

강좌

동물 사체 퇴비화 시설의 운영관리

Dead Animal Composting Facility Operating Management

홍지형\*

정회원

J. H. Hong

1. 서 언

우리나라 양돈업의 가구당 사육두수는 1981년도에 4,300두에서 1996년도에 195,800두로서 약 46배가 늘어났으며, 500두 이상의 기업 양돈장은 1981년에 208호(0.05%)에 불과했지만 1996년 말 현재 3,671호(11.1%)이며, 이들에 대한 사육두수는 각각 370천두(20.2%)에서 4,448천두(68.3%)로 증가 하였다. 양계산업은 1981년에 가구당 68,400수에서 1996년 말 현재 441,800 수로서 약 6배가 늘어났으며, 10,000수 이상을 사육하고 있는 농가수는 1981년에 0.1%에서 1996년 말에 1.5% 증가하였고, 이들이 사육하고 있는 사양두수는 14,058천수(32.7%)에서 72,339천수(87.4%)로 급격히 증가 하였다(정태영 등, 1997).

이러한 대규모 양돈 및 양계 농장에서 자연폐사되는 돼지와 닭의 처리에 심각한 문제를 안고 있다.

돼지가 상품용 출하 체중까지 도달하는 기간동안 돼지가 평균 17%, 닭이 한달 평균 1.2%가 죽게 된다(환경부, 1996). 따라서, 가장 경제적인 방법으로 동물 사체를 처리하고 수질, 대기, 토양 등의 오염을 최소화 할 수 있는 합리적인 환경친화형 퇴비화처리 방법이 개발되고 설치 운영되지 않으면 안될 것이다.

2. 퇴비화 시스템의 원리

가축 사육과정의 동물사체 퇴비화 처리는 환경오염 방지는 물론, 가축 질병 확산을 방지하고, 동물사체의 매장과 매립지의 부족 문제 등을 해결하는데 목적이 있다. 그러나, 대부분의 동물사체는 지금까

지 전통적으로 매장, 매립, 소각 또는 위탁관리 되어 왔으나 이러한 방식은 지역조건, 비용, 악취 및 매장지의 부족 등의 문제로 기피하고 있는 실정으로 많은 축산업 관리자는 동물사체 퇴비화 처리 방식을 기대하고 있다(Mesher 등, 1997).

퇴비화 시설은 수원지에서 멀리 떨어지고 배수가 잘 되는 지역에 위치 해야되며, 입지와 기상조건 그리고 사회적 환경조건을 고려한 뒤에 선정해야 된다.

퇴비화는 리사이클의 자연적인 방법으로 처리가 용이하며, 비용이 저렴하고, 병해충을 사멸함으로써, 처리 물질을 활용할 수 있다. 퇴비화는 저장, 취급 및 토양환원에 환경오염이 없는 상태로 제어된 조건하에서 유기물의 생물학적인 분해를 말한다. 구체적으로 말하자면, 질병확산 위험을 최소화하고, 파리, 썩은 고기를 먹는 동물의 활동을 관리하고, 악취를 제거하며, 지표와 지하수 오염을 방지하는데 그 목적이 있다.

퇴비화 기본 법칙은 동물사체와 부자재 등의 생 유기물에 산소를 공급하여 미생물(박테리아, 푸지, 악티노미세트 등)의 물질대사 작용(열 + 물 + 탄산가스)으로 악취가 없이 수증기와 탄산가스를 생성하면서 작물 생산에 유익한 안정화된 유기물로 전환하는 것이다. 이상적 조건하에서 박테리아는 두 배로 증식하나, 미생물의 수명은 불과 20~30분 정도이다. 박테리아 생육은 하나의 개체가 20분 마다 분열하여 6.6시간에 20분열되어 약 1억 마리 이하가 된다(Hog composting development team, 1996).

