

계분의 자원화 처리

본고는 지난 25일 '97한국양계박람회 행사가 치러지는 KOEX 4층 국제회의실에 “환경친화적 첨단 양계산업 발전방향”을 주제로 열린 한국가금학회 심포지움에서 축산기술연구소 한정대 박사가 발표한 “계분의 자원화 처리” 내용을 발췌·요약한 것이다.

- 편집자주 -

1. 머리말

가축 품종의 개량, 사양관리기술의 향상으로 대규모 축사에서 집단적인 사육이 가능해졌고 축산물 단위당 생산비 절감에도 기여하고 있으나 많은 가축을 좁은 지역에서 밀집 사육함에 따라 집중적으로 대량 발생되고 있는 가축분뇨의 환경친화적 처리는 한계에 이르고 있다.

가축분뇨의 생산량은 연간 43백만톤 정도로 추산되고 있으나 이중 계분 생산량은 전체의 8.8%인 3.8백만톤이 양계농가에서 배출되고 있어 전체 생산량에 대한 계분의 점유비율은 낮은 것으로 나타나고 있다.

그러나 10,000수 이상을 사육하고 있는 농가의 비율은 전체 양계농가의 1.5%인 2,732호에 지나지 않으나, 전 사육수수의 87.3%인 72,339

천수를 사육하고 있어 계분이 일부 전업규모 양계농가에서 편중 발생되고 있음을 알 수 있다.

계분은 사육형태뿐만 아니라 사육방식에 따라서 수분함량과 성상 및 영양성분의 함량에 많은 차이를 보이고 있으나 다른 축종의 배설물에 비하면 자원화 처리가 비교적 손쉬운 특성을 갖고 있다.

계분은 작물의 영양원 공급과 토양구조를 개선시킬 수 있는 유기물 공급을 목적으로 발효·퇴비화 하거나 건조시킨후 경지에 환원하여 비료자원화하는 것이 가장 일반적인 재활용 방법으로 인식되고 있으나 취급이 불편하고 처리물량이 많아 지역간 이동도 용이한 문제가 아니기 때문에 인근의 지역내 경지를 대상으로한 경제적인 비료화 재활용에도 한계를 보이고 있다.

계분의 자원화 이용방법으로 비료화 이외에도 계분중의 유효성분을 축산물 생산에 활용하기 위한 사료화와 유용성분의 생산을 위한 기질화(Enzyme, Yeast, 곤충=파리, 수상식물재배=Papyrus, 양어) 또는 에너지 획득을 위한 연료 이용 등의 방법이 시도되고 있긴 하지만 실용화에는 기술적인 많은 어려움이 제기되고 있다.

2. 사료화

계분에는 사료중 소화되지 않은 성분과 장내 미생물 및 이탈된 장점막 등이 포함되어 있어 영양적으로는 조단백질 및 Ca 등 무기물 함량이 높은 반면 에너지 함량이 낮으며 계분중 N(질소)는 uric acid, ammonia, creatin 같은 NPN 형태로(47~60%) 함유되어 있다(표1.)

표1. 계분의 주요 성분함량 (단위 : 건물중 %)

구 분	건물 (%)	CWC	Ash	NPN ¹⁾	Ca	P	K
육계(깔짚)	85	5	15	47	1.9	1.7	1.9
산란계(케이지)	90	35	18	60	5.5	1.8	1.8

* ¹⁾ 총 N중 NPN 비율 %. Wilkinson(1988)

계분중의 높은 uric acid 함량은 합성요소보다 반추위내에서 천천히 분해되어 미생물에 지속적으로 NH₃를 공급해주기 때문에 좋은 NPN 공급원이 될 수 있으나 N의 유효율은 사료의 종류, 고온건조시 휘발성 N의 손실과 휘발성이 낮은 N의 변성 정도에 따라 좌우된다. 더욱이 처리전 분의 저장중 N의 손실은 N함량에 많은 차이를 보이게 되며 건조 가축분의 에너지 함

량도 낮아 사료가치는 낮은 것으로 알려져 있다.

