

육계분과 제과부산물을 이용한 반추가축용 완전혼합사료(TMR) 제조 시 가공처리 방법이 물리화학적 특성에 미치는 영향

곽완섭*,윤정식*,정근기**

건국대학교 자연과학대학 생명자원환경과학부 축산학전공*

영남대학교 자연자원대학 생물자원학부 동물생명과학전공**

Effects of Manufacturing Methods of Broiler Litter and Bakery By-product Ration for Ruminants on Physico-chemical Properties

W. S. Kwak*, J. S. Yoon* and K. K. Jung**

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

Dept. of Animal and Life Science, College of Natural Resources, Yeungnam University, Kyung-San, Kyung-Buk, Korea 712-749**

ABSTRACT

This study was conducted to develop effective manufacturing methods of a total mixed ration(TMR) composed of broiler litter(BL) and bakery by-product(BB) for ruminants. Five experiments included a small-scaled manufacture of TMR using a deepstacking method(Exp. 1), its pelletization(Exp. 2), its field-scaled manufacture(Exp. 3), a field-scaled manufacture using an ensiling method(Exp. 4), and a mixing process of deepstacked BL and BB prior to feeding(Exp. 5). BL and BB were mixed at a ratio which makes total digestible nutrients of the TMR 69%. For each experiment, temperature, appearance and physico-chemical properties were recorded and analyzed. The chemical composition data revealed that the mixture of BL and BB showed nutritionally additive balance which resulted from a considerable increase(P<0.05) of organic matter and a desirable decrease(P<0.05) of protein and fiber up to the requirement level for growing 'Hanwoo' steers. Deepstacking of BL and BB in Exp. 1 and 3 resulted in a sufficient increase of stack temperature for pasteurization, little chemical losses, appearance of white fungi on the surface, and partial charring due to excess stack temperature. For Exp. 2, its pelleting, which was successful using a simple, small-scaled pelletizer, resulted in a little loss(P<0.05) of organic matter and an increase(P<0.05) of indigestible protein(ADF-CP). Ensiling the mixture in Exp. 4 made little effect on chemical composition; however, one month of the ensiling period was not enough for favorable silage parameters. Deepstacking BL alone in Exp. 5 tended(P<0.1) to decrease true protein : NPN ratio and hemicellulose content and increase ADF-CP content due to the heat damage occurred. Deepstacking or ensiling of BL-BB mixtures and simple incorporating of BB into deepstacked BL prior to feeding could be practical and nutrients-preservative methods in TMR manufacture for beef cattle, although ensiling needed further hygienic evaluation.

(Key words : Broiler litter, Bakery by-product, Deepstacking, Ensiling, Feed, TMR)

본 연구는 농림부 기획연구 지원에 의해 수행되었음.

Corresponding author : Wan-Sup, Kwak, School of Life Resource and Environmental Sciences, College of Natural Sciences, Konkuk University, Chung-Ju, Chung-Buk, 380-701, Korea. Tel : 82-43-840-3521, Fax : 82-43-851-8675, e-mail : wsk@kku.ac.kr

I. 서 론

사료비 절감 필요성과 한우용 사료 자가 배합 및 완전혼합사료(TMR) 제조에 대한 정책적 지원은 각종 값싼 부산물 사료들의 광범위한 이용을 촉진하고 있다. 특히 TMR 원료 중 육계분은 조사료 공급원으로서, 제과부산물은 에너지 공급원으로서 효과적으로 쓰일 수 있으며, 이 두 원료의 단순 혼합을 통하여 노동절감형이며 현장 실용적인 농장 자가 TMR 제조, 이용을 가능하게 하며, 이를 통하여 사료비 절감 효과를 획기적으로 누릴 수 있을 것으로 여겨졌다.

우리나라 육계농장에서 배출되는 육계분의 연간 생산량은 50여 만 톤에 이른다(Park 등, 2000). 육계분은 깔개(주로 왕겨), 생분, 일부 흩어진 사료, 깃털 등으로 구성되며, 다른 축분과 비교해서 영양적 가치가 높고, 함유율이 낮아 취급이 용이하며, 다른 물질을 혼합할 필요가 없고, 언제 어디서든 쉽게 구할 수 있기 때문에 실용성이 뛰어나다. 계분은 급여 전에 잔존 가능한 병원성미생물의 완전 사멸을 위해서 반드시 가공 처리되어야 한다. 가공처리(제조) 방법 중에서 퇴적발효법이 가장 널리 이용되고 있으며, 퇴적발효 중 발생하는 고열(50~70℃)로 인해 병원성미생물이 완전 사멸하게 된다(CAST, 1978). 계분 발효사료는 사료관리법 상 식물성 섬유질류 발효사료로 등록되어져 있어 최근의 광우병 우려와는 상관없이 사료로의 폭넓은 이용이 권장된다. 육계분은 영양적 특성상 고 단백질(CP 16~24%), 고 광물질(조회분 30% 이하) 조사료 원(NDF 36~55%)에 속하며(곽, 2000), 단백질 중 용해성단백질의 높은 성분은 요소와 대두박의 중간 정도에 속하는 단백질 특성을 보여준다(Kwak 등, 1998). 젖소 대체우용 TMR의 원료로서는 전체 사료 건물의 45% 수준까지도 생산성 차이 없이 이용될 수 있었고, 번식우 및 육성비육우의 일반적인 현장 급여 형태인 배합사료-벧짚 급여 체계에서는 벧짚의 70%까지를 대체하면서 생산성 향상을 기할 수 있었다(곽, 2000).

제과부산물은 제품 제조 중에 발생하는 찌꺼기와 유통기한이 지난 제품과 반품된 것으로

구성된다. 영양적으로는 저 단백질, 저 광물질, 고 에너지 사료에 속하며, 소금 함량이 높고, 지방 함량의 변이도가 높은 편이며(Ensminger 등, 1990), 우리나라 사료관리법상 식물성 식품 가공부산물로 분류되어 있다. 외국의 사양 연구에 의하면, 비육우 사료 건물의 30% 이하에서 건조 제과부산물로 옥수수알곡을 성공적으로 대체할 수 있었다(Milton과 Brandt, 1994).

미국에서는 옥수수 알곡을 발효 육계분과 함께 혼합 급여하는 것도 경제적인 방법인 것으로 연구 보고 되었으나(Ruffin과 McCaskey, 1990), 제과부산물을 육계분과 혼합하여 간단한 TMR을 제조하는 연구는 지금까지 전무하다.

