

## 양돈 바이오매스의 퇴·액비화 방법별 경제성 평가\*

운영만\*\* 김연중\*\*\* 김창현\*\*\*\*

### Keywords

돈분 슬러리(pig slurry), 바이오매스(biomass), 운영비(operating cost), 퇴비(compost), 액비(liquid fertilizer)

### Abstract

To evaluate the economical efficiency of composting and liquefying processes of pig waste biomass, pig slurry recycling facilities were classified into with four types and the operating cost of each facility type was evaluated using technical data. The type I facility adopted both composting and liquefying processes after solid-liquid separation. The type II and III facilities adopted only the composting process and the liquefying process without the solid-liquid separation, respectively. And the type IV facility adopted the SCB(Slurry Composting Bio-filtration) process. Having taken into account slurry treatment income, organic fertilizer sale and the effect of chemical fertilizer substitution, the type I, III and IV facilities showed profits of 9,222, 11,739, 10192 won/m<sup>3</sup>, respectively. And the type II facility incurred a deficit of 1,776 won/m<sup>3</sup>.

### 차례

1. 서론
2. 축산 바이오매스 발생량 및 처리 현황
3. 퇴·액비화 방법별 경제성 분석
4. 요약 및 결론

---

\* 본 논문은 한국농촌경제연구원의 기본연구과제로 수행된 “농업부문 바이오매스의 이용활성화를 위한 정책방향과 전략”에서 발췌하여 재구성하였음.

\*\* 환경대학교 연구교수.

\*\*\* 환경대학교 교수.

\*\*\*\* 한국농촌경제연구원 연구위원.

## 1. 서론

가축분뇨란 “가축분뇨관리및이용에관한법률”에서 지정하는 관리대상 가축인 소, 돼지, 닭, 말, 젖소, 오리, 양, 사슴, 개 등 총 9개 동물이 유·무기 사료를 섭취한 후 체외로 배설한 유기성 물질<sup>1</sup>을 말한다. 가축분뇨는 농업분야에서 발생하는 폐기물계 바이오매스로서 대부분이 생물학적, 물리적, 열화학적 처리단계를 거쳐 자원화(퇴비화, 액비화)하여 이용되고 있으며, 최근에는 혐기적 처리단계를 거쳐 바이오에너지인 가스 및 전기로 활용하는 방안이 도입되고 있다.

가축분뇨는 고농도 유기성 폐기물이다. 따라서 미처리된 상태로 배출되는 경우, 하천의 수질악화, 호소의 부영양화를 초래하고 나아가 토양 및 지하수 오염 등 환경전반에 걸쳐 문제를 야기한다. 이러한 우려로 농림부(현 농림수산식품부)와 환경부는 가축분뇨로 인한 환경오염을 방지하고 유기성 폐자원을 적정히 활용하기 위하여 지속적으로 노력하여 왔다.

농림부는 1991년부터 축산농가에 퇴·액비화 및 정화처리시설 설치를 위해 많은 지원을 했으며, 환경부도 수질보전 측면에서 전국 공공처리시설을 설치하는 데 지원해 왔다. 그럼에도 불구하고 농가개별처리시설의 경우 관리부실, 가동불량 등으로 인한 가축분뇨의 부적정 처리문제가 발생하였고, 공공처리시설의 경우도 공법선정 및 설계표준화의 시행착오, 유지관리비용의 과다지출, 낮은 가동률로 인한 처리의 경제성 문제가 지속적으로 지적되어 왔다. 이러한 농가 자체처리 또는 위탁처리 곤란으로 가축분뇨의 해양배출량은 1997년 52천m<sup>3</sup>/연에서 2005년 2,745천m<sup>3</sup>/연으로 매년 급격히 증가하였으며, 최근 런던협약<sup>2</sup> 등 국제규제의 영향으로 해양수산부(현 국토해양부)에서 2012년부터 원칙적으로 해양투기를 금지하고 있어 가축분뇨의 자원화 및 처리방안 확보의 필요성이 더욱 가중되고 있는 실정이다. 또한 축산바이오매스를 혐기적 처리과정을 통해

<sup>1</sup> 2007년 9월부터 시행되는 “가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률”에서 가축분뇨는 분뇨 이외에 가축사육과정에서 사용된 물까지 포함하고 있다. 과거 “오수·분뇨·축산폐수의 처리에 관한 법률”(오분법)에서는 가축분뇨를 “오염물질”로 보던 관점과 청소수가 섞인 것을 축산폐수로 보던 관점이 “자원화”라는 긍정적 폐자원으로 인식되어 축산환경에 큰 전환점이 되었다.

<sup>2</sup> 2006년 3월 2일자로 폐기물 배출에 의한 해양오염 방지에 관한 국제협약(런던협약 72)이 발효됨에 따라 해양배출조건이 강화, 우리나라는 가축분뇨 해양투기를 연차적으로 감축하고, 2012년 전면 금지할 예정이다.

바이오가스화 한다 하더라도 메탄으로 전환되지 않은 유기물과 질소, 인은 그대로 혐기소화액을 통해 배출됨으로 기존의 퇴·액비화 및 정화처리를 통한 혐기소화액의 최종처리가 요구된다.

축산에서 발생하는 바이오매스 중 양돈에서 발생하는 바이오매스는 매우 크다. 우리나라 돈사구조특성상<sup>3</sup> 양돈 바이오매스는 다른 축종과 비교하여 수분과 질소성분 함량이 높아 퇴비화 처리 시 수분조절제로 투입되는 톱밥 소요량이 많고, 정화처리 시 질소 제거에 어려움이 있어 처리의 경제성 문제가 있다. 이에 김창길(1999)은 농가 등에서의 경영자료를 활용하여 축종별로 가축분뇨 처리방법별 경제성을 분석한 바 있으며, 허덕 등(2001)은 농가 표본조사 결과를 바탕으로 축종별 분뇨처리비용 현황을 정리하고 규모의 경제성을 분석한 바 있다. 그러나 기존 가축분뇨 처리방법별 경제성분석은 경영자료의 비용분석에 기초하여 바이오매스 자원의 활용보다는 처리비용절감을 목적으로 하고 있어 최근의 바이오매스 활성화 정책 동향에 비추어 볼 때 자료로 이용하는데 한계가 있다. 또한, 실제 가축분뇨가 처리되는 농가, 농협공장, 축협공장 등의 자원화 시설은 시설규모와 가동률 등에서 편차가 매우 커 표본조사만으로는 객관적인 평가를 내리는데 한계가 있을 것으로 사료된다. 객관적인 경제성 분석을 위해서 실제 발생하는 분뇨의 성상 특성과 기술적인 특성을 처리방법별 경제성 평가에 반영하는 노력이 필요하다.

본 연구에서는 축산 바이오매스 중 발생량이 많고, 경제적으로 처리가 곤란한 양돈 바이오매스의 자원화 방법별 경제성 평가를 위해서 발생분뇨의 특성과 고액분리여부에 따라 시설유형을 네 가지로 분류하였다. 그리고 각 처리유형별 경제성을 평가하여 경제적인 자원화 처리유형을 도출하고자 하며, 정부에서 가축분뇨처리 지원사업<sup>4</sup>의 효율성을 높이기 위한 기초자료로 이용되고자 한다. 또 처리유형별 사육규모에 따른 경제성을 함께 분석함으로써 처리규모의 경제성을 연계하여 분석하였다.

3 우리나라 돈사는 고상과 액상이 혼합되는 슬러리식 돈사와 고상과 액상을 분리하는 스크레퍼식 돈사가 대부분이나, 대부분의 스크레퍼식 돈사는 분리된 액상처리의 어려움으로 고상과 액상을 분리하지 않고 슬러리식으로 운영하고 있다.

4 농림부의 가축분뇨처리지원사업은 축산농가(단독시설), 축산단지 및 조합(공동시설)에 대하여 처리시설, 공동자원화시설, 액비저장조시설 등 설치비 지원을 하고 있으며, 단독·공동·공동자원화시설은 보조 30%, 지방비 20%, 융자 50%(10년; 3년거치 7년균등상환, 연3%)를 지원하고, 액비저장조시설은 보조 30%, 지방비 50%, 자부담 20%를 지원하고 있다.

## 2. 축산 바이오매스의 발생량 및 처리 현황

### 2.1. 가축분뇨의 총 발생량

축산에서 배출되는 고농도 유기성 폐기물은 분, 뇨 및 세정수로 분류할 수 있다. 분과 뇨의 발생량은 축종별로 가축의 성장단계별로 차이가 있고, 세척수는 세정수 및 음용수 등 계절별 물 사용량에 따라 차이를 보인다. 일반적으로 하절기에 증가하고 동절기에 감소하는 경향을 보인다. 가축분뇨의 총 발생량은 축종별 사육두수에 축종별 발생원단위를 곱하여 계산할 수 있다. 환경부 고시(제1999-109호)에 의하면 “사육두수 및 가축별 1일 배출원단위<sup>5)</sup>는 한우 14.6kg, 젓소 45.6kg, 돼지4.2~8.6kg(슬러리 돈사 5.3kg, 톱밥깔짚 4.2kg, 정화 8.6kg), 닭·오리 0.12kg, 사슴·양 0.7kg, 개 1.1kg이다.

