

이스라엘과 북미 지역의 육계분 사료화 현장 방문 조사 및 기술정보의 응용

곽 완 섭

건국대학교 자연과학대학 생명자원환경과학부 축산학전공

On-site Survey on Use as Feed of Broiler Litter in Israel and North America and Its Technology Application

Kwak, W. S.

Animal Science, School of Life Resource and Environmental Science, College of Natural Sciences, Konkuk University, Danwol-dong 322, Chung-Ju, Chung-Buk, Korea 380-701

Summary

This on-site survey was performed by visiting sites in Israel and USA where broiler litter is studied, manufactured as feed and applied practically and interviewing experts related. Their advanced experiences, technologies and informations were collected, analyzed, compared with Korean situations and described on the text of this article. Although broiler litter has been successfully used as feed for at least 40 years in Israel and USA, its practice and application rate of the technologies related has been very slow in Korea. Many informations presented here will be very helpful for the successful on-site application of hygienically processed broiler litter as livestock feed. It's doubtless that these efforts to use broiler litter-like underutilized feed resource will result in considerable livestock production cost cut-down and environmental pollution prevention.

(Key words : Poultry waste, Broiler litter, Feed, Livestock)

서 론

축분 중에서 영양적으로 가장 우수하고 (Bhattacharya와 Taylor, 1975), 사료로 처리, 이용하기에 가장 쉬운 것이 육계분이다. 고영양성인 육계분을 퇴비로 이용할 때 상당 부분은 대기로, 수계로 또는 지하수로 소실되어 환경을 오염시키게 되나, 가축의 사료로 사용하면 환경으로의 방출은 거의 없는 셈이며, 이는

보다 환경친화적인 농법인 것이다. 또한 매년 50만 톤 정도로 배출되는 육계분의 수거 가능한 80% 정도를 사료로 재이용한다면 매년 400억 원 정도의 사료를 자체적으로 생산하는 셈이 된다.

세계적으로 육계분의 사료로의 이용을 매우 효과적으로 잘 하는 대표적인 축산 선진국으로는 이스라엘과 미국을 꼽을 수 있다. 이스라엘은 한국보다 좁은 국토에서 수자원 등의 천연

본 연구는 농림부 연구지원에 의해 수행되었음.

Corresponding author : Dr. W. S. Kwak, School of Life Resources and Environmental Sciences, College of Natural Sciences, Konkuk University, Chung-Ju, Chung-Buk, 380-701, Korea. Tel : 82-043-840-3521, Fax : 82-043-851-8675, E-mail : wsk@kku.ac.kr

자원이 절대적으로 부족한 상태에서 농업을 영위하기에는 많은 어려움이 있으나, 키브츠라는 집단농장에서 풍부한 유효 노동력의 이용과 뛰어난 기술력으로 농업 생산성이 매우 높은 나라의 하나이다. 특히 낙농업에 있어서는 젖소 두당 평균 산유량이 10,800 kg 정도로 세계에서 가장 높으며, 이는 목표 100%에 육박하는 젖소 개체 관리의 성과이기도 하다. 그러나 축산 생산 현장에서의 그들의 목표는 최대 생산성이 아니라 최저 생산비이다. 놀랍게도 그들은 최저 생산비로 최대 생산성을 이루는 등의 매우 지혜로운 축산을 영위하고 있는 것이다. 사료 산업에 있어서도 부산물 또는 폐기물 사료 등의 부존 사료 자원들을 최대한 활용하고, 부족한 사료만을 외국에서 수입하여 사용하는 등의 지혜로운 축산을 하고 있다. 부존 사료자원 중에서 가장 잘 이용되고 있는 것은 육계분으로서, 가공처리된 것은 TMR사료 원료로서 폭넓게 이용되고 있는 것으로 알려져 있다 (Brosh 등, 1993).

미국의 경우에는 1980년 이전에는 축분의 사료로의 이용을 금지하였으나, 이후 농무성, 환경부 그리고 식약청이 공동으로 사료로의 재활용을 통해서 값싼 사료자원의 이용으로 인한 생산비 절감뿐만 아니라 환경오염의 예방 효과 차원에서 이의 재이용을 허가하고 있다. 육계분은 다른 사료(옥수수 또는 화분과 목초 사일리지, 과일박, 농산부산물 등)와 혼합 발효하여 급여하기도 하나(Ruffin과 McCaskey, 1990a; Carpenter 등, 1994; Rankins, 1995; Wanderley 등, 1995), 대부분 단독으로 퇴적 발효시켜 급여 시에 다른 사료와 혼합하여 급여되고 있다 (Stephenson 등, 1990; McCaskey 등, 1994). 미국과 같이 사료자원이 풍부한 나라에서도 발효 육계분을 사료로 이용하는 이유는 그들 사회 내에서도 상호 경쟁이 되기 때문에 되도록이면 값싼 사료를 생산성에 차이 없이 최대한 이용함으로써 사료비를 절감하고자 하기 때문일 것이다. 미국 전역을 통해서, 최소한 육계분이 생

산되는 20개 주 이상에서 사료화가 진행되고 있으며(Ruffin과 McCaskey, 1990b), 버지니아 주나 알라바마 주에서는 생산되는 육계분의 절반 이상이 사료로서 재이용되고 있는 것으로 알려져 있다.

따라서 본 조사 연구에서는 이스라엘과 미국의 육계분 사료 제조 및 이용 현장을 방문하여 전문가 인터뷰 및 실제 확인 조사를 통하여 이들의 기술 정보를 분석·제시하고, 또한 확보한 자료를 우리의 현실과 비교 검토하여 대정부 지원 사항 및 관련 단체의 일반 관리 지침을 제시하고자 하였다. 이러한 연구는 궁극적으로 값싼 부존사료자원의 효과적 활용으로 관련 양축가의 생산비 절감과 축산 경쟁력 제고에 일조하고자 위함이다.