이와 같이 단백질과 광물질 함량이 높으나, 에너지 함량은 낮은 육계분에 파옥쇄(cracked corn grain)보다 에너지 함량이 높은 제과부산물 [85 vs. 89 - 95%, NRC(2001)]을 혼합함으로써 영양적으로 매우 균형잡힌 반추가축용 TMR의 제조가 가능할 것으로 가정하여, 본 연구에서는 실용적인 퇴적발효 또는 혐기발효 공법을 이용하여 위생적이면서도 경제적인 최적의 TMR 제조 방법을 도출하기 위해서 육계분-제과부산물 혼합물의 발효 전과 후의 발효온도, 물리화학적 및 발효 성상 변화를 구명하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 1 : 퇴적발효 공법을 이용한 TMR의 소규모 제조

(1) 사료 제조 및 시료 채취

시험사료의 제조는 건국대학교 자연과학대학 부설 실습농장에서 2000년 3월 14일부터 2000년 4월 10일까지 행하여졌다. 비교 목적의 대조구는 체(체경 5cm)로 선별한 육계분(충주 소재 육계농장에서 수거)을 100% 이용한 구이고, TMR구는 선별 육계분(TDN 55%, Muller(1980))과 건조 제과부산물[충주 소재 삼립식품 부산물, TDN 89%, Ensminger 등(1990)]을 2:1의 비율(습물 기준)로 혼합하여 TDN을 69%[체중 200kg 육성 거세 한우 요구량 충족, 농촌진흥청(1992)]로 맞추었다. 퇴적발효물의 시료 채취 error 및 시료 변이도를

최소화하기 위해서 혼합기(Atika, Italy)를 이용하여 철저히 혼합한 적당량(150g 정도)의 혼합물을 각각 4개의 나일론 백(가로 19cm × 세로 20cm 크기, 1mm² pore size)에 넣어서 퇴적물(가로 1.0 × 세로 1.0 × 높이 1.2m의 발효 시설물 이용)의 중앙부에 삽입하여 발효시킨 다음 26일 동안의 발효 종료 시에 모두 꺼내어 발효 전과 후의 외관적 성상과 물리, 화학적 성상의 차이를 분석, 비교하였다.

(2) 온도 측정 및 물리화학적 분석 항목

온도 측정을 위하여 퇴적물의 중앙부(표층 60cm 깊이)와 상층부(표층 30cm 깊이)에 thermocouples를 삽입하여 매일 2회(12:00, 23:00) 온도를 측정하였고, 마찬가지로 환경온도도 측정, 기록하였다. 물리, 화학적 분석 항목은 pH, 건물[dry matter(DM)], 유기물[organic matter(OM)], 조단백질[crude protein(CP)], 순단백질(true protein), 비단백태질소화합물[non-protein N(NPN)], acid detergent fiber-CP (ADF-CP), 중성세제불용성섬유소[neutral detergent fiber(NDF)], hemicellulose, ADF, 조회분(crude ash), 비섬유성탄수화물[nonfibrous carbohydrate], Ca, P 등이었다.

2. 실험 2 : 퇴적발효 공법을 이용하여 제조된 TMR의 펠렛화

제조된 TMR의 펠렛화 시도는 상기한 장소에서 실험 1의 현장 실험 종료 후에 단순 소형 국산 펠렛기(Jumbo 901 MP, 대구상공사)를 이용하여 소 사료용 수준인 직경 10mm의 die를 통하여 성형하면서, 외관적 성상 관찰과 함께 성형 가능성을 검토하였고, 물리, 화학적 성분 변화를 평가하기 위해서 pH, DM, OM, CP, true protein, NPN, ADF-CP, NDF, hemicellulose, ADF, 조회분 등을 분석하였다.

3. 실험 3 : 퇴적발효 공법을 이용한 TMR의 현장 규모 제조

(1) 사료 제조, 시료 채취 및 조성분 분석 항목
실험 1에서 제시된 방법으로 선별한 육계분,

제과부산물 그리고 0.4%의 소금(총중량 대비)을 TDN 함량이 69%가 되도록 TMR 혼합기(Series Three, HARSH, USA)를 이용하여 철저히 혼합한 후 바닥에 비닐을 깔 25 metric ton 규모의 콘크리트 발효 탱크 내부(폭 2.5m × 길이 4m × 높이 1.5m)에 약 15 metric ton 정도를 퇴적시켜 표면은 개방한 상태로 2000년 11월 30일부터 2001년 1월 12일까지 43일간 발효시켰다. 퇴적발효물의 채취 시료의 성분 변이도를 최소화하기 위해서 혼합기(Atika, Italy)를 이용하여 철저히 혼합한 적당량(150g 정도)을 각각 4개의 나일론 백(가로 19cm × 세로 20cm 크기, 1mm² pore size)에 넣어서 퇴적물의 중앙부에 삽입하여 발효시켰다.

온도 측정을 위하여 퇴적물의 중앙 부위(표층에서 75cm 깊이), 중앙 우측 부위(중앙에서 우측으로 25cm), 중앙 좌측 부위(중앙에서 좌측으로 25cm), 중앙 하측 부위(중앙에서 하측 25cm 부위) 등 네 곳에 thermocouples를 꽂아서 온도를 측정하였다. 또한 외부 환경온도도 측정하였다.

TMR 퇴적발효 전과 후의 대표적 시료 5개씩을 채취하여 화학적 성분(DM, OM, EE, CP, true protein, NPN, ADF-CP, NDF, ADF, hemicellulose, 조회분)을 분석하였다. 발효 후 퇴적물에서 고열에 의하여 까맣게 탄 것 같은 숯화(charring) 현상이 부분적으로 관찰되었다. 이 부분과 정상적인 부분의 시료를 채취하여 마찬가지로 화학적 성분을 분석, 비교하였다.

4. 실험 4 : 혐기발효 공법을 이용한 TMR의 현장 규모 제조

(1) 사료 제조, 시료 채취 및 분석

2001년 1월 17일부터 2월 16일까지 한겨울에 실시된 본 실험에서는 육계분과 제과부산물을 TDN 함량이 69%가 되도록 혼합기(Atika, Italia)를 이용하여 철저히 혼합한 후 주문 제작된 두 개의 500kg 들이 타이콘(Tycon) 백 내의 두 겹의 비닐 내에 밀봉하여 21일 동안 혐기발효시켰다. 혐기발효 전, 후 시료간의 채취에 따른 성분 변이도를 최소화하기 위해서 발효물의 중

양 부위에는 혼합기(Atika, Italy)를 이용하여 철저히 혼합한 적당량(150g 정도)을 각각 4개의 나일론 백(가로 19cm × 세로 20cm 크기, 1mm² pore size)에 넣어서 삽입하여 발효시켰다.

온도 측정을 위하여 발효물의 중앙 부위(표층에서 50cm 깊이)에 thermocouples를 꽂아서 발효 온도를 측정하면서 또한 외부 환경온도도 측정하였다. 혐기발효 전과 후의 시료는 4반복(타이콘 백 당 2반복)으로 채취하여 실험 1에서와 같이 화학적 성분 분석을 수행하였다.

5. 실험 5 : 육계분 단독 퇴적발효 후 급여 시 TMR 제조

(1) 사료 제조 및 시료 채취

본 실험에서는 육계분을 제과부산물과 혼합하지 않은 상태에서 단독으로 퇴적발효시킨 다음 급여 시에 제과부산물과의 단순 혼합을 통하여 TMR을 제조하였다. 육계분의 퇴적발효는 상기 실험 1과 같은 방법으로 2회(실험 5-1, 5-2)에 걸쳐서 수행하였고, 마찬가지로 발효기간 중 환경온도와 퇴적물의 발효온도를 측정하였다.

육계분 시료는 발효 전과 후에 3반복으로 퇴적물 중앙 부위 3곳에서 채취하였으며, 발효 후 발효물의 외관을 관찰 기록한 다음, 시료는 비닐 백에 밀봉한 후 향후 물리, 화학적 분석을 위해 -20℃ 냉동고에 보관하였다.

