

## 가축분뇨의 로타리 교반 발효건조 기술분석<sup>1)</sup>

# Analysis on Rotary Composting Technology of Animal Wastes

오 인 환\*                      윤 종 만\*\*

정희원

I. H. Oh

J. M. Yoon

### ABSTRACT

In order to investigate the compost process and the evaporating phenomenon, a rotary reversing compost system has been tested in swine farm. In the summer season, the compost temperature were varied in the range of 50~60°C and the ash content has been increased to 12.8% showing in average of 24.7% at the end of phase. In the winter season, the compost temperature were varied in the range of 40~57°C and the ash content has been increased to 8.5% showing in the average of 18% at the end of phase. In summer the compost facility could handle all of the animal waste, but in winter it could not handle 1/4~1/3 of the animal excrement. The needed sawdust by this method could be reduced to 1/3 than that of the mixing method at the beginning of compost process.

**주요용어(Key Words):** 가축분뇨(Animal wastes), 퇴비화(Composting), 온도(Temperature), 수분함량(Moisture contents), 회분함량(Ash contents)

### 1. 서      론

가축분뇨 처리는 축산경영의 존속에 관한 문제로 대두되고 있다. 양돈 농가수를 보면 1990년말 13만3천호에서 1995년에는 4만6천호로 급격히 감소하였다. 그 주된 이유는 관련법규의 강화로 가축분뇨 처리에 따른 부담이 가중되었기 때문으로 분석된다. 양돈에서는 일반적으로 분뇨를 분리하여 처리하고 있으나, 제분작업을 생략화 할 수 있는 분뇨혼합 처리방법이 도입되어 보급이 확산되고 있다. 이 방법은 농경지에 살포하는 것을 전제로 하고 있으나 자

체적으로 살포할 수 있는 농경지가 거의 없는 형편에서는 다시 고액분리하여 액체는 정화 처리하여야 한다. 그러나, 이러한 처리방법은 비용이 많이 소요되는 관계로 농가차원에서 시행하기에는 용이하지 않다. 다른 방법으로 발효건조기를 사용하여 슬러리 중의 일부 수분을 증발시켜 발효를 유도하며 방류를 하지 않는다는 장점이 있다. 발효건조기는 주로 축분을 발효시키는 데 사용되나 수분함량이 높은 슬러리도 톱밥 등의 부자재를 혼합하여 발효를 시키고 있는 실정이다. 그러나, 톱밥이 많이 소요되고 또한 톱밥을 적게 사용할 경우에는 수분조절이 안되어 발

<sup>1)</sup> 이 연구는 1996년 건국대학교 동물자원연구센터의 연구비 지원으로 수행되었음.

\* 건국대학교 자연과학대학 농업기계공학과

\*\* 건국대학교 동물자원연구센터

효가 제대로 안되는 폐단이 발생하고 있다. 따라서, 계절에 따른 발효공정을 규명하여 표준공정을 도출하고자 시험을 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

경기도 안성군 일죽면에 소재한 양돈농장에서 시험을 수행하였다. 농장은 돼지 2,200두의 사육규모이며 비육돈사에서서는 가축분뇨를 슬러리로 처리하고 모돈사와 자돈사에서는 체분작업을 스크레파로 하여서 분뇨가 돈사에서 분리된다. 뇨수는 별도의 저장탱크에 저장하였다가 여름철에는 발효조 위에 살포를 하여 증발시키고, 겨울철에는 농경지에 살포하는 방식을 택하고 있다. 소유농경지는 3ha 정도이며 인근 낙농가의 초지에 살포한다. 슬러리 돈사 밀의 분뇨조는 약 190m<sup>3</sup> 정도의 저장용량을 갖고 있으며, 뇨 저장탱크의 용량은 54m<sup>3</sup>의 조가 3개 있어 도합 162m<sup>3</sup>이다.

발효건조기는 로타리 교반시설로 회전로타리와 전진 이송장치, 회전장치, 그리고 슬러리 살포용 탱크로 구성되어 있다. 전진용으로는 2마력짜리 모터 2대가 감속기와 연결되어 사용되고 있다. 회전용으로 2대의 2마력짜리 모타가 역시 감속기와 연결되어 있으며 살포용 탱크에는 배출장치와 탱크를 지속적으로 회전시켜서 내용물이 균일하게 살포되도록 하고 있다. 11월경부터 외부온도가 하강할 경우에는 송풍기를 1시간 가동, 1시간 정지의 방법으로 운전하여 수분 증발을 촉진하고 있다. 송풍기 모터의 성능은 7.5마력이며 따로 가운시설은 되어 있지 않았다.

