

돼지분뇨에 마이크로파 반응시간에 따른 호기성 퇴비화 과정에서 수분증발량 및 특성변화에 관한 연구

곽정훈^{1*} · 정광화¹ · 최동윤¹ · 김중곤¹ · 한덕우¹ · 한만희¹ · 유용희¹ · 라창식²

¹농촌진흥청 국립축산과학원, ²강원대학교

Effects of Microwave Radiation on the Moisture Content and Subsequent Aerobic Composting of Pig Manure

Jung-Hoon Kwag^{1*}, Kwang-Hwa Jeong¹, Dong-Yoon Choi¹, Jung-Gon Kim¹, Duk-Woo Han¹, Man-Hee Han¹, Young-Hee Yoo¹, Chang-Six La²

¹National Institute of Animal Science, RDA, Suwon, Korea, ²College of Animal Life Science, Kangwon National University, Chunchon

ABSTRACT

In this experiment, we hypothesized that pre-conditioning pig manure with microwave radiation can effectively eliminate moisture and consequently, cut down a need for expensive sawdust. For the experiment, pig manure/sawdust mixture of water content 79% was divided into 4 groups and each of them were treated with microwave for predetermined time periods, 5, 10, 15, 20 minutes. Subsequently, they were transferred to chambers (20 L) and aerobically composted. During the 2 weeks composting, air was supplied using blower (150 L per 1 m³) and temperature and other variables were monitored continuously. When the data were analyzed, it was found, (1) moisture content was significantly decreased as radiation period extended. (2) weight reduction of compost after completion of composting was noticeably bigger in 15 min radiated group(31%), compared with 5 min (24.6%), 10 min (21.4%), 20 min (27.2%) radiated groups.

(Key words : Manure, Composting, Moisture content)

서 론

매일 발생하는 가축분뇨를 처리하기 위하여 축산농가들은 기본적으로 퇴비화 방법을 이용하여 자원화 하고 있으나, 양돈업의 경우 돈사형태가 슬러리 형태로 시설되어 있어 액비화 방법으로 저렴하게 처리하기 위하여 노력하고 있으며, 특히, 양돈농가들이 매일 발생하는 슬러리를 퇴비화하여 자원화 하지

못하는 이유는 슬러리내 수분함량이 평균 95% 이상으로 수분조절재 소요량이 과다소 요에 따른 경제적인 부담과 함께, 이에 따른 고형물 함량이 낮아 수분조절을 실시하였다 하더라도 정상적인 퇴비화 과정이 진행되기 어려운 상황에 있다. 또한 수분 함량이 높은 (평균 80% 내외) 상태로 퇴비화 시설에 투입 됨에 따라 퇴비화가 혐기성으로 진행되어 악취 및 침출수 등이 발생되어 민원 발생 가능

*Corresponding author : Jung-Hoon Kwag, National Institute of Animal Science, RDA, Suwon 331-801, Korea 331-801, TEL: +82-31-290-1723, E-mail: kwagjh@korea.kr

2013년 11월 18일 투고, 2013년 12월 17일 심사완료, 2013년 12월 19일 게재확정

성이 항상 존재하고 있는 상황에서 특히, 양돈농가들이 매일 발생하는 돈분의 퇴비화 방법으로 처리하는 것을 유도하기 위한 새로운 방법의 개발이 시급히 요구 되고 있으며, 가축분뇨를 퇴비화하는데 있어서 발효초기에 에너지를 최소화하면서 수분함량을 감소시킬 수 있는 방법의 개발을 개발하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료 및 방법

본 연구에서 사용된 돼지분뇨는 수분함량이 85.2%인것 톱밥의 수분함량이 28.5%인것을 혼합하여 수분함량을 79.0%로 조절한 후 시험원료로 Table 1과 같은 성상의 돈분뇨 혼합물을 사용하였다.