6. 조성분 분석

상기한 모든 실험에서 채취된 시료는 냉장고에서 녹인 다음, DM은 60℃ 건조 oven에서 48시간 건조한 후 측정하였고, CP, EE, 조회분은 AOAC(1990) 방법에 따라 분석하였다. 특히 건조 시 육계분의 NPN 성분은 암모니아로 전환되어 쉽게 증발하게 되므로 CP 함량은 발효물의 풍건 상태에서 분석한 다음 DM 수치로 보정하였다. True protein은 5% trichloroacetic acid 용액에서 침전되는 양으로, NPN은 CP에서 true protein을 뺀 양으로 구하였다. ADF-CP의 경우, 시료의 ADF 분석 잔류물을 합쳐서 CP 성분

(AOAC, 1990)을 분석하여 구하였다. NDF, ADF는 Van Soest 등(1991)의 방법에 따라 분석하였다. Hemicellulose 함량은 NDF에서 ADF를 뺀 수치로 구하였다. Nonfibrous carbohydrate 함량은 OM에서 CP, EE, NDF 등을 뺀 값으로 구하였다. Calcium(Ca)은 atomic absorption spectrophotometry (SpectraAA-300A, Varian Techtron, USA)상에서 AOAC(1990)에 따라 분석하였고, phosphorus(P)은 Fiske와 Subbarow (1925) 방법에 따라 분석하였다.

7. 통계 분석

모든 통계 분석은 one-way ANOVA design으로 Statistix7(2000) program 상에서 General Linear Model을 이용하여 수행되었다. 실험 1에서의 평균간 비교는 Tukey's multiple range test(Statistix7, 2000)로 수행되었다. 실험 2의 펠렛 전과 후의 성분 변화, 실험 3의 TMR 혼합물 퇴적발효 전과 후의 성분 변화와 탄(charred) 부위와 정상 부위의 성분 변화 및 실험 4의 TMR 혐기발효 전과 후의 성분 변화, 실험 5의 육계분 단독 퇴적발효물의 발효 전과 후의 성분 변화는 모두 studentized t-test (Statistix7, 2000)를 이용하여 평균 간 비교 분석을 수행하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 실험 1 : 퇴적발효 공법을 이용한 TMR의 소규모 제조

(1) 원료의 화학적 성분

선별 육계분과 제과부산물의 화학적 성분은 Table 1에 제시되어져 있다. 육계분의 성분은 영양사료학적 분류상 고 단백질, 고 광물질 조 사료 원에 속하였고, 상대적으로 제과부산물은 높은 nonfibrous carbohydrate 함량을 비추어볼 때 저 단백질, 저 광물질, 고 에너지사료 원에 속하였다. 즉 낮은 에너지 성분이 가장 제한적 요인으로 작용하는 육계분에 고 에너지 제과부산물을 혼합함으로써 이들 사료 원료들은 TMR 제조를 위해 매우 바람직한 영양적 조화를 이

를 수 있을 것으로 판단되었다. 더욱이 기호성이 뛰어난 제과부산물(Ensminger 등, 1990)을 상대적으로 기호성이 낮은 육계분(이와 콕, 1999)에 혼합함으로써, 제조된 TMR의 기호성은 문제가 야기되지 않을 정도로 향상될 것으로 예측되었다.

Table 1. Chemical composition of broiler litter and bakery by-product before deepstacking^{1),2)}

Item	Broiler litter	Bakery by-product
 %	
Dry matter	67.4	90.8
Organic matter	74.6	98.1
Crude protein	19.1	7.9
True protein	41.2	69.7
NPN	58.8	30.3
ADF-CP	15.3	-
Nonfibrous carbohydrate	-	83.3
Neutral detergent fiber	56.7	2.3
Acid detergent fiber	38.6	3.1
Ether extract	1.6	4.6
Crude ash	25.4	1.9
Calcium	2.00	0.08
Phosphorus	1.10	0.07

¹⁾ Means of 2 observations.

²⁾ On dry matter basis.

(2) 온도 변화와 곰팡이 발생 정도

퇴적물의 발효온도와 환경온도에 대한 변화는 Fig. 1에 나타나 있다. 단미사료용 육계분 단독 퇴적물(대조구)의 퇴적발효에 따른 온도 변화에 있어서, 발효 개시 시에 온도는 급격히 상승하여 3일째에 최고온도 60℃에 달한 다음 이 후에는 서서히 하락하였다. 중앙부보다는 상층부가 더 높은 최고 온도를 보였는데 이는 내부에서 발생된 발효열이 위로 상승하기 때문인 것으로 사료되었다. 그리고 공정 20일 경과 시에 퇴적물 내부온도는 환경온도와 비슷하게 떨어져 충분히 안정화된 것으로 판단되었다. 통상적으로 최고 온도가 50℃ 이상에서 장시간

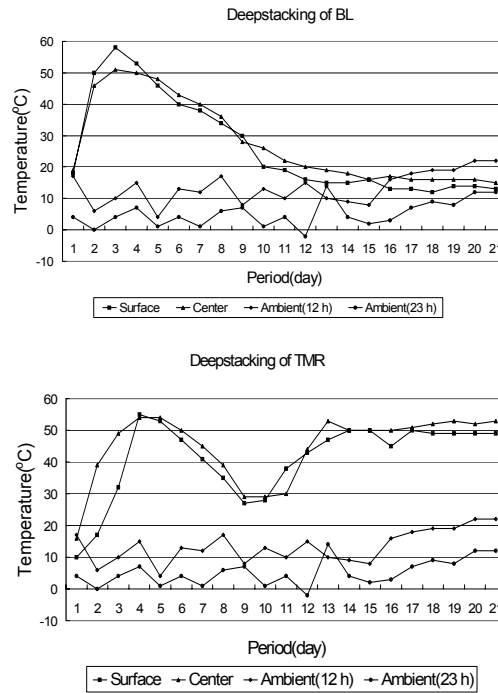


Fig. 1. Temperature change during the deepstacking of broiler litter alone or mixtures (total mixed ration) of broiler litter and bakery by-product.

유지되면 병원성미생물의 완전 살균 효과가 있는 것으로 알려져 있다(CAST, 1978; Sweeten, 1988; Ruffin과 McCaskey, 1990; 콕 등, 1999).

TMR 퇴적물은 육계분 단독 발효 시보다도 최고 온도에 도달하는 시간이 약간 지연되어 발효 개시 후 4~5일째에 최고온도(55℃ 정도)에 도달한 다음 이 후 서서히 떨어지다가, 14일째에 다시 최고 온도에 도달하여 이 상태를 계속 유지하는 양상을 보였다. 두 번째의 최고점 곡선을 보인 것은 예측되지 않은 바람의 영향으로 인해 퇴적물 내부에 까지 공기가 유입되면서 호기발효가 촉진되어 내부온도가 재상승한 때문인 것으로 추정되었다. 두 처리구를 비교해보면 50℃ 이상의 고온을 유지하는 기간은 TMR 구에서 더 길었다. 이것은 잔존 가능한 병원성미생물의 살균 효과 등 사료의 위생성을 충족시켜주는 바람직한 현상인 것으로 사료되었다.