재료 및 방법

1. 이스라엘 현장 방문 조사

1999년 여름 10박 11일의 일정으로 이스라엘을 방문하여 육계분 사료화의 최고 전문가인 Jerusalem의 The Hebrew University 농과대학 Dr. H. J. Tagari를 면담하여 이스라엘에서의 육계분 사료화의 역사, 가공처리 방법, 사양 효과, 사료 위생성 등에 관하여 인터뷰 하였으며, 이스라엘 전역의 20개 키브츠농장의 낙농 자문인으로 활동 중인 Mr. Omri Weismann의 인솔로 축분 재활용 공장(Shacham Givat-Ada Ltd.), 비육우 농장 및 키브츠 낙농 목장 등을 현장 방문하여 육계분 사료의 제조 공정 및 이용 현황을 조사하였다.

2. 미국 현장 방문 조사

2000년 여름 7박 8일의 일정으로 미국 알라바마주 Auburn University를 방문하여 축산학과 교수인 Dr. McCaske, Dr. Rankins, Dr. Ruffin 등의 안내로 알라바마 주 북부 쪽에 위치한 축우

및 육계 농장(Red Hill Farm)들과 사료공장(Dynamic Lifter Company)을 방문하여 육계분 사료의 제조 및 이용 현황에 대한 현장 조사를 실시하였다. 참고로, 미국 남부 쪽에 위치한 알라바마 주는 기후가 건조하여 많은 육계농장들이 밀집되어 있고, 여기서 생산된 육계분은 육우농장으로 운송되어 활발하게 사료로 재활용되어지고 있다.

3. 분석

언어진 외국의 현장 자료를 기록·분석하고, 우리의 현실과 비교하여 관련 산업계에 육계분 사료화 기술을 적용하고, 아울러 보급의 활성화를 위해서 대 정부 지원 사항 및 관련 업체의 효과적인 일반 관리 지침 등을 제시하였다.

결과 및 고찰

1. 이스라엘 현장 조사

가. 축분 사료화에 대한 역사

약 2000년 전(AD 70년) 시저의 로마군이 이스라엘의 예루살렘 성을 완전 포위하고 있을 때 성안에는 먹을 것이 없어서 양의 먹이로 비둘기 분뇨를 이용하였다는 기록이 성서에 적혀 있다. 이것이 조류 분뇨를 반추동물의 사료로 재활용한 사례의 가장 오래된 역사적 기록일지 모른다. 1941년경 키부츠 농장의 양어장에 육계분을 양어사료로 공급해 주기 시작했는데, 주로 광합성 작용이 일어나는 오전에만 공급하고, 오후에는 공급하지 않는다. 이는 수질 오염의 차단 의도의 효과적 이용 방법인 듯 하다. 그런데 육계분 퇴적물의 양이 이상하게 자꾸만 줄어들어 아랍사람의 소행으로 생각하고 매복에 들어갔는데 숨어서 보니 멧돼지, 사슴 등의 야생동물들이 와서 먹고 가는 것이었다. 본래 동물은 분식성(coprophage)이며, 이는 자연스런

본능적 행위임을 나타내는 것이다. 이와 같은 자연발생적 사례는 가축 분뇨는 사료 영양적으로는 양호하나, 질병 전달(disease transmission)의 우려가 문제될 듯 하다.

이스라엘에서는 연간 20만 톤 정도의 계분(poultry waste)이 생산된다. 육계분(broiler litter)을 면양에게 줄 때, 며칠 굶기고 주면 대체로 잘 먹는다. 그러나 육계분의 기호성은 낮은 편인데, 이스라엘에서는 1962년에 육계분과 감귤박(citrus pulp)을 혼합하여 발효시키는 연구를 시작하였는데 이때 *salmonella*, *chlostridium* 등이 발효에 의해 사멸되는 것이 확인되었다. 1970년 이전에는 연료비가 저렴하여 계분의 열처리가 가능하였다. 이의 한 사례는 불을 때는 뜨거운 경사진 철판위에 육계분을 2초 동안 쏘려 내려가게 하여 회전원통(rotating drum)을 통과하게 하는 열 처리법이 있었다. 그러나 현재는 경제성에 한계를 드러낸다.

이스라엘에서는 성경에 거세 행위(castration)가 금지되어 있어, 모든 수소는 거세우(steer)가 아닌 비거세우(bull)이다. 이들 비거세우에게 75% 육계분, 20% 옥수수알곡, 5% vetch hay 사료를 첫 3개월 동안 300 g, 6개월째까지 600 g, 9개월째까지 900 g, 이후는 70% 육계분, 25% 옥수수알곡, 5% vetch hay를 일일 1.1 kg 공급한 후, 도살한 바 체중은 줄었으나 고기가 정육화(lean)되고(즉 반대로 지방이 줄고), 연하게(tender) 되었다. 그리고 75% 육계분을 계속 급여한 경우에는 신장에 피해가 있음이 관찰되었다. 즉 과급은 해로울 수 있음을 보여준다.

나. 육계분 사료화 방법의 변천사

1971년 이스라엘의 고 능력 젖소 수천 마리가 botulism 발생 1주일 이내에 폐죽음을 당하였다. 이때부터 botulism 백신주사(vaccination)가 시작되었다. 1970년대 초 중동전쟁과 오일쇼크 이후 세계 오일 가격이 급등하면서 살균, 멸균을 위한 열처리가 힘들어져 대안에 골몰하게

되었다. 그 대안이 퇴적발효(deepstacking)이었다. 즉 퇴적발효 동안의 자연 열을 이용하는 방안으로, 발생된 고열(70℃)이 병원성미생물을 사멸시킨다. 함수율 30~35% 정도에서 퇴적발효하는 것이 좋다(적정 함수율=40%). 또한 이때부터 감귤박을 혼합하여 발효시키기 시작하였다. Photo. 1에는 육계분과 함께 굴피가 잘 발효되어 색깔이 까맣게 변한 모습을 보여준다. 일반적으로 감귤박은 좀처럼 발효가 잘 안되며, 색깔 또한 노랗게 그대로 유지되는 성질이 있다. 함께 공동 연구하는 수의학 전공의 Dr. Klingel의 한 실험에서 *salmonella typhimurium*(가장 위험하고 강력한 종)을 건조 육계분에 섞어 퇴적발효한 후 위생성 검사를 하였는데 결과적으로 *salmonella*는 사멸되나 *botulism toxin*은 잔류하였음을 알았다.