2. 마이크로파 실험장치 조건

마이크로파 반응 시간은 5분 단위로 하여 10, 15, 20분을 조사 한 후 5분 및 10분간 방치하면서 반응온도 및 중량 등의 감소량을 각각 조사하였다. 이때 사용된 전자렌지의 전압은 220 V, 60 Hz이고 발전주파수는 2450 MHz × 4조를 설치한 후 반응시험을 실시하였으며, 또한 반응깊이별 반응온도 및 중량감소량을 조사하기 위하여 시료 깊이를 8 cm로 하여 변화상태를 조사하였다. 이때 사용된 용기는 5.0 L를 사용하였다. 이때 시료의 량은 2,560 g을 이용하여 Fig. 1에서와 같은 방법으로 실시하였다

3. 마이크로 반응 후 퇴비화시험

돼지분뇨를 마이크로파 반응 조건별로 구분하여 퇴적송풍식 방법을 이용하여 호기성

Table 1. Chemical characteristics of raw material used in this study.

Classification	M.C [†]	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Swine manure	85.2±2.1	1.35±0.3	0.57±0.12	0.32±0.11
Sawdust	28.5±2.3	0.07±0.01	0.01±0.0	0.01±0.0
Swine manure + Sawdust	79.0±2.2	0.89	0.37	0.28

[†] M.C : Moisture Content.

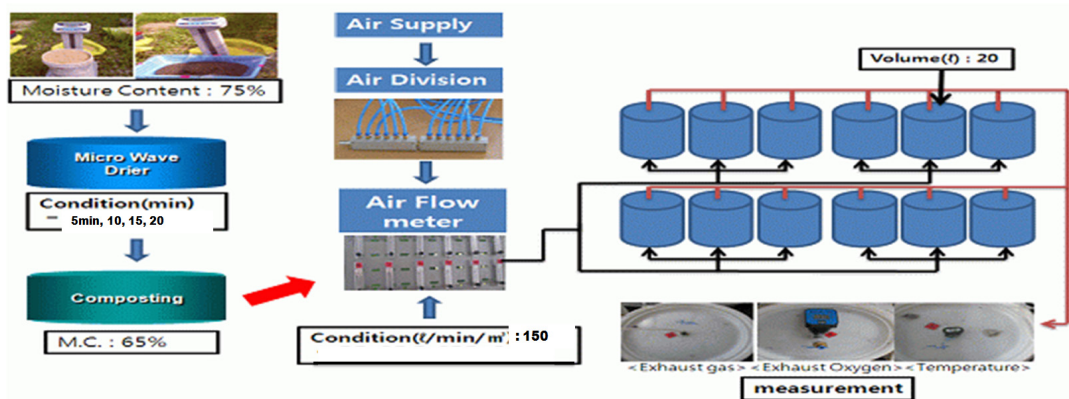


Fig. 1. Schematic diagram and scenery of composting process.

퇴비화를 14일간 실시하였으며, 이때 시험용기는 20 L 플라스틱 통에 바닥부분에서 공기를 공급할 수 있도록 한 후 공기공급량을 150 L/m³/min. 기준으로 2주간 연속 공급하였다. 이때 투입시 및 1주일 간격으로 중량변화를 조사하였으며, 발효온도는 매일 10시경에 조사하였다.

4. 퇴비화 시험조건

퇴비화 처리구별 공기공급량은 처리별로 150 L/min/m³를 기준으로 하여 24시간 계속 공급하였으며, 돈분+톱밥혼합물의 마이크로파 반응시간별로 4처리 3반복으로 시험을 실시하였다.

이때 처리구별 퇴비화에 사용된 돈분 + 톱밥의 총 중량은 15.4 ~ 15.6 kg이었으며, 공기공급방법은 공기유량계를 이용하여 처리구별로 처리조건에 적합하도록 하였다 (Table 2).

5. 분석방법

퇴비화과정중 공기공급량에 따른 돈분 및 톱밥의 특성, 수분감소량, 발효온도 변화, 퇴비화 물질 중량 및 퇴적높이 변화 및 퇴비화과정에서의 산소 소모량 등을 조사하였다.