기계가 전진하면서 로타리가 1회전 하면 재료는 70cm 정도 후방으로 이동된다. 발효기에 장착된 슬러리 탱크의 용적은 약 4m<sup>3</sup> 정도이다. 운전은 1주일에 5회전을 시키며 1회전할 때 약 40m<sup>3</sup>가 살포된다. 시료를 일주일 간격으로 발효조의 6군데에서 중간 부분으로부터 채취하였다 (그림 1, 2).

수분함량은 건조기의 온도 104℃에서 24시간 건조시킨 후 건물함량을 측정하였다. 회분함량은 전기로의 온도 700℃에서 3시간 연소시킨 후 회분의 무게를 측정하였다. 총 유기탄소는 다음의 식에 의하여 계산하였다 (University of California at Berkeley, 1953).

$$TOC \text{ (total organic carbon) } \% C = (100 - \% \text{ Ash}) / 1.8$$

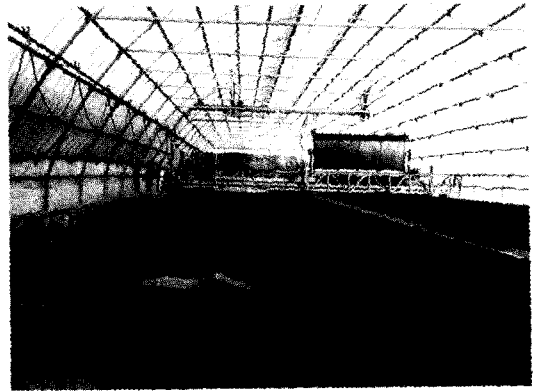


Fig. 1 View of the composting facility.

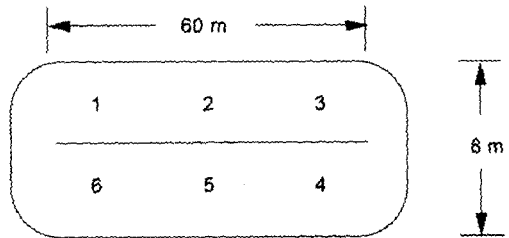


Fig. 2 Sampling site in composting facility.

발효온도는 재료가 정지된 상태로 있지 않고 이동을 하기 때문에 온도계측기(Testo 452)를 이용하여서 재료의 중간 부분의 온도를 센서로 순간 계측하였다. 하절기와 동절기의 발효상태를 분석하였고, 돈사에서 분뇨 배출량의 산정에서는 살포횟수와 처리되지 못하고 반출되는 양을 조사하여 전체의 분뇨량의 흐름을 파악하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 가. 하절기 발효

하절기의 퇴비화 기간은 7월 초순부터 11월 초순까지였으며, 처음 한 달간은 톱밥과 분뇨가 혼합되는 기간으로 하고 시료채취는 8월 중순부터 하였다. 이 때 발효조에 살포된 상태에 있는 슬러리는 수분의 일부가 증발되어 수분함량 85%를 나타내었고, 톱밥의 수분함량은 24%였다. 6군데의 측정치는 변화의 폭이 큰 경우도 있었으나 반복으로 간주하여 분석하