2006년 우리나라 가축분뇨의 총량은 하루 16만9천 톤이며 이는 연간 약 6,150만 톤에 상당한다. 축종별로는 돼지에 의한 가축분뇨 발생량이 가장 많은 것으로 추정되었으며, 전체 발생량의 약 55.6%를 차지하고 있다. 발생한 가축분뇨 처리형태는 미규제 및 신고미만 농가<sup>6)</sup>에서 발생하는 분뇨량이 약 33천톤/일으로 19%를 차지하며, 허가 및 신고 농가<sup>7)</sup>에서 발생하는 가축분뇨량은 약 136천톤/일으로 81%를 차지하고 있다.

표 1. 가축분뇨 발생량 현황(2006년)

단위: 톤/일

	계	허가대상	신고대상	신고미만
소·말	29,799( 17.7)	6,228	12,158	11,412
젓소	39,718( 23.6)	12,710	18,905	8,103
돼지	80,685( 47.9)	52,203	23,238	5,245
닭·오리	15,308( 9.1)	-	10,486	4,823
사슴, 양, 개 등	2,997( 1.8)	-	-	2,997
계	168,507(100.0)	71,141(42.2)	64,787(38.4)	32,579(19.3)

주: ( )은 축종별, 허가·신고·신고미만 발생량 비중(%)임

자료: 농림부, 2007

5 축종별 가축분뇨 발생원단위= 분배설량+뇨배설량+세정수이다.

6 신고미만 농가로부터 발생한 분뇨는 무단방류 금지 이외에 처리 의무가 없고 자율 관리한다.

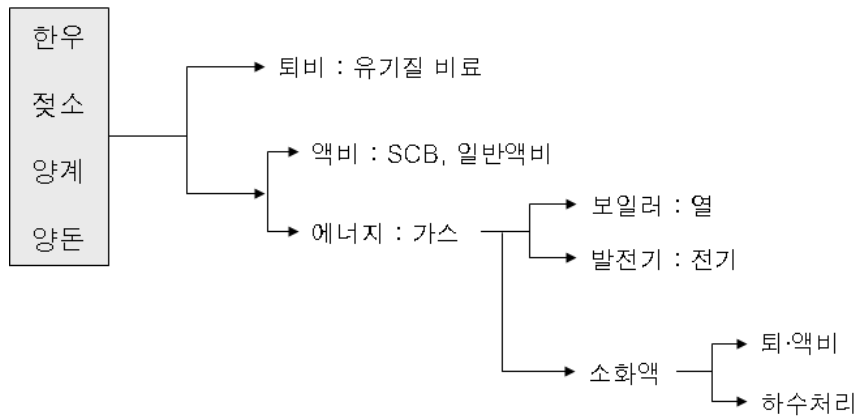
7 정화처리 시 방류수질기준은 허가대상 BOD 50~150mg/ℓ, 신고대상 BOD 150~350mg/ℓ이며, 반드시 처리시설을 설치하여 운영할 의무가 있다.

축종별로는, 양돈 농가는 90% 이상 처리시설을 갖추어야 하고, 소, 말 농가는 60%, 젖소 농가는 80%, 닭, 오리 농가는 70%가 처리 시설을 설치하여 운영해야 한다. 즉 축산 농가는 처리시설을 갖추고 분뇨를 자원화 할 필요가 있다.

## 2.2. 가축분뇨의 자원화 형태

축산바이오매스를 이용한 자원화 형태는 퇴비, 액비, 퇴·액비, 가스를 이용한 열에너지 및 전기 등이다.

그림 1. 축산바이오매스의 자원화 형태



### 2.2.1. 퇴비화

퇴비화는 “축산바이오매스의 유기물이 호기성 미생물에 의하여 분해되어 안정화되는 과정으로 토양에 환원하기에 충분한 부식도 상태의 물질로 변화되는 생화학적 공정”이다. 퇴비화의 목적은 가축분을 위생적으로 안전하게 처리하고, 생산한 퇴비는 화학비료 대체재로 이용하며, 그 최종 물질은 환경에 악영향을 주지 않아야 한다.

퇴비화 시설은 규모와 특성에 따라 신고미만의 소규모 농가에서 적용하는 개방형 야적식, 허가 및 신고대상 농가 그리고 공동처리시설에서 주로 적용하는 개방형 교반식, 악취문제와 퇴비화 기간을 단축시킨 밀폐형 기계식으로 나뉜다. 개방형 야적식 퇴비화와 개방형 교반식 퇴비화의 문제는 악취 확산의 우려가 크고, 침출수에 의한 2차 오염이 발생하기도 한다. 그러나 밀폐형 기계식은 악취나 2차 오염문제는 해결할 수 있으나, 시설비가 많이 들고 유지관리비, 야적장 등의 부지확보 문제가 있다.

### 2.2.2. 액비화

액비화 방법에는 호기성 액비화법<sup>8</sup>, 혐기성 액비화법<sup>9</sup>이 있으며, 최근 호기성 미생물을 이용하여 퇴비화와 액비화를 동시에 수행하는 SCB공법(퇴비단 여과법)<sup>10</sup>이 있다. 일반적으로 호기성 액비화법이 널리 보급되어 있으며, 짧은 기간(3~7일 이내) 내에 유기질 액비를 생산할 수 있으나 암모니아 휘산에 따른 대기오염 및 낮은 비료가치의 문제가 있다.

혐기성 액비화법은 호기성 액비화법과 비교하여 액비생산을 위해 오랜 기간(1개월 이상)이 소요된다. 기존에는 액비생산만을 목적으로 활용하였으나 최근에는 에너지 활용 측면을 고려하여 혐기소화과정에서 발생하는 바이오가스를 재생에너지로 사용하면서 소화액을 액비로 활용하는 방법이 도입되고 있다.

SCB(퇴비단여과)공법은 수분함량이 많은 양돈 슬러리 처리에 적합한 방법이다. SCB 공정은 슬러리상의 양돈 슬러리를 1차 저장조에 저류시키고, 벧짚 또는 톱밥을 여과상으로 활용하는 것이다. 저장조의 슬러리를 여과상에 살포하면 고상의 유기물은 퇴비단에 걸려 발효되고, 액상은 생물여과과정을 거쳐 악취가 제거되며, 최종 부산물은 액비로 활용하는 것이다.

### 2.2.3. 바이오가스화

바이오가스는 유기물이 산소(O<sub>2</sub>)가 없는 극도의 환원상태에서 미생물에 의해 분해되면서 생성되는 메탄(CH<sub>4</sub>) 40~70%, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 30~60%, 기타 황화수소(H<sub>2</sub>S), 수소(H<sub>2</sub>), 수분, 휘발성지방산(VFAs) 가스를 포함하는 혼합기체이다. 바이오가스 생산을 위해서는 혐기성 소화조를 활용하며, 혐기소화 원료로는 주로 가축분뇨, 음식물쓰레

<sup>8</sup> 호기성 미생물이 산소를 이용하여 유기물을 분해하는 생화학 반응이다. 호기성 발효는 유기물의 분해와 함께 온도가 상승하여 악취와 병원균이 소멸된 유동성이 높은 흑갈색의 액비를 생성할 수 있다.

<sup>9</sup> 혐기성 액비화 방법은 저장 액비화 방법이다. 저장액비화법은 대형 저류조에서 가축분뇨를 장기간 부숙시켜 가축분뇨를 처리하는 방법이다. 축종별 발효조 용량은 축사 100 m<sup>2</sup>당 한우의 경우 250 ℓ, 젓소 400 ℓ, 돼지 860 ℓ를 기준으로 액비화 시설을 설치해야 한다. 따라서 대규모의 저장시설이 필요하며, 처리기간이 길다.

<sup>10</sup> SCB(Slurry Composting Biofiltration, 퇴비단여과)는 기존 양돈분뇨 퇴비화시설 바닥을 개조(물빠짐과 통기성)하여 퇴비화시설의 문제점 개선과 생물여과 기능을 개선하는 방법이다.

기, 도축부산물 등 고농도 유기성 폐기물 등이 사용된다. 혐기성 소화조 내에서 메탄생 산 단계는 기능적으로 서로 다른 미생물에 의해 세단계로 구분된다.

첫 번째 단계는 복합 고분자 유기물이 가수분해 미생물에 의해 단순 단위화합물로 쪼개지는 가수분해(hydrolysis) 단계이고, 두 번째는 단순 단위화합물이 메탄생성의 원 료로 사용되는 각종 휘발성 지방산, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>를 생산하는 산생성(acetogenesis) 단계, 마 지막으로 전 단계에서 생산된 산물을 이용하여 CH<sub>4</sub>를 생산하는 메탄생성단계이다.

### 2.3. 축산바이오매스의 처리 및 이용실태

가축분뇨 1일 발생량 16만 9천톤을 처리 유형별로 살펴보면 미규제 신고미만 농가에 서는 공공처리가 0.6천톤이며 자체자원화처리가 31.5천톤이다. 허가 및 신고 대상농가 에서는 공공처리가 6.9천톤, 해양배출이 6.5천톤, 퇴비공장의 공동처리가 10.7천톤이며 나머지 102.6천톤은 농가에서 자체처리(퇴비·액비·정화방류)하고 있다.