표2. 건조 가축분의 조성과 에너지 함량

구 분	축 종		
	젖 소	종 돈	산란계
수분함량(%)	8.6	11.0	7.2
CP(%)	15.5	12.6	32.9
CF(%)	19.5	17.8	10.9
Ash	17.5	13.3	19.2
Pure protein(%)	14.1	12.3	8.9
GE(cal/g)	3.84	3.96	3.47
ME(cal/g)	0.74	0.85	0.78
순단백질 소화율(%)	26.5	37.4	29.6

* Haga(1995)

일반적으로 가축배설물은 높은 섬유소 및 NPN 함량 때문에 단위동물보다 반추가축에 급여하는 것이 더 효과적인 것으로 알려져 있다.

그동안의 국내외의 많은 연구결과는 인공건조된 계분이 반추가축을 위한 질소와 인산공급원으로서 가능성을 보여주었으며 사료중 계분의 추천혼합비율은 표3에 나타난 바와 같다.

표3. 축종별 사료건물중 계분의 추천 최대 이용량

(단위 : 건물중 %)

구 분	축 종			
	젖소	비육우 암소	비육우	육성비육돈
산란계(케이지)	5	25	10	5
육계(깔짚)	2.5	25	5	10

* Wilkinson(1988)

최근에는 계분을 배지로한 단세포 단백질

(SCP)생산 이용 등에 관한 많은 연구 결과도 보고되고 있다(김 등, 1994). 그러나 계분의 사료이용은 사료화 비용과 경쟁적인 사료원료의 시장가격을 고려하는 것 외에 병원성 미생물과 유독성 성분의 유입가능성에 대한 안전성 확보와 계분을 급여하여 생산된 축산물에 대한 소비자의 혐오감을 불식시킬 수 있어야 할 것이다.

3. 연료화

계분을 원료로한 에너지 생산방법으로 육계 깔짚분의 직접연소, 메탄가스생산, 건조분을 600~800℃에서 열분해(pyrolysis)하여 건물 kg 당 300~800 l의 연소 가스생산, 발효열 회수 및 고온, 고압하여 석유화(oil conversion)방법이 있다. 이중 일본에서는(표4) 육계출하후 깔짚을 수거하여 수분함량 30% 이하로 건조한후 바닥난방용 연료로 재활용하는 농가의 비율이 12.9%로 나타나고 있으며 연소후 잔재물에도 각종 무기물(P_2O_5 29~32%, K_2O 11~13%, CaO 22~27%, NaO 6%내외)를 함유하고 있어 무기질 비료로 이용하고 있는 등 실용화 하고 있다(Harada, 1996).

표4. 일본 양축농가의 가축분 처리비용(1995)

(단위 : 농가 %)

축종	기계식퇴비화	건조	퇴적	연소
젓소	24.9	5.3	69.8	-
비육우	9.4	1.3	80.3	-
돼지	50.0	16.3	33.7	-
산란계	11.5	63.9	24.0	0.6
육계	5.1	15.0	67.0	12.9

* Harada(1996)

4. 비료화

가. 산란계

1) 계분의 수분함량

계분처리를 어렵게 하는 원인은 과도한 함수율이다. 계분내 수분이 많아질수록 처리에 필요한 토지시설, 연료, 투입, 인력 등의 비용이 증가되고, 계분의 성상은 악취, 해충, 침출수 등이 증가되어 관리가 어렵게 되고 이로인한 환경오염의 가능성은 더욱 커지게 된다. 따라서 계분처리 문제는 계분의 수분함량을 얼마나 간편하고 싸게 낮출 수 있느냐 하는 것이 해결의 열쇠라 할 수 있다.

계사내의 음수장치에서 흘러나오는 물과, 지하 피트식 스크레퍼의 바닥에서 스며나오는 지하수(특히 낮은 지대에 위치한 계사), 닭의 음수량 증가 등에 의해 계분내 수분은 많아지고, 환기가 불량한 계사는 수분이 증발되지 못한 상태 그대로 배출된다. 계사내의 계분방식에 따른 계분의 수분함량은 대략 아래와 같다.

- 벨트식 : 에어믹서 이용

무창계사 : 65~75%

유창계사 : 70~80%(여름철 제외)

- 스크레퍼 : 85% 이상

- 고상식계사 : 65~80%

계사는 외부보다 기온이 높고, 계분이 넓고 얇게 펼쳐져 있으므로 적당한 조건만 갖추었다면 별도의 건조시설 없이도 적은 노력과 비용으로 건조효율을 높일 수 있는 장점이 있다.