호기성 미생물의 생육저해 요인은 저수분, 고온

\* 순천대학교 농업기계공학과

도, 질소 성분 등이며, 조절가능한 요인은 탄질비, 초기수분, 공극율, 퇴비온도 등이다. 동물사체 퇴비화에 있어서 가이드라인은 탄질비가 25~40, 초기수분은 50~60%, 공극율은 35~50%, 퇴비온도는 40~65℃ 등이며, 이상적인 기준은 탄질비가 30, 초기수분이 55%, 공극율이 40%, 퇴비온도가 50℃ 등이다 (Rynk 등, 1992).

돼지와 닭사체의 탄질비는 5~12이며, 수분은 70~80% 이다. 따라서, 부자재의 퇴적과 혼합으로 이화학 특성을 개량해야 된다. 탄질비가 너무 낮으면, 악취가 발생하고, 너무 높으면 분해율과 퇴비온도가 낮다. 수분이 낮으면 분해율 및 퇴비온도가 낮고, 수분이 높으면 악취와 파리 등이 발생한다. 공극율이 높거나 낮으면 퇴비온도와 분해율이 낮고 악취가 나며, 높으면 유기물 분해율과 퇴비온도가 낮다. 온도는 병충해 등의 사멸을 위하여 55℃로서 3일 이상을 유지해야 된다(Fulhage, 1992).

그러나, 부자재로 활용되는 톱밥, 왕겨 및 볏짚 등의 탄질비는 49~920 범위이고 수분은 45~55%이며 공극율은 35~50% 등이다. 따라서, 적정 범위의 탄질비, 초기수분, 공극율 및 퇴비온도를 유지하기 위

해서는 부자재의 혼합 중량비, 부자재의 초기 수분과 밀도 및 퇴적고 등의 조절이 대단히 중요하다.

일반적으로, 재료 혼합 중량비는 사체(1)에 대하여 부자재(3) 이하의 비율로 하고, 부자재 수분은 50~60%, 이 때에 부자재의 밀도는 530~600kg/m<sup>3</sup>이며 퇴적 높이는 2m 이하가 좋다. 톱밥 부자재는 미립형으로 취급이 좋고, 흡수성이 높아서 퇴비화 분해 단계의 퇴비화 열을 이용하고, 침출수를 흡착하는 등의 장점이 있으나, pH가 낮아 분해기간이 길어지고, 가격이 비싸서 구입에 곤란한 문제가 있다. 그러므로, 동물사체 퇴비화에 이상적인 부자재는 탄질비가 비교적 낮은 왕겨와 볏짚 이외에 순환퇴비 등의 활용이 바람직 하다(홍지형, 1998a).

그림 1은 지붕있는 변형 퇴비화 시설(가로 : 2.4m, 세로 : 2.4m, 높이 : 1.2m)에서 돼지 사체 2마리(#1 및 #2)와 톱밥(부자재) 퇴적물의 1차(90일) 퇴비화 분해과정의 머리, 몸통, 꼬리 부분의 온도와 외기 온도의 변화를 나타내고, 표 1은 퇴비화 전후의 톱밥 및 퇴비 재료의 성분 조성을 표시한 것이다(홍지형, 1998b).