계분의 alkaline 특성에도 불구하고 육계분의 혐기발효(ensiling) 시, 감귤박과의 혐기발효물은 냄새, 맛 등이 상당히 좋아 소가 침을 흘리게 만들 정도이며, 조단백질 중에서 true protein이 증가함을 관찰하였다. 이는 발효로 인한 미생물 단백질의 증가를 의미한다. 치즈 공장에서 나오는 슬러지(sludge)인 유청(lactose 함유 milk whey)과의 혐기 발효물 또한 소에 의한 완벽한 섭취 행위를 보여주었다. 또한 물을 첨가할 경우, 30 ~ 35% 함수율의 육계분은 pH가 7.5에서 6.5로 떨어지는 것으로 보아 *lactobacillus*에 의한 발효가 일어남을 확인하였다. 살균이 일어나기 위해서는 반드시 70℃ 정도의 고온 처리

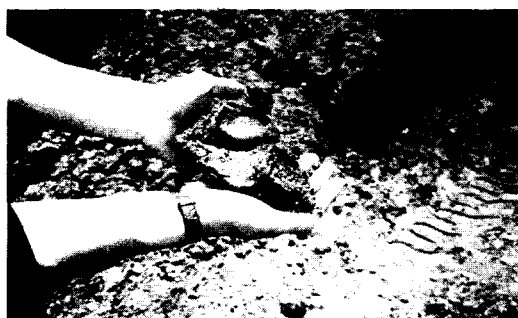


Photo. 1. Appearance of orange peel deep-stacked with broiler litter.

가 필수적인 것이 아님을 알았고, 겨울철 발효 온도 25℃에서도 여전히 멸균 현상이 일어나고, *enterobacteria*, *salmonella* 등이 사멸되며, 기호성이 좋은 물질로 전환되었다. 이 육계분을 80%까지 급여하였을 때 소의 상태는 이상이 없었다. 감귤박은 12월 ~ 3월 사이에 집중적으로 생산되며 결코 많은 양이 아니다. 육계분과의 적정 혼합 비율은 3:1 이다(wet 기준).

브라질에서는 감귤이 대규모로 생산되며, 감귤박이 처리 곤란할 정도로 많이 배출된다. 반면에 이스라엘에서는 감귤박이 구하기 힘들어졌다. 따라서 단순히 물을 첨가하여 육계분을 혐기발효(ensiling)시키는 방법을 모색하기 시작하였다. 또한 육계분의 가격 또한 오르기 시작하였는데 이는 감자 산업계(potato industry)에서 육계분을 비료로 이용하는 것과 무관하지 않다. 이전 육계분도 사료용으로 쉽게 구하기가 예전 같지 않게 되어서 케이지 육계 생분(caged broiler excreta, CBE)의 사료화 필요성이 대두되었다.

CBE 단독 또는 면실피(cottonseed hull) 또는 사탕무우박(sugar beet pulp)과 혼합한 후 철저히 밀봉하였다. 이때 pH는 8.5였다. 30일 동안의 혐기발효(ensiling) 후 혼합물은 매우 양호한 발효 성상을 보였으나, CBE 단독 발효물은 지독한 냄새가 났다. 젓소 대체우의 단백질 원으로 대두박을 대체하여 일일 800 g을 공급할 수 있었으나, 특히 CBE 단독 발효물은 낙산 발효(butyric acid fermentation)가 일어나 반추위액 같은 냄새가 났으나, 반추위액 보다는 냄새가 양호한 편이었다. 한 실험에서 우유, 혈액, CBE 단독 발효물, 반추위액을 사람들이 모르게 전시하여 냄새가 가장 지독한 것을 고르게 하였더니 모두가 반추위액을 선택하였다. 모든 사료는 소의 반추위로 일단 들어가면 사람에게는 가장 역겨운 반추위액으로 전환되며, 소는 이 반추위액을 소화시켜 살아가게 된다. 사료로서 냄새가 지독한 반추위액보다는 상대적으로 냄새가 양호한 CBE 단독 발효물의 사료로서의 정당성은 이와 같이 확보되는 듯 하다. 어쨌든

오늘날 이스라엘에서는 육계분의 사료화는 육우산업과 민물 양식업계(fish pond) 사이에 경쟁적으로 이루어지고 있고, 또한 상당량이 감자 재배 농장에서 비료로 이용하고 있다.

CBE의 또 다른 사료화 방법은 다음과 같다. 윗면이 넓은 trench silo에서 호기발효(aerobic fermentation) 하였을 때 3일째에 발효 온도가 72℃까지 올라가 결과적으로 뉴캐슬바이러스(new castle virus)는 사멸되었으나, 위 표면까지 열 전달이 안 되어 표층에 곰팡이가 발생하는 문제점이 있었다. 이어서 밀폐한 공간의 바닥에 파이프를 심어 공기주입(aeration)을 하였을 때 열 전달이 효과적이었고, 건조가 잘 되었다. 다만 botulism 발생이 문제되는데 botulism toxin의 효과적인 제거를 위해서는 80℃에서 4시간 열 처리하면 되는데 최소 30분 이상이면 제거된다고도 하였다. 참고로 한국에서는 육계분 사료화로 인한 botulism 발생 사례는 아직 보고된 바 없으며 염려 대상이 아니다.

다. 착유우 사료로의 문제점

우유 내 항생제 잔류문제의 경우 일반적으로 곰팡이가 핀 옥수수 silage 급여 시 우유 내에 페니실린 같은 항생제 잔류문제가 발생될 수 있으나 현장에서는 통상적으로 무시되고 있다. 이스라엘에서는 옛날부터 육계분 사료를 착유우에게도 급여해 왔다. 육계사료에 항생제를 이용하지 않기 때문이다. 그러나 착유우 사료로의 육계분 이용을 금지한 것은 최근 7년 전부터이다. 항생제 잔류문제가 아니라 중금속의 잔류에 대한 우려로서 사료 내 As(비소) 성분의 우유로의 이행 가능성 때문이었다. 참고로 미국이나 한국에선 항생제 잔류 문제로 인해 착유우 사료로의 이용은 금지하고 있으며, 비착유우에 있어서 As는 문제가 되지 않는다.