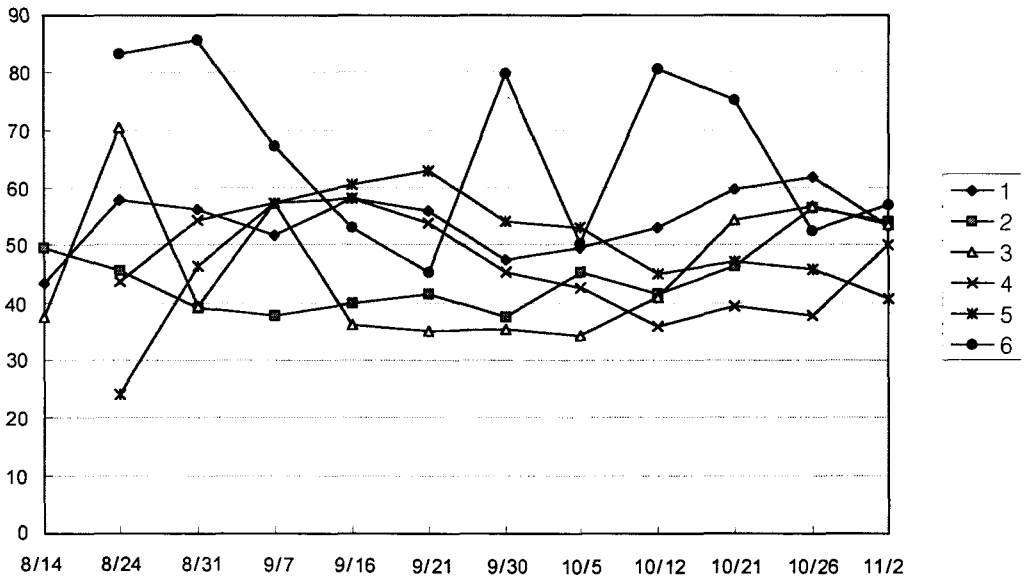


Fig. 3 Variation of moisture contents in summer (%).

었다. 발효가 완료되었을 때의 수분함량은 40~57% 사이였다 (그림 3). 발효 초기의 변화폭이 큰 것은 톱밥과 혼합이 덜 되었거나 살포된 슬러리 상태의 수분함량을 조사하였기 때문이다. 발효의 진행과정을 알 수 있는 발효온도는 최고 70℃까지 되었으나 모든 경우에 있어서 40~60℃를 나타내었다 (그림 4). 시험기간동안 발효가 순조롭게 진행된 것을 알 수 있다. 이 곡선은 일반적으로 알려진 발효온도의 곡선, 즉 온도가 서서히 상승하여 3~4 주 경과한 뒤에는 최고에 달했다가 다시 하강하는 곡선과는 다른데, 그 이유는 주기적으로 일정한 양의 슬러리를 살포하였기 때문에 발효가 인위적으로 연장되었다고 볼 수 있다. 회분함량은 초기에는 톱밥의 비율이 많으며 분뇨가 적게 혼합되어서 분석치의 폭이 컸다. 그러나, 혼합되는 분뇨량이 많아 지면서 이 수치는 점차적으로 증가하여서 나중에는 20~30% 사이로 되었다 (그림 5). 이러한 사실에 미루어 볼 때 공정 중 미생물 발효로 인한 재료의 유기물질이 균일하게 분해가 이루어진 것을 알 수 있다. 유기물질의 분해는 총유기탄소(TOC) 함량에 의하여도 유추할 수 있는데, 초기에 43~56% 사이였고 발효말기에는 38~46% 사이로 범위가 좁혀졌다 (그림 6).

#### 나. 동절기 발효

동절기의 퇴비화 기간은 11월 중순부터 2월 하순까지 지속되었으며, 시료채취는 한달 후인 10월 중순부터 하였다. 시험기간 동안에 발효는 진행되었으나 항목별로 분석하였을 때 활발하지 못하였던 것으로 나타났다. 발효기간이 완료되었을 때의 수분함량은 56~59% 사이로 하절기보다 3~5% 정도 높으며 그만큼 증발이 적게 된 것을 알 수 있다 (그림 7). 발효기간 중의 온도도 40~57℃로 온도의 상승이 둔화되었으며, 평균치로 볼 때 시험말기에 여름철에는 3.3℃정도로 증가하였으나, 겨울철에는 오히려 감소하는 추세를 나타내었다 (그림 8). Ikeda 등 (1990)의 시험에 의하면 동절기의 온도는 하절기에 비하여 7~8℃ 낮게 나타났다. 회분함량은 평균적으로 하절기의 12.8%의 증가로 인한 왕성한 상승곡선과는 달리 8.5%의 증가를 나타내어 기온의 하강으로 인한 미생물의 활동이 위축되어 유기물의 분해가 덜 이루어진 것으로 분석된다 (그림 9). TOC의 함량에 관한 곡선도 감소율이 둔화되어 있다 (그림 10). 동절기에는 외부 기온의 하강에 따라서 유입 혼합분뇨의 온도도 낮게 되어 발효공정에 열 손실의 영향을 주게 되어 발효가 전반적으로 하절기에 비하여