그림 1에서 퇴비온도가 55℃ 이상을 3일 연속 유

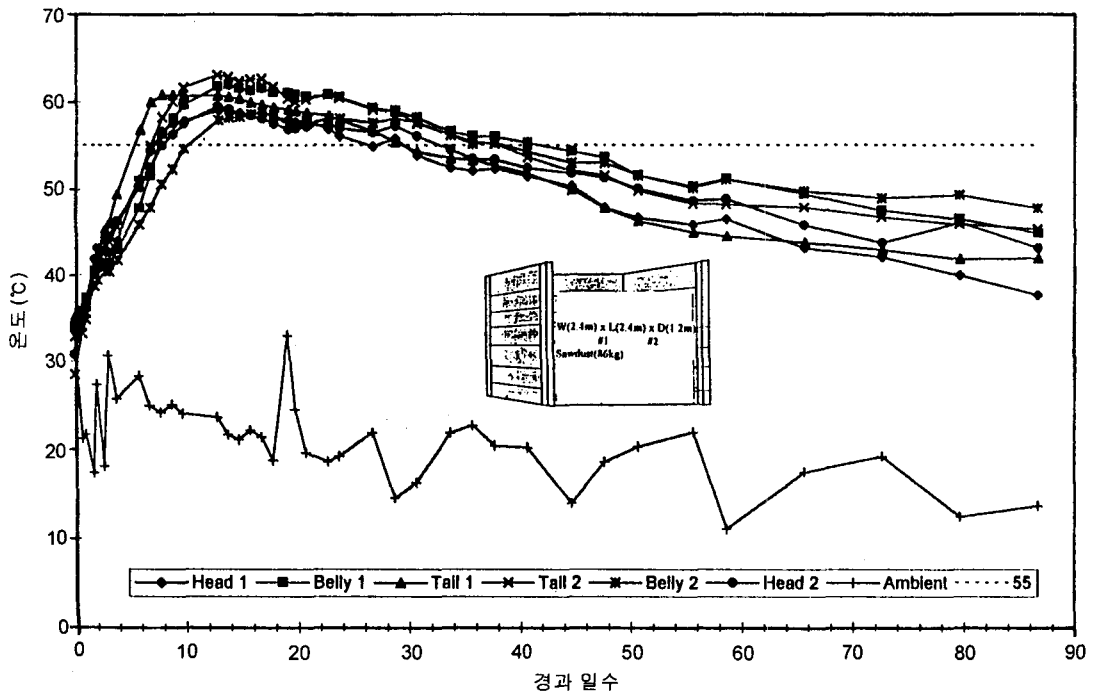


그림 1 돼지 사체와 톱밥 혼합물의 변형 지붕식 1차 퇴비화 온도 변화.

지하여 병원균이 사멸 되었음을 알 수 있었으며, 표 1에서 초기 톱밥재료의 pH가 4.6이고, 탄질비가 198로서 전체적으로 유기물 분해가 완만한 경향을 나타내고 있었다.

가축분뇨 등의 유기성 폐기물 퇴비화 방식은 가축분뇨에 부자재를 넣어 수분과 탄질비를 조정하여 혼합되까지킨 후에 통기식 퇴비화 및 탈취처리를 하나, 동물사체 퇴비화는 이와는 달리 적정 부자재를 동물사체 주위에 퇴적하여 자연 발효하는 것으로 분해과정의 수분과 가스 등은 부자재 층에서 흡착 탈취 된다.

가축분뇨 등의 유기성 폐기물은 보통 6주일 정도면 통기식 퇴비화 처리가 가능하나, 동물사체의 자연 퇴비화 기간은 부자재의 형상과 성분에 따라서 상이하나, 일반적으로 닭은 30일, 돼지는 6개월, 소는 12개월이 소요된다(Mesher 등, 1997).

### 3. 동물사체 퇴비화 방식

퇴비화 방식은 닭 사체는 빈(bin)형 퇴비화 처리하

고, 돼지 사체는 빈형과 윈드로(window) 또는 파일(pile)형 퇴비화 처리 방식이 있으나, 모두 강우 유입을 방지하는 지붕이 있는 퇴비화 처리 방식이 좋다.

퇴비화 처리는 동물사체 주위에 부자재 층에서 미생물의 활동 에너지인 탄소를 공급하고 분해된 가스를 흡착 탈취하는 바이오 필터(bio-filter) 기능을 한다. 따라서, 부자재가 적정 수분, 공극을 및 탄질비 등을 유지할 필요가 있다(홍지형, 1998a; Gustafsson 등 1994).