외관적 성상에 있어서 육계분 단독 발효물은 발효 종료 시에 퇴적물 표면에서 곰팡이는 전혀 관찰되지 않았는데, 이는 NPN 성분의 급속한 미생물 분해를 통하여 자체 발생된 암모니아 성분이 곰팡이 발생을 억제하였기 때문인 것으로 추측되었다. 육계분 - 제과부산물 혼합 발효물은 공기와 접하는 좌, 우 및 상부의 표면 12cm 깊이까지는 흰 곰팡이류가 발생한 것으로 관찰되었는데, 이는 표층의 적정 수분, 낮은 온도와 무엇보다 고영양성(제과부산물의 높은 전분 함량)이 곰팡이 발생을 촉진한 것으로 추측되었다. 그러나 퇴적물 표층 이외의, 온도가 높은 부위에서는 곰팡이가 관찰되지 않았다. Golueke(1991)는 이런 곰팡이류는 진정 호기성에 속하며, 축분의 퇴비화 시 발생되는 65℃ 이상의 고온에서는 쉽게 사멸된다고 하였다. 표층의 곰팡이 발생 억제책으로 퇴적 시 사방을 비닐로 덮어주어 공기와의 접촉을 최대한 줄이는 것도 효과적인 방법일 것으로 사료되었다.

(3) 퇴적발효 전·후의 물리, 화학적 성분 변화
육계분 단일물과 비교해서 육계분 - 제과부산

물 혼합물의 퇴적발효 전과 후의 조성분 변화의 차이가 Table 2에 제시되어져 있다. 육계분 단독 발효 시 발효는 DM, CP, ADF-CP 함량에 영향을 미쳤다(P < 0.05). 특히 DM은 수분 증발로 인해서 10% 포인트 이상 증가하였으며(P < 0.05), CP는 예상된 암모니아 손실로 인해 2.4% 포인트 정도 감소하였고(P < 0.05), ADF-CP는 마찬가지로 예상된 고온의 발효열로 인하여 유의하게 증가하였다(P < 0.05). TMR 혼합물의 퇴적발효는 DM, true protein:NPN, ADF-CP, pH 등에 영향을 미쳤고(P < 0.05), OM, CP, fiber, hemicellulose, 조회분 등의 함량에는 영향을 미치지 않았다. DM은 약 5% 포인트 증가하였고, CP 성분 중 true protein의 성분비는 줄고, NPN 성분비는 늘어났다. 또한 공정 중 고열로 인하여 ADF-CP 함량은 2.7% 포인트 정도로 소폭 증가하였으나, Ruffin과 McCaskey (1990)는 고열로 인한 사료 ADF-CP의 지나친 증가는 DM 소화율의 감소를 초래할 수 있다고 보고하였다.

육계분에 제과부산물을 혼합함에 따라 최종 TMR는 육계분 단독 발효물과 비교해서 OM은

Table 2. Changes in chemical composition between before and after deepstacking of broiler litter(BL) alone or with bakery by-product(BB)^{1),2)}

Item	BL		BL + BB		SE
	Before	After	Before	After	
 %				
Dry matter	64.4 ^a	74.7 ^b	74.2 ^b	78.9 ^c	1.1
Organic matter	75.5 ^a	74.6 ^a	84.8 ^b	85.0 ^b	1.2
Crude protein	19.8 ^a	17.4 ^b	14.0 ^c	14.8 ^c	0.4
True protein	42.0 ^a	41.8 ^a	51.5 ^b	43.9 ^a	2.2
NPN	58.0 ^a	58.2 ^a	48.5 ^b	56.1 ^a	2.2
ADF-CP	13.4 ^a	18.0 ^b	11.6 ^c	14.3 ^a	0.6
Neutral detergent fiber	57.1 ^a	56.8 ^a	32.8 ^b	31.8 ^b	1.2
Acid detergent fiber	40.5 ^a	41.2 ^a	23.3 ^b	24.1 ^b	0.8
Hemicellulose	16.6 ^a	15.6 ^a	9.5 ^b	7.7 ^b	0.7
Crude ash	24.5 ^a	25.4 ^a	15.2 ^b	15.0 ^b	1.2
pH	8.6 ^a	8.6 ^a	8.1 ^b	5.8 ^c	0.1

¹⁾ Least squares means, n = 4.

²⁾ On dry matter basis.

^{a,b,c,d} Means with different superscripts within the same row differ(P<0.05).

약 10% 포인트 정도로 상당히 증가하였고($P < 0.05$), 과도한 CP는 한우 육성 거세우에의 최소 요구량 수준인 12.3%(농촌진흥청, 1992)를 충족시킬 정도의 14% 대까지로 낮아졌으며($P < 0.05$), 섬유소 성분에 있어서도 NDF는 25% 포인트 낮아져서 비육우의 적정 요구량 수준인 30%(Naruse 등, 1996; Miyakoshi 등, 1999)에 근접하였다($P < 0.05$). 이와 같이 육계분에 제과부산물을 혼합함으로써 최종 발효물은 보다 향상된 바람직한 영양적 조성을 함유하였다.

2. 실험 2 : 퇴적발효 공법을 이용하여 제조된 TMR의 펠릿화

TMR의 펠릿 전과 후의 형상은 Photo. 1에 제시되어져 있다. 펠릿 전의 TMR은 육계분에 포함된 왕겨 크기보다 크지 않은 입자도를 보여주었다. 일반적으로 육계분 단독 발효물의 성형은 자체의 고 섬유성의 물리적 특성 때문에 단순 소형 펠릿기로는 성형되기 힘들고, 또한 성형이 된 것도 불량품이 많이 발생되었으나(곽, 2002), 본 TMR의 경우 육계분에 혼합된 제과부산물이 성형촉진제의 역할을 하여 단순 소형 펠릿기로도 정상적인 강도의 성형이 이루어진 것으로 관찰되었다.

TMR의 펠릿화에 따른 화학적 성분상의 주된 변화는 Fig. 2에 제시되어졌다. 주된 성분상의 변화로는 공정 중 발생된 고열에 의한 수분 증발로 인해 DM 함량이 증가하였고($P < 0.05$), 마찬가지로 고열로 인한 갈변(Maillard) 반응(Van Soest, 1987)에 의해서 ADF-CP(비소화성 단백질) 함량이 증가하였으며($P < 0.05$), 또한 공정 중의 약간의 OM 휘발로 인하여 조회분 함량이 상대적으로 약간 증가하는 양상을 보여주었다($P < 0.05$). 일반적으로 성형은 함수율 감소, 저장 편의, 물류비 절감 효과, 사료 분리(segregation) 현상 방지, 먼지로의 손실 예방 등의 좋은 효과를 누리기 위해서 실시되나, 반추동물의 사료영양학적으로는 성형함으로써 오히려



Photo. 1. Before and after pelleting of TMR (diameter of pellets = 10mm).

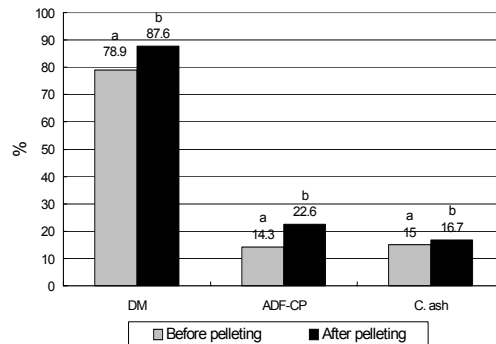


Fig. 2. Change in chemical composition of TMR by pelleting [Means of 4 observations; ^{a,b}Means with different superscripts differ($P < 0.05$)].