비육용 비거세 송아지에게 0, 15, 25, 35% 육계분을 급여하였을 때 증체율은 동일하였으나 체지방(body fat)이 3% 정도 감소하여 정육(lean

meat)이 많아지고, 가격도 더 높아졌다. kidney fat은 증가하였으나 이는 도축 시 fat 제거가 용이한 이점이 있다.

라. Botulism toxin 문제

지금까지 이스라엘에서의 육계분 사료화로 인한 유일한 문제점은 botulism이었다. botulism toxin은 혈중 헤모글로빈(Hb)에 일산화탄소(CO)가 결합하여 메타 헤모글로빈이 생성되며, 신경 연결부(nerve synapse)가 손상되어 acetylcholine을 함유할 수 없어 근육 수축(muscle contraction) 문제가 발생되어 보통 감염 2~3일째에 폐사되며, 급성의 경우 감염 2~3시간 내에도 급사하며, 폐사한 소의 혀를 당기면 쉽게 빠진다고 하였다. 이 toxin은 1 pico gram(1/1조 g)으로도 치사량이 될 수 있다. botulism은 호주에서도 발생된 적 있으며, 미국의 Los Angeles, Colorado 주에서도 발생된 적이 있다고 하였다. 병원균을 옮기는 source(숙주)로는 야생동물들 특히 철새(migrating bird), 들쥐(rat), 물새 또는 오리류(water fowl) 등을 들 수 있다. 미국에서도 유독 철새가 넘나드는 LA와 Colorado 주에서 발생되었으며, 미국 내륙에서는 발생되지 않았다. 이스라엘과 미국 서부에서 발생하는 장소의 공통점은 비가 오지 않아서 육계분을 야외에서 오랫동안 야적하여도 되는 지역이라는 점이다. 주위 환경에 개방되지 않고, 미국 내륙과 한국과 같이 우천 시에 대비하여 환경적으로 밀폐한 체계(closed system) 하에서는 발생 가능성이 그 만큼 희박할 것이다. 무엇보다도 직접적인 오염원은 사계(dead bird)인 것으로 지적되고 있다. 미국의 육계분 사료화의 전문가인 Dr. Fontenot는 육계분 급여에 따른 botulism 발생은 순전히 부패된 사계 때문이며, 이를 제거하면 아무런 문제가 없다고 하였다. 그러므로 육계농장에서 간혹 육계분과 함께 배출될 수 있는 사계는 가공처리 전에 반드시 제거되어야 한다.

이스라엘에서 철새가 botulism의 숙주로 등장한 이유는 철새가 양어장을 자주 습격하여 양어(주로 향어, israeli carp)에게 이를 오염시키고, 양어 부산물은 어분으로서 다시 육계사료로 이용되고, 따라서 육계분은 botulism toxin에 오염된다는 설이다. 따라서 혐기적인 botulism은 육계분의 축축한 덩어리(cake)에 잔존할 가능성이 높고, 상대적으로 가루 형태의 육계분은 호기적이고 건조하여 botulism에 오염될 가능성은 거의 없다고 보기 때문에 사료화 시에도 육계분을 반드시 선별(screening)하여 덩어리(cake)는 골라내어 비료화 하고, 가루형태만을 사료화 하고 있었다. 한국에서도 선별 과정을 반드시 두도록 권장하고 있는데, 이는 botulism 예방 보다는 발효기간 단축을 위함이다.

이스라엘 육계농장에서는 반드시 사양 기록을 남겨야 하며, 그렇지 않으면 사료용으로 사가질 않는다. 가축 보험과 관련하여서도 대상 가축이 botulism 백신 처리 기록이 없으면 보험에 들 수도 없다. 육계분 사료는 이스라엘의 모든(100%) 비육우 농장에서 급여되고 있고, 또한 botulism 백신은 모든 비육우에게 년 1회 투여되며, 비용은 두 당 \$ 1.5 ~ 2 정도로 부담 없는 가격이며, 노르웨이와 남아프리카 등지에서 손쉽게 수입하여 쓰고 있었다. 그러나 한국에서나 미국에서는 botulism 발생 염려가 없는 현실에서 이의 백신이 불필요한 상황이다.

마. 낙농 및 축산업계에서의 육계분 이용 현황

모든 젖소 대체우에게 생후 4개월령이면 육계분을 급여하는데 2개월 단위로 급여량을 바꾼다. 일일 급여량은 2 kg 정도이고, 한 키브츠 목장에서는 일일 두당 육계분 2 kg, 건초 또는 밀짚 2 kg, 옥수수 사일리지, 옥수수 알곡, 대두박 등 총 8 kg(건물 기준)의 TMR 사료를 급여하고 있었다. 치즈 공장에서 치즈 제조 공정 중 나오는 신선한 세척수(cheese water)를 젖소 대체우에게 급여하는데 신선하여야 하며, 그렇

지 않으면 동물이 먹질 않는다고 하였다.

한 육우농장에서는(Photo. 2) 육계분 전용급이기를 우방 안에 놔두어 동물들이 언제든지 접근하여 섭취할 수 있도록 하고 농후사료만을 일일 1회 우방 앞면에 설치된 사료조를 통하여 공급해주는 단순한 시스템을 취하고 있었다. 특히 육계분 전용급이기는 한 달에 한 번 정도로더로 채워주면 되고, 동물은 섭취 시마다 자연스럽게 밀로 내려오는 신선한 육계분을 제공받도록 되어 있었다.



Photo. 2. Appearance of broiler litter feeder.

바. 육계분 재활용 공장 방문 조사

방문한 축분 재활용 공장의 규모는 시간당 8 ton 생산량이었으며, 육계분 원료 구입가는 ton 당 \$ 8 ~ 10이었다. 공정 상 가루(powder) 상태의 제품은 최종 단계에서 열 처리되었기 때문에 냉각(cooling)하여 저장한다. Ton당 판매 가격은 \$ 40 ~ 42(건물 기준)이며, 굳이 펠렛화하지는 않는다. 제거된 덩어리(cake)는 호기발효(composting) 처리하여 비료로 이용하고 있었다.