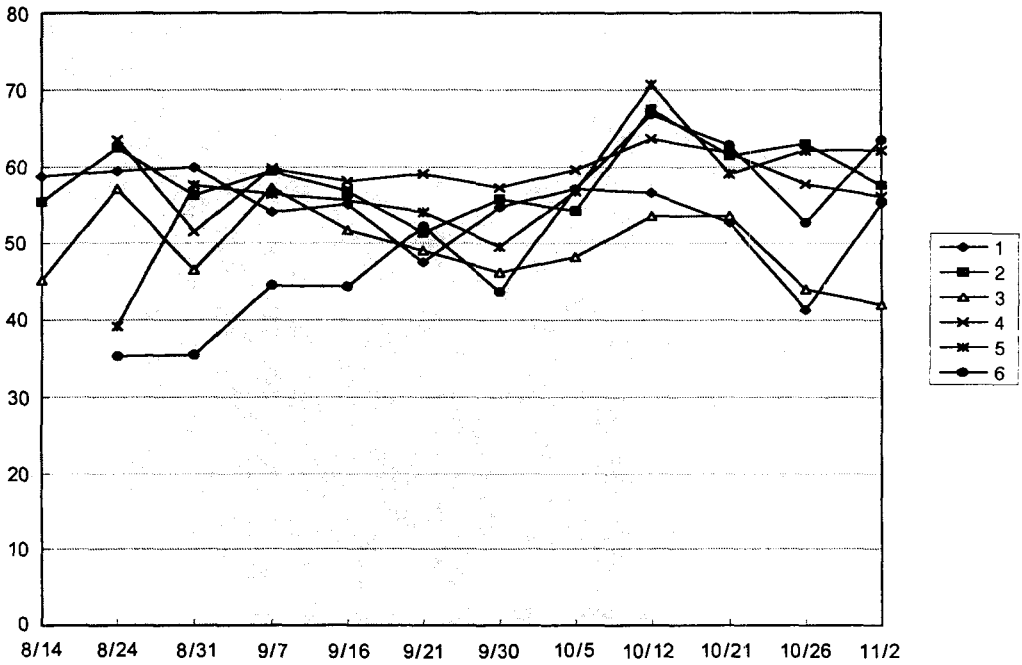


Fig. 4 Variation of composting temperature in summer (°C).

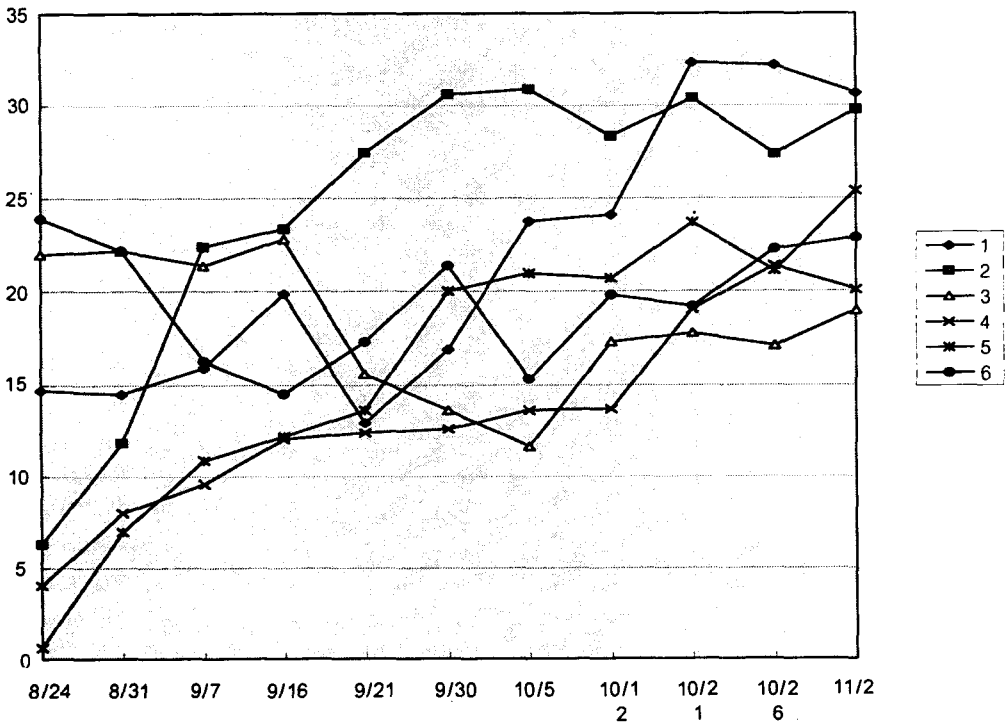


Fig. 5 Variation of ash contents in summer (%).