그림 2는 파일형과 빈형 돼지 사체 퇴비화 횡단면을 표시한 것이다. 혐기성 분해과정의 동물사체 주위의 부자재는 미생물 활동용 에너지(탄소) 공급과 사체의 혐기성 분해가스를 생물학적으로 탈취하는 작용을 한다. 파일 형상은 빈형 또는 개방형으로 하며, 일반적인 퇴비화 순서는 부자재와 사체를 넣고, 5~7cm 층의 부자재를 퇴적 후에 사체를 연속적으로 반복하여 퇴적 높이가 2m 이하가 된 후에 15~30cm층 (지붕 있는 퇴비화 시설의 경우)의 최종 피복을 한다. 지붕이 없는 퇴비화 시설의 경우는 강우로 인한 침출수 억제, 썩은고기 먹는 동물과 파리 등

표 1 초기 부자재와 1차 퇴비 종료 후의 재료의 성분 변동

구 분	pH(-)	전탄소(% , dm)	회분(% , dm)	전질소(% , dm)	탄 질 비
생톱밥(투입 전)	4.6	47.41	<0.1	0.24	198
톱 밥(1차퇴비)	5.8	46.55	<0.1	0.13	358

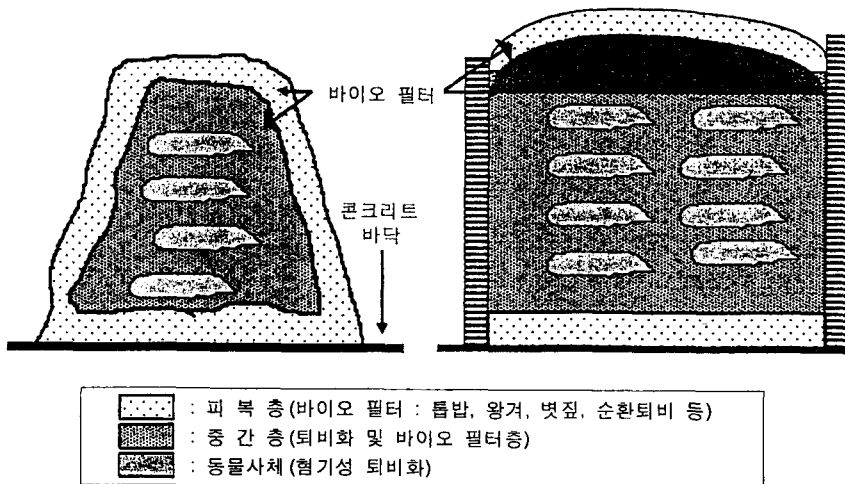


그림 2 파일형 및 빈형 돼지 사체 퇴비화 처리의 횡 단면 구조.

의 위해 작용 방지 및 퇴비의 적정온도 55℃를 유지하기 위해 60cm의 피복층이 필요하다(Morris 등, 1995; Hog composting development team, 1996).

1차 퇴비화 기간 90일(분해)이 지난 후에 혼합교반하여, 2차 퇴비화(안정화) 장소에 퇴적한다.

45kg 이하의 중소가축 사체는 1차 퇴비화 기간이 1~3개월이나, 그 이상은 6개월 이상이 걸리며, 돼지 사체의 1, 2차 퇴비화 기간은 각각 3개월 정도가 소요된다(Fulhage, 1996; Murphy 등, 1994).

퇴비화 처리 작업 중에 기록사항은 날짜, 퇴비화 처리 가축 사체 두수와 무게 및 퇴비화 온도 변화를 연속 측정하고, 퇴비화 전후의 재료의 수분, 밀도, 탄질비, 수소이온농도 및 유기물량을 분석한다.

#### 4. 파일(또는 윈드로)형 퇴비화 운영 · 관리

미생물의 분해 작용을 촉진하기 위해 혐기성 분해의 동물사체 주위에 톱밥 왕겨 및 벧짚 등의 부자재를 바닥 위에 30~60cm 정도 넣은 후에, 동물사체를 투입하고, 썩은 고기를 먹는 동물의 활동을 방지하기 위해 외부로부터 60cm 정도의 거리에 위치시켜 둔다. 동물사체는 피복층은 30~60cm 정도의 톱밥 또는 순환(숙성)퇴비가 좋다. 피복층 위에 동물사체를 추가 퇴적할 경우는 부자재 피복층을 5~15cm 정도로 한 다음에, 사체를 투입한 후에 전과 같은 피복층 두께를 유지한다(홍지형, 1998a).