전체적으로 가축분뇨의 퇴비화가 87.7%로 가장 많고, 액비 5.4%, 해양배출 비율이 3.9%, 정화처리 비율이 3.1%이다. 바이오가스화는 현재 미미한 상태이며, 가스화에 의 한 열 및 전기로 에너지화 할 경우에도 그 부산물인 소화액은 액비 등으로 처리해야 하는 어려움이 있다.

표 2. 가축분뇨 발생 및 처리실태(2006년)

단위: 천톤/일

발생량	처리량							
	미규제신고미만		허가신고농가					
	공공	자체 (자원화)	공공 처리	공동 (퇴비)	자체처리			해양 투기
퇴비					액비	정화		
169	0.6	31.5	6.9	10.7	98.5	9.0	5.1	6.5

자료: 농림부·환경부, 2004. 자료를 재계산하였음.

#### 2.3.1. 퇴비화 시설

가축분뇨 등을 이용하여 부산물 비료를 생산·판매하는 비료생산업체는 1994년 190 개소에서 2005년 872개소로 10년간 4배 이상 업체수가 증가하였다. 부산물퇴비 생산 업체는 축산분뇨 처리를 위해 증가하고 있으나, 수분조절제로 사용되는 톱밥 가격 상 승 등으로 대부분 경영수지는 적자이다. 또한 유해 폐기물 등을 부재료로 사용하는 등

퇴비품질관리의 문제로 수요자의 불신이 증가하고 소비가 위축되고 있으며, 생산퇴비의 소비시기가 한정되어 장기간 저장해야 하므로 저장비용이 많이 발생한다.

표 3. 연도별 부산물비료 생산업체수(1994~2005)

단위: 개소

1994	1996	1998	2000	2002	2003	2004	2005
190	351	494	569	724	809	823	872

자료: 농림부, 2006.

### 2.3.2. 액비화 시설

농림부는 축산농가 및 경종농가의 액비 활용도를 높이기 위하여 2001년부터 액비저장조에 대한 지원을 실시하고 있다. 가축분뇨 액비화시설에 대한 지원 조건은 총 사업비의 80%가 보조(국고 30%, 지방비 50%)이며, 자부담이 20%이다. 현 지원 단가는 액비저장조 200톤 규모에 1,700만원이다.

지원실적은 2001년도에 339기(41억원), 2002년도에 442기(22억원), 2003년도에 682기(32억원), 2004년도에 738기(41억원), 2005년 679기(35억원), 2006년은 520기(27억원) 총 1,463개소에 198억원이다.

표 4. 연도별 액비 저장조 설치 지원현황

단위: 개소, 억원

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	계
설치수	339	442	682	738	679	520	1,463
지원액	41	22	32	41	35	27	198

자료: 농림부, 2006.

정부에서는 액비 활용도를 높이기 위해 액비저장조 설치 및 살포비 지원을 실시하고 있으나, 저장조의 확대·보급에 주력한 나머지 시설 가동 및 관리 실태에 대한 조사는 미흡하여 정부지원사업의 실효성에 의문이 제기되고 있다. 또한 축산농가와 경종농가의 의견차이로 축산농가에서 생산한 액비가 경종농가에서 원활히 사용되지 못하고 액비 중 구리, 아연 등 중금속 과다함유 및 잔류 항생제 등의 문제가 지적되고 있다.



### 2.3.3. 바이오가스화 시설

최근 산자부(현 지식경제부) “신재생에너지 보급지원 사업”과 다양한 지원책에 힘입어 2007년 전라북도는 신재생에너지 지방보급사업을 통해 정읍, 무주, 고창에 가축분뇨를 이용한 바이오가스 생산시설 설치를 계획하고 있다. 또한, 일부 업체들이 농가형 바이오가스 생산시설을 건설하고, 연구용 시범시설을 추진하고는 있으나 미미한 실정이다. 이들이 상용화되기 위해서는 성능 및 경제성 평가가 요구된다.

### 2.3.4. 축산폐수공공처리시설

환경부는 신고미만의 소규모 축산농가에서 발생하는 가축분뇨의 처리를 지원하기 위하여 지방양여금을 지원, 축산폐수공공처리시설을 설치·운영하고 있다. 운전 중인 축산폐수공공처리시설은 2007년 52개소이며, 23개소가 추가로 건설 중에 있다. 현재 운전 중인 시설의 1일 처리용량은 10,215m<sup>3</sup>이다. 그러나 가동률이 저조<sup>11</sup>하고, 방류수 수질기준 초과, 규제미만 농가의 축산폐수 유입부진 등의 문제점이 나타나고 있다.

표 5. 축산폐수공공처리시설 운영 현황

	2003.12	2005.12	2007.6
시설수(개소)	41	49	52
시설용량(m <sup>3</sup> /일)	9,745	10,105	10,215

자료: 환경부, 2007.

### 2.3.5. 해양배출

폐기물의 해양배출제도는 국제협약(런던협약)에 의해 국제적으로 규제되고 있으며 이는 해양오염방지법 제16조에 근거한다. 해양오염방지법 제16조는 폐기물의 해양배

<sup>11</sup> 2003년 평균 가동률 64.5%, 축산폐수 공공처리시설은 비점오염원의 관리를 목적으로 신고미만의 소규모 농가에서 발생하는 분뇨의 수거 처리를 목적으로 환경부에서 지방양여금을 지원, 지자체에서 운전하는 시설임. 대부분의 공공처리시설은 정화처리를 중심으로 하고 있어 자원화와는 거리가 있으며, 공공처리시설에 반입처리하는 농가 중 신고미만 농가는 13.6%에 불과하여 본래의 설치 목적과는 상이하게 운전되고 있다(자료: 가축분뇨 관리·이용대책, 농림부·환경부합동, 2004).

출을 원칙적으로 금지하고 있다. 2006년도 폐기물의 해양배출 총량은 881만 2천<sup>m<sup>3</sup></sup>이었으며, 폐기물 종류별로는 축산폐수가 30%에 해당하는 260만7천<sup>m<sup>3</sup></sup>로 가장 많은 양을 배출하였다. 그러나 2012년부터는 축산폐수의 해양투기가 전면 금지되므로 이에 대한 대책마련이 시급하다.

표 6. 폐기물 해양배출량 현황

단위: 천<sup>m<sup>3</sup></sup>

	계	축산폐수	폐수처리 오니	사업장 폐수	분뇨	하수처리 오니	무기물류	기타
2004	9,749	2,346	1,683	1956	1582	1547	273	362
2005	9,929	2,745	1,486	2275	807	1629	209	778
2006	8,812	2,607	1,410	2220	364	1640	129	442
2007.8	5,094	1,328	820	1400	262	1153	0	132

자료: 농림부, 2007

### 3. 퇴·액비화 방법별 경제성 분석

#### 3.1. 경제성 분석을 위한 자원화 시설 형태별 유형구분

양돈에서 배출되는 바이오매스자원은 분, 뇨 그리고 돈사 세정수로 나눌 수 있다. 우리나라 양돈농가에서는 주로 분, 뇨, 세정수를 혼합 배출하는 슬러리 돈사와 세정수와 뇨를 자연 유하식으로 고액분리하여 배출하는 스크레퍼식 돈사구조가 일반적이다. 그러나 스크레퍼식 돈사라 할지라도 고액분리 없이 슬러리식으로 운영하는 사례가 많아 대부분의 양돈분뇨는 수분함량 97% 이상의 슬러리로 배출된다. 이러한 양돈 슬러리는 퇴비화 하는 경우 수분조절제인 톱밥 사용이 과다<sup>12</sup>하여 경제성이 매우 떨어지는 문제가 있다.

축산 바이오매스 중에서 발생량이 가장 많고, 처리상 가장 문제가 되는 양돈슬러리의 자원화 방법별 경제성 평가를 위하여, 고액분리 여부에 따라 자원화 처리 계통을

12 가축분뇨의 수분함량이 75%인 경우 가축분뇨와 톱밥의 혼합 부피비는 1:1, 85%인 경우 1:2, 95%인 경우 1:3으로 증가한다.

설계하고, 자원화 방법을 4개의 유형으로 구분하였다.

유형 I 은 기존 퇴비화시설 개량을 위해 추천되는 방식으로 고액분리를 통해 양돈 슬러리를 고상<sup>13</sup>과 액상<sup>14</sup>으로 구분하고, 고상은 퇴비화, 액상은 액비화하는 방안으로 고상의 수분함량은 85%로 설정하였다. 유형 II 는 농가사레가 많고, 소규모 농가에서 주로 채택하는 방법으로 양돈슬러리 전량을 퇴비화 하는 방안이다. 양돈 슬러리의 수분함량이 높아 톱밥소요량이 많으므로 발생 슬러리의 수분함량을 95%로 설정하였다. 유형 III 은 액비유통이 원활한 지역에서 채택하는 방안으로 전량 액비화하는 단순한 형태이다. 마지막으로 유형 IV 는 최근 농촌진흥청 축산과학원에서 개발, 보급하고 있는 퇴비단을 생물여과막으로 사용하여 톱밥의 투입량을 현저히 절감시킨 형태이다. 허덕 등(2001)은 가축분뇨 처리방법별 경제성 평가에서 톱밥발효에 의한 퇴비화, 액비화, 화력 또는 온실건조, 정화처리 등의 처리방법을 기초로 조사·분석하였다. 이는 농가 실태조사를 바탕으로 분류한 것으로 화력건조, 온실건조의 방법은 합리적이고 성실한 처리방법이 되지 못하는 경우가 많고 정화처리는 자원화와 배치되는 특성이 있어 본 연구에서 처리유형을 설정할 때 이러한 방법은 배제하였다.