영양적 가치는 개선되지 않는 것으로 판단되었다. 그러나 이용 효율 측면에서는 육계분 단독 퇴적발효물의 펠릿 처리 시에 나타

난 기호성 개선 결과(곽과 박, 2003)에서와 같이 육계분을 제과부산물과 혼합된 상태에서 펠렛함으로서 편식을 예방하고 기호성이 개선될 것으로 예상되었다.

3. 실험 3 : 퇴적발효 공법을 이용한 TMR의 현장 규모 제조

(1) 온도 변화

본 실험에서는 TMR을 15 metric ton 정도의 실제 현장 규모로 제조하였다. 퇴적발효 공정 중의 온도 변화는 Fig. 3에 제시되었다. 환경온도가 -10℃에서 10℃의 분포를 보일 때에 퇴적물의 부위별 온도 변화 양상을 보면 최초 20℃ 이하에서 시작하여 서서히 온도가 상승하다가 2주 쯤 경과 시에 50℃ 수준에 도달하였고, 4주 쯤 경과 시에는 60℃에 도달하였으며, 5주 쯤 경과 시에 최고온도인 67℃에 도달한 다음 이후부터는 서서히 하락하였다. 그리고 실험 1에서의 육계분 - 제과부산물 혼합물의 소규모 퇴적발효 시와 비교해서 공정 초기의 발효온도의 상승이 느린 것은 겨울철의 더 낮은 환경온도가 발효미생물의 활성을 억제시킨 때문인 것으로 판단되었으며, 발효 최고온도는 더 높게 나타났다.

퇴적물 부위별 온도 변화를 살펴보았을 때 발효 공정 후반기로 갈수록 중앙 부위(바닥에

서 50cm 높이)와 중앙의 우측(중앙에서 25cm 위치) 부위보다는 중앙의 좌측 부위(중앙에서 25cm 위치)의 온도가 약간 높은 경향이였다. 이는 바람 등의 환경적 영향 때문인 것으로 사료되었으며, 같은 높이의 퇴적물내의 부위라도 온도가 약간의 차이가 있음을 보여주었다. 중앙부위 하측(중앙에서 아래로 20cm 위치)의 온도는 다른 부위와 비교해서 더 낮았다. 전반적으로 부위별 온도는 10℃ 이내의 차이를 보여주었다. 그리고 모든 부위의 발효온도는 50℃ 이상의 살균 충족 온도 대를 나타내었다.

(2) 퇴적발효 전·후의 물리, 화학적 성분 변화

이들 육계분 - 제과부산물 혼합물의 한우 육성우 사료의 적정 에너지 수준인 TDN 69%가 되도록 혼합하여 퇴적발효시켰을 때 발효 전과 후의 조성분 변화는 Table 3에 제시하였다. 혼합물을 퇴적발효시킴에 따라 함수율은 1.1% 포인트 감소(증발)하였고($P < 0.05$), EE 함량이 약간 증가하였으며($P < 0.05$), 고온의 발효열에 의해 ADF-CP 또한 예상대로 2.1% 포인트 증가하였다($P < 0.05$). 그러나 그 외의 성분들 즉 OM, CP, true protein:NPN 비율, fiber(NDF, ADF), hemicellulose, ash 함량 등은 현장 규모 퇴적발효에 따른 영향을 받지 않았다. 이러한 성분상의 변화 양상은 실험 1에서의 소규모 발효 시와 유사하였으며, 전반적으로 소규모 또는 현장 규모 퇴적발효에 따른 사료영양적 성분 변화는 무시해도 될 정도로 적은 편이었다. 일반적으로 열처리에 의해 발생하는 ADF-CP 함량의 증가 현상은 사료 단백질의 소화율 저하를 유발시킨다(Ruffin과 McCaskey, 1990).

제조된 TMR은 공기 접촉 표면에서 15cm 깊이의 부위까지에는 실험 1에서와 같이 하얀 곰팡이가 핀 것으로 관찰되었다. 또한 퇴적물 내부에서 발생된 고열에 의해 부분적으로 검게 탄 것 같은 숯화(charring) 현상을 보였는데, 이 부위의 물질과 정상적인 물질의 화학적 성분을 분석, 비교한 바(Table 미제시), DM, OM, EE, CP, true protein:NPN, 섬유소, 조회분 등의 함량은 차이가 없었으나, 부분적으로 더 높은

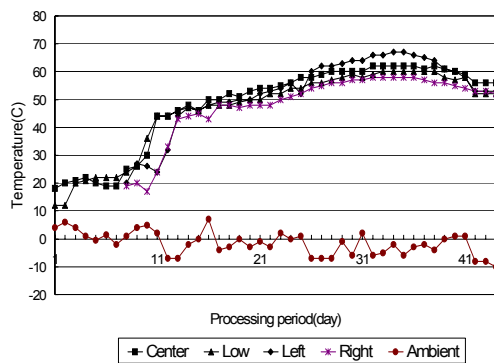


Fig. 3. Temperature change of deepstacked TMR(broiler litter-bakery by-product mixture) according to different sites of the stack.

Table 3. Changes in chemical composition between before and after deepstacking of broiler litter-bakery by-product mixture^{1),2)}

Item	Deepstacking		SE
	Before	After	
%.....		
Dry matter	79.5 ^a	80.6 ^b	0.3
Organic matter	79.4	80.2	0.8
Ether extract	5.7 ^a	7.1 ^b	0.1
Crude protein	17.6	17.2	0.3
True protein	47.1	46.4	1.2
NPN	52.9	53.6	1.2
ADF-CP	13.6 ^a	15.7 ^b	0.9
Neutral detergent fiber	22.8	23.6	0.6
Acid detergent fiber	16.6	19.0	0.7
Hemicellulose	6.2	4.6	0.7
Crude ash	20.6	19.5	0.7

¹⁾ On DM basis.

²⁾ Means of 5 observations.

^{a,b} Means with different superscripts within the same row differ(P<0.05).

발효열에 의해서 ADF-CP(비소화성 단백질) 함량의 상승(15.1 vs. 25.2%) 현상이 나타났다(P < 0.05). 이와 같이 소화된 부분은 사료 단백질의 동물 체내 이용성이 약간 떨어질 것으로 예상되었다. 또 다른 비슷한 실험(Kwak 등, 1998)에서 소화된 부분은 정상적인 것과 비교해서 DM의 반추위 분해율은 비슷하였으나, CP의 반추위 분해율은 용해성 CP의 증가로 인하여 높아지며 분해성 CP 성분은 줄어드는 현상이 보고된 바 있다.

결론적으로 퇴적발효 공법을 이용한 육계분-제과부산물 혼합물의 TMR 화는 화학적 성분상의 현저한 손실을 초래하지 않으면서, 생성된 고온의 자연 발효열로 병원성 미생물을 효과적으로 사멸시키는 위생적 효과가 있는 것으로 판단되었으며, 공기 접촉 부위의 곰팡이 발생 현상과 내부 고열로 인한 부분적 소화(charring) 현상 등은 단점으로 지적되었다.