가축분뇨의 로타리 교반 발효건조 기술 분석

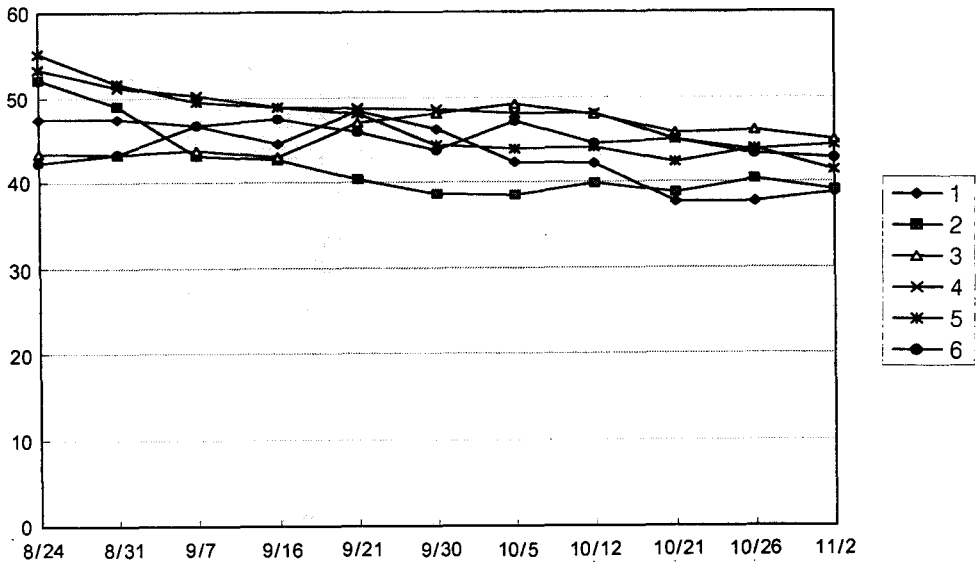


Fig. 6 Variation of total organic carbon in summer (%).

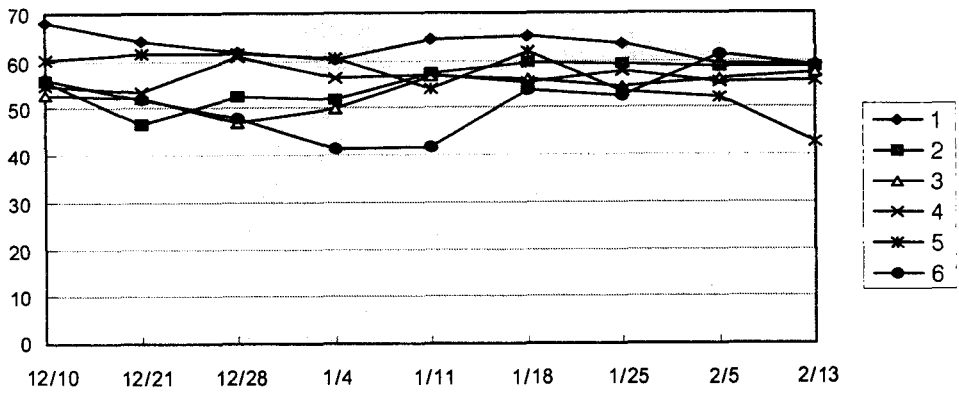


Fig. 7 Variation of moisture contents in winter (%)