표 7. 양돈슬러리 자원화 경제성 평가를 위한 처리방법의 유형구분

유형	유형 I	유형 II	유형 III	유형 IV
처리방법	퇴·액비화	전량 퇴비화	전량 액비화	SCB(퇴·액비화)

### 3.1.1. 유형별 특징

분뇨를 퇴·액비로 처리하는 유형 I 의 경우 양돈 슬러리를 자연유하시켜 고액분리한다. 고액분리 후 고상의 수분함량은 85%, 액상의 수분함량은 98% 이상으로 설정하였다. 퇴·액비 생산에 필요한 건축물은 톱밥과 혼합 후 70℃ 이상까지 발효시키는 발효퇴비사, 발효퇴비를 모아서 보관하는 야적퇴비사를 두었으며, 액상은 액비저장조에

<sup>13</sup> 고상은 일반적으로 양돈슬러리를 자연유하시켰을 때 침강하는 고형물을 주로 포함하는 부분이다. 본 연구에서는 양돈에서 발생하는 분과 뇨를 합하여 고상 부분으로 간주하였다. 성장단계별로 분뇨의 발생량과 수분함량은 차이를 보이며, 분의 수분함량은 71.1~80.6%, 뇨의 수분함량은 97.6~98.8%를 보인다(가축분뇨 성분분석 실험법, 농진청 축산연구소, 2007).

<sup>14</sup> 액상은 일반적으로 양돈슬러리를 자연유하시킨 경우 상층액 부분이다. 본 연구에서는 양돈에서 발생하는 돈사 세정수를 액상으로 간주하였다.

저장하는 처리계통을 설정하였다. 주요 기계장치로는 고액분리효율을 높이기 위한 고액분리기, 발효퇴비사에서 퇴비단의 교반을 위한 퇴비교반기이다. 퇴비화 시 투입되는 톱밥은 수분함량 75%인 고상의 경우 1m<sup>3</sup>당 톱밥이 2m<sup>3</sup>가 소요된다.

유형Ⅱ는 유입원료를 전량 퇴비화하는 방법이다. 이 경우 퇴비 생산에 필요한 건축물은 발효퇴비사, 약적퇴비사이며, 주요 기계장치로는 퇴비교반기이다. 분뇨를 퇴비화하기 위해서는 수분함량 95%인 분뇨슬러리 1m<sup>3</sup>당 톱밥이 3m<sup>3</sup>가 소요되며 톱밥 가격에 따라 경영성과가 크게 달라질 수 있다.

유형Ⅲ은 유입원료를 전량 액비화하는 방법이다. 액비 생산에 필요한 건축물은 액비저장조이며, 추가로 액비저장조로 유입되는 양돈슬러리의 유량을 조정할 수 있는 슬러리 저류조를 두었다. 호기성 액비화의 경우 부로어 또는 송풍기를 사용하는 경우가 있으나 유형 Ⅲ에서는 저장액비의 형태로 유형을 규정하고 기계장치는 두지 않았다.

유형Ⅳ는 유입된 분뇨를 고액분리 없이 SCB퇴비단 처리하는 방법이다. 퇴·액비 생산에 필요한 건축물은 유량의 조정을 위한 슬러리 저류조, SCB발효퇴비사, 약적퇴비사, 액비저장조이다. 주요 기계장치로는 퇴비교반기를 두었으며, 퇴비단의 생물반응을 증진시키는 송풍장치를 추가하였다. 또한 SCB퇴비단 공법의 경우 여름과 겨울에는

표 8. 자원화 유형별 처리시설 기준 및 특징

		유형 I	유형 II	유형 III	유형 IV
처리특성		고상은 퇴비화, 액상은 액비화	고액분리 없이 전량 퇴비화	고액분리 없이 전량 액비화	SCB퇴비단처리, 여과액은 액비화
유입원료특성		수분함량: 고상 85%, 액상 98% 이상	수분함량: 95% 이상	수분함량: 95% 이상	수분함량: 95% 이상
시설 개요	건축물	· 발효퇴비사 · 약적퇴비사 · 액비저장조	· 발효퇴비사 · 약적퇴비사	· 액비저장조 · 단순저류조	· 슬러리지류조 · SCB발효퇴비사 · 약적퇴비사 · 액비저장조
	기계장치 기타	· 퇴비교반기 · 고액분리기	· 퇴비교반기	-	· 퇴비교반기 · 퇴비단 내 송풍기 · 고액분리기
운전 개요	톱밥투입	원료 1m <sup>3</sup> 당 톱밥 2m <sup>3</sup>	원료 1m <sup>3</sup> 당 톱밥 3m <sup>3</sup>	-	원료 1m <sup>3</sup> 당 톱밥 0.6m <sup>3</sup>
	발효기간	180일	180일	180일	180일
	교반시간	1시간/일 (1000두 기준)	1시간/일 (1000두 기준)	-	1시간/일 (1000두 기준)
	송풍시간	-	-	8시간/일	16시간/일

퇴비단의 고액분리효율이 떨어져 운전이 장애가 발생하는 특성때문에 별도로 고액분리기를 두었다. 유형 IV에서는 퇴비단을 생물여과단으로 사용함으로 톱밥 소요량이 줄어드는 특성이 있어 고상을 퇴비화 하는데 분노슬러리 1m<sup>3</sup> 당 톱밥이 0.6m<sup>3</sup>가 소요<sup>15</sup> 되는 것으로 간주하는데, 다른 유형에 비해 톱밥 구입비에서 유리하다.

### 3.1.2. 유형별 자원화 시설 계수

유형별 자원화 시설 계수는 설치비 및 유지관리비의 경제성 평가에 요구되는 기준 수치를 정리하였다. 유형 I의 경우 사육규모별 자원화 시설 계수는 <표 9>와 같다. 양돈 슬러리 중 고상의 수분함량은 85%이며, 액상의 수분함량은 98%로 설정하였다. 1,000두를 기준으로 할 때 1일 발생량은 8.6m<sup>3</sup>이며, 분과 뇨 4.2m<sup>3</sup>, 세정수 4.4m<sup>3</sup>가 발생

표 9. 사육규모별 자원화 시설 계수(유형 I)

		규모(사육두수, 두)									
		1,000		2,000		3,000		5,000		10,000	
		고액분리 여부		고액분리		고액분리		고액분리		고액분리	
원료 성상	고액분리 여부	고액분리		고액분리		고액분리		고액분리		고액분리	
	수분함량(%)	85	98	85	98	85	98	85	98	85	98
발생량 (m <sup>3</sup> /일)	슬러리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	고상 <sup>1)</sup>	4.2	-	8.4	-	12.6	-	21	-	42	-
	액상	-	4.4	-	8.8	-	13.2	-	22	-	44
유형 I	톱밥투입량(m <sup>3</sup> /일)	8.4	-	16.8	-	25.2	-	42	-	82	-
	퇴비사면적 <sup>2)</sup> (m <sup>2</sup> )	1,260	-	2,520	-	3,780	-	6,300	-	12,600	-
	퇴비생산량 <sup>3)</sup> (ton/일)	4.9	-	9.8	-	14.6	-	24.4	-	48.8	-
	액비량(m <sup>3</sup> /6개월)	-	792	-	1,584	-	2,376	-	3,960	-	7,920
	저장조수 <sup>4)</sup> (기)	-	4	-	8	-	12	-	20	-	40

- 주: 1) 고상은 일반적으로 양돈슬러리를 자연유하시킨 경우 침강하는 고형물을 주로 포함하는 부분을 가 르킨다. 본 연구에서는 자연유하 시 낮은 고액분리효율을 고려하여 양돈에서 발생하는 분과 뇨를 합하여 고상 부분으로 간주하였다.
- 2) 퇴비사 면적은 일일퇴비생산량을 계산하고 180일간의 퇴비화 및 저장 기간과 퇴비사의 발효퇴비 단의 약적 높이를 1.8m로 하여 계산하였다.
- 3) 퇴비생산량은 퇴비화 과정에서 돈분원료 중의 수분 감소율 20%를 고려하고, 톱밥비중을 고려 톱 밥 투입 부피를 투입 무게로 환산하여 다음과 같이 계산하였다. 퇴비생산량 = 돈분슬러리량 × 0.8 × 1,000 + 톱밥투입량 × 톱밥의 비중(181kg/m<sup>3</sup>, 단 퇴비화 시 톱밥의 분해도는 매우 낮아 톱밥 분해에 따른 질량감소는 고려하지 않았다.
- 4) 액비저장조는 200m<sup>3</sup> 기준, 1기로 하였다.

