg 보다는 낮은 수치로 조사 분석되었으며, 이는 사양관리 기술의 발전 등에 의해 소화율이 높아진 것이 원인으로 기인한 것으로 판단되어 진다.

조사농가의 퇴비화시설에 투입되는 원료물을 특성을 분석해 본 결과 Table 5와 같으며, 단순퇴비사 및 기계교반 퇴비화시설에서 생산된 퇴비의 질소 함량은 각각 0.84% 및 0.86%로 비슷한 경향으로 조사되었으며, P₂O₅ (%) 성분도 0.78% 및 0.74%로 기계교반 퇴비화시설에서 약간 높은 경향을 보였다. 그리고 OM 및 OM/N도 처리간에 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다.

적 요

양돈농가에서 설치되어 운영되고 있는 퇴비화시설에 대한 수분 증발량에 대한 조사결

과를 요약하면 다음과 같다.

1. 돼지사육 두수는 단순 퇴비사 1,433두/호, 기계교반 퇴비화 시설 설치농가는 3,500두/호 이었다.

2. 퇴비화시설의 용적은 단순 퇴비사 0.33 m³/두, 기계교반 퇴비화시설 설치농가는 0.25 m³/두로 퇴비화시설 용적이 약 24.2% 정도 적은 것으로 조사되었다.

3. 조사농가의 수거돈분의 평균 수분 함량은 단순퇴비사 86.8%, 기계교반 85.7%로 기계교반 퇴비화시설 설치농가의 돈분의 수분 함량이 약 1.3% 정도 낮은 것으로 조사되었다.

4. 1일 투입되는 수분량은 단순 퇴비사 4.1kg/m³/일, 기계교반 퇴비화시설 설치농가는 6.5kg/m³/일로 기계교반 설치농가에서 약 36.9% 정도 단위면적당 수분량이 높게 투입되는 것으로 조사되었다.

5. 퇴비화기간동안의 발효온도는 단순퇴비화 시설에서 최고온도가 45℃ 정도 상승하였으나, 기계교반 퇴비화시설 설치농가에서의 최고 발효온도는 70℃까지 상승하는 것으로 조사되었다

6. 수분 감소량은 퇴비화 시설 1m³당 단순 퇴비사 3.7 kg, 기계교반 5.2 kg으로 기계교반 퇴비화시설이 약 28.8% 높은 것으로 조사되었는데 이는 퇴비더미내 발효온도 차이에 의한 원인인 것으로 판단되어졌다.

7. 퇴비화후 비료성분 함량은 질소 함량은 각각 0.84% 및 0.86%로 비슷한 경향으로 조사되었으며, P₂O₅ (%) 성분도 0.78% 및 0.74%로 단순퇴비화시설에서 약간 높은 경향을 보였다. 그러나 OM 및 OM/N은 처리간에 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다

8. 따라서 양돈농가에서의 기계교반 및 단순퇴비화 시설을 이용하여 돈분뇨를 퇴비화하는 경우 돈분의 수분함량과 발효온도 및

수분 증발가능량 등을 고려하여 퇴비화 효율을 향상시키는 노력이 필요할 것으로 생각된다.

인 용 문 헌

1. Falcon, M. A., Corominas, E., Perez, M. L. and Perestelo, F. 1987. Aerobic bacterial populations and environmental factors involved in the composting of agricultural and forest of the Canary Islands. *Biological Wastes*. 20:89-99.
2. Lo, K. V. and Liao, A. K. 1993. Composting of separated solid swine wastes. *J. Agri. Engng. Res.* 54:307-317.
3. Nakasaki, K., Aoki, N. and Kubota, H. 1996. Accelerated composting of grass clippings by controlling moisture level. *Waste manage, Res.* 12:12-20.
4. Zucchini, F. and De Bertoldi, M. 1987. Compost specification for the Production and characterization of compost from Municipal solid waste, *Compost : Production Quality and use*, Elsevier Applied Science. pp. 30-50.
5. 日本中央畜産會. 1989. 家畜尿汚水の處理利用技術と事例, 中央畜産會.
6. 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률(환경부, 2007).
7. 곽정훈, 최동윤, 박치호, 정광화, 김재환, 강희설, 양창범, 라창식. 2004. 기계교반 퇴비화시설에서의 구간별 발효온도에 따른 수분증발량 및 특성변화연구. *한국축산시설환경학회지* 10(3):163-168.
8. 김은경, 이택순, 서정운. 1996. 로터리 교반식 발효시설의 운전조건개선, *한국환경농화학회지* 15(3):335-361.

9. 김형호, 정광화. 1995. 공동퇴비화시설의 톱밥대체재 개발연구. 축산시험연구 보고서. p487-492.
10. 오인환, 윤종만. 1997. 가축분뇨의 로타리 교반 발효건조 기술분석. 한국농업기계학회지 22(4):451-458.
11. 해양수산부. 해양 배출물량 보고서(2006) 해양수산부.
12. 홍지형. 1998. 호기성 발효퇴비에 의한 농축산물의 녹경지 환원이용, 한국농업기계학회지. 13(3):81-90.