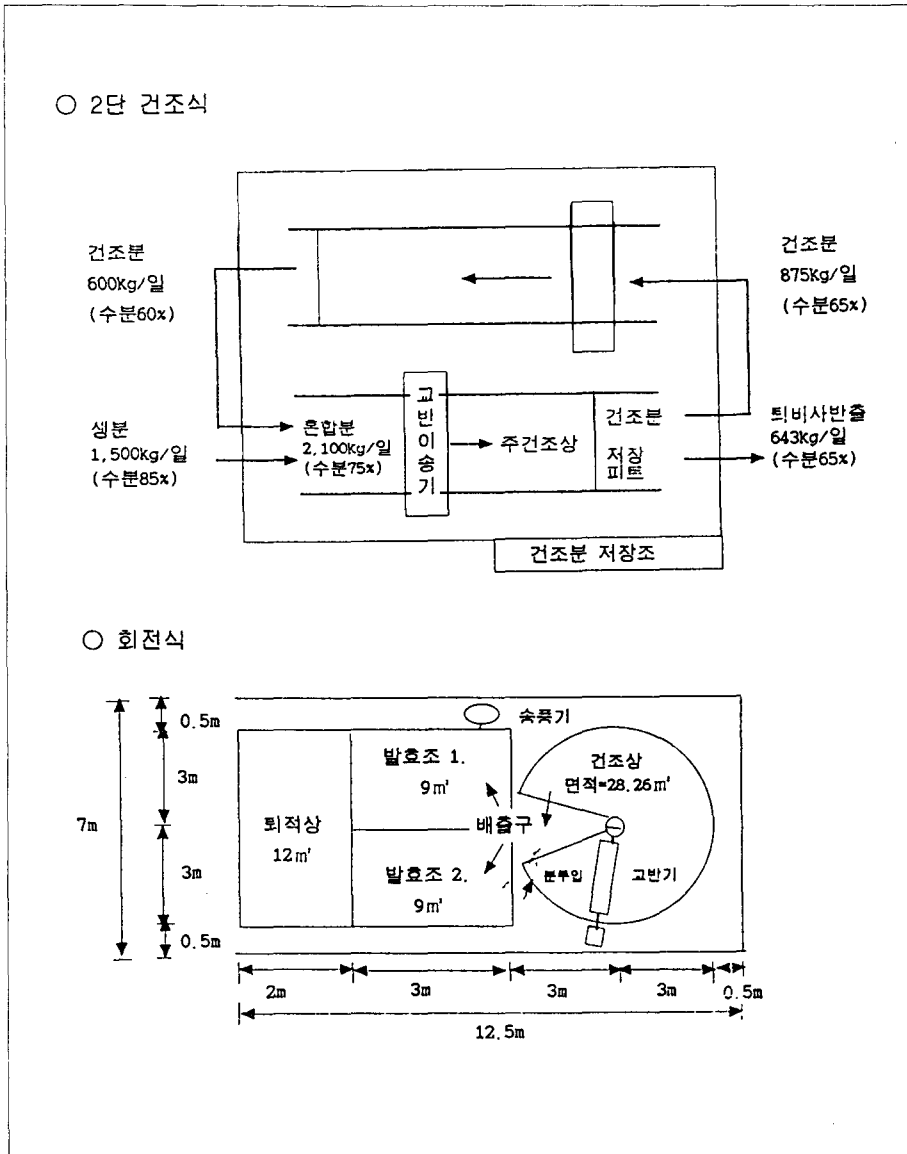
높은 지대에 계사를 설치하고, 니플(음수장치) 아래에 물받이를 설치하여 우수되는 물을 계분과 섞이지 않게 별도로 이송저장토록 하고, 계분장치를 스크레퍼에서 벨트식으로 개선시키

며, 자연환기를 좋게 하거나 강제배기 또는 송풍덕트 등을 설치한다면 수분함량을 최대 65%까지 낮출 수가 있다. 그러나 계사 내에서의 건조능력은 계절에 따라 차이가 크고 별도의 특별한 장치가 설치되지 않는한 급속처리(화력건조, 발효)를 위한 함수율 60~65%로 조절하기가 곤란하며, 처리할 계분량이 많은 대규모 농가의 경우 계분처리의 어려움이 가중된다.