<sup>15</sup> SCB공법은 톱밥, 볏짚 등을 이용한 퇴비단을 생물여과단으로 활용하는 것으로, 1년에 2회 정도 퇴비단을 회수하므로 톱밥 사용량을 현저히 줄일 수 있으며, 슬러리 톤당 0.1~0.6m<sup>3</sup>의 톱밥이 소요되는 것으로 보고되고 있다(박치호 등, 2001).

한다. 퇴비사의 면적은 발효퇴비의 생산량과 축산분뇨 자원화시설 표준설계도(환경부 등, 1999)의 설계수치를 기준으로 구하였으며, 발효퇴비의 생산량은 퇴비화 시 수분 증발율을 20%로 설정하고 톱밥의 비중과 수분함량을 고려하여 계산하였다.

유형 I의 경우 퇴비와 액비의 생산량은 각각 1,000두 기준 4.9톤/일, 792m<sup>3</sup>/6개월로 나타났으며, 퇴비화 시 요구되는 톱밥소요량은 수분함량 85%인 고상의 2배가 필요하고, 소요되는 퇴비사 면적은 1,000 두 기준 1,260m<sup>2</sup>, 액비저장조는 200m<sup>3</sup>기준 4기로 나타났다. 또한 돼지 사육두수가 증가할수록 요구되는 시설 규모는 증가하였다. 본 연구에서는 액비저장조를 단순 저류하는 저장액비화 방식을 설정하여 액비저장기간 중 수증기의 증발에 의한 감량은 무시하였으나, 폭기식의 액비저장조를 도입하는 경우는 수증기 증발에 의한 액비의 감량을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

유형 II에서 IV까지 유형별, 사육규모별 퇴·액비 발생량과 이를 처리하기 위한 톱밥 투입량, 퇴비사면적, 퇴비 및 액비 생산량은 <표 10>과 같다.

표 10. 사육규모별 자원화 시설계수(유형 II~유형 IV)

		규모(사육두수, 두)				
		1,000	2,000	3,000	5,000	10,000
원료 성상	고액분리여부	미 실시	미 실시	미 실시	미 실시	미 실시
	수분함량(%)	95	95	95	95	95
발생량 (m <sup>3</sup> /일)	슬러리	8.6	17.2	25.8	43	86
	고상	-	-	-	-	-
	액상	-	-	-	-	-
유형 II	톱밥투입량 <sup>1)</sup> (m <sup>3</sup> /일)	25.8	51.6	77.4	129	258
	퇴비사면적(m <sup>2</sup> )	3,440	6,880	10,320	17,200	34,400
	퇴비생산량 <sup>2)</sup> (ton/일)	11.5	23.1	34.6	57.7	115.5
유형 III	액비량(m <sup>3</sup> /6개월)	1,548	3,096	4,644	7,740	15,480
	저장조(200m <sup>3</sup> 기준,기)	8	16	24	39	78
유형 IV	톱밥투입량(m <sup>3</sup> /일)	5.2	10.3	15.5	25.8	51.6
	퇴비사면적(m <sup>2</sup> )	1,376	2,752	4,128	6,880	13,760
	퇴비생산량(ton/일)	3.7	7.4	11.1	18.4	36.9
	액비량(m <sup>3</sup> /6개월)	929	1,858	2,787	4,644	9,288
	저장조수 <sup>3)</sup> (기)	5	10	14	24	47

- 주: 1) 퇴비사 면적은 일일퇴비생산량을 계산하고 180일간의 퇴비화 및 저장 기간과 퇴비사 발효퇴비단의 야적 높이를 1.8m로 하여 계산하였다.
- 2) 퇴비생산량은 퇴비화 과정에서 돈분원료 중의 수분 감소율 20%를 고려하고, 톱밥비중을 고려 톱밥 투입 부피를 투입 무게로 환산하여 다음과 같이 계산하였다. 퇴비생산량 = 돈분슬러리량 × 0.8 × 1,000 + 톱밥투입량 × 톱밥의 비중(181kg/m<sup>3</sup>), 단 퇴비화 시 톱밥의 분해도는 매우 낮아 톱밥 분해에 따른 질량감소는 고려하지 않았다.
- 3) 액비저장조는 200m<sup>3</sup> 기준, 1기로 하였다.

사육규모를 1,000두에서 1만두까지 시산했으며, 1,000두를 기준으로 볼 때, 이를 정리하면 다음과 같다.

유형 II는 발생슬러리 전량을 고액분리 없이 퇴비화 하는 유형으로 톱밥 소요량은 슬러리 8.6m<sup>3</sup>의 3배로 25.8m<sup>3</sup>가 필요하다. 퇴비사 면적은 저장기간을 180일을 기준으로 할 때 슬러리 발생량과 톱밥투입량을 고려하여 3,440m<sup>3</sup>(8.6+25.8)×180일/1.8<sup>16</sup>가 필요하다. 퇴비는 11.5톤/일이 생산된다.

유형 III은 발생슬러리 전량을 고액분리 없이 액비화 하는 경우로 1,000두를 기준으로 할 때, 슬러리는 1일당 8.6m<sup>3</sup> 발생하므로 6개월 동안의 액비량은 1,548m<sup>3</sup>이다.

유형 IV는 SCB퇴비단 공법을 활용하는 경우로서 톱밥투입량은 5.2m<sup>3</sup>/일이고, 퇴비사면적은 슬러리량과 톱밥투입량을 고려하면 1,376m<sup>2</sup>/일이며, 액비량은 슬러리의 60%, 저장기간 180일 기준으로 보면 928m<sup>3</sup>/6개월이 된다.

유형별로 톱밥 투입량, 퇴비생산량 및 액비생산량을 보면, 톱밥투입량은 유형 II에서 가장 많고, 유형 III은 없다. 퇴비 생산량은 유형 II가 가장 많고, 다음은 유형 I이다. 액비생산량은 유형 III이 가장 많고, 유형 IV, 유형 I 순이다. 따라서 퇴비화 시 원료의 수분함량에 따라 투입요소인 톱밥투입량이 결정되고, 톱밥의 가격을 고려하여 자원화 시설의 형태를 결정해야 한다. 톱밥 투입량에 따라 퇴비 생산량이 결정되므로 톱밥가격뿐만이 아니라 지역의 퇴비수요와 유통용량을 고려하여 퇴비화시설 유형을 선택하여야 한다. 액비는 액비를 수요할 수 있는 지역인지를 고려하여 자원화 시설을 설치하여야 한다.

## 3.2. 퇴·액비 시설 유형별 경제성 분석

### 3.2.1. 퇴·액비 시설 유형별 설치비

자원화 시설의 설치물은 토목건축 부분과 기계장치 부분으로 구분할 수 있으며, 퇴비사, 액비저장탱크는 토목건축부분에 속하며, 송풍기, 고액분리기 등은 기계장치 부분으로 분류할 수 있다. 퇴비사 설치비용은 m<sup>2</sup>당 12만원<sup>17</sup>으로 유형 I의 경우 1,000두 사육규모를 기준, 12만원×1,260m<sup>2</sup>으로 1억5천만원이다. 기계장치<sup>18</sup>는 스크류교반기 1기

<sup>16</sup> 1.8은 퇴비사 구조물의 높이(발효퇴비단의 높이)이다.

<sup>17</sup> 건설공사의 용도별 표준단가적용(경량철골 퇴비사, 노동부고시 제2006-48호 중 별표3).

에 8,000만원, 고액분리기 4,000만원으로 1억 2천만원이다. 액비저장탱크는 기당 1,700만원으로 유형 I의 경우 4기가 필요하여 6천 800만원이다. 시설 설치비 추산 결과 유형 I의 총 설치비는 3억 4천만원으로, 톤당 설치비는 10만 8천원(총비용 3억4천만원/총퇴비생산량 8.6m<sup>3</sup>×365일)이다. 유형 II의 톤당 설치비용은 15만 7천원, 유형 III은 4만 3천원, 유형 IV는 11만 8천원으로 유형별로 톤당 설치비용의 차이가 있다.

톤당 설치비는 규모가 커짐에 따라 감소하지만, 크게 감소하는 형태는 퇴비만을 생산하는 유형과 퇴비·액비를 생산하는 유형이다. 규모에 따라 차이가 없는 형태는 액비만을 생산하는 유형이다. 톤당 시설비는 퇴비만을 생산하는 유형 II가 가장 높고, 유형 IV, 유형 I, 유형 III순으로 나타났다.