육계분의 영양적 조성은 대체로 조단백질 30 ~ 34%, 조회분 15 ~ 16%, 합수율 20 ~ 25% 정도이며, 한국이나 미국의 것(조회분 20 ~ 30%)과 비교해서 상대적으로 낮은 조회분은 육계농장의 바닥이 콘크리트로 되어 있어 흙에 의한 오염이 매우 적기 때문이었다. 일련의 제조과정에서 주기적으로 시료를 채취하여 사료화 공장 내의 실험실에서 합수율, 조단백질, 조회분을 언제든지 분석하면서 품질 관리를 할 수 있

는 체계를 갖추고 있었다.

작업장에는 먼지 문제가 상존하였는데, 주변 민원 제기로 향수를 살포하는 공중선이 설치되어 있으나, 필요할 때마다 비싼 향수 대신 물을 살포하고 있었다. 인부들은 2주에 한 번씩 폐 검사를 받는다고 하였다.

이 회사의 주 품목은 축분 펠렛 비료이고, 다음이 육계분 사료였으며, 이런 종류의 공장이 유럽에 3곳, 미국에 3곳이 더 있다고 한다. 축분 펠렛 비료의 가격은 ton 당 \$ 85 ~ 90이며, 화학비료를 같이 혼합하기 때문에 상대적으로 비싼 편이었다.

이와 같이 이스라엘에서는 육계분을 반추가축 사료로 오랫동안 잘 활용하고 있었으며, 모든 비육우 농장에서는 육계분을 별도로 급여하거나, TMR사료 원료로서 고정적으로 이용하고 있었고, 관련 기계나 시설도 개발·정착되어져 있음을 확인하였다.

2. 미국 알라바마 주에서의 현장 조사

가. 육성우 농장 현장 조사

첫 번째로 방문한 농장에서는 35두의 육성우(angus-simmentol hybrid)를 길러서 전문 비육농장(feedlot)으로 판매하고 있었다. 사료 급여 체계는 대두피(soy hull) 50 : 육계분 펠렛 50의 혼합물을 체중의 2% 수준에서 급여하고, 건초는 체중의 1% 수준에서 급여하는 방식이었다. 대두피는 섬유소가 높으나 섬유소의 소화율이 매우 좋아서 옥수수 대체용의 에너지원으로 사용 되는 사료이다. 육계분 펠렛과 대두피는 급여 전에 믹서기(auger)에 넣어서 혼합하여 펠드에 드문드문 놓여져 있는 사료조(대형 페타이어로 제작)에 넣어서 급여되고 있었다. 비가 많이 오지는 않지만 비가 와서 빗물이 사료조에 들어가도 먹는데 문제가 없다고 하였다. 급여되는 건초는 일반 화본과 목초 중 이 지역에서 특히 많이 재배되는 rye grass가 주종이었다.

육성우 농장에서 이용하는 육계분은 육계농장에서 톤당 \$ 23, 대두피는 톤당 \$ 70에 구입한다고 한다. 이와 같이 육성우 사육 시에는 곡류사료 또는 배합사료를 이용하지 않고 그 지역에서 쉽게 구할 수 있는 값싼 부산물을 이용하여 사료비를 최대한 절감하는 것을 목표로 하고 있었다. 농장 시설에 있어서는 그늘막이 있고, 주 사료는 사료조에, 건초는 원형 철 구조물에서 무제한으로 급여되고, 전기 목책을 치고, 음수기는 한쪽에 설치해 놓는 등의 시설 비용을 최대한 절감하는 간단한 방식을 취하고 있었다.

육계분을 주 원료로 하면서 지역에서 쉽게 구할 수 있는 기타 부산물이나 이용 가능한 폐기물을 최대한 활용하는 것이 사료비 절감에 매우 효과적인 방법이며, 또한 반추동물은 단 위동물과는 다른 소화 생리적 특성 때문에 조악한 물질을 기대 이상으로 잘 소화, 이용하는 것으로 보여진다. 우리나라에서도 생산비 절감 차원에서 값싼 부산사료자원의 이용을 적극적으로 권장하는 것이 바람직할 것이다.

두 번째로 방문한 농장에서는 100 두 이상의 Angus를 사육하고 있었으며, 보통 3 ~ 4개월령이면 거세한다고 한다. 사료 급여 체계는 체중의 2%를 대두피 50:육계분 50의 혼합물로 급여하고, 체중의 1%는 건초 대신에 목화 부산물(목화공장에서 배출되는 cotton waste, 일명 jin)을 조사료로 급여하는 방식이었다. 폐쇄 같은 매우 조악한 물질까지 반추동물이 조사료로 이용할 수 있음을 증명하는 장면이었다.

육계분은 육계농장에서 가공 안 된 채로 운송해 와서 농장의 공터에서 windrow 방식으로 1.7 ~ 2 m 높이로 퇴적한 후 검은 비닐로 덮고, 더미 위로 두 개의 페타이어에 연결된 나일론 줄로 밀봉하는 방식으로, 1개월 이상 충분히 퇴적 발효시켜 급여하고 있었다(Photo. 3).

미국 알라바마 주의 경우, 육계분은 생산 체계가 우리와 달라 배출 시 거의 가루 상태에 가깝고, 화학 성분 중 섬유소 함량이 상대적으로

로 낮아서 주로 급여 사료의 단백질 및 광물질 원으로 이용하기에 더 적합하였다.

육계농장에서 이용되는 깔개는 주로 대패밥(wood savings)이고, 땅콩껍질(peanut hulls)도 이용되며, 한때 이용된 적이 있는 폐지(waste paper)의 경우는 병아리가 잘 미끄러지고, 분뇨가 표면에만 쌓이고 밑으로 흡수가 잘 안되는 단점이 있어서 이용이 안 되고 있다고 하였다. 그곳 전문가들의 평가로는 여러 종류의 깔개 중 왕겨는 사료 영양적 가치가 가장 낮을 것으로 예측하고 있었다.



Photo. 3. Deepstacked broiler litter in a wind-row manner.

이 농장에서는 긴 입자도의 조사료로서 목화 부산물을 이용하고 있음은 우리나라에서 배출되는 폐송 주 성분의 버섯 재배 잔사도 충분히 조사료로 이용될 수 있음을 시사한다는 측면에서 인상적이었다.