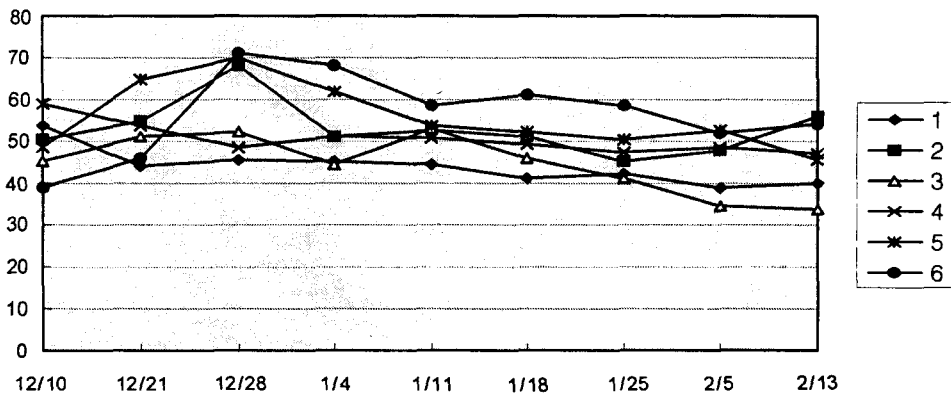


Fig. 8 Variation of composting temperature in winter (°C)

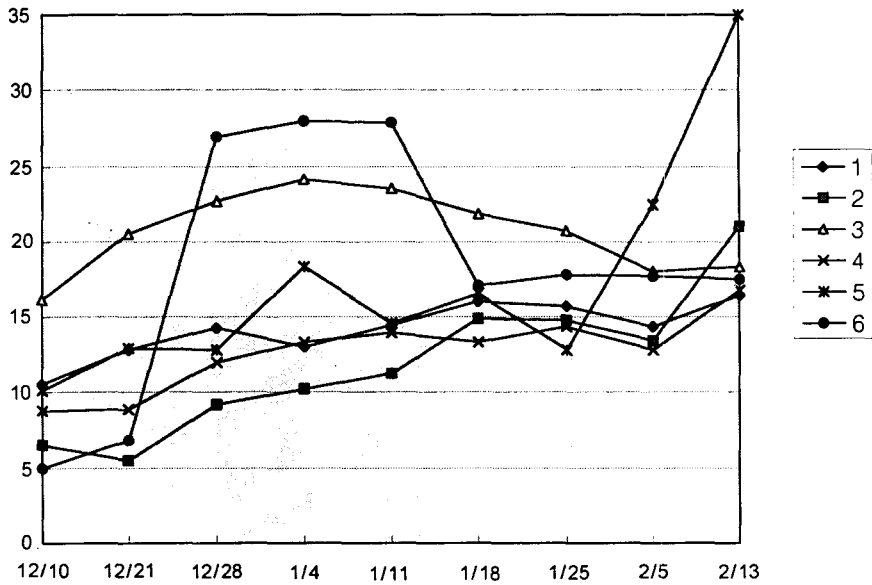


Fig. 9 Variation of ash contents in winter (%).

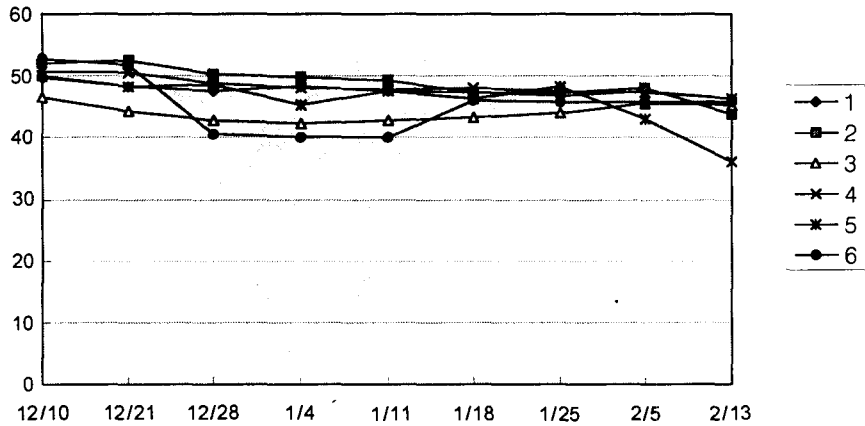


Fig. 10 Variation of total organic carbon in winter (%).

둔화된 것을 알 수 있다. 회분함량은 팍 등 (1996)의 육계분의 발효에서 초기의 19.1%에서 8주 경과 후 26~29% 수준으로 된 시험결과와 유사하였다.