퇴비화과정중의 발효온도는 매일 2회 (AM 10:00, PM 4:00)에 적외선 온도계를 이용하여 조사하였으며, 산소소모량은 산소농도와 배출되는 가스의 산소농도를 총 공기 투입량을 곱한 후 산소소모량을 구하였다. 그리고 돈분, 톱밥 및 1차 혼합물(퇴비 개시, 1주, 및 2주 경과 후)의 시료를 각각 채취하여, 채취

즉시 아이스박스에 냉장 보관하여 실험실로 이송하여 분석을 실시하였다. 이때 돈분 및 톱밥 등의 시료의 수분함량은 채취한 시료를 건조하기 전에 무게를 잰 항량병에 10 g 정도 채취하여 건조기(Model : 14- LMC-135, 국제과학)에서 105℃에서 5시간 정도 건조시켜 데시게이터에 옮겨 무게를 측정하였다. 그리고 비료성분인 질소성분은 A.O.A.C (1990)에 의거 켈달방법으로 분석하였고 P₂O₅는 습식분해 후 Lancaster법으로 분석하였으며, K₂O는 전처리 후 원자흡광도계(Model AA280FS, Varian)에서 각 성분의 용액으로 검량선을 작성한 후 측정하였다. 또한 산소소모량은 산소농도계를 이용하였으며, 중량변화는 저울을 이용 투입, 1주, 2주 후 각각 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 돼지분뇨에 마이크로파 반응시 특성변화 조사결과

돼지분뇨에 톱밥을 혼합하여 수분 함량을 79.0%로 조절한 후 마이크로파에 반응시간을 각각 5, 10, 15, 20분 간격으로 반응 시킨 후 시료의 온도 및 수분변화량 등을 조사한 결과 Table 3과 같이 조사되었다. 마이크로파 반응시간별 시료의 온도를 조사한 결과 마이크로파를 20분 반응시킨 처리구에서 시료의 온도가 가장 높게 조사되었다. 또한 시료의 양이 적은 처리구에서 마이크로파 반응시간에 따른 시료의 온도가 최대 85.7℃까지 증가하는 것으로 조사되었다.

이의 원인은 시료 중 수분 함량이 많은 것

Table 2. Experimental conditions during composting process.

Items	T-1	T-2	T-3	T-4
Volume (L)	20	20	20	20
Weight (kg)	15.4	15.6	15.5	15.5
Air supply (L/m ³ /min)	150	150	150	150

Table 3. Profile of pig manure temperature over time after radiation.

Height of the sample	Reaction conditions	Sample temperature response over time (°C)			
		T-1	T-2	T-3	T-4
8 cm	Immediately after reaction	84.0±2.5 ^a	83.3±2.3 ^b	85.3±2.5 ^a	85.7±2.8 ^a
	After 10 minutes the reaction	43.7±3.5	42.7±3.2	43.8±2.2	44.3±2.8

^{a, b} Means in the same row with different superscripts are significantly different (p<0.05).