1차 퇴비화 분해 단계 3개월이 지난 후에 퇴적 재료를 다른 장소로 이동하여 2차 퇴비화 3개월 처리하는 중에 유골 잔재가 완전 분해 처리된다. 이때에 부자재의 이화학적 성질에 따라 안정화 진행 정도가 차이가 있으나, 퇴비온도가 상온에 도달되면 2차 퇴비화(안정화) 단계가 종료된다. 종료된 숙성 퇴비는 퇴적 재료로 리사이클이 가능하며, 톱밥 등의 부자재는 50% 이상 숙성 퇴비로 대체가 가능하다. 따라서, 톱밥(부자재) 구입비용을 절감할 수 있다.

효율적인 동물사체(돼지) 퇴비화 관리는 아래와 같다(Mesher 등, 1997).

① 동물 사체 퇴비화 처리는 돼지 사체 발생량을 추정한다. 예를 들면, 암돼지의 사육두수별 생육 전 기간의 사체발생량은 100두 : 8톤, 200두 : 16톤, 500두 : 39톤, 1,000두 : 78톤 등이다.

② 돼지 사체 퇴비화 실시면적을 3개월 단위로 4등분(P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>)하여 연중 순환 관리한다.

- 1단계( 0~ 90일)  
1차 퇴비화(P<sub>1</sub>) 및 2차 퇴비화(P<sub>4</sub>)
- 2단계(91~180일)  
1차 퇴비화(P<sub>2</sub>) 및 2차 퇴비화(P<sub>1</sub>)
- 3단계(181~270일)  
1차 퇴비화(P<sub>3</sub>) 및 2차 퇴비화(P<sub>2</sub>)
- 4단계(271~360일)  
1차 퇴비화(P<sub>4</sub>) 및 2차 퇴비화(P<sub>3</sub>)

#### 5. 동물사체 처리방식의 비교 및 퇴비화 처리의 경제성

동물사체 처리 방법은 매장(burial), 소각(incineration), 위탁(rendering) 및 퇴비화(composting) 등이다.

이들 처리방식의 선정 기준은 비용, 소요 노동력, 관리 조건 및 환경에 미치는 영향 등이다.

동물 사체 처리방식별 고정비와 운전비는 표 2와 같다(Mesher 등, 1997).

소각 처리와 퇴비화 처리 방식의 주요 특징을 살펴보면, 소각 처리는 시간당 45kg이며, 내용시수는 5,000시간이고, 소각 처리량은 230톤 등이나, 퇴비 처리의 용량은 설계에 따라서 결정되며, 단위 시간당 처리량과 사용량에 대한 내용연한은 무관하다.

소각 운전비는 소각로 효율에 따라서 상이하나, 연료비는 사체 단위 중량당 : 30~60원/kg 정도가 소요되며, 퇴비화 운전비는 부자재 비용으로서, 퇴비화 용적이 동물 사체 450kg당 3m<sup>3</sup>이고, 순환퇴비(톱밥 부자재)가 50%, 용적 밀도가 480kg/m<sup>3</sup> 일 때에 부자재(톱밥) 비용은 11,000~15,000원/톤 정도가 든다.

소각과 퇴비화 처리 방식의 연간 운전비는 다음과 같다(Mesher 등, 1997).

표 2 동물 사체 처리방식별 비용 분석

처리방식	고정비	운전비
매 장 법	기계비용	인력과 기구비용
소 각 법	300~600만원	30~60원/kg (동물사체)
위 탁 법	없음	3~5만원 (운반비)
퇴비화법	260만원	20~30원/kg (동물사체)

표 3 돼지 사육 두수별 연간 소각 및 퇴비화 처리의 운전비

(단위 : 천원)

돼지 사육두수	소각	퇴비화
100	200~ 450	140~ 200
200	400~ 900	260~ 400
500	1,000~2,300	700~1,000
1,000	2,000~4,500	1,300~2,000

결론적으로, 퇴비화 처리와 소각처리는 사용 방법 및 개별 부지 조건에 좌우되나, 고정비용은 거의 비슷하다. 퇴비화 처리 운영비는 소각 처리에 비하여 크게 저렴하다.