다. 수분증발 및 톱밥 소요량

하절기와 동절기에 발효조에서 처리한 물량은 거의 비슷하였다. 하절기에는 강렬한 태양열의 영향으로 증발에 여유가 있었으며, 동절기에는 추가적인

송풍기의 가동으로 증발을 촉진하였다. 동절기에 발생하는 뇨오수는 발효조에 살포를 할 수 없었으며, 일부 혼합분뇨도 발효조 외로 반출하였다. 이미 재료의 수분함량이 높기 때문에 더 이상의 수분공급은 발효에 문제를 야기시킬 수 있기 때문이었다. 시험기간 중 사육마리수의 변동, 급여 사료량의 변동(약 40%) 등으로 배출량과 증발량에 대한 정확한 계산은 어려웠으나 조사된 자료의 분석에 의하면 현 발효건조시설 용량으로는 겨울철에 발생하는 분뇨량

의 1/4~1/3 정도는 처리가 곤란하다고 판단된다. 상기 양돈농가의 동기대책으로는 겨울철에 처리하지 못하는 양에 대비하여 저장조를 확보하여 이듬 해 봄에 살포하는 방법과 발효조를 하나 더 시설하는 방법, 또는 겨울철용 가온시설을 통하여 열을 공급함으로써 증발에 부족한 에너지를 보충하는 방법 등을 고려할 수 있다. 발효조의 용량 검토에서 혼합분뇨의 함수율을 90%로 보고 목표함수율을 50%로 할 때 마리당 소요되는 발효조 용량은 0.28m<sup>3</sup>가 된다 (오 1994). 돼지 2,000마리 사육규모로 환산할 때 자체 소요 발효조 용량은 560m<sup>3</sup>가 된다. 따라서 하절기에는 현재의 용량으로 충분하나 동절기에는 약 20~30%의 여유를 더 주어야 한다.

톱밥의 소요량에 있어서는 투입시에 슬러리와 혼합하여 수분함량을 조절하는 경우와 본 방법에서와 같이 일정량을 미리 바닥에 깔아 준 후, 점차적으로 혼합하는 방법으로 구분할 수 있다. 일주일에 40m<sup>3</sup>를 살포할 경우에 혼합분뇨의 함수량을 90%, 조절 목표 함수율을 70%, 톱밥의 수분함량을 25%라고 할

때 소요되는 톱밥의 양은 약 17.8ton이 된다. 톱밥의 밀도를 0.25ton/m<sup>3</sup>으로 보면 주당 71.2m<sup>3</sup>가 소요되는 셈이 된다. 발효기간을 4개월로 볼 때 18주가 되며, 총 소요되는 톱밥의 양은 약 1,280m<sup>3</sup>이다. 톱밥을 바닥에 미리 깔고 점차적으로 살포 혼합하는 방법에서는 발효건조장 면적 530m<sup>2</sup>에 퇴적높이 0.8m로 할 때 424m<sup>3</sup>가 소요되어 톱밥 소요량을 최대 1/3로 절감할 수 있다. 톱밥가격의 상승이 이 방법의 취약점이 되고 있는 형편에서 톱밥을 적게 사용하는 관계로 경제성을 향상시키며 퇴비의 품질도 그만큼 향상된다고 할 수 있다. 현재 발효조의 운영은 톱밥을 업자가 대고 다 만들어진 퇴비는 무상으로 가져가고 있다.

라. 콤포스트 제품의 성분 분석

슬러리와 콤포스트 제품의 성분을 분석한 결과를 표 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of slurry and compost for fertilizer

	H <sub>2</sub> O (%)	pH	OM (%)	OM/N	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Cu (mg/kg)
Slurry	80.4	9.3	15.3	11.3	1.35	0.96	0.63	199
Compost 1	52.4	9.1	34.6	23.7	1.46	3.39	2.07	435
Compost 2	57.2	9.2	31.1	22.2	1.40	2.79	1.47	345
Standard			>25.0	<50.0	>1.0*	1.5~2.0*	0.8~1.0*	<500

\* 일반적인 축분퇴비의 함량범위

발효조에 투입하기 직전의 중간저장소에서 채취한 슬러리의 수분함량 80.4%는 일반적인 수치보다는 낮게 나타났으며, 중간저장조의 용량이 작아 시료의 수집이 제한적일 수 밖에 없었다. 콤포스트 제품의 유기물함량은 30% 이상으로 공정규격의 25% 이상을 유기물 대 질소비도 50% 이하로 공정규격을 충족시키고 있다. 비료의 3요소인 질소, 인산, 가리에서는 일반적인 수치의 범위와 비교할 때 인산에서 약간 높게 나타났다. 구리의 함량은 공정규격에 의하면 500mg/kg 이하로 되어야 한다고 정하고 있어, 분석치 435mg/kg은 상대적으로 높다고 할 수 있다.