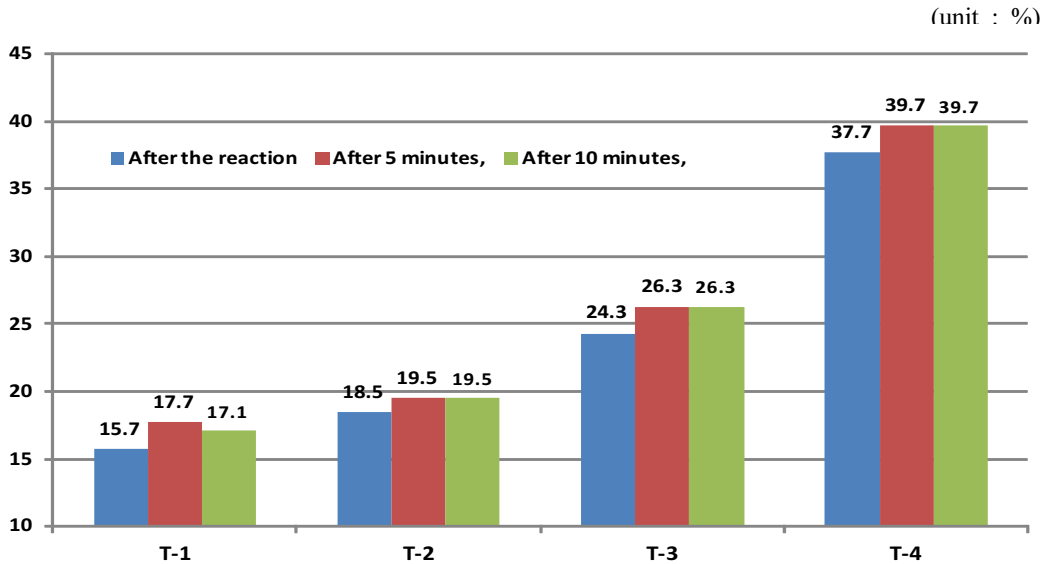


Fig. 2. Pig manure moisture reduction after microwave radiation.

이 원인으로 작용된 것으로 판단되어지며, 처리시간별 시료를 마이크로파 반응 후 외부에 10분간 방치 후 온도를 조사한 결과 시료가 적은 처리구에서는 41.7~44.3°C로 급격히 떨어지는 것으로 조사되었으며, 이러한 현상은 슬릿지에 마이크로파 반응시에 슬릿지 온도가 80°C 내외였다는 보고 (Park, 2009)와 같은 것을 조사하였다.

또한 돼지분뇨에 마이크로파 반응시간을 5, 10, 20분을 반응시킨 후 수분감소량은 각각 15.7%, 15.7 및 37.7%가 감소되는 것으로 조사되었으며, 이는 곧 돼지분뇨에 마이크로파 반응 시 반응시간에 따라 수분증발량에 크게 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

2. 돼지분뇨에 마이크로 반응 후 호기성 퇴비화시 특성 조사결과

(1) 발효온도 변화

퇴비화 과정중에서의 발효온도는 퇴비화 반응의 진행양상을 파악하고 퇴비화반응이 완료되는 시점을 파악할 수 있는 지표 중 가장 간단하며 중요한 인자이다. 그 이유는 퇴비화가 진행되면서 열이 발생하여 퇴비더미 내 온도가 상승하는데, 이때 퇴비화미생물이 유기물을 분해하면서 열을 방출하기 때문이다. 퇴비화가 진행되면서 초기에는 온도가 급격히 상승하다가 시간이 지나고 분해시킬 유기물양이 감소함에 따라 온도는 서서히 하

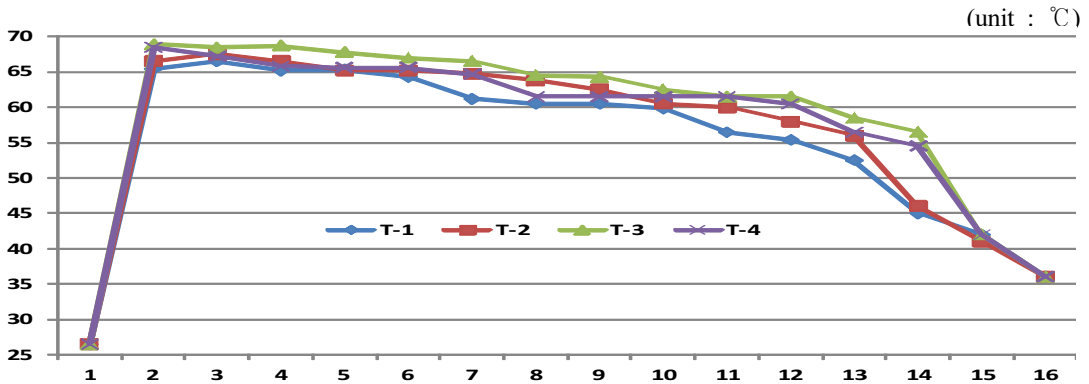


Fig. 3. Temperature profile of piles during composting process.