### 6. 동물사체 퇴비화 형식 및 위치 선정 방법

동물사체 퇴비화 부지 선정의 4가지 기본 목적은 ① 지표수와 지하수원의 보호, ② 질병 확산 위험의 방지, ③ 파리, 해충 및 썩은 고기 먹는 동물 등의 유해 활동 방지 및 ④ 대기 오염 방지 등이다.

퇴비화 설계시에 고려할 내용은 퇴비화 방식과 위치 선정 등이다.

#### 가. 퇴비화 방식 선정

① 지붕식 퇴비화 시스템은 침출수 위험이 적고, 지하수 오염을 방지하며, 퇴비 수분을 일정하게 할 수 있으며, 빈형 퇴비화는 썩은 고기 먹는 동물 침입을 방지할 수 있다. 닭 사체는 빈형 지붕식 퇴비화가 바람직 하며, 가로(2.4m), 세로(1.5m), 높이(1.5m)의 구조의 전체 비용은 160만원 정도가 소요된다. 1차 및 2차 퇴비화 빈은 같은 규모의 용적으로 가능하며, 다양한 부자재를 사용할 수 있는 특징이 있다.

돼지사체의 빈형 지붕식 퇴비화 시스템은 1차, 1기 및 2차, 2기의 총 3기의 빈이 소요되며, 여러 가지 부자재 활용이 가능하고, 비용은 200만원 정도가 소요된다.

② 돼지 사체의 지붕 없는 퇴비화 시스템은 지표

수와 침출수의 제거 및 강우 유출을 위해 원형 파일로 퇴적하고 집수로를 설치해야 되며, 전 비용은 부지 조건에 따라서 좌우되며, 대체로 50~300만원이 소요된다. 이 형식은 주민의 의견을 들어야 하며, 썩은 고기 먹는 동물 제거에 대한 관리와 흡수성이 높은 톱밥을 퇴적 부자재로 사용해야 된다.

#### 나. 퇴비화 위치 선정

퇴비화 위치 선정은 ① 수질, ② 주민 수락, ③ 생물적 안전, ④ 교통 상황 등의 제 문제를 해결할 수 있는 위치에 있어야 하며, 주요 검토 사항은 다음과 같다(Mesher 등, 1997).

① 수질 : 퇴비시설은 수로, 호수 등의 수원지에서 멀리 있어야 된다.

모든 지표수와 침출수는 집수 처리한다.

홍수 지역에는 설치해서는 안된다.

토양 기초는 낮은 침투성과 고수위선으로 부터 90cm 이상을 유지해야 된다.

콘크리트 또는 부직포 등의 자갈 기초는 지붕이 없는 퇴비화 시설에 필요하다.

상수원은 퇴비화 시설로부터 멀리 둔다.

② 주민 수락 : 주위 경관을 고려한다.

가까운 주거지와 생산시설 등에서 바람이 부는 방향으로 설치한다.

③ 생물적 안전 : 퇴비화 시설에 썩은 고기먹는 동물 진입을 방지해야 된다.

지붕없는 돼지 사체 퇴비화 시설에 60cm 두께의 톱밥 피복을 해야 된다.

닭 사체 퇴비화는 30cm 이상의 피복층과 지붕이 있는 퇴비화 시설을 해야 된다.

④ 교통 : 퇴비 상차와 하차 작업은 어떤 기후 조건에도 가능해야 된다.

인근 주민 생활과 농업 활동에 안전해야 된다.

날씨에 구애됨이 없이 모든 차량이 퇴비화 시설에 접근이 가능해야 된다.

다. 퇴비화 시설의 위치 선정시에 점검 항목은 다음과 같다.

습지를 피하고, 위치는 높고, 건조한 지역이 좋다.

수로, 연못, 호수에서 90m 이상에 위치해야 하며 상수원은 이전한다. 부지는 고수위에서 90cm 이상이 좋다. 지표수 수거 및 처리지역이 있어야 한다.

