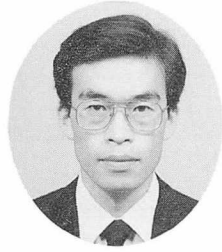


분뇨처리

중소규모에 적합한 돈분 건조·발효 복합 처리시설



정 광 용 농업연구관
(농업과학기술원 환경부 환경관리과)

1. 서언

국내 돼지 사육두수는 1970년대 후반부터 급격한 증가추세를 보이고 있다. 1980년도의 돼지 사육두수는 1,783천두에 불과하였으나 1980년도에는 5,928천두로 증가되었다. 이와같은 증가경향은 육류 수입개방이 본격화 되면 그 수를 예측하기 힘들나 육류 소비량이 일본의 1/2에 불과함을 감안하면 돼지 사육두수의 증가 추세는 당분간 지속될 것으로 예측된다.

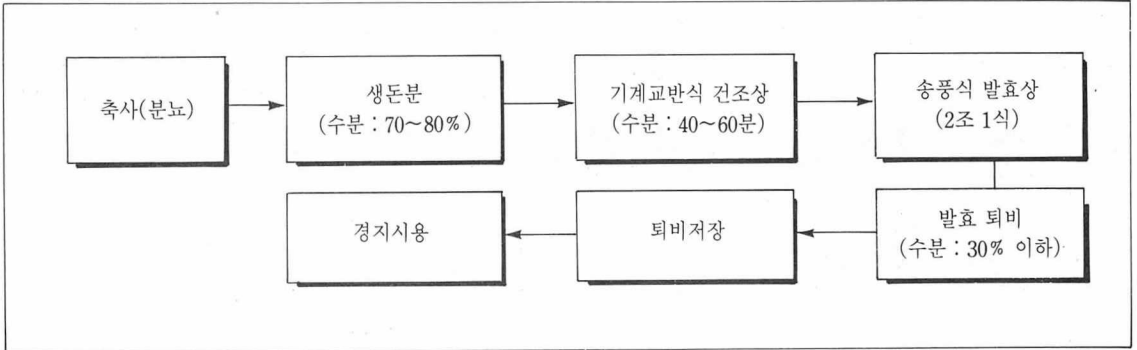
분뇨처리는 최근 양돈산업의 가장 큰 경영압박요인으로 대두되고 있다. 가축분뇨는 유기물 함량이 높아서 정화처리가 어렵다. 특히 분은 발효처리 외에는 선택된 처리방법이 없어서 톱밥 발효돈사나 톱밥을 이용하는 퇴비화 시설 보급이 꾸준한 증가 추세를 보이고 있다. 그러나 톱밥은 축산부문에 수요량이 90만톤에 달하나 공급가능량은 30만톤에 불과하여 늘어나는 가축분 발효보조제로서의 톱밥 수요를 감당하기 어렵다.

본 연구는 수분함량이 높은 생돈분의 수분을 경제적이고 효율적으로 제거함으로써 돈분에 의한 환경오염을 줄이는 한편 톱밥을 발효 보조제로 사용하는데 따르는 문제점을 해결하고자 돈분 건조·발효 복합시설을 농가 실증시험을 통해 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

2. 재료 및 방법

천일건조 조건에서 건조효율을 분석하기 위하여 1년차에는 분층의 두께, 교반회수, 건조상 바닥형태별 건조율을 비교 분석하였다. 분층의 두께는 5, 10, 15, 20cm의 네 단계로 하였다. 교반횟수는 1일 0, 1, 2, 4회로 비교하였다. 건조상 바닥형태는 나대지, 왕겨, 톱밥, 자갈, 콘크리트, 모래로 만들어 비교하였다.