육계분 단독 퇴적발효 연구(Rankins 등, 1993; Rude 등, 1994)에서 퇴적물 외부에 비닐을 씌우면 비닐을 씌우지 않았을 때와 비교해서 퇴적물의 발효온도가 5~13℃ 내려갔다. 그리고 고온의 발효열은 퇴적물 외부를 비닐로 덮어 공기를 차단하고, 내부 공기 제거를 위해서 철저히 진압하면서 쌓게 되면 퇴적물의 발효온도를 낮추는데 도움이 되는 것으로 보고되었다(Rankins, 1995). 향후 외부 공기 차단 목적으로 비닐을 덮었을 때의 효과에 대한 확인 실험이 요구된다.

4. 실험 4 : 혐기발효 공법을 이용한 TMR의 현장 규모 제조

실험 1과 3에서 나타난 퇴적발효 공법의 단점을 보완하기 위해서 본 실험에서는 TMR 혼합물을 혐기발효 시켰다. 환경온도가 -5℃에서 10℃ 사이의 분포를 보였을 때 혐기발효물(500kg 들이 Tycon 백 1, 2)의 내부온도는 최초 0℃에서 발효기간이 경과함에 따라 최고 15℃ 이내의 비교적 일정한 수준의 온도를 나타내었다(Fig. 4). 혐기발효 시 내부 온도는 前 실험의 퇴적발효 시의 내부 온도보다도 훨씬 낮은 수준을 보였다.

외관적 특성에 있어서 발효 30일 째 개봉 시 혼합물은 분취가 없으면서 얼은 갈색을 띠었다. 퇴적발효 시에 관찰된 표면의 곰팡이 발생 현상이나 소화 현상은 나타나지 않았다.

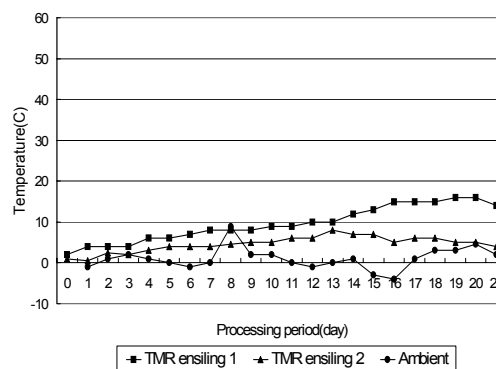


Fig. 4. Temperature change during the ensiling of TMR(broiler litter-bakery by-product mixture).

혼합물의 혐기발효에 따른 조성분 변화는 Table 4에 나타나 있다. 혐기발효는 혼합물의 조성분에 전혀 영향을 미치지 않으면서, CP 중의 true protein : NPN 비율만을 감소시키는 효과가 있었다($P < 0.05$). 이는 혐기발효 중에 혼합물의 true protein이 발효 미생물에 의해 유익하게 분해하였음을 시사하는 것이다. 특히 낮은 발효온도로 인해서 비소화성단백질(ADF-CP) 함량의 증가 현상도 나타나지 않았다.

발효성상의 변화는 Table 5에 제시되어져 있다. 혐기발효와 더불어서 pH는 감소하였고($P < 0.05$), 유산(lactic acid)과 총 VFA 함량은 증가하였다($P < 0.05$). VFA의 대부분은 초산(acetic acid)이었으며, 부패 지수인 낙산(butyric acid)은 유의적 증가를 보였으나($P < 0.05$), 무시해도 될 정도의 수준이었다. 그러나 전반적으로 pH와 유산 등의 발효성상은 만족할만한 수준에 이르지 못하였다. 이는 예견 가능한 현상으로서 육계분의 혐기발효 시 발생하는 약 알칼리성

Table 4. Changes in chemical composition between before and after ensiling of broiler litter and bakery by-product mixtures^{1),2)}

Item	Ensiling		SE
	Before	After	
 %		
Dry matter	71.1	70.1	1.5
Organic matter	87.9	86.9	0.2
Ether extract	6.3	6.0	0.2
Crude protein	15.3	15.2	0.3
True protein	55.9 ^a	51.1 ^b	1.6
NPN	44.1 ^a	48.9 ^b	1.6
ADF-CP	10.6	12.3	0.8
Neutral detergent fiber	26.6	26.6	0.6
Acid detergent fiber	18.7	20.9	1.2
Hemicellulose	7.9	5.7	1.1
Crude ash	12.1	13.1	2.7

¹⁾ On DM basis.

²⁾ Means of 4 observations.

^{a,b} Means with different superscripts within the same row differ($P < 0.05$).

Table 5. Changes in silage parameters between before and after ensiling of broiler litter-bakery by-product mixture^{1),2)}

Item	Ensiling		SE
	Before	After	
 %		
pH	8.46 ^a	6.71 ^b	0.02
Lactic acid, %	1.7 ^a	2.8 ^b	0.03
Total volatile fatty acids, %	0.18 ^a	0.32 ^b	0.03
Acetic acid	0.18 ^a	0.31 ^b	0.03
Propionic acid	0	0	0
Butyric acid	0 ^a	0.004 ^b	0.000
			1

¹⁾ On DM basis.

²⁾ Means of 4 observations.

^{a,b} Means with different superscripts within the same row differ($P < 0.05$).

암모니아 성분과 적정 수준인 40%(곽, 1999)보다 훨씬 낮은 함수율은 발효 미생물의 활성을 억제하거나, 더디게 만들 것이기 때문이었다.

결과적으로 육계분 - 제과부산물의 TMR 화 시 퇴적발효 공법의 이용 시와 비교해서 혐기 발효 공법을 이용하면 퇴적발효 시의 상기한 물리적 단점이 극복되면서, 공정 중의 영양소 손실 또한 최소화되나, 발효 성상은 만족할 수준이 아닌 것으로 판단되었다. 보완점으로서 발효 기간의 연장 또는 발효 촉진제의 이용이 검토될 수 있다. 향후 혐기발효에 따른 병원성 미생물 사멸 등의 위생적 효과는 연구 검증이 필요하다.

5. 실험 5 : 육계분 단독 퇴적발효 후 급여 시 TMR 제조

육계분 단독 퇴적발효 시 육계분의 발효온도는 겨울철에 배출되는 육계분에서 빈번하게 나타나는 높은 함수율(40.6%)로 인하여 발효 초기에는 매우 더디게 상승하였으나, 2주 경과 시에는 최고온도인 67℃에 도달하였으며, 이후 서서히 감소하였다(Fig. 5). 이때 환경온도는 -5℃에서 10℃ 사이의 분포를 보였다.

육계분 단독 퇴적발효 시 발효 전과 후의 조성분 변화는 Table 6에 제시되어져 있다. 실험 5-1을 살펴보면 육계분의 퇴적발효에 따라서 DM, OM, EE, ADF-CP/CP, ADF, ash 등은 변화가 없었으나, CP와 NPN/CP 함량은 증가하고($P < 0.05$), true protein, NDF, hemicellulose 등의 함량은 감소한 것으로 나타났다($P < 0.05$). 실험 5-2의 경우 퇴적발효와 더불어 OM, EE, ADF, ash 함량은 영향을 받지 않았으나, DM, NPN/CP, ADF-CP/CP 함량은 증가하였고($P < 0.05$), CP, true protein, NDF, hemicellulose 함량 등은 감소하였다($P < 0.05$). 두 실험의 공통된 현상은 true protein:NPN 비율의 감소, NDF와 hemicellulose 함량의 감소이었다. 두 실험의 결과를 종합해보면 퇴적발효와 더불어 육계분의 수분이 증발하고, CP는 암모니아 소실로 인하여 감소하고, true protein은 발효 미생물에 의하여 NPN 성분으로 분해되며, 고열로 인한 갈변(Maillard) 반응(Van Soest, 1987)에 의해 ADF-CP(비소화성 단백질) 함량은 증가하는 양상이었다. 흥미롭게도 섬유소 특히 NDF 함량이 발효와 더불어 감소하였는데 이는 주로 hemicellulose 성분의 감소에 기인한 바, 퇴적발효 미생물에 의한 hemicellulose의 분해 현상이 현저하게 진행된 것으로 사료되었는데, 이러한 현상은 Kwak 등(2003)의 연구에서도 일관되게 나타났다.