농장 교통상태와 주변 경관을 고려하고, 생물적 안전을 유지한다. 부자재 저장에 좋은 장소여야 된다.

### 7. 미국 오하이오 주의 돼지 사체 퇴비화 법규 주요 내용

미국 오하이오 주의 현행 동물사체 처리 방법은 ① 소각, ② 지하 1.2m 이상의 매장, ③ 위탁 허가업소 및 ④ 동물사체 퇴비화 등의 4가지 이다. 동물사체 퇴비화 처리 작업은 농업환경 보전법의 수질 오염 문제에 규제를 받고 있다. 오하이오주의 이런 법규와 동물사체의 합법적인 퇴비화를 따르기 위해서는 오하이오 주립대학의 공개강좌를 이수하거나, 미국 농무성의 자연자원 보전 서비스 방식을 따라야 한다.

오하이오주의 동물사체 퇴비화 사업의 주요 법적 규제사항은 다음과 같은 경우에 적용한다.

가축사양관리자가 동물사체를 퇴비화하여 그들 자신의 농장에 환원 이용하거나, 영농인에게 교환 또는 판매할 때 등이며, 퇴비를 시판할 때는 오하이오 환경국에서 허가를 받아야 가능하다(Mesher 등, 1997).

### 8. 결 언

근래에 축산업의 급격한 대규모 전업화로써 자연 폐사되는 가축이 늘어나, 축산환경 오염이 심해지고 자연 생태계가 파괴되면서 동물사체의 합리적인 처리 방법과 축산환경 보전에 대한 적극적인 움직임이 일어나게 되었다.

이들 변화에 대한 대응 방향으로 농업을 생태계 내에서 물질 순환계로 파악하고 생물자원 순환형 농업 기술이 필요하게 되었다. 즉, 환경 친화형 농업 기술의 개발이 필요한 시점에 와 있다.

이를 위해서는 동물사체, 가축분뇨 및 농산물 잔사 등의 농축산폐기물 퇴비화 시스템의 실용화 기술 보급을 위한 관계 당국의 법적 및 영농 규제는 물론,

축산 환경 정비 사업 등에 관한 정책이 마련 되어야 한다.

### 참 고 문 헌

1. 정태영 외 9인. 1997. 축산시설·기계학. 향문사, pp. 13-23.
2. 환경부. 1996. 환경오염피해분쟁조정사례집, 중앙환경분쟁조정위원회, p. 132.
3. 홍지형. 1998a. 알기쉬운 상업용 퇴비, 가축분뇨 및 동물사체 퇴비조제법 가이드, 순천대 공개강좌, pp. 11-24.
4. 홍지형. 1998b. 부자재가 돼지 사체 퇴비화에 미치는 영향. 미발표논문. 순천대.
5. Fulhage, C. D. 1992. Composting poultry carcasses in Missouri, Univ. of Missouri, Coop. Ext. Service.
6. Fulhage, C. D. 1996. Composting dead swine, Univ. of Missouri, Coop. Ext. Service.
7. Gustafsson, B. and M. Magnusson. 1994. Dead swine composting, Proc. of the 12th CIGR World Congress and AgEng 1994 Conf. on Agric. Enging., Milano, Italy.
8. Hog Composting Development Team. 1996. Composting swine mortality in Ohio : Participants Training Manual, The Ohio State University Extension.
9. Mesher, T. et al. 1997. Composting swine mortality, swine composting facility design and site selection, Extension Fact-sheet, AEX 711-713, The Ohio State Univ., Ohio State Extension.
10. Morris, J. et al. 1995. A method for the biodegradation of dead pigs, Proc. of the 7th International Symposium on Agric. & Food Processing Waste pp. 373-382, ASAE, St Joseph, MI.
11. Murphy, D. W. et al. 1994. Investigation of composting as a method of disposing of swine mortality, Univ. of Maryland, Swine Report pp. 30-31.
12. Rynk, R.(editor). 1992. On-Farm Composting Handbook, Northeast Regional Agricultural Engineering Service. NRAES-54, Ithaca, N.Y.