2년차에는 1년차 연구결과를 바탕으로 농가 실증시험으로 수행하였다. 시험농가의 돈분 함유율은 시기에 따라 차이가 있으나 70~80%로서



〈그림 1〉 돈분 건조·발효시스템 구성도

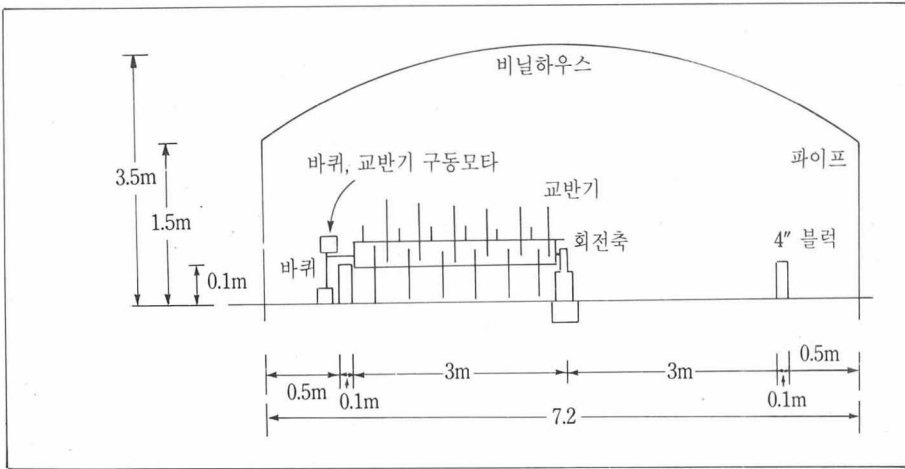
발효하기에는 수분함량이 높은 것이었다. 건조상은 콘크리트 바닥으로 하였으며, 돈분의 교반은 인력을 대체하기 위하여 기계식 교반기를 이용하였다. 돈분의 교반회수는 1회에 10분씩 1일 2회였으며, 건조상 위에 돈분의 두께는 10cm로 하였다. 교반은 농가의 인력과 효율을 감안하여 기계식 교반기를 적용하였다.

발효상에는 발효효율을 증진하기 위하여 송풍기를 설치하여 1회 30분씩 1일 2회 통기가 될 수 있도록 하였다. 본 시험에 사용된 교반기는 경기도 파주군에 소재한 축산기계 전문제작 작업체인 다나 축산에 제작·의뢰하여 사용하였다.

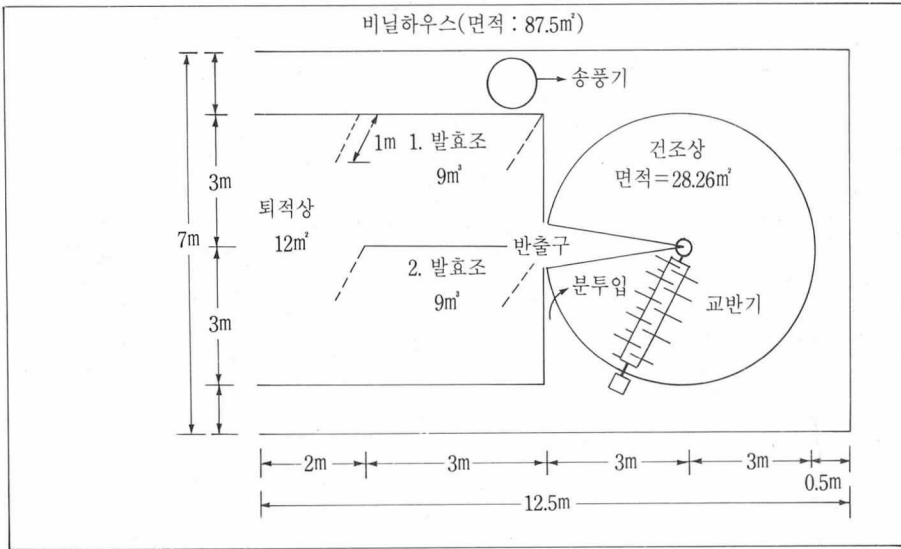
연구시설은 원형 건조상과 건조상에서 수분이 40~60%로 감소된 돈분을 발효시키기 위한 송풍식 발효상 그리고 발효된 돈분을 야적할 수 있는 퇴적상으로 구성하였다. 전체시설은 비닐하우스에 의하여 강우로부터 차단되도록 하였으며 총면적은 87.5m²(12.5m×7m)이었다. 비닐하우스는 하단부에 개폐기를 부착하여 강우시에는 비닐로 차단하고 그외 기간에는 비닐을 1m 높이까지 올려서 통풍이 가능하도록 하였다. 건조상은 지름 6m의 원형 콘크리트 바닥으로 면적은 28.26m², 체적은 2.8m³이며 건조상 둘레는 블럭으로 높이 10cm의 벽을 설치하여 교반기가 작동시 돈분이