농가의 사육규모 증가에 따라 양계농가는 한정된 토지시설에서 많은 양의 계분을 단시간에 처리하는 급속처리시설(화력건조, 발효)이용이 필수조건으로 됨에 따라 계분의 수분조정(60~65%)을 위한 수분조절재 이용 문제가 계분되비화 이용에 가장 큰 걸림돌이 되고 있다. 계분의 수분함량을 65%로 조정하자면 생계분 수분함량이 70%일 경우 톱밥 소요량은 계분 톤당 0.52m³가 소요되어 산란계 10,000수의 연간 톱밥소요량은 237m³(456톤)이 되며, 계분의 수분함량이 5%증가시마다 톱밥소요량은 2배로 증가됨을 알 수 있다(표5).

농가의 사육규모 증가에 따라 양계농가는 한정된 토지시설에서 많은 양의 계분을 단시간에

처리하는 급속처리시설(화력건조, 발효)이용이 필수조건으로 됨에 따라 계분의 수분조정(60~65%)을 위한 수분조절재 이용 문제가 계분되비화 이용에 가장 큰 걸림돌이 되고 있다. 계분의 수분함량을 65%로 조정하자면 생계분 수분함량이 70%일 경우 톱밥 소요량은 계분 톤당 0.52m³가 소요되어 산란계 10,000수의 연간 톱밥소요량은 237m³(456톤)이 되며, 계분의 수분함량이 5%증가시마다 톱밥소요량은 2배로 증가됨을 알 수 있다(표5).



〈그림1〉 로타리 교반 천일건조시설의 개선

표5. 계분의 함수율 조절을 위한 수분조절용 부자재 투입량(목표함수율 65%) (단위 : m³)

계분함수율 (%)	계 분	톱 밥	왕 겨	분쇄 왕겨	팽연 왕겨	지수 (%)
80	1.25	1.56	2.32	1.57	1.30	300
75	1.30	1.04	1.52	1.06	0.84	200
70	1.40	0.52	0.80	0.50	0.42	100

* 함수율(%) 및 용적중(ton/m³)
 계분 : 80% 0.8ton, 75% 0.75ton, 70% 0.70ton
 톱밥 : 25% 0.25ton, 왕겨 : 13% 0.125ton
 분쇄왕겨 : 12% 0.18ton, 팽연왕겨 : 16% 0.24ton
 ** 축산연(1977)

2) 건조에 의한 계분의 수분함량 조절

계사내에서 예비건조된 계분의 수분함량을 하우스 건조시설의 경우 계분을 2~3일에 수분함량 50~60%까지 건조시킨 후 하우스내에 "△" 모양으로 80cm 이상 높이로 길게 퇴적시켜 자연발효를 유도하여 퇴비화하면 하우스 면적도 줄일 수 있다.

또한 1~2만수 규모이하 양계농가에서 이용되고 있는 기존의 1렬 단순직행식으로 작업성이 낮고 관리노동력 투입이 많은(2시간이상/일) 로타리 교반건조시설을 2단 건조식 또는 회전식으로 개선하여 계분을 20cm 정도의 깊이로 투입하고 1일중 교반횟수를 증가시켜 주면 건조가 빠르고 노동력도 상당히 절감시킬 수 있으며 아울러 건조효율을 높이기 위하여 건조시설내에 송풍덕트나 강제배기팬을 설치이용하는 것이 좋다(그림1).

3) 처리시설의 선택 및 이용

농가에서 이용되고 있는 계분처리방법으로는 계사내에서 예비건조하여 수분함량을 저하시킨 후 건조(태양 및 급속화력건조) 퇴비화 하거나 단순퇴적에 의한 자연발효 또는 급속발효 퇴비

화가 일반적이다(표6).

표6. 계분처리 방법

예비건조	건 조	발 효
1. 계사내 ○계분방식 -스크레퍼 • 지하 피트형 • 바닥형 -벨트식 -송풍벨트형 ○환기방식 -자연환기 -자연+강제환기 -강제환기	○태양 건조 -노지건조 -하우스 건조 -로타리교반 건조 ○급속 건조 -화력건조	○자연발효 -단순퇴적 -교반 단순퇴적 ○급속발효 -교반식 : 에스컬레이터형, 로타리형 -밀폐형
2. 계사밖 ○자연건조		

계사에서 배출된 계분의 처리방법 선택은 사육규모 및 여건에 따라 달라지며 계사내 1차 예비건조는 벨트식 계분방법과 송풍덕트 또는 강제환기에 의하여 계분의 건조를 촉진하도록 하여야 하겠으며 사육규모가 작을수록 하우스 건조, 단순퇴적시설, 사육규모가 클수록 로타리 교반건조, 교반발효 시설을 적용하는 것이 경제적이다(표7).