강하여 실온에 가까와 지는데 공기를 공급해도 실온에 근사하게 접근하면 1차 퇴비화가 완료되었다고 보는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 스크레퍼 돈사에서 수거된 돈분을 마이크로파 반응시간을 5~20분까지 5분간격으로 하여 전처리 한 후 퇴적송풍식 방법을 이용하여 호기성 조건으로 하여 퇴비화 과정중 발효온도를 조사한 결과 Fig. 3에서와 같이 조사되었다.

이는 발효온도는 봄과 여름철이 타 계절에 비하여 높게 유지되는 것으로 조사되었으며 겨울철에는 1~2일정도 늦게 발효온도가 60°C 이상 상승하였다. 퇴비화 초기에 퇴적물의 중심온도가 60°C 이상까지 상승하는데 소요되는 일수는 퇴비원료의 초기상태와 밀접한 연관성이 있으며 퇴비화 초기의 온도상승은 외부의 온도(Jeong, 2001)와 퇴비더미의 공극량(Ryoo, 1998)과 상관관계가 높은 것으로 알려져 있다. 발효온도는 퇴비화과정중에서 가장 중요한 indicator로서 최적의 퇴비화는 낮은 고온범위(50~55°C)에서 일어나고(Lo and Liao, 1993), 퇴비화온도가 70°C 이상 상승하는 것은 영양분 손실이나 유효미생물의 감소로 퇴비화가 억제된다는 보고(Falcon et al., 1987)와 일치하는 것으로 조사되었다.

따라서 본 시험에서 얻어진 퇴비화 과정중의 온도의 변화는 마이크로파 처리구 모두

퇴비화 24시간이내에 발효온도가 66°C 내외로 증가되어 정상적인 호기성 퇴비화가 진행되고 있는 것으로 조사되었으며, 호기성 퇴비화 13일이 경과하면서 1차 호기성발효가 완료되는 온도인 40°C 이하로 서서히 낮아지는 경향으로 조사되었다.

(2) 호기성 퇴비화기간중 중량 변화

마이크로파 반응 후 호기성 퇴비화시험을 실시하면서 퇴비화 특성을 조사결과 처리구별로 중량감소율을 조사한 결과 T-1 처리구에서 1주일이 경과한 후 7.6%로 가장 낮게 조사되었으며(Table 4), T-2, T-3 및 T-4 처리구에서는 각각 13.2%, 16.8% 및 16.9%로 높은 수분감소량을 보이는 것으로 조사되었으며, T-3 및 T-4 처리구와 나머지 처리구간에 통계적으로 유의적인 차이가 있는 것으로 조사되었다($p>0.05$).

호기성 퇴비화조건에서 적정수분 함량은 65% 내외를 유지하여 주는 것이 중요하며 실제적으로 퇴비더미내에서 미생물의 최적활동율은 산소의 이용을 저해시키지 않는 범위에 있어야 한다. 이는 곧 퇴비화 시스템에 있어서 수분은 매우 중요한 인자중 하나라는 것을 말하며, 퇴비더미내 미생물 세포는 생리학적으로 물을 필요로 함은 물론 물리적으로도 기질의 용액과 염류, 가스교환 시 수분

Table 4. Weight profile of compost piles over time after radiation.

Reation time	Weight change (%)			
	T-1	T-2	T-3	T-4
After 7 days	24.6±2.2 ^b	21.4±1.6 ^c	31.9±2.2 ^a	27.2±3.1 ^{ab}
After 14 days	33.5±1.8 ^b	28.9±2.3 ^c	39.6±2.6 ^a	34.1±2.8 ^b

^{a, ab, b, c} Means in the same row with different superscripts are significantly different (p<0.05).

함량에 영향을 받는다 (Griffin, 1981b; Harris, 1981). 퇴비화과정에서 고에너지 슬러지의 경우 퇴비화과정을 통해 최종 수분함량이 20~30%까지 감소될 수 있다 (Miller et al., 1980; De Bertoldi et al., 1982; Finstein et al., 1983; Miller and finstein, 1985)고 하였다.