표 11. 자원화 유형별 설치비용

			규모(사육두수, 두)				
			1,000	2,000	3,000	5,000	10,000
유형 I	퇴비화 <sup>1)</sup>	퇴비사 <sup>2)</sup>	151,200	302,400	453,600	756,000	1,512,000
		기계장치 <sup>3)</sup>	120,000	120,000	120,000	240,000	360,000
	액비화 <sup>1)</sup>	저장액비탱크 <sup>4)</sup>	68,000	136,000	204,000	340,000	680,000
		계(천원)	339,200	558,400	777,600	1,336,000	2,552,000
	톤당설치비 <sup>5)</sup> (원/m <sup>3</sup> )		108,060	88,946	82,574	85,123	81,300
유형 II	퇴비화	퇴비사	412,800	825,600	1,238,400	2,064,000	4,128,000
		기계장치	80,000	80,000	80,000	160,000	240,000
	계(천원)		492,800	905,600	1,318,400	2,224,000	4,368,000
	톤당설치비(원/m <sup>3</sup> )		156,993	144,250	140,002	141,701	139,153
유형 III	액비화	저장액비탱크	136,000	272,000	408,000	663,000	1,326,000
	계(천원)		136,000	272,000	408,000	663,000	1,326,000
	톤당설치비(원/m <sup>3</sup> )		43,326	43,326	43,326	42,243	42,243
유형 IV	SCB (퇴,액비)	퇴비사	165,120	330,240	495,360	825,600	1,651,200
		기계장치	120,000	120,000	120,000	240,000	360,000
		저장액비탱크	85,000	170,000	238,000	408,000	799,000
	계(천원)		370,120	620,240	853,360	1,473,600	2,810,200
	톤당설치비(원/m <sup>3</sup> )		117,910	98,796	90,619	93,890	89,525

- 주: 1) 퇴비화: 보조50, 융자50(연리 3%) ; 액비화 : 보조80, 자부담20  
 2) 퇴비사설치비: 건설공사의 용도별 표준단가적용(경량철골 퇴비사, 노동부고시 제2006-48호 중 별 표3)  
 3) 기계장치비: 스크류교반기 1기 80,000천원, 고액분리기 40,000천원 적용  
 4) 액비저장조 설치비: 200m<sup>3</sup>기준 기당 17,000천원 적용  
 5) 연간 처리되는 가축분뇨 톤당 처리비: 시설설치비/(가축분뇨 일발생량×356일)로 계산

18 농림부·농협중앙회, 가축분뇨자원화 시스템 평가, 2006.



3.2.2. 퇴·액비 시설 유형별 경영비

경영비는 인건비, 톱밥구입비, 전력비, 수선비, 감가상각비, 융자금 이자 등을 실제 투입한 량을 기준으로 계산한 결과이다.

표 12. 자원화 유형별·규모별 경영비

단위: 원/m<sup>3</sup>

		규모(사육두수, 두)				
		1,000	2,000	3,000	5,000	10,000
유형 I	인건비 <sup>1)</sup>	1,911.4	955.7	637.1	382.3	191.1
	톱밥투입비 <sup>2)</sup>	14,651.2	14,651.2	14,651.2	14,651.2	14,651.2
	전력비 <sup>3)</sup>	594.3	594.3	594.3	594.3	594.3
	기타수선비 등 <sup>4)</sup>	3,899.4	1,987.9	1,350.8	1,605.6	1,223.4
	감가상각비 <sup>5)</sup>	8,270.1	5,880.8	5,084.4	5,402.9	4,925.1
	융자금이자 <sup>6)</sup>	1,296.0	1,009.2	913.7	951.9	894.6
	계	30,622.3	25,079.1	23,231.4	23,588.2	22,479.6
유형 II	인건비	1,911.4	955.7	637.1	382.3	191.1
	톱밥투입비	45,000.0	45,000.0	45,000.0	45,000.0	45,000.0
	전력비	169.3	169.3	169.3	169.3	169.3
	기타수선비 등	2,548.6	1,274.3	849.5	1,019.4	764.6
	감가상각비	9,761.1	8,168.2	7,637.3	7,849.6	7,531.1
	융자금이자	2,354.9	2,163.7	2,100.0	2,125.5	2,087.3
	계	61,745.3	57,731.3	56,393.3	56,546.2	55,743.4
유형 III	인건비	955.7	477.9	318.6	191.1	95.6
	톱밥투입비	-	-	-	-	-
	전력비	595.9	595.9	595.9	581.0	581.0
	기타수선비 등	152.9	152.9	152.9	149.1	149.1
	감가상각비	2,166.3	2,166.3	2,166.3	2,112.1	2,112.1
	융자금이자	-	-	-	-	-
	계	3,870.9	3,393.0	3,233.7	3,033.4	2,937.8
유형 IV	인건비	1,911.4	955.7	637.1	382.3	191.1
	톱밥투입비	9,000.0	9,000.0	9,000.0	9,000.0	9,000.0
	전력비	618.0	618.0	618.0	618.0	618.0
	기타수선비 등	3,918.4	2,007.0	1,363.5	1,620.9	1,236.7
	감가상각비	8,762.7	6,373.4	5,486.7	5,841.4	5,336.4
	융자금이자	1,362.5	1,075.8	980.2	1,018.4	961.1
	계	25,573.0	20,029.8	18,085.4	18,480.9	17,343.3

- 주: 1) 인건비는 월 200만원, 1,000두당 배출되는 분뇨에 대한 노동시간 2시간/일 기준 적용  
 2) 톱밥구입비는 2007년 현장 조사를 통해 15,000원/m<sup>3</sup> 적용  
 3) 전력비는 1,000두당 배출분뇨 퇴비화 시 20KW급 교반기 1시간/일 가동 전력 기준, 농업용 전기 36.4원/KW 적용(농림부·농협중앙회, 가축분뇨자원화 시스템 평가, 2006)  
 4) 기타수선비 등은 연간 기계장치비의 10% 기준 적용  
 5) 감가상각비는 토목건축물 내구연수 20년, 기계장치 내구연수 8년 기준 적용  
 6) 융자금이자자는 퇴비화시설에 대하여 보조50, 융자50(연리 3%) 기준 적용(농림부, 2007년도 농림사업지침, 2007)

톤당 인건비는 1인 월 200만원으로 하고 1,000두 기준 노동투입시간을 2시간/일로 설정하여 계산하고, 인건비 총액을 양돈슬러리 중 퇴비화 처리 총량으로 나누어 계산하였다. 톱밥투입비는 농가실태조사<sup>19</sup>를 바탕으로 투입량에 톱밥단가(15,000원/m<sup>3</sup>)를 곱해 산출하였고, 전력비는 교반기, 폭기장치, 고액분리기 등 기계장치 전력에 일일 가동시간을 곱하여 계산<sup>20</sup>하였다. 감가상각비는 퇴비사 30년, 기계장치 8년으로 내용연수를 적용하였으며, 융자금 이자는 농림사업지침<sup>21</sup>을 근거로 시설비의 50% 정부지원과 나머지는 연리 3% 이자율을 적용하였다.

고액분리 없이 발생 양돈슬러리 전량을 퇴비화 하는 유형 II의 경우, 사육규모가 1,000~10,000 두로 증가함에 따라 경영비가 61,745~55,743원/m<sup>3</sup>으로 낮아졌으나 4개 유형 중에서 가장 높은 톤당 처리비용을 보였다. 이는 톱밥구입비용의 과다에 따른 것으로 나타났다. 반면, 고액분리를 하여 퇴비화와 액비화를 동시에 수행하는 유형 I의 경우 동일한 사육두수의 변화에서 30,622~22,480원/m<sup>3</sup>의 톤당 처리비용을 보여 단순 고액분리만으로도 퇴비화 비용을 50% 이상 경감할 수 있는 것으로 나타났다. 유형 IV의 SCB퇴비단 공법은 유형 I에 비하여 초기 시설비가 약간 상승하는 경향이 있으나 퇴비단에서의 톱밥 소요량이 적어 유형 I 보다 톱밥투입비를 39%가량 절감하는 것으로 나타났다.

유형 III의 액비화 방법은 사육규모가 1,000~10,000 두에서 3,871~2,938원/m<sup>3</sup>을 보였다. 퇴비화 방법과 비교하여 액비화가 경제적인 측면에서 매우 효율적인 방법임을 알 수 있다. 그러나 액비의 살포부지 확보에 문제가 있으며, 액비로 이용되지 못하는 경우 처리가 곤란하여 인근 공공처리장 통해 정화하거나 해양투기하는 경우가 많다<sup>22</sup>.

- 
- 19 톱밥구입비용은 2007년 9월 한 달 동안 홍성군 은하면 덕실리 양돈 농가 22개소의 퇴비사 운전실태 조사를 통해 얻은 결과이다.
- 20 가축분뇨 퇴비화 시설 평가 자료를 근거로 기계장치 운전비용을 추산하였다(농림부·농협중앙회, 가축분뇨자원화 시스템 평가, 2006).
- 21 농림부의 가축분뇨처리지원사업은 축산농가(단독시설), 축산단지 및 조합(공동시설)에 대하여 처리시설, 공동자원화시설, 액비저장조시설 등 설치비 지원을 하고 있으며, 단독·공동·공동자원화시설은 보조 30%, 지방비 20%, 융자 50%(10년; 3년거치 7년균등상환, 연3%)를 지원하고, 액비저장조시설은 보조 30%, 지방비 50%, 자부담 20%를 지원하고 있다.
- 22 액비화처리시설은 살포부지를 확보하지 못하는 경우, 자체 처리가 곤란하여 인근의 축산폐수 공공처리장으로 연계하여 정화처리 후 방류하거나, 해양투기하는 사례가 많다. 심한 경우 무단방류로 이어지는 사례도 있어 수질오염의 원인이 되기도 한다. 공공처리장에 연계하는 경우 12,000~18,000원/m<sup>3</sup>의 처리비용을 징수하고 있으며, 해양투기하는 경우 지역에 따라 18,000~30,000원/m<sup>3</sup>의 비용을 징수하여, 이 경우 추가적인 비용이 소요된다.