표7. 사육규모별 계분처리방법 선택

구 분	사 육 규 모			
	소 규모 ←		→ 대 규모	
○처리방법	하우스건조 ↔ (자연건조)	로타리교반건조	화력건조	발 효 (급속처리)
-처리비용	*	**	*****	***(**)
-노동력투입	****	***(*)	***	***
-토지소요면적	*****	****	*	**

※ * 적음, ***** 많음

화력건조시설은 수분조절개(툽밥) 뿐만 아니라 가온용 연료까지 소요되므로 스크래퍼 이용 계사에서는 계분의 수분함량이 높으므로 (80% 이상) 화력건조시설 이용이 비경제적이며 필요 시에는 1차(계사내 건조) 및 2차 건조(로타리교반 건조 또는 하우스 건조)를 실시하여야 한다.

발효시설은 수분조정용으로 이용되는 부재료 (툽밥, 왕겨, 발효계분 등)를 이용하지 않고 계사에서 1차 건조하여 수분함량이 75% 이하인 계분을 로타리 교반건조 시설을 이용 2차 예비 건조하여 수분함량을 20%정도 더 낮추면 수분함량 55% 내외로써 기존의 교반식 발효시설에 투입 퇴비화하면 부자재 구입 및 혼합비용 절감 뿐만 아니라 양질퇴비 생산에도 기여할 수 있을 것이다.

4) 발효시설 이용

농가에서 이용되고 있는 발효시설은 계분수분함량과 계절별 기온변화 등의 여건을 고려하지 않고 일률적인 기준을 적용하고 있어 시설 적정용량의 20~30%가 부족하고 수분조절재의 확보가 용이하지 않아 발효시설운영이 비정상적인 경우가 많고 악취확산 방지대책이 미흡한 것이 현실이다.

각종 발효시설의 특성을 비교(표8)하여 설치 농가가 직접 시설 필요량을 계산하여 적정규모의 발효시설을 설치하여야 하고 1일 계분처리량 계산시 이미 계절적 처리기간 차이에 따른 여유율 20%가 고려되었으나 농가의 여건에 따라 사육규모 변화, 계분의 수분함량 변화, 수분조절재의 종류 및 투입량, 관리소홀 등에 의한 차이가 발생된다는 것을 감안하여 계산에 의한 시설용량보다 가급적 상향조정하는 것이 좋겠다(표9).

표8. 발효시설의 특징 비교

특 징	좋 음 ← → 나쁨
○툽밥이용량	-로타리교반식(툽밥무이용형) < 로타리교반식(툽밥이용형) < 에스컬레이터교반식 < 퇴적송풍식
○토지소요면적	-에스컬레이터교반식 < 퇴적송풍식 < 로타리교반식(툽밥이용형) < 로타리교반식(툽밥무이용형)
○겨울철 발효 기간	-퇴적송풍식 < 에스컬레이터교반식 < 로타리교반식(툽밥이용형) < 로타리교반식(툽밥무이용형)

표9. 발효처리시설별 발효조 용량계산

발 효 방 식	1일 계분 ¹⁾ 처리량 (ton/만수)	처리기간 (일)	발효조 ²⁾ 용량 (m ³)	발효조 깊이 (m)
툽밥무이용 로타리교반	1.9	25~30	24~29	1.0
툽밥이용 로타리교반	2.25	15~20	20~27	1.0
에스컬레이터 교반	2.25	15~20	20~27	1.5
퇴적송풍	2.25	15~18	34~41	2.0

¹⁾ 1일 계분처리량 : 생계분 발생량(1.25톤, 1.56m³/만수)×1.2(수분조절재 혼합후 부피)+여유율(20%)

²⁾ 발효조 용량 : 1일 계분처리량×처리기간×처리후 잔존량(0.5~0.6)

5) 퇴비사 확보

1차 발효처리가 끝난 처리계분의 완숙기간 동안의 저장장소 뿐만 아니라 겨울철 및 장마 기간 동안의 계분처리기간 장기화로 인한 미처리 생계분의 양이 증가될수 있으며 처리계분의 비수요기간(6월~10월)중 장기저장이 불가피하므로 이를 대비한 충분한 퇴비사 공간을 확보하여야 하겠다.