외부로 나가지 못하도록 하였다.(〈그림 2〉 참조)

유입된 돈분은 비닐하우스 내에서 자연광과 복사열에 의하여 수분이 증발됨에 따라 건조되는데 상층에 돈분이 건조되면 수분이 많은 상층의 돈분을 교반시켜 주기 위하여 기계식 교반기를 이용하게 되는데 건조상을 통과한 돈분은 수분함량이 40~60%로 감소하며 교반기 〈그림 2〉가 회전함에 따라 건조된 돈분은 전방으로 이동되어 반출구에 도달하면 발효상에 유입되게 된다. 건조상 반출구에는 교반기 회전축으로부터 발효상 입구까지 깊이 50cm, 길이 3m, 폭 60m의 부채꼴 모양의 홈이 있어서 건조상에서 수분이 감소된 돈분은 교반기가 회전시마다 앞으로 밀려나 반출구에 도달하면 홈에 떨어져 발효상에 유입되게 된다.(〈그림 3〉 참조) 발효상 〈그림 3〉은 체적이 9m³(길이 3m, 폭 3m, 깊이 1m)인 발효상이 2개(체적: 18m³)로 구성되어 있으며 건조상의 돈분 반출구에서 유입된 돈분은 발효상에 투입된다. 발효상 바닥밀면에는 송풍기(출력: 0.5HP)가 연결된 PVC(φ: 50mm)관이 매설되어 있고 PVC관 사이에는 가는 자갈로 채워서 관이 움직이는 것을 방지하도록 하였다. 그위에 철망을 깔아서 발효상에 유입된 돈분이 송풍관을 메우지 않도록 하였으며 송풍 시간은 1일 2회 60분간 실



〈그림 2〉
건조상 입면도



〈그림 3〉
건조, 발효상 평면도

시하였다. 이런 구조를 갖는 발효상을 2개 만들어서 1개의 발효상에 돈분이 포화상태가 될 때에는 다른 1개의 발효상에 새로 건조된 돈분이 유입되도록 하였다. 돈분이 포화된 발효상은 25~30일 가량 송풍하면서 계속 발효를 실시하고 발효가 끝난 후에는 발효상 내의 돈분을 반출시키고 다시 새로운 돈분을 투입하는 방법으로 발생된 돈분이 2개의 발효상에서 계속적으로 발효될 수 있도록 하였다.

발효된 돈분이 곧바로 경지에 사용되지 못할

경우를 대비하여 발효상 뒤에 12m²(6m×2m) 면적의 퇴적상을 설치하여 발효퇴비를 저장할 수 있도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

돈분의 건조효율은 계절별 변이가 커서 온도가 높은 여름이 가장 높았으며 봄, 가을, 겨울 순으로 낮았다. 분두께별 건조효율은 분층의 두께가 두꺼울수록 낮아지는 경향이며 이같은 경향은 외

<표 1> 계절별 돈분건조시 수분 증발률 변화 (단위: %)

처 리	봄	여름	가을	겨울	
분 두 계	5cm	94.5	95.0	93.0	57.2
	10cm	89.9	93.8	59.8	40.9
	15cm	76.2	90.9	42.3	25.9
	20cm	58.9	86.9	25.1	18.5
교반회수	0회	12.3	4.4	13.2	28.2
	1회	84.0	91.8	59.1	31.2
	2회	91.7	94.2	65.3	38.2
	4회	86.0	95.1	52.5	45.2