생산된 육계분 퇴적발효물을 동물 급여 전에 제과부산물과 TDN 함량이 69%가 되도록 전

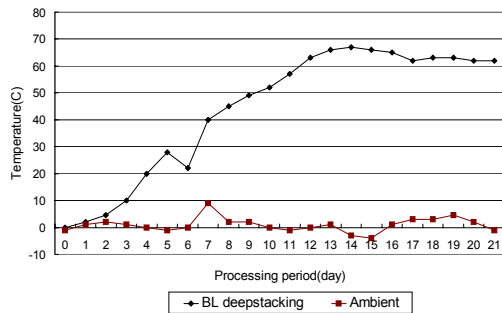


Fig. 5. Temperature change during the deepstacking of broiler litter(BL) alone (means of 2 experiments).

Table 6. Changes in chemical composition between before and after deepstacking of broiler litter alone during 2 trials^{1,2)}

Item	Deepstacking		SE
	Before	After	
 %		
Dry matter			
Trial 5-1	59.4	58.1	0.7
Trial 5-2 ^a	77.8	80.5	0.3
Organic matter			
Trial 5-1	79.6	78.6	0.6
Trial 5-2	78.8	77.9	0.7
Ether extract			
Trial 5-1	1.1	1.3	0.2
Trial 5-2	0.8	0.8	0.1
Crude protein(CP)			
Trial 5-1 ^a	21.1	23.9	0.9
Trial 5-2 ^b	25.9	25.0	0.3
True protein/CP			
Trial 5-1 ^a	46.9	31.9	1.0
Trial 5-2 ^b	46.4	43.0	1.6
NPN/CP			
Trial 5-1 ^a	53.1	68.1	1.0
Trial 5-2 ^b	53.6	57.0	1.6
ADF/CP			
Trial 5-1	10.6	12.5	1.0
Trial 5-2 ^b	13.3	14.8	0.7
Neutral detergent fiber			
Trial 5-1 ^a	53.9	50.3	0.5
Trial 5-2 ^a	54.9	50.4	1.1
Acid detergent fiber			
Trial 5-1	33.4	34.7	1.2
Trial 5-2	30.1	28.7	1.2
Hemicellulose			
Trial 5-1 ^a	20.5	15.6	0.7
Trial 5-2 ^a	24.8	21.7	0.2
Crude ash			
Trial 5-1	20.4	21.4	0.6
Trial 5-2	21.2	22.1	0.7

¹⁾ On DM basis.

²⁾ Means of 3 observations.

^a Before differs from after deepstacking of BL($P < 0.05$).

^b Before differs from after deepstacking of BL($P < 0.1$).

실험에서와 같이 혼합한 결과 그 화학적 특성은 다음과 같았다(Table 미제시): DM 69.4%, OM 86.4%, EE 6.3%, CP 17.1%, true protein : NPN = 47.4 : 52.6, ADF-CP/CP 10.3%, NDF 27.4%, ADF 19.9%, hemicellulose 7.5%, 조회분 13.6%, Ca 1.21%, P 0.68%. 에너지 수준을 우선적으로 충족시키도록 제조된 TMR의 성분을 육성 거세 한우(체중 200 kg)의 요구량(농진청, 1992)과 비교해 볼 때, 섬유소 함량은 적정 수준에 속하였으나, CP 함량은 다소 높고, Ca과 P은 2.5배 정도 높은 수준을 보였다.

미국의 경우, 80% 육계분과 20% 옥수수 알곡을 번식우에게 급여할 때 혼합물의 Ca과 P 함량은 요구량보다도 5배나 높아지나, 일상적으로 문제가 되지 않았다고 하였고, Ca 함량이 2% 정도로 높으면서 다른 광물질과의 균형이 맞지 않을 때 임신우에 한해서 유열이 발생할 수도 있다고 하였다(Ruffin과 McCaskey, 1990). 그리고 반추가축 사료에서의 Ca의 최대 한계 허용치는 2%이며, P의 한계 허용치는 1%이다(NRC, 1980). 이를 종합해 보면, 본 연구에서 제조된 TMR의 이 정도의 높은 Ca, P 함량(Table 1)은 실제 사양 시 별 문제가 되지 않을 것으로 예상되었다.

IV. 결 론

헝기 또는 퇴적발효법으로 제조된 육계분-제과부산물 TMR은 한우 육성우 용으로서 균형 잡힌 사료영양적 가치를 보유하였다. 육계분-제과부산물의 퇴적발효 결과 공기 접촉 부위의 곰팡이 발생과 고온의 발효열에 의한 숫화 현상은 비닐로 외부 공기를 차단하여 발효온도의 지나친 상승을 조절할 경우 충분히 예방될 수 있을 것이다. 실용적인 헝기발효법은 공정 중의 영양소 손실을 최소화하고, 퇴적발효 시의 상기 단점들을 사전 예방할 수 있는 효과적인 방법이나, 향후 병원성미생물 사멸 등의 위생성 검토가 필요하였다. 제조된 TMR의 단순 소형 펠렛기를 이용한 펠렛화는 제과부산물(특히 지방 성분)이 성형 촉진제로 작용하여 성공적으로 이루어졌으며, 이는 물류비를 대폭 절감하면서 폭넓은 현장 보급을 가능하게 할 것

이다. 그리고 현장 환경 조건에 따라서는 육계분만을 퇴적발효하여 단미사료화한 후 급여 전에 건조 제과부산물과 혼합하는 것도 매우 실용적인, 바람직한 방법인 것으로 사료되었다.