따라서 본 연구에서 마이크로파 반응 후 퇴적송풍식 방법을 이용하여 호기성 퇴비화를 실시하면서 퇴비더미의 중량변화를 조사한 결과 모든 처리구에서 정상적인 호기성 퇴비화가 진행되면서 수분증발 현상이 발생되는 것으로 조사되었으며, 특히 마이크로파 반응 시간을 15분으로 처리한 구에서 중량감소가 39.6%로 가장 높게 조사되었다.

(3) 호기성 퇴비화기간중 비료성분 변화

퇴비더미내 공기공급량을 다르게 한 후 퇴비화 기간 중 비료성분 및 유기물량 변화를 조사한 결과 (Table 5)와 같았다. 수분 함량은 2주간의 퇴비화 과정을 거치면서 T-1 처리는 57.5%, T-2 처리구 48.3%, T-3 및 T-4 처리구는 각각 45.3 및 44.1%로 T-1 처리구와 나머지 처리구간에는 큰 차이를 보이는 것으로 조사되었다 (P>0.05). 또한 퇴비화 물질내 질소성분 함량의 경우에도 원료물의 질소 함량이 평균 0.77%였으나 2주간 퇴비화 후에는 0.42~0.45%로 처리간에 차이를 보이지는 않았으나 전체적으로 질소함량은 약 41.5%에서 45.5% 정도가 감소되는 것으로 조사되었다.

그리고 P₂O₅ 및 K₂O 성분의 경우에는 퇴

Table 5. Characteristics of compost piles 7-, and 14 days-after radiation.

Items	M.C [†] (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	OM (%)	OM / N	
Compost materials	74.9±1.2	0.93±0.6	0.18±0.05	0.27±0.05	17.9±2.8	19.2±1.8	
T-1	After 7days	66.8±1.8	0.93±0.5	0.20±0.06	0.25±0.02	27.8±2.6	29.9±2.0
	After 14days	52.5±2.3	0.94±0.2	0.23±0.01	0.26±0.01	35.6±2.5.	38.3±2.1
T-2	After 7days	68.9±0.9	0.92±0.5	0.21±0.05	0.25±0.06	28.8±2.8	31.3±1.9
	After 14days	53.5±0.5	0.94±0.5	0.26±0.05	0.28±0.06	35.8±2.3	38.1±2.3
T-3	After 7days	64.5±1.5	0.89±0.4	0.20±0.05	0.26±0.05	29.5±2.9	33.1±1.8
	After 14days	51.5±2.1	0.91±0.2	0.24±0.02	0.29±0.05	35.4±2.6	38.9±2.2
T-4	After 7days	66.4±2.1	0.88±0.5	0.21±0.06	0.26±0.02	28.5±2.2	32.3±1.9
	After 14days	52.5±2.3	0.91±0.02	0.25±0.05	0.30±0.02	34.2±2.2	37.6±2.3

[†] M.C : Moisture Content.

비화 과정을 거치면서 수분감소량에 영향을 받아 약간씩 증가하는 것으로 조사되었다. 반면에 유기물 함량과 OM/N의 경우에는 오히려 증가하는 것으로 조사되었다. 이는 하수슬릿지에 마이크로파 처리 전후에 성분차이가 크게 나지 않는다는 보고 (Ha, 2006)와 마이크로파 전처리시 수분감소량이 10% 이상이었다는 보고 (Park, 2009; Lee, 2008)와 비슷한 결과를 보였다.

이의 원인은 퇴비더미내 수분 함량이 감소됨에 따라서 상대적으로 유기물 함량이 증가되는 현상을 나타내고 있는 것으로 조사되었으나, 퇴비내 비료성분 함량 변화에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다.