기온도가 낮은 겨울철에 더 심하였다. 돈분 건조상의 교반회수에 따른 건조효율은 봄, 여름 및 가을에는 1일 2회 교반시에 가장 높았으나 온도가 낮은 겨울철에는 4회 교반시에 가장 높았다. 따라서 비닐하우스를 이용하여 돈분을 건조할 경우에는 분층의 두께는 경제성을 고려하여 10cm로 하며 교반회수는 1일 2회는 실시해야 할 것으로 판단된다. 바닥 형태에 따른 건조효율은 형태별로 차이가 없어서 시공이 용이하고 한번 시공으로 사용기간이 긴 콘크리트 바닥이 효과적인 것으로 판명되었다.

건조상의 바닥형태, 교반회수 및 분층의 두께 등에 따른 건조효율 분석결과를 바탕으로 실규모 농가 실증시험을 구행한 결과를 요약하면 다음과 같다. 시험농가에서 '93년 4월중에 17일동안 발생된 돈분의 총량은 3,472kg으로서 1일 평균 204kg일 이었으며, 원형 건조상내에서 수분 감소량은 1,138kg으로서 최초 투입된 돈분중량의 32.8%가 감소되었다. 이같이 수분이 감소된 돈분중의 함유율은 약 55%내외로서 부재료 없이 발효 시키기에 적합한 수분 함량이었다.

건조상을 통과한 돈분이 발효상에 투입되어 발효되는 과정을 퇴비화 공정중 가장 중요한 운영지표인 발효온도를 기준으로 조사한 결과 70°C 가까이 상승하여 생돈분에 부재료를 사용하는 기계식 발효상과 차이가 없었다. 따라서 돈분은 수분함량만 적절히 조절이 되면 부재료를 사용

하지 않고도 완숙퇴비 조제가 가능함이 판명되었다. 톱밥수급과 기계식 발효기 설치가 곤란한 중소규모 양돈농가는 상기 간이 건조·발효 복합시설 이용이 실용적임을 알 수 있었다.

돈분 퇴비화에서 고려할 사항중 가장 중요한 요인은 퇴비중의 비료가치이다. 과거에는 퇴비를 토양 개량제로서의 기능에 큰 가치를 부여하였으나 최근에 시설재배농가나 유기농업 농가는 토양개량보다는 화학비료 대체자원으로 퇴비를 사용하기 때문에 비료가치를 높일 수 있는 퇴비 제조기술 개발이 필요하다.

<표 2>의 돈분 비료가치를 비교해 볼때 생돈분과 비교하여 총탄소와 질소는 건조, 발효가 진행됨에 따라 감소되고 인산과 가리는 늘어나는 경향을 보이고 있다. 그러나 톱밥을 부재료로 사용한 발효퇴비는 질소의 경우 본 연구시설에서 생산된 발효퇴비보다 질소는 1/3 수준, 인산과 가리는 1/2 이하 수준으로서 비료가치에 현저한 차이를 보이고 있다. 비료가치가 낮은 퇴비는 단위 면적당 사용량이 많아 질 수 밖에 없으며 이는 최근의 농업경영 방향인 생력화 및 투입에너지 절감을 통한 지속농업차원에도 위배된다고 볼 수 있다. 또한 폐기물 관리의 기본인 감량화를 고려할 때 최근에 가축분뇨 처리를 위해 톱밥을 수분 조절제로 사용하는 퇴비화는 재검토되어야 할 것으로 판단된다.

<표 2> 가축분 처리방법별 비료성분 함량 (단위: %)

구 분	총탄소	총질소	C/N	인 산	가 리
생 돈 분	44.4	3.19	13.9	3.54	3.34
건조돈분	42.2	3.30	12.8	4.33	3.48
시험시설	39.2	2.73	14.4	5.04	3.24
기존시설 (부재료: 톱밥)	35.4	0.90	40.7	2.10	1.20

본인 소유 농경지를 갖고 있는 일반적인 중·소규모 양돈농가(상시 사육두수: 200두 내외/

년)에서 발생하는 돈분처리를 위한 기계 교반기 돈분 건조·발효시설 설치에 소요되는 총 비용은 약 400만원이고, 시설운영에 투입되는 노동력을 자가노동으로 계상하였을 때 두당 건조시설 소요비용은 985원에 해당되었다(〈표 3〉 참조).