또한 장기저장시 자연건조 및 발효효과를 촉진하기 위하여 지붕은 투광재질(FRP, PE)로 하고 벽은 공기 유동성을 좋게하는 원치커텐을 설치하는 것이 좋다.

○ 1만수용 퇴비사 소요면적(높이 1.8m 기준)

-생계분 2개월저장(49m³)+퇴비 비수요 기간 5개월 저장(59m³)=108m³

나. 육계

1) 깔짚이용

육계의 분뇨처리는 깔짚이용이 일반적으로 육계사육농가의 깔짚재는 톱밥이 주종을 이루고 있으나 왕겨도 많이 이용되고 있다. 깔짚은 입추시 5~10cm를 깔아 출하(40일내외)까지 이용한후 톱밥 5~10회, 왕겨 2~4회를 연속 이용하는 것으로 나타나고 있으며 연속이용시에도 육성율이나 출하체중에 차이를 보이지 않고 생산지수도 톱밥, 왕겨, 왕겨 1회 이용이 각각 213.5, 207.6, 213.7로 비슷한 성적을 보이고 있다(표10).

표10. 육계농가의 깔짚 이용횟수와 육계의 생산성

구 분	조사 농수	연속이용 횟수	출하일령 (일)	육성율 (%)	체중 (kg)	사료 요구율	생산 지수
톱밥연속이용	6호	5~10회	38.6	92.9	1.70	1.91	213.5
왕겨연속이용	1	4	40.5	94.0	1.78	1.99	207.6
왕겨 1회사용	3	1	37.8	93.0	1.65	1.90	213.7

* 축산연(1996)

2) 깔짚재 종류

깔짚재의 수분흡수력은 톱밥 272%, 대패밥 253%, 벚짚 244%, 왕겨 125% 정도이며 왕겨를 가공처리하는 경우 물리성이 개선되어 분쇄 및 팽연왕겨는 각각 165%, 205%로 수분흡수율이 높아진다. 톱밥, 왕겨 또는 팽연왕겨를 서로 대체하여 이용하여도 사육성적에도 별다른 차이를 보이지 않고 있어(표11) 깔짚재료는 확보 가능성, 구입가격 및 계분퇴비의 판매가능성을

감안하여 선택하도록 한다.

표11. 깔짚재의 종류별 육계사육 효과

구 분	톱밥	왕겨	분쇄왕겨	팽연왕겨	왕겨+벚짚
깔짚수분함량(%)					
1주	33.2	24.7	18.0	20.6	22.5
4주	26.9	31.5	25.4	28.8	30.5
7주	39.3	38.7	38.3	40.2	42.9
폐사율(%)					
SDS	4.8	5.4	1.5	3.2	3.3
일반	1.9	1.6	2.4	2.5	1.0
계	6.7	7.0	3.9	5.7	4.3
7주 체중(g)	2,125	2,186	2,032	2,099	2,078
사료요구율	2.13	2.10	2.17	2.16	2.17
생산지수	190.0	197.6	183.7	187.0	187.0

* 축산연(1996)