기타 중금속은 미량이 검출되었다. 발효조에서 발생하는 암모니아 가스를 간헐적으로 측정된 결과에 의하면 가스의 농도는 20~50ppm 사이였으나 보다 정밀한 시험을 요한다.

발효시험에서는 적절한 수분함량을 하여 주는 것이 중요하다. 많은 양을 발효시키려고 하다보면 자칫 수분함량이 높아져 발효에 실패할 수 있다. 다른 측면으로는 퇴비의 위생적인 면도 고려하여야 한다. 발효온도가 70℃ 이상으로 장시간 발효가 지속되면 병원성 미생물이 사멸하나 본 시험농장의 경우에서와 같이 혼합분뇨가 지속적으로 투입이 되면 반출

직전에 투입된 분뇨는 발효가 완전히 이루어지지 않은 상태에서 유통이 되기 때문에 위생적인 면에서 안전성이 보장되지 않는다고 볼 수 있다. 따라서, 반출에 앞서 최소한 1~2주 동안은 원료 투입을 삼가 해야 할 것이다.

#### 4. 결 론

발효건조기에 혼합분뇨를 발효시킴에 있어서 계절에 따른 발효 진행상태와 중발효과를 규명하기 위하여 시험을 수행하였다.

1. 하절기의 발효온도는 50~60℃의 범위를 나타내었으며, 수분함량은 40~57% 사이였다. 회분함량은 평균 24.7%로 발효초기에 비하여 12.8%가 증가하였다.

2. 동절기에는 발효온도가 40~57℃로 되었으며, 수분함량은 43~59%로 되었다. 회분함량은 평균 18%로 초기보다 8.5%가 증가하였다.

3. 하절기에는 발생하는 양돈분뇨의 전량처리가 가능하였으나, 동절기에는 발생량의 1/4~1/3 정도는 처리가 곤란하였다.

4. 톱밥의 소요량은 발효조 투입전에 분뇨와 혼합하여 발효시키는 방법보다 미리 발효조 바닥에 깔아 준 후 점차적으로 분뇨와 혼합하는 방법에서 최대 1/3까지 절약할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. 박완섭, 김태규, 김언현, 김창원. 1996. 육계분의 콤포스터 처리시 내부온도 조절이 생산물의 영

양학적, 미생물학적 성상에 미치는 영향. 한국축산시설환경학회지 2(2)147-154.

2. 오인환. 1994. 가축분뇨 처리기술의 현황과 전망. 94 국내외 한국과학기술자 학술회의 추계 Workshop 축산분과 한국과학기술단체총연합회.
3. 한정대, 김형호, 박정훈, 박치호, 전병수, 정광화. 1995. 축산분뇨 처리에 관한 연구. - 톱밥대체 품목 효능 시험 -. 축산기술연구소 축산기술부.
4. Gronauer, A., M. Helm, L. Popp, L. Rittel. 1993. Planerische Anforderungen an Kompostierungsanlagen. Landtechnik (48) 93/12 662-665.
5. Honda, K. 1980. 가축분의 퇴비화 처리능력 향상에 관한 시험. 신내천현축산시험장 연구보고 제 70호.
6. Honda, K., E. Kosuge, K. Ikeda, Y. Ishikawa. 1990. 자재회수. 재 이용 방식에 관한 가축분의 퇴비화 시험. 신내천현 축산시험장 연구보고 제 80호.
7. Ikeda, K., E. Kosuge, K. Yonemochi, K. Honda, Y. Ishikawa. 1990. 우분의 발효 건조시험. 신내천현 축산시험장 연구보고 제80호.
8. Kaeck, M., Th. Jungbluth, J. Beck. 1993. Ammoniakemissionen bei der Kompstierung tierischer Exkreme. Landtechnik (48)428-430.
9. Matthias, J. 1991. Kompstierung. Landtechnik (46) 542-549.
10. University of California at Berkeley. 1953. Reclamation of municipal refuse by composting. Tech. Bull. No. 9, Sanitary Engineering Research Project.