시설 운영비에 있어서 감가상각비 산출 중 기계식 돈분 교반기는 내구연한을 10년 기준으로 하였으며 기초시설 및 발효상 설치비용은 내구연한을 30년 기준으로 산출하였다. 전기 사용료에 있어서 농업용 전기요금은 누진세 적용에서 제외되며 병류(축사용)의 경우 1개월에 기본요금 900원과 1Kw 사용요금은 32.4원으로 전기사용료 계상시에는 기본요금은 포함하지 않았다. 원형건조상의 교반기에 부착된 모터의 전기사용량은 1일 20분 작동시 0.36Kw($0.36\text{Kw} \times 365 = 131.4\text{Kw}/\text{년}$), 발효상에 송풍기의 사용량은 1일 60분 작동시 0.18Kw($0.18\text{Kw} \times 365 = 131.4\text{Kw}/\text{년}$)였다.

〈표 3〉 돈분 건조·발효 복합시설 경제성 분석 (단위: 원)

시험농가의 돼지 상시사육두수	200두
○ 시설비	4,185,630원
○ 감가상각비(A)	302,640
- 기초시설 공사비	18,346
- 비닐하우스	57,879
- 발효상 공사비	21,215
- 교반기	205,200
○ 운영비(B)	190,000
○ 계(A+B)	492,640
○ 두당 소요경비	985

* '93 물가정보 및 경기일원 노임기준.

4. 적요

가축분뇨에 의한 환경오염을 줄이고 분뇨중의 비료가치를 향상시킬 수 있는 효율적인 가축분뇨 재활용 기술을 개발하기 위하여 양돈농가에서

비닐하우스를 이용한 돈분 건조·발효 실증시험 시설을 설치하고 이의 적용 가능성과 활용효율을 구명하고자 본 연구를 수행하였다. 건조상은 원형 콘크리트 바닥형태를 적용하였고 돈분의 교반은 기계식 교반기를 이용하였으며 건조상에서 수분이 감소된 돈분의 발효를 위하여 2조 1식의 송풍식 발효상으로 구성된 건조, 발효시설에서 시험을 수행하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

기온이 높은 계절에는 수분함량이 70~80%였던 돈분이 건조상을 통과하여 발효상에 투입되는 단계에는 발효에 적합한 45~65%에 달하였고, 기온이 낮아질수록 건조상에서의 교반에 의한 수분제거율이 감소되나 발효에 지장을 초래하지는 않았다.

건조효율이 낮은 겨울철에는 이미 건조된 돈분을 생돈분과 혼합하여 건조시킬 때 수분감소율은 52.1%로 생돈분만을 건조하였을 때의 수분감소율 19.7%에 비하여 수분제거 효과는 32.4% 증가한 결과를 보였다.

생돈분과 건조돈분 간의 건조기간 경과에 따른 돈분 중 화학성분 함량간에는 큰 차이가 없이 유사한 경향을 보였으며, 인산과 가리는 생돈분에 비하여 건조돈분에서 경미하게 높은 경향을 보였다. 그리고 생돈분과 건조돈분 중 무기성분 함량도 대차가 없었으며 성분별로 볼때 CaO가 가장 높았고 다음이 K₂O, MgO, Na₂O였다.

돈분을 건조함에 따라 돈분의 미생물 밀도는 생돈분에 비하여 발효돈분에서 E.coli가 141.9배 그리고 Streptococci는 236.2배가 감소하였다.

돈분 건조, 발효복합시설의 총비용은 4,185,630원이었으며 본 건조시설운영비는 190,000원/년으로 두당 건조시설 소요경비는 985원(200두 기준)이었다. 