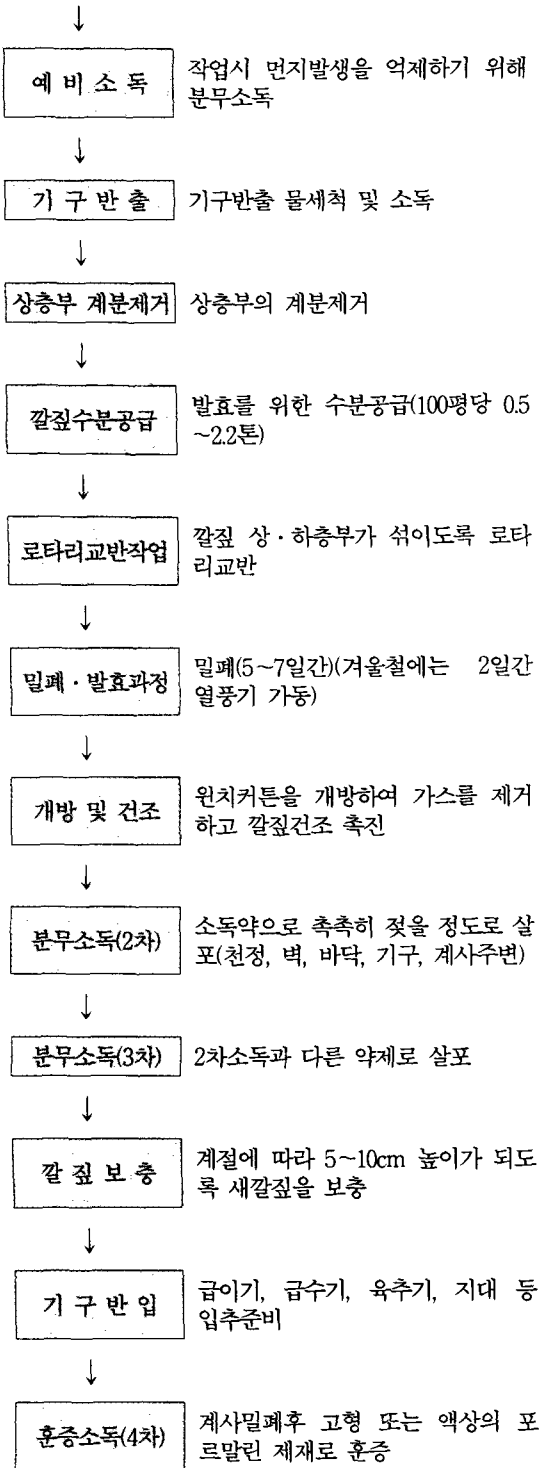
3) 깔짚 연속이용

깔짚을 연속이용시에도 육성율, 출하체중에 문제가 없는 것으로 나타나고 있으나 깔짚의 재활용은 적당한 발효과정을 거친후 육계사 소독을 철저히 하여야 한다.

한 번 이용된 깔짚재는 육계출하후 필요시 가온을 하면서(겨울철) 5~7일간 발효를 시키면 발효 2주일째부터 3~4일간 계사를 개방하여 깔짚의 건조를 촉진하여 깔짚을 연속이용할 수 있으며 깔짚이용시에도 배설된 계분의 수분증발을 촉진하기 위하여 환기를 충분히 하면 계분건조촉진 뿐만 아니라 계사내 환경개선에도 기여할 수 있다.

○ 깔짚재 연속이용시의 소독 및 관리

출 하	출하시 발생한 폐사체 및 도태한 약추 조각 또는 매물
-----	-------------------------------



5. 맺음말

계분은 비료화, 사료화, 유용성분의 생산기질화 및 에너지생산 방법으로 재활용이 가능하겠으나 퇴비화하여 경지에 환원하는 방법 이외에는 실용화 측면에서 많은 기술적인 문제점이 제기되고 있다.

계분의 퇴비화는 계분중의 수분함량을 65% 이하로 낮출수만 있다면 수분조절용 부자재의 소요량을 현저히 줄이거나 수분조절제 없이 퇴비가 가능하여 처리시설 면적이나 이용효율을 개선할 수 있을 뿐만 아니라 생산된 계분퇴비의 품질도 향상시킬 수 있을 것이다.

계분의 산란계사내 예비건조는 계분장치를 건조장치가 부착된 벨트식으로하여 반출시의 목표수분함량을 70~75%로 하고, 계분처리형태도 중소규모에서는 하우스내에서 천일건조후 단순퇴적발효 또는 로타리교반 건조시설을 활용하여 건조퇴비화 하고 3~5만수 규모에서는 로타리교반 천일건조시설에서 수분함량을 65% 이하로 2차 추가건조한후 기존의 급속발효시설에서 수분조절제를 첨가하지 않고 퇴비화하도록 하는 것이 가장 경제적인 처리방법이 될 것이다.

육계는 깔짚재의 연속이용을 위한 깔짚재의 발효건조처리, 계사내 소독과 아울러 사육중에는 계사내의 환기량을 증가시켜 주게되면 계분의 건조를 촉진하고 사육환경도 개선시킬 수 있을 것이다.

**계분자원화로
농가소득 향상시키자.**