나. 육계농장 현장 조사

Photo. 4는 미국 알라바마 주의 전형적인 조립식 육계농장의 모습을 보여준다. 본 연구를 위해 방문한 농장은 16동의 육계사를 가지며, 한 동에서 일 회에 20,000 ~ 25,000 수를 사육하여 연간 총 2,250,000수 정도를 사육하는 대형 농장이었다. 육계분 사료화를 위해 대형 농장 중앙에 위치한 계분 처리동(콘크리트 바닥, 나무 칸막이 구조) 내에서 수거된 육계분을 칸별로 퇴적발효하고 있었다(Photo. 5). 주로 1개

월 정도 퇴적 발효시켜서 비육우 농가에 톤당 \$ 15 ~ 25에 판매하며, 가격은 수요에 따라서 조금씩 달라진다고 하였다.

이 농장에서는 사계(dead bird)를 composting 처리해서 비료로 판매하고 있었다. 주 법규상 사계를 땅에 매립하는 것은 불법이며, 태우거나, composting 하는 것을 합법적인 방법으로 규정하며, composting 처리한 제품은 자기 농장에서 퇴비로 자체 이용해야 하지만 외부 판매 시에는 허가를 받아야 한다고 하였다. 본 농장은 판매 허가증을 소유하고 있었으며, 판매 시 가격은 상기한 사료화 시와 동일하였다.



Photo. 4. A typical broiler house in Alabama State, USA.

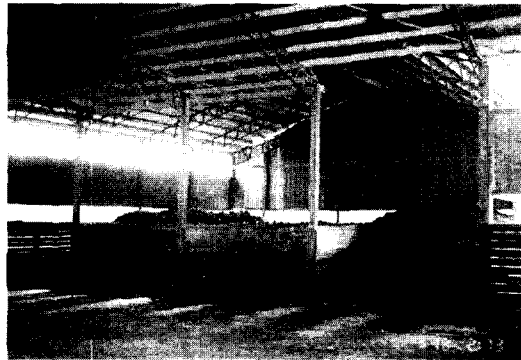


Photo. 5. Deepstacked broiler litter in a closed system.

다. 육계분 재활용 공장 방문 조사

본 공장은 본래 오스트렐리아에서 11 ~ 12년 전에 시작하였으며, 현재 육계분을 가공 처

리하여 비료, 토양개량제 또는 사료로 판매하고 있었다. 제조 공정은 다음과 같았다. 육계분 수집 → composting → screening → 물 혼입(먼지 제거 위해) → pelleting(wet 상태) → conveyor 이 용 운반 → 인공 열건조(dehydrator, 천연 gas 이용) → screening → 최종 펠렛 제품(함수율 8% 이하).

이 회사는 주로 비료화 사업에 치중되는 인상이었으며, 펠렛 사료는 톤당 \$ 125 ~ 150에 판매하며, 황산암모늄(NH₂SO₄)과 광물질 파우더가 혼합 보강된 것은 톤당 \$ 300에 판매된다고 하였다. 일일 생산량은 25 톤 정도였다. 사료 제품은 톤 백에 넣어서, 비료 제품은 비닐로 포장되어 판매하고 있었다. 참고로, 특히 비료화 시 각종 영양 보강 물질이 혼합되어 국화빵 모양으로 찍어서 나가는 제품이 인상적이었는데, 이것을 가정의 화분에 1개씩 묻어두면 일년간 효과가 있다고 하였다.

라. 기타 기술 정보

알라바마 주의 Auburn 주립대학교에서는 육계분 사료 급여 시 미강 또는 미곡 도정부산물(rice middling)을 함께 급여하는 실험을 수행중에 있었다. 참고로 알라바마 주의 일부 지역에서는 쌀농사를 하며, 따라서 쌀 도정부산물이 생산되고 있다. 육계분 사료화 시 덩어리(cake)는 한국과는 달리 별도로 선별할 필요가 없는데 이는 육계농장에서 한번 깔개를 깔면 그 다음 병아리 입식 시에는 decaker라는 기기를 이용해서 덩어리만 미리 선별하여 제거하기 때문이었다. 육계농장에서 이용되는 계분 덩어리 제거기(decaker)의 이용 원리는 바닥 표층을 선별기에 올리면 작은 입자는 떨어져서 다시 이용되고, 덩어리는 conveyer를 타고 올라가 뒤에 달린 컨테이너(cargo)에 이송되어 비료로 처리되는 방식이었다.

사양 방법에 있어서, 육성우에는 육계분 50 : 옥수수(또는 다른 에너지원) 50의 혼합물을 급

여하고, 번식우(brood cow)에 있어서는 동절기에 육계분 80 : 옥수수알곡(또는 다른 에너지원) 20의 혼합물을 급여하며, 이 때 입자도 큰 건조를 체중의 0.5% 기준으로 급여한다. 이는 전체 급여량의 16.7%에 해당하는 양이다. 물론 번식우의 경우 동절기 이외의 계절에는 방목을 시키기 때문에 구리 중독증 등의 문제는 훨씬 완화된다. 육계분 내의 구리 함량은 평균 250 ppm 정도이다. 참고로 육우의 육성기는 체중 330 ± 10 kg 까지 이며, 이 후는 비육장(feedlot)으로 옮겨져 본격적인 비육 프로그램에 입각한 사양을 하게 된다.

결론적으로 미국 알라바마 주에서는 육계분을 매우 효율적으로 수거하여, 주로 퇴적발효법으로 가공 처리한 다음 번식우 또는 육성우에게 대량 급여함으로써 사료비를 대폭 절감하고 있었다. 덧붙여, 육계분은 비료로 보다는 사료로 더 많이(50% 이상) 재활용되고 있었다.