V. 요 약

본 연구에서는 육계분과 제과부산물로 구성되는 반추가축용 TMR의 효과적인 제조 방법 모색을 위하여 총 5회의 실험을 수행하였으며, 각 실험의 내용은 다음과 같다. 실험 1: 퇴적발효 공법을 이용한 TMR의 소규모(1 ton) 제조. 실험 2: 퇴적발효 공법을 이용하여 제조된 TMR의 펠렛화. 실험 3: 퇴적발효 공법을 이용한 TMR의 현장 규모(15 ton) 제조. 실험 4: 헝기발효 공법을 이용한 TMR의 현장 규모(0.5 ton 타이콘백 이용) 제조. 실험 5: 육계분 단독 퇴적발효 후 급여 시 TMR 제조. 선별 육계분과 건조 제과부산물은 총가소화영양소(TDN) 함량이 69%(체중 200 kg의 육성 한우 요구량 충족)가 되도록 혼합되었으며, 각 실험별 처리에 따른 온도 변화, 외관적 특성 및 물리화학적 성분 변화를 분석하였다. 육계분에 제과부산물을 혼합함으로써 OM은 상당히 증가하였고($P < 0.05$), 과다한 단백질과 섬유소 함량은 육성우 요구량 수준으로 낮아지는($P < 0.05$) 등의 영양적으로 상호 보완적인 조화를 보였다. 실험 1과 3의 퇴적발효 공법 적용 시 발생된 발효열은 살균 효과를 충족시킬 정도로 상승하였으며, 공정 중의 화학적 성분상의 손실은 미미하였고, 표층의 공기 접촉 부위에 흰 곰팡이가 발생하고, 내부 고열로 인한 부분적 숫화(charring) 현상이 나타났다. 이의 펠렛화 시(실험 2) 단순 소형 펠렛기의 이용이 충분히 가능하였으며, 공정 중의 약간의 OM 손실과 ADF-CP 증가 현상이 수반되었다($P < 0.05$). 실험 4의 헝기발효 공법 적용 시 공정 간의 true protein : NPN 비율의 감소($P < 0.05$) 현상 이외에는 별다른 화학적 성분상의 차이는 없었으나, 한 달간의 발효기간만으로는 양호한 발효 성상을 보이지 못하였다. 실험 5의 육계분 단독 퇴적발효는 true protein : NPN 비율 감소

($P < 0.1$), 섬유소 중 hemicellulose 함량 감소($P < 0.05$) 및 ADF-CP 함량 증가(고열로 인해)를 초래하는 경향이었고($P < 0.1$), 퇴적발효된 육계분을 급여 전에 제과부산물과 혼합하는 것도 위생적이고, 영양 보전적인 방법인 것으로 사료되었다.

VI. 사 사

본 연구는 농림부 기획연구 지원에 의해 수행되었다. 저자들은 화학 분석을 부분적으로 지원해 준 건국대학교 폐자원사료실의 백용현, 김영일, 지경수 군들에게 감사를 표한다.

VII. 인 용 문 헌

1. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C.
2. CAST. 1978. Feeding Animal Waste. Council Agric. Sci. Technol. Rep. 75.
3. Ensminger, M. E., Oldfield, J. E. and Heinemann, W. W. 1990. Feed and nutrition (2nd ed.). The Ensminger Publishing Company, Clovis, California, USA.
4. Fiske, C. H. and Subbarow, Y. 1925. The colorimetric determination of phosphorus. *J. Biol. Chem.* 66:375-400.
5. Golueke, C. G. 1991. Principles of Composting. In *The Biocycle Guide to The Art and Science of Composting* (Ed. by the staff of Biocycle), The JG Press, Inc. Emmaus, Pennsylvania, USA.
6. Kwak, W. S., Fontenot, J. P. and Herbein, J. H. 1998. Effect of processing method on ruminal solubility and degradability of broiler litter. *Bioresource Technology* 66:13-18.
7. Kwak, W. S., Park, J. M., Park, K. K. and Kim, W. Y. 2003. Ruminal dry matter and fiber characteristics of rice hulls-bedded broiler litter compared with rice straw. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* Submitted.
8. Milton, C. T. and Brandt, R. T. Jr. 1994. Dried bakery product in high concentrate rations: Finishing steer performance and estimated net energy values. *J. Anim. Sci.* 72(Suppl. 2):80(abstr.).
9. Miyakoshi, Y., Imai, A., Fujitani, Y., Irie, M., Tokumitsu, S., Munekado, K., Hiradshima, Y., Kajikawa, H., Masaki, S. and Abe, A. 1999. Effect of different dietary energy levels in early and middle fattening periods on fattening performance of Holstein steers. *Anim. Sci. J.* 70:460-470.
10. Muller, Z. O. 1980. Feed from Animal Wastes: State of Knowledge. FAO Animal Production and Health Paper. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, Italy.
11. Naruse, M., Kajikawa, H., Morita, H., Hashiba, K., Maruyama, S., Morimoto, H., Miura, Y., Fujita, K., Fuke, T., Amari, M., Masaki, S., Ozutsumi, K. and Abe, A. 1996. Relationships of dietary and ruminal characteristics to carcass traits in Wagyu steers. *Anim. Sci. Technol.* 67:146-152.
12. National Research Council. 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academy of Sciences, Washington, D. C., USA.
13. National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, Seventh Revised Edition, National Academy Press, Washington, D. C., USA.
14. Park, K. K., Yang, S. Y., Kim, B. K. and Jung, W. H. 2000. Effects of bedding materials and season on the composition and production rate of broiler litter as a nutrient resource for ruminants. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 13:1598-1603.
15. Rankins, D. L. Jr. 1995. Processing options for broiler litter. *Feed Mix* 3(1):8-11.
16. Rankins, D. L. Jr., Eason, J. T., McCaskey, T. A., Stephenson, A. H. and Floyd, J. G. Jr. 1993. Nutritional and toxicological evaluation of three deep-stacking methods for the processing of broiler litter as a foodstuff for beef cattle. *Anim. Prod.* 56:321-326.
17. Rude, B. J., Rankins, D. L. Jr. and Dozier, W. A. III. 1994. Nitrogen and energy metabolism and serum constituents in lambs given broiler poultry litter processed by three deep-stacking methods. *Anim. Prod.* 58:95-101.
18. Ruffin, B. G. and McCaskey, T. A. 1990. Broiler litter can serve as a feed ingredient for beef cattle. *Feedstuffs* 62(15):13-17.
19. Statistix7. 2000. User's Manual. Analytical Software, Tallahassee, FL, USA.
20. Sweeten, J. M. 1988. Composting manure and sludge. In: *Proc. Nat. Poult. Waste Manage. Symp.* pp. 38-44. The Ohio State Univ., Columbus, USA.
21. Van Soest, P. J. 1987. Nitrogen metabolism. In *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, New York, pp. 230-248.

22. Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A. 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583.
 23. 곽완섭. 1999. 사료용 고수분 육계분예의 수분흡수제 첨가시 함유율이 혐기발효 특성에 미치는 영향. *한국축산학회지* 41(5):537-544.
 24. 곽완섭. 2000. Biohull(육계분-왕겨) 사료의 고부가가치화 및 동물산업적 활용에 관한 연구. 3차년도 최종보고서, 농림부.
 25. 곽완섭. 2002. 호기발효와 펠렛 처리가 육계분의 사료영양적 특성에 미치는 영향 및 소형 펠렛기 이용한 육계분 성형 가능성 평가. *한국축산시설환경학회지* 8(3):191-198.
 26. 곽완섭, 박종문. 2003. 육계분 혐기 또는 퇴적 발효 사료 제조 시 당밀 첨가 및 펠렛화가 사료영양적 가치 및 사료 적응기의 한우 기호성 개선에 미치는 영향. *한국동물자원과학회지* 45(1):87-100.
 27. 곽완섭, 허정원, 정동관. 1999. 현장규모로 제조된 육계분 발효사료의 일반적 특성 및 위생적 안전성 평가. *한국낙농학회지* 21(4):269-278.
 28. 농촌진흥청. 1992. 한국표준가축사료급여기준(한우). 문영당.
 29. 이보균, 곽완섭. 1999. 육계분펠렛사료 함유 배합 사료에의 한우 기호성 검사. *건국자연과학연구지* 10(1):17-22.
- (접수일자 : 2003. 2. 24. / 채택일자 : 2003. 5. 14.)