경영비에서 분석비목별 비중은, 유형 I은 1,000두 사육규모 기준으로 톱밥구입비 48%, 감가상각비 27%로 가장 큰 비중을 차지하였으며 사육규모가 10,000두로 증가하는 경우 톱밥구입비는 65%로 증가하였고, 감가상각비 22%로 감소하였다. 유형 II는 1,000두 사육규모 기준으로 톱밥구입비가 73%로 나타났으며, 사육규모가 10,000두로 증가하는 경우 톱밥구입비의 비중이 81%까지 상승하는 것으로 분석되었다. 또한 유형 III은 1,000두 사육규모 기준으로 감가상각비가 56%로 나타났고, 사육규모가 10,000두로 증가하는 경우 감가상각비의 비중이 72%까지 상승하는 것으로 나타났다. 마지막으로 유형IV는 1,000두 사육규모 기준으로 톱밥구입비 35%, 감가상각비가 34%로 나타났고, 사육규모가 10,000두로 증가하는 경우 톱밥구입비는 52%로 증가하고 감가상각비의 비중은 31%로 낮아지는 것으로 분석되었다.

### 3.2.3. 퇴·액비 시설 유형별 수익 및 경제성 분석

경제성 분석은 수익에서 비용을 제하여 산출하였으며, 분석결과는 <표 13>과 같다. 수익은 화학비료 절감효과<sup>23</sup>, 퇴비판매수익<sup>24</sup>, 축산분뇨 처리 대행비는 축산농가가 분뇨를 처리할 때 지불하는 비용의 일부, 액비살포비는 액비공장에서 액비를 생산하여 수도작 등에 살포하면서 받는 수익으로 산정하였다. 비용은 경영비용을 계산하여 유형별로 수익성을 추정하였다.

유형별·규모별로 경제성을 분석한 결과 모든 유형에서 퇴비판매수익만으로는 적자 운영을 보였으며, 화학비료 절감효과와 축산분뇨 처리비, 액비살포비 등을 수익으로 할 때 정상적 경영이 가능한 것으로 분석되었다. 유형별로는 유형 I에서 1,000두 미만의 경우 퇴비판매수익, 화학비료절감효과, 축산분뇨 처리비까지를 수익으로 계산할 때 이윤이 발생하고 퇴비판매 수익으로 이윤이 발생하려면 1만두 이상의 사육규모에서 가능하였다. 유형II는 퇴비판매수익, 화학비료절감효과, 축산분뇨처리비 등을 모두 수익으로 계산해도 1만두 미만에서도 적자로 나타났으며, 현재 우리나라의 농가규모를 고려할 때, 이윤 발생이 매우 어려운 것으로 나타났다. 유형III은 화학비료 절감효과를 계산

23 화학비료절감효과는 가축분뇨 농경지환원에 따른 복합비료 대체비용으로 추산하였으며, 퇴·액비 톤당 복합비료 대체비용(원/톤) = 연간 가축분뇨 슬러리 발생량(m<sup>3</sup>)×0.25%(질소성분 이용율)÷17%(복합비료대체량 환산계수, 복합비료중 질소성분비율)×250,000원/톤(복합비료 가격)으로 추정하였다.

24 유형 I의 퇴비판매 수익은 퇴비와 액비이고, 유형 II는 퇴비, 유형 III은 액비, 유형 IV는 퇴비와 액비이다.

할 때 1,000두 이상에서 이윤이 발생하였고, 유형 IV는 퇴비판매수익, 화학비료절감효과, 축분 처리비까지를 수익으로 계산할 때 3,000두 이상에서 수익이 발생하는 것으로 분석되었다. 그러나 유형 III의 경우 앞에서 언급한 바와 같이 실행하려면 액비살포부지 확보 및 살포시기 등에 대한 충분한 고려가 필요하다.

표 13. 자원화 유형별·규모별 경제성분석 결과

단위: 원/m<sup>2</sup>

			규 모 (사육두수, 두)				
			1,000	2,000	3,000	5,000	10,000
유형 I	수익(A)	퇴비판매수익	17,025	17,025	17,025	17,025	17,025
		화학비료절감효과	3,677	3,677	3,677	3,677	3,677
		축산분뇨처리비	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
		액비살포수익	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	비용(B)	경영비	30,622	25,079	23,231	23,588	22,480
수익(A-B)			1,080	6,623	8,471	8,114	9,222
유형 II	수익(A)	퇴비판매수익	40,290	40,290	40,290	40,290	40,290
		화학비료절감효과	3,677	3,677	3,677	3,677	3,677
		축산분뇨처리비 <sup>1)</sup>	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
		액비살포수익 <sup>2)</sup>	-	-	-	-	-
	비용(B)	경영비	61,745	57,731	56,393	56,546	55,743
수익(A-B)			-7,748	-3,764	-2,426	-2,579	-1,776
유형 III	수익(A)	퇴비판매수익	-	-	-	-	-
		화학비료절감효과	3,677	3,677	3,677	3,677	3,677
		축산분뇨처리비	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
		액비살포수익	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	비용(B)	경영비	3,871	3,393	3,234	3,033	2,938
수익(A-B)			10,806	11,284	11,443	11,644	11,739
유형 IV	수익(A)	퇴비판매수익	12,858	12,858	12,858	12,858	12,858
		화학비료절감효과	3,677	3,677	3,677	3,677	3,677
		축산분뇨처리비	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
		액비살포수익	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	비용(B)	경영비	25,573	20,030	18,085	18,481	17,343
수익(A-B)			1,962	7,505	9,450	9,054	10,192

주: 1) 가축분뇨처리비는 해양투기비용이 2007년 톤당 18,000~25,000원 수준이나 농가가 실제 지불가능한 금액을 톤당 10,000원으로 가정하였다.

2) 액비살포비는 액비살포 시 정부지원금 1ha당 15만원임을 고려하여, 1ha당 150톤을 살포하는 것으로 가정하고 톤당 1,000원을 액비살포수익으로 추산하였다.

처리규모가 1만두 이상일 경우를 기준으로 보면 모든 유형에서 퇴비판매 수익만 고려했을 때 적자로 나타났다. 그러나 직접수익(퇴비판매수익+분뇨처리비+액비살포비)

전체를 고려했을 때 유형Ⅱ를 제외하고 이익이 발생하는 것으로 추산되었다. 직접수익과 간접수익(화학비료절감효과)을 전체 수익으로 계산했을 때 유형Ⅱ는 1,776원/m<sup>3</sup>의 손해를 보게 된다. 유형Ⅱ는 톱밥을 가장 많이 사용하는 유형으로 톱밥가격의 상승에 따라 수익의 정도가 달라진다.

표 14. 유형별 경영성과(1만두 기준)

단위: 원/m<sup>3</sup>

		유형 I	유형 II	유형 III	유형 IV
직접수익 (B)	퇴비판매수익(A)	17,025	40,290	-	12,858
	분뇨처리비	10,000	10,000	10,000	10,000
	살포비	1,000	-	1,000	1,000
간접수익 (C)	화학비료절감효과	3,677	3,677	3,677	3,677
비용(D)		22,480	55,743	2,938	17,343
순수익(E)	E=A-D	-5,455	-15,453	-2,938	-4,485
	E=B-D	5,545	-5,453	8,062	6,515
	E=(B+C)-D	9,222	-1,776	11,739	10,192

동일한 퇴·액비 시설이라면 규모가 큰 시설이 경제성이 있다. 따라서 퇴·액비시설은 지역단위로 규모화 되어야 한다. 퇴비사별로 단위당(m<sup>3</sup>) 퇴비 판매가격은 일정하고, 경영비는 퇴비사 규모가 클수록 감소하므로 규모를 키우려면 규모화 된 형태의 지역단위의 퇴비사가 필요한 것으로 나타났다. 유형별로 손익분기점은 유형 I 은 2,000두 이상, 유형 II 10,000두 이상, 유형 III은 1,000두 이상, 유형 IV는 3,000두 이상에서 존재한다.

특히, 양돈 바이오매스의 자원화 시설은 지역 여건에 기반을 둘 필요가 있다. 유형 II는 경영비 중 톱밥 구입비용이 가장 크므로 톱밥을 쉽게 구할 수 있는 지역이면서 생산된 퇴비의 공급처가 확실한 지역에서 설치 운영되어야 한다. 유형 III과 IV는 액비를 생산하고 있으므로 액비살포경지를 확보하는 것이 가장 중요하다.

분뇨의 자원화를 위해서는 분뇨처리비와 액비살포비가 보장되어야 한다. 축산 농가가 분뇨 처리 비용을 퇴비화 공장에 지불해야 하고(톤당 1만원 이상), 액비를 경작농가에 살포했을 때 경작농가로부터 일정 금액(톤당 1천원 이상)을 받아야 경제성이 있는 것으로 나타났다.