3. 한국의 관련 현황과 기술정보 적용

가. 축분 사료화 연구 변천사

우리나라에서의 계분 사료화 연구에 대한 시대별 요약 내용이 Table 1에 제시되어져 있다. 70년대에 시도된 건조화 공법은 비싼 연료비로 인해 경제성에 있어 결정적 한계를 보였으나, 아직도 천연가스 등의 값싼 연료를 사용할 수 있는 나라에서는 건조화 공법을 이용하고 있다. 80년대 연구 개발된 난계분 - 볏짚 - 밀기울 발효사료는 매우 과학적인 배합 기술을 이용한 완전 혼합사료로서의 가치가 높으나, 원료 혼합 및 공정이 복잡하고, 취급이 힘든 난계분을 이용하며, 노동력이 많이 소요되고, 위생적 사양관리의 부재로 농장 현장에서 예상치 못한 부작용(유열 등)을 초래하였으며 현재 그 보급율은 0에 가깝다. 이때 난계분 대신에 함수율이 낮아서 취급과 수송이 용이한 육계분을 이용하면 이러한 단점이 대부분 해소된다. 실제

외국에서도 난계분 보다는 육계분을 이용한 사료화 기술은 대부분 오늘날까지 실용화 되고 있다. 이 분야의 외국 연구 기술을 적용함에 있어서 우리나라 과학자들이 실용성이 낮은 난계분(caged layer waste 또는 excreta)과 육계분(broiler litter)을 혼동한 것은 아닌지 의심스럽다. 왜냐하면 외국에서 70 ~ 80년대에 많이 연구한 계분(poultry waste)은 실제 난계분(caged layer waste)이 아니고 육계분(broiler litter)이기 때문이다. 이 둘은 물리적, 화학적 성상이 완전히 판이하기 때문에 구별하여 이용하여야 하며, 적용되는 가공처리 방법 또한 각기 다르다. 현재 가장 경제적이고, 실용적인 공법으로 널리 이용되는 것이 육계분의 퇴적발효 공법이다.

우리나라에서는 1996년부터 육계분 단미사료가 제조되어 이를 포함하는 TMR 사료가 상업적으로 보급되고 있으며, 지역의 농장 현장에서도 간단하게 육계분 퇴적발효 사료를 제조하여 한우 번식, 비육 농장, Holstein 대체우 또는 비육우 농장이나 흑염소 농장 등에서 직접 급여하면서 경제적 혜택을 누리고 있다. 그리고 최근에 육계분에 부족한 에너지를 제과부산물로 보충하는 육계분-제과부산물 혼합사료를 개발하여 육성 한우에의 현장 사양 시험 결과, 배합사료 100%와 볏짚 80%를 대체 가능한 것으로 나타났다. 그러나 전국적으로 계분 사료화와 관련하여 개발된 기술의 보급이 미흡함으로 인해 현장 적용 속도는 매우 더딘 편이다.

Table 1. Research history on recycling of poultry waste as feed in Korea

년 대	사료화 연구	장·단점 및 현황
'70년대	<ul style="list-style-type: none"> 계분의 인공 열건조 공법 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 경제성 문제로 대규모 공장에서만 가능하며 한국 실정에 부적합, 공정 중 영양소 과다 손실
'80년대	<ul style="list-style-type: none"> 난계분 - 볏짚 - 밀기울 혐기성발효 공법 연구 	<ul style="list-style-type: none"> 공정상의 복잡성, 노동력 과다 소요, 위생적 사양관리 부재, 실용성의 한계로 부적합
'90년대	<ul style="list-style-type: none"> 육계분 단독 퇴적성 위생발효 공법 개발 1996년부터 ~ 현재 난계분 - 기존 사료 혐기 발효물 	<ul style="list-style-type: none"> 혼합 공정의 불필요, 공정의 단순함, 경제성과 높은 실용성으로 농장 현장에 이미 적용 지리산낙협의 TMR 사료공장에서 단미사료로 고정적 이용(TMR의 20 ~ 30% 수준) 및 자체 젖소대체우 단지에서 이용 운송 불편, 경제성 있으나, 향후 실용성 향상 기대
2000년대	<ul style="list-style-type: none"> 육계분 단독 퇴적발효사료 개발 육계생분 퇴적발효물 개발 육계분 - 제과부산물 혼합 발효사료 개발 난계분 - 기존 사료 혐기 발효사료 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 현장 한우 번식·육성비육우 농장이나 흑염소 농장에서 사료 원으로 직접 이용 산학관 공동으로 광범위한 기술 보급 필요 반추동물의 사료로의 이용 가능성 확인 현장 기술 보급 필요 배합사료 100%, 볏짚 80% 대체용 농축사료 개발, 기술 보급 필요 현장 기술 보급 필요

그러므로 정부 차원의 대책이 절실히 요구되지 않을 수 없다.

나. 선진 기술정보 적용 사항

본 연구에서의 외국 현장 조사 결과 중 국내 관련 산업계에 적용 가능한 주요 기술 정보는 다음과 같이 요약되었다.

1) 육계분의 단독 또는 혼합 퇴적 발효물 또는 혐기 발효물은 위생적으로 안전하며, 특히 변식우와 육성우의 사료로서 충분한 생산성 및 경제적 효과를 보여주었다; 2) 현장 농장에서 변식우 또는 육성우 사양은 육계분과 지역 유기성 부산물만의 이용으로도 충분히 가능하다; 3) 처치 곤란한 육계생분은 면실피 또는 *beet pulp*와의 혐기발효를 통하여 양호한 가축용 발효사료로 전환될 수 있다; 4) 신선한 치즈공장 세척수는 가축용 액상사료로 이용 가능하다; 5) 육계분은 가공 처리한다 하더라도 위생상 착유우 사료로는 금지되나, 모든 비착유우 사료로는 이용 가능하다; 6) 육계분 사료공장의 소규모 운영이 가능하며, 비료화 사업과의 병행이 안전적이고, 사업화 시 자립 때까지 정부로부터의 *pellet* 처리 비용 수준의 지원이 바람직하다; 7) 육계농장에서는 허가증 소지 시 육계분 사료의 제조 및 판매가 가능하다. 이 경우 육계농장과 육우농장과의 직거래 활성화가 권장된다; 8) 육계분 사료화 관련 기기(*decaker*, 전용 급이기)의 개발이 병행하여야 한다.