결 론

마이크로파 반응기를 이용하여 돈분+톱밥 시료의 반응시간별 수분감소량, 반응온도 등의 시험을 수행하였으며, 마이크로파 반응기에서의 수분 감소량은 반응시간이 길어질수록 수분증발량이 증가되는 것으로 조사되었다. 이때 시료의 수분감소량은 감소량 20분 반응 후 12.3%가 감소되었고, 25분 반응시 15.5% 및 30분 반응시 22.9%의 수분이 감소되는 것으로 조사되었다.

또한 마이크로파 반응기를 이용하여 반응시킨 시료를 이용하여 퇴적송풍식 방법을 이용하여 퇴비화시험을 실시한 결과 처리구별 중량감소율은 퇴비화 후 7일 경과후에 감소량을 마이크로파 반응을 각각 5, 10, 15, 20 분 조사 후에 사용한 시료별로 보면 각각 24.6%, 21.4%, 31.9% 및 27.2%의 중량이 감소되는 것으로 조사되었으며, 처리구별로 보면 마이크로파 15분 처리가 중량 감소량이 가장 높은 것으로 조사되었으며, 2주후에는 마이크로파 15분 처리구에서 중량이 39.6%가 감소되어 처리구 중에서 가장 높은 것으로

조사되었다. 따라서 본 pilot scale test의 공정 연구에서 조사된 결과를 활용하여 가축분뇨 퇴비화의 전처리에 적용 가능성이 있는 기술로 판단된다.

사 사

논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ009136012013)의 지원으로 이루어진 것임.

인 용 문 헌

1. AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. AOAC international.
2. De Bertoldi, M., Vallini, G., Pera, A., Zucconi, F., 1982. Comparison of three windrow composting systems. Bio-Cycle. 23(2), 45-50.
3. Falcon, M.a., Corominas, E., Perez, M.L., Perestelo, F., 1987. Aerobic bacterial populations and environmental factors involved in the composting of agricultural and forest of the Cannary Islands. Bioical Wastes. 20, 89-99.
4. Finstein, M.S., Miller F.C., Strom, F.F., MacGregor, S.T., Psarianos, K.M., 1983. Composting ecosystem management of waste treatment. Biotechnology. 1, 347-353.
5. Griffin, D.M., 1981. Water potential as a selective factor in the micrology of solids. In Water Potential Relations Soil Microbiology, SSSA special publication no.9, eds. Parr, J.F., Gardner, W.R., Elliott, L.F. Soil Science Society of America, Madison, WI., 141-151.
6. Harris, R.F., 1981. In Water Potential Relations in Soil Microbiology, SSSA special publication no.9, eds. Parr, J.F., Gardner, W.R., Elliott, L.F. Soil Science

- Society of America, Madison, WI., 23-33.
7. Ha, S.A., Yeom, H.K., You, M.Y., A study on the recycling of sewage sludge cake using microwave drying, *J. of KORRA*, 14(3), 77-84.
 8. Jeong, K.Y., 2001. Effective recycling of environmentally friendly farming methods and livestock manure. *Animal Science and Technology Korea*, Spring Seminar.
 9. Lee, E.K., Min, B.D., Han, I.S., 2008. Comparison of solubilization efficiency using microwave and ultrasound for pre-treatment of sewage sludge, *Korea Society of Waste Management*, 25(6), 546-553.
 10. Lo, K.V., Liao, A.K., 1993. Composting of separated solid swine wastes. *J. Agri. Engng. Res.* 54, 307-317.
 11. Miller, F.C., Finstein, M.S., 1985. *Journal of the Water Pollution Control Federation*. 57(2), 122-127.
 12. Miller, F.C., MacGregor, S.T., Finstein, M.S., Cirello, J., 1980. *Proceedings of the ASCE Environmental Engineering Division Specialty Conference, American Society of Civil Engineering*, New York., 40-46.
 13. Park, S.M., 2009, Development of pre-treatment and reduction technology of sewage sludge using microwave, *Daewoo Engineering & Construction*, Daewoo, Ministry of Environment.
 14. Ryoo, J.W., 1998. Reasonable measures of animal waste recycling, *Animal Science and Technology Korea*, Spring Seminar.