#### 4. 요약 및 결론

양돈 바이오매스는 배출분뇨와 돈사 세척수가 혼합된 슬러리상으로 발생하여 발생량과 수분함량이 높아 기술적, 경제적으로 처리가 곤란하다. 본 연구에서는 양돈분뇨처리시설의 효율성을 높이는 기초자료를 확립하고자 양돈 바이오매스의 자원화 방법별로 네 가지의 시설 유형을 구분하고, 발생분뇨의 특성, 고액분리여부, 자원화 시설 및 운전 특성을 고려하여 자원화 유형별, 그리고 사육규모별 경제성을 평가하였다.

본 연구에서 설정한 네 가지 양돈바이오매스의 자원화 유형 중 유형 I은, 양돈바이오매스를 고액분리한 후 고상은 퇴비화, 액상은 액비화 하는 유형, 유형 II는 양돈바이오매스의 고액분리 없이 전량 퇴비화 하는 유형, 유형 III은 양돈바이오매스의 고액분리 없이 전량 액비화 하는 유형, 유형 IV는 SCB퇴비단을 생물여과막으로 활용하여 고상은 퇴비화하고 액상은 액비화 하는 유형이다. 양돈바이오매스의 처리유형별로 분석한 경제성 평가결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 처리유형별 설치비는 양돈 1,000두 규모를 기준으로 연간 처리되는 분뇨톤당 유형 I은 108,060원, 유형 II는 156,993원, 유형 III은 43,326원, 유형IV는 117,910원으로 나타났다. 양돈규모가 10,000두로 증가하는 경우 연간 처리되는 분뇨톤당 유형 I은 81,300원, 유형 II는 139,153원, 유형 III은 42,243원, 유형IV는 89,525원으로 감소하였다.

둘째, 처리유형별 경영비는 인건비, 톱밥구입비, 전력비, 수선비, 감가상각비, 융자금이자 등을 비목으로 분석하였을 때, 양돈 1,000두 규모를 기준으로 유형 I은 30,622원/톤, 유형 II는 61,745원/톤, 유형 III은 3,871원/톤, 유형IV는 25,573원/톤으로 나타났다. 양돈규모가 10,000두로 증가하는 경우, 유형 I은 22,480원/톤, 유형 II는 55,743원/톤, 유형 III은 2,938원/톤, 유형IV는 17,343원/톤으로 감소하였다.

셋째, 유형 I에서 분석비목별로는 1,000두 사육규모 기준으로 톱밥구입비 48%, 감가상각비 27%로 가장 큰 비중을 차지하였으며 사육규모가 10,000두로 증가하는 경우 톱밥구입비는 65%로 증가하였고, 감가상각비 22% 감소하였다.

넷째, 유형 II의 경우 분석비목별로는 1,000두 사육규모 기준으로 톱밥구입비가 73%로 나타났으며, 사육규모가 10,000두로 증가하는 경우 톱밥구입비의 비중이 81%까지 상승하는 것으로 분석되었다.

다섯째, 유형 III의 경우 분석비목별로는 1,000두 사육규모 기준으로 감가상각비가 56%로 나타났고, 사육규모가 10,000두로 증가하는 경우 감가상각비의 비중이 72%까

지 상승하는 것으로 분석되었다.

여섯째, 유형Ⅳ의 경우 분석비목별로는 1,000두 사육규모 기준으로 톱밥구입비 35%, 감가상각비가 34%로 나타났고, 사육규모가 10,000두로 증가하는 경우 톱밥구입비는 52%로 증가하고 감가상각비의 비중은 31%로 낮아지는 것으로 분석되었다.

일곱째, 처리유형별 경영성과 분석에서 처리비, 퇴비판매 및 액비살포 수익과 화학비료대체효과를 고려하여 분석한 결과 유형Ⅰ은 사육규모가 1,000두에서 10,000두로 증가하면서 1,080원/톤에서 9,222원/톤의 수익이 발생하였으며, 유형Ⅱ는 -7,748원/톤에서 -1,776원/톤으로 적자가 감소하는 것으로 나타났다. 유형Ⅲ은 3,871원/톤에서 11,739원/톤으로 가장 뛰어난 경영성과를 보였으며, 유형Ⅳ는 1,962원/톤에서 10,192원/톤으로 수익이 발생하였다.

이와 같이 고액분리 없이 발생 양돈슬러리 전량을 퇴비화 하는 경영비는 유형 Ⅱ의 경우 사육규모가 1,000~10,000 두로 증가함에 따라 61,745~55,743원/m<sup>3</sup>으로 낮아졌으나 톤당 처리비용은 가장 높았다. 이는 톱밥구입비용의 과다에 따른 것으로 나타났다. 반면, 고액분리를 하여 퇴비화와 액비화를 동시에 수행하는 유형 Ⅰ의 경우 동일한 사육두수의 변화에서 30,622~22,480원/m<sup>3</sup>의 처리비용을 보여 단순 고액분리만으로도 퇴비화 비용을 50% 이상 경감할 수 있는 것으로 나타났다. 또 유형 Ⅳ의 SCB 퇴비단 공법은 유형 Ⅰ에 비하여 초기 시설비가 약간 상승하는 경향이 있으나 퇴비단에서의 톱밥 소요량이 적어 유형 Ⅰ보다 톱밥투입비를 39% 가량 절감하는 것으로 나타났다. 특히 유형 Ⅲ의 액비화 방법은 사육규모가 1,000~10,000 두에서 3,871~2,938원/m<sup>3</sup>을 보였다. 퇴비화 방법과 비교하여 액비화가 경제적인 측면에서 매우 효율적인 방법임을 알 수 있으나, 이 경우 충분한 액비의 살포부지 확보가 전제된다. 이 때문에 액비로 이용되지 못하면 처리가 곤란하여 인근 공공처리장을 통해 정화처리하거나 해양투기해야 하므로 추가 비용이 발생한다.

처리규모가 1만두 이상일 경우를 기준으로 모든 유형에서 퇴비판매 수익만을 고려했을 때 적자로 나타났다. 그러나 직접수익(퇴비판매수익+분뇨처리비+액비살포비) 전체를 고려했을 때 유형Ⅱ를 제외한 모든 유형에서 이익이 발생하는 것으로 추산되었다. 또한 동일한 퇴·액비 시설이라면 규모가 큰 경우 경제성이 있는 것으로 나타나 규모화된 형태의 지역단위 퇴비사가 필요한 것으로 조사되었다. 유형별로 손익분기점은 유형Ⅰ은 2,000두 이상, 유형Ⅱ는 10,000두 이상, 유형Ⅲ은 1,000두 이상, 유형Ⅳ는 3,000두 이상에서 존재한다.

위의 결과는 가축분뇨처리시설 운영 시 인위적인 영향과 생산한 퇴·액비의 유통여건을 배제하고 분석한 것으로 지역의 자원화 여건이 불리하여 생산한 퇴·액비의 유통

과 활용이 크게 제약받는 경우, 추가비용이 소요될 수 있다. 따라서 자원화 시설의 도입시에는 경제성 평가결과뿐만 아니라 해당지역의 자원화 여건을 고려하여 생산 퇴·액비의 활용방안을 마련할 필요가 있다.

### 참고 문헌

- 강창용·박현대·신용광·민경택·사사키·퀴르스텐. 2006. 「농업부문 바이오매스 이용활성화를 위한 정책방향과 전략(1/2년차)」. 한국농촌경제연구원.
- 김창길. 1999. “가축분뇨처리의 경제성 분석.” 『농촌경제』 22(3): 53-72.
- 농림부. 2006. 「가축분뇨 자원순환농업 정책방향」.
- 농림부. 2007. 「2007년도 농림사업지침」.
- 농림부. 2007. 「가축분뇨 해양배출감축대책」.
- 농림부. 2007. 「광역친환경농업단지 활성화를 위한 세미나(2007.7, 경남 산청)」.
- 농림부, 농협중앙회. 2006. 「가축분뇨 자원화시스템 평가」.
- 농림부, 환경부. 2004. 「가축분뇨 관리·이용 대책」.
- 농촌진흥청. 2007. 「가축분뇨 성분분석 실험법」.
- 박치호 등. 2001. “퇴비화공정을 연계한 돈슬러리 정화 및 액비화 기술.” 『농촌진흥청 축산과학원 영농활용』.
- 박현대, 김연중, 이상민, 한혜성. 2007. 「농업부문 바이오매스 이용활성화를 위한 정책방향과 전략(2/2년차)」. 한국농촌경제연구원.
- 허덕, 정민국. 2001. “가축분뇨 처리방법별 비용과 규모의 경제성.” 『농업경영정책연구』. 28(2):364-382.
- 환경부. 2007. 「설치중인 축산폐수 공공처리시설 현황」.
- 환경부, 건설교통부, 농림부, 축협중앙회. 1999. 「가축분뇨 자원화시설 표준설계도」.

원고 접수일: 2008년 11월 4일

원고 심사일: 2008년 11월 20일

심사 완료일: 2009년 1월 2일