다. 일반 관리 지침 및 대 정부 건의 사항

본 연구에서의 외국 현장 조사 결과를 분석한 결과, 우리나라에서도 성공적인 육계분의 사료로의 재활용을 위해서 이용 단체에서의 일반적 관리 지침을 다음과 같이 제시해 본다. 1) 육계농장, 육우농장 및 관련 이용 단체에서는 관리 기록을 의무화 한다; 2) 육계농장 관리인은 육계분에의 이물질 및 사계의 유입을 완전

차단한다; 3) 발효 사료 제조 방법과 원리를 정확히 숙지하고, 위생 청결에 유의한다; 4) 동물 사양 방법과 기준을 숙지한다; 5) 안전사고 예방에 유의한다.

대 정부 지원 건의 사항을 다음과 같이 제시한다. 1) 고영양성인 육계분은 비료화 보다는 사료화 정책을 펴는 것이 산업적으로나 환경적으로 훨씬 유익한 방향이다; 2) 육계분 사료화 시 퇴비화 수준의 정부 지원이 바람직하다; 3) 육계분의 사료원료 이용 시 육계농장의 바다 콘크리트 화 사업을 정부가 지원하고, 갈개는 관련 재활용 기관이나 농장이 부담한다; 4) 저질 사료 유통 예방을 위해 관련 종사자의 정기 교육을 실시하고, 사료 판매 시 허가증을 취득케 한다; 5) 육계분 사료화 관련 자동식 기계 및 시설(*decaker*, 채질선별기, 공정간 자동 이송장치, 육계분 전용 급이기 등) 개발을 위한 연구를 지원한다; 6) 정부 차원의 관련 기술의 적극적 홍보 지원이 필요하다; 7) 필요 시 정부 지원 하의 민간 시범 사업을 실시한다.

결과적으로 여기서 제안된 산학관의 공동 노력은 자급 사료가 절대적으로 부족한 우리나라에서 현명한 축산 선진국들과 같이 환경오염 원인 육계분을 값싼 가축 사료 원료로 재순환(*recycling*) 함으로서 가축 생산비 절감과 함께 친환경적 농업 경영 효과를 동시에 충족시키는 결과를 유도하여, 궁극적으로 우리의 축산업의 국제 경쟁력 제고에 일조할 것으로 믿어 의심치 않는다.

적 요

본 조사 연구에서는 이스라엘과 미국의 육계분 사료 제조 및 이용 현장을 방문하여 전문가 인터뷰 및 실제 확인 조사를 통하여 이들의 경험과 기술 정보를 지면으로 제시하고, 또한 확보한 자료를 우리의 현실과 비교 검토하여 육계분 사료화 기술의 성공적인 현장 적용 및 보급을 위해 필요한 일반 관리 지침과 대 정부

지원 사항들을 제시하였다. 축산 선진국인 이스라엘과 미국에서는 이미 40년 이상 동안 가공 처리한 육계분을 반추가축의 사료자원으로서 매우 효과적으로 활용함으로써 축산의 경쟁력을 제고하고, 아울러 환경오염을 예방하는 성과를 올리고 있었다. 한국에서는 이의 사료화 기술의 현장 적용 속도가 느린 편이지만 향후 보다 적극적으로 축산 현장에 적용한다면 친환경적인 축산 활동을 영위하면서 아울러 수반되는 상당한 경제적 혜택을 누릴 수 있을 것으로 사료되었다.

감 사 의 란

본 연구의 성공적인 현장 조사를 위해 적극적으로 도와주신 이스라엘 예루살렘의 Hebrew 대학교 농과대학 교수 Dr. H. J. Tagari, 20개 키브츠농장의 낙농 관리인 Mr. Omri Weismann, Hypa 사료공장의 인력 관리자 Mr. Toti, 계분사료공장 책임자 Mr. Shapira, 미국 알라바마 주의 Auburn 대학교 축산학과 교수 Dr. T. A. McCaskey, Dr. D. L. Rankins, Dr. B. J. Rude, Dr. B. G. Ruffin에게 감사를 드리고, 본 연구를 위해서 양국의 관련 기관과 전문가들을 호의적으로 연결해 주신 미국 Virginia Tech의 Dr. J. P. Fontenot에게 특별히 감사를 드리며, 많은 흥미를 가지고 이스라엘까지 기꺼이 현장 조사에 동행하여 주신 Agribrands Purina Korea, Inc.의 이보균 박사님, 전장환 이사님께도 특별히 감사를 드린다.

인 용 문 헌

1. Bhattacharya, A. N. and Taylor, J. C. 1975. Recycling animal waste as a feedstuff: A review. *J. Anim. Sci.* 41:1438.

2. Brosh, A., Holzer, Z., Aharoni, Y. and Levy, D. 1993. Intake, rumen volume, retention time and digestibility of diets based on poultry litter and wheat straw in beef cows before and after calving. *J. Agric. Sci.* 121:103-109.

3. Carpenter, J. R., Peterson, S. J., Iha, S. Y. and Niino, R. Y. 1994. Determination of fermentation characteristics and nutrient composition of various poultry litter and pineapple greenchop silages. *J. Anim. Sci.* vol. 72(Suppl. 1):114 (Abstr.).

4. McCaskey, T. A., Britt, S. N., Ruffin, B. G. and Eason, J. T. 1994. Performance and economic value of a poultry litter-based diet for beef stocker production. *J. Anim. Sci.* 72(Suppl. 1):137(Abstr.).

5. Rankins, D. L. 1995. Processing options for broiler litter. *Feed Mix* 3(1):8-11.

6. Ruffin, B. G. and McCaskey, T. A. 1990a. Broiler litter can serve as a feed ingredient for beef cattle. *Feedstuffs* 62(15):13-17.

7. Ruffin, B. G. and McCaskey, T. A. 1990b. Feeding broiler litter to beef cattle. *Agriculture and Natural Resources Timely Information. Alabama Cooperative Extension Service Circular ANR557, Auburn University, AL., USA.*

8. Stephenson, A. H., McCaskey, T. A. and Ruffin, B. G. 1990. A survey of broiler litter composition and potential value as a nutrient resource. *Biological Wastes* 34:1-9.

9. Wanderley, R. C., Silva, A. G., Pedroso, A. F. and Ashbell, G. 1995. Ruminant digestion kinetics of silages of orange peel and sugar cane mixed with poultry litter. *J. Anim. Sci.* 73 (Suppl.):